



Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza **Safety & Fire Technique**

Kwartalnik nominowany do Polskiego Godła Promocyjnego „Teraz Polska” 2013 r.



Wydawnictwo Centrum Naukowo-Badawczego Ochrony Przeciwpożarowej
im. Józefa Tuliszkowskiego

Państwowego Instytutu Badawczego
<http://czytelnia.cnbop.pl>

Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza

Safety & Fire Technique

Kwartalnik CNBOP-PIB

Quarterly of the CNBOP-PIB



Wydawnictwo Centrum Naukowo-Badawczego Ochrony Przeciwpożarowej
im. Józefa Tuliszkowskiego
Państwowego Instytutu Badawczego
<http://czytelnia.cnbop.pl>
Józefów 2013

KOMITET REDAKCYJNY

Redaktor Naczelny:

ml. bryg. dr inż. Dariusz Wróblewski

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

dr inż. Eugeniusz W. Roguski – Przewodniczący Komitetu Redakcyjnego – Polskie Centrum Akredytacji

dr inż. Eugeniusz W. Roguski, redaktor działu Organizacja i Zarządzanie Strategiczne

dr hab. inż. Ewa Rudnik, prof. nadzw., redaktor działu Badania i Rozwój – Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpowarowej im. Józefa Tuliszkowskiego Państwowy Instytut Badawczy

dr inż. Stefan Wilczkowski, redaktor działu Technika i Technologia – Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpowarowej im. Józefa Tuliszkowskiego Państwowy Instytut Badawczy

ml. bryg. mgr inż. Jacek Zboina, redaktor działu Certyfikaty, Aprobaty i Rekomendacje – Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpowarowej im. Józefa Tuliszkowskiego Państwowy Instytut Badawczy

bryg. mgr inż. Krzysztof Biskup, redaktor działu Rozdział Autorski – Współpraca Zagraniczna – Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpowarowej im. Józefa Tuliszkowskiego Państwowy Instytut Badawczy

nadbryg. Janusz Skulich, redaktor działu Studium Przypadku – Analiza Akcji – Zastępca Komendanta Głównego Państwowej Straży Pożarnej

nadbryg. w st. spocz. Maciej Schroeder,

redaktor działu Z Praktyki dla Praktyki

mgr Julia Pinkiewicz, sekretarz redakcji

mgr Jan Stanisław Łopata, redaktor językowy – język angielski

inż. Yuliya Mazur, redaktor językowy – język rosyjski

mgr Julia Pinkiewicz, redaktor językowy – język polski

dr Tomasz Węsierski, redaktor statystyczny

Przygotowanie do wydania:

mgr Kamil Kralczyński

Maria Kędzierska

mgr Maciej Rudnik

Projekt okładki:

Barbara Dominowska

ISSN 1895-8443

© by Wydawnictwo Centrum Naukowo-Badawczego

Ochrony Przeciwpowarowej

im. Józefa Tuliszkowskiego

Państwowego Instytutu Badawczego

Nakład 500 egzemplarzy

Wersja papierowa jest wersją pierwotną.

RADA NAUKOWA

Przewodnicząca:

dr hab. inż. Ewa Rudnik, prof. nadzw.,

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

prof. Bogdan Z. Długogórski,

Priority Research Centre for Energy, University of Newcastle (New South Wales), Australia

prof. dr inż. Aleš Dudáček,

Vysoká škola Báňská – Technická Univerzita Ostrava (Technical University of Ostrava), Czechy

prof. 范维澄 (Fan Weicheng),

中国科学技术大学 (State Key Laboratory of Fire Science - University of Science and Technology of China), Chiny

gen. major dr Виктор Иванович Климин (Wiktor Iwanowicz Klimkin),

Федеральное государственное бюджетное учреждение.

Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России (FGU VNIPO – Federal State Establishment The All-Russian Research Institute for Fire Protection), Rosja

prof. dr inż. Rainer Koch,

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

prof. Jesús Ignacio Martínez Paricio,

Universidad Complutense de Madrid (The Complutense University of Madrid), Hiszpania

dr inż. Hauke Speth,

Institut für Feuer- und Rettungstechnologie der Stadt Dortmund (Institute for Fire and Rescue Technology in Dortmund), Niemcy

dr hab. inż. Lech Starczewski – prof. WITPiS,

Wojskowy Instytut Techniki Pancernej i Samochodowej (Military Institute of Armoured and Automotive Technology), Polska

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

Redakcja:

ul. Nadwiślańska 213; 05-420 Józefów k/Otwocka

tel. 22 769 32 20

e-mail: kwartalnik@cnbop.pl

<http://czytelnia.cnbop.pl/>

Publikacja przeznaczona dla kadry Państwowej Straży Pożarnej oraz specjalistów z zakresu ochrony przeciwpowarowej i bezpieczeństwa powszechnego. Wszystkie zamieszczane artykuły dopuszczane są do druku decyzją Komitetu Redakcyjnego na podstawie recenzji naukowo-badawczych i inżyniersko-technicznych przygotowanych przez niezależnych recenzentów.

Kwartalnik „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza” indeksowany jest w bazach:



Ministerstwo Nauki
i Szkolnictwa Wyższego

7 pkt

Na podstawie decyzji Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego (Komunikat z dnia 17 września 2012 roku) za artykuły naukowe opublikowane na łamach czasopisma przyznawane jest 7 punktów do dorobku naukowego.

SPIS TREŚCI

TABLE OF CONTENT

Od Redakcji	5
------------------------------	----------

I. NAUKI HUMANISTYCZNE I SPOŁECZNE NA RZECZ BEZPIECZEŃSTWA HUMANITIES AND SOCIAL SCIENCES FOR SAFETY

1. K. Górską A. Rożej	Wybrane metody empiryczne w naukach o bezpieczeństwie The selected empirical methods in the science of safety.	11
--------------------------	---	----

II. BADANIA I ROZWÓJ RESEARCH AND DEVELOPMENT

1. R. Mazur A. Kwasiborski	Ocena stopnia bezpieczeństwa w aspekcie statystyk zdarzeń za lata 2007-2012. Pożary Assessment of safety level in aspect of 2007-2012 statistics. Fires . .	17
2. G. Ginda M. Maślak	Mapy kognitywne do eksperckiej analizy relacji pomiędzy czynnikami ryzyka i ich rola w szacowaniu bezpieczeństwa pożarowego Cognitive maps for expert analysis of interrelations between the risk factors and their role in fire safety evaluation	23
3. Z. Salamonowicz M. Majder-Łopatka	Emergency scenarios during accidents involving LPG. Blevé explosion mechanism Scenariusze awaryjne podczas zdarzeń z LPG. Mechanizm wybuchu BLEVE	31
4. R. Porowski P. Lesiak W. Rudy M. Strzyżewska	Zjawisko ciągu wstecznego – back draft The backdraft phenomenon	41
5. D. Riegert	Sposoby modyfikowania właściwości palnych tworzyw sztucznych The ability to modification the properties of flammable plastics . . .	51
6. T. Węsierski S. Wilczkowski H. Radomiak	Wygaszanie procesu spalania przy pomocy fal akustycznych Extinguishing fires with the aid of acoustic waves	59

III. TECHNIKA I TECHNOLOGIA TECHNIQUE AND TECHNOLOGY

1. Сизиков А.С./Sizikov A.S. Беляев Б.И./Beliaev B.I. Катковский Л.В./Katkovskii L.V. Хвалей С.В./Khvalei S.V.	Перспективы развития технических средств мониторинга – чрезвычайных ситуаций, осуществляемого путем дистанционного зондирования земли Prospects for the development of technical means for emergency situations monitoring, implemented through remote sensing	65
---	---	----

2. J. Rybiński Ł. Łaciok A. Szajewska	Wykorzystanie kamery termowizyjnej podczas gaszenia zakładu produkcyjnego Exploitation of thermo-visual cameras during fire incidents in production centres	75
3. D. Czerwienko J. Roguski	Bezzałogowe platformy lądowe Unmanned Mobile Platforms	81
4. K. Lemańska S. Głowska	Przegląd, zastosowanie i tendencje rozwojowe armatury pożarniczej Review, application and development trends of firefighting equipment	91

IV. Z PRAKTYKI DLA PRAKTYKI THE BEST PRACTICE IN ACTION

1. M. Chomonicik	Ratownictwo medyczne w Krajowym Systemie Ratowniczo-Gaśniczym. Część II Emergency medical services in the National Fire-Fighting and Rescue System. Part II	101
2. I. Bella	Scenariusz rozwoju zdarzeń na wypadek pożaru – wprowadzenie Scenario of developments during fire incidents – Introduction . . .	119

V. STUDIUM PRZYPADKU – ANALIZA ZDARZEŃ RZECZYWISTYCH CASE-STUDY – ANALYSIS OF THE ACTUAL EVENTS

1. J.I. Martínez Paricio	Los túneles de la calle M-30 de Madrid. Características Street tunnel Madrid M-30: characteristics	127
Wytyczne dla autorów.		137
Guide for authors		139

Szanowni Czytelnicy,

Oddajemy w Państwa ręce trzydziesty numer czasopisma „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza”. Każdy jubileusz skłania do pewnych podsumowań, ale również do patrzenia w przyszłość, ponieważ taka jest misja nauki, by wyprzedzać teraźniejszość – szczególnie jeśli chodzi o tak ważne tematy jak bezpieczeństwo powszechne, a w szczególności ochrona przeciwpożarowa i ochrona ludności. Artykuły zamieszczane w czasopiśmie odnoszą się do nowych kierunków rozwoju w zakresie technik ratowniczych, rozwiązań technicznych i technologii, poprzez wykorzystywanie wyników badań naukowych oraz promowanie przedsięwzięć innowacyjnych. Celem głównym wydawnictwa jest skoordynowanie i optymalne wykorzystanie potencjału intelektualnego kadry szkół pożarniczych, CNBOP-PIB oraz specjalistów z jednostek naukowych z kraju i zagranicy.

Czasopismo promuje i udziela patronatu przedsięwzięciom organizowanym przez jednostki Państwowej Straży Pożarnej lub współorganizowane w konsorcjach z jednostkami naukowymi. Patronatem objęliśmy III Międzynarodową Konferencję Naukową – „Bezpieczeństwo portów lotniczych i ochrona lotnictwa przed aktami bezprawnej ingerencji. Bezpieczeństwo operacji morskich i ochrona Protów morskich” oraz Seminarium „Ochrona Przeciwpowodziowa” organizowane podczas I Międzynarodowych Targów „Technik Zabezpieczeń, Ochrony Pracy i Pożarnictwa”.

W wydaniu jubileuszowym szcycimy się również rekomendacją Pani Posel Krystyny Skowrońskiej – Przewodniczącej Poselskiego Zespołu Strażaków oraz Członka Zarządu Głównego Związku OSP RP.

Chcieliśmy zwrócić Państwa szczególną uwagę na dwa artykuły – pierwszy autorstwa st. kpt. mgr inż. Roberta Mazura i st. bryg. mgr inż. Andrzeja Kwasiborskiego pt. „Ocena stopnia bezpieczeństwa w aspekcie statystyk zdarzeń za lata 2007-2012. Pożary” oraz drugi autorstwa st. kpt. lek. Mariusza Chomoncika pt. „Ratownictwo medyczne w Krajowym Systemie Ratowniczo-Gaśniczym. Część II”.

Potwierdzeniem wysokiej jakości wydawniczej czasopisma, zawartych w nim treści, znaczenia dla bezpieczeństwa oraz spełnienia wymogów stawianych czasopismom naukowym, jest uzyskanie Nominacji do Godła „Teraz Polska”.

Komitety Redakcyjne



Krystyna Skowrońska
Przewodnicząca Poselskiego Zespołu Strażaków
Członek Zarządu Głównego Związku OSP RP

Szanowny Pan
mł. bryg. dr inż. Dariusz Wróblewski
Dyrektor
Centrum Naukowo-Badawczego
Ochrony Przeciwpóżarowej
im. Józefa Tuliszkowskiego
Państwowy Instytut Badawczy

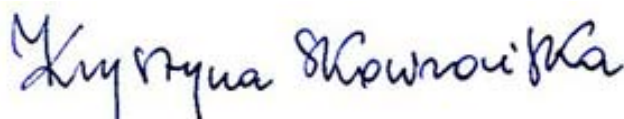
Szanowny Panie Dyrektorze,
jako przewodnicząca Poselskiego Zespołu Strażaków pragnę pogratulować Jubileuszowego, 30. wydania kwartalnika „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza” oraz wyrazić uznanie dla pogłębiania i popularyzacji wiedzy z zakresu ochrony przeciwpożarowej.

Centrum Naukowo – Badawcze Ochrony Przeciwpóżarowej wyznacza m.in. kierunki działania w dziedzinie szeroko rozumianego bezpieczeństwa. Te role spełnia doskonale, czego przykładem jest także wydawnictwo „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza”.

Głównym założeniem działania Poselskiego Zespołu Strażaków, jest pomoc w realizacji celów straży pożarnych – ochrona ludności w sytuacji zagrożeń. To są podstawy bezpieczeństwa tak niezbędnego dla dobrego życia i samopoczucia każdego z nas.

Stąd moje wielkie uznanie dla CNBOP i jego wydawnictwa, które polecam jako wzór standardów obowiązujących w środowisku ochrony przeciwpożarowej.

Z poważaniem,



Krystyna Skowrońska
Przewodnicząca Poselskiego Zespołu Strażaków
Członek Zarządu Głównego Związku OSP RP

Fundacja Polskiego Godła Promocyjnego



TERAZ POLSKA

gratuluje

***Centrum Naukowo-Badawczemu Ochrony
Przeciwpożarowej im. J. Tuliszkowskiego PIB***

*uzyskania nominacji
do Polskiego Godła Promocyjnego „Teraz Polska”
w VI Edycji Konkursu dla Przedsięwzięć Innowacyjnych*

dla

***kwartalnika CNBOP
„Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza”***

PREZES ZARZĄDU FUNDACJI
POLSKIEGO GODŁA PROMOCYJNEGO

KRZYSZTOF PRZYBYŁ

WARSZAWA, 6 MAJA 2013 ROKU

mgr **Karina GÓRSKA**¹mgr **Anna ROŻEJ**^{1,2}

WYBRANE METODY EMPIRYCZNE W NAUKACH O BEZPIECZEŃSTWIE

The selected empirical methods in the science of safety

Streszczenie

Bezpieczeństwo stanowi podstawową potrzebę człowieka. Jest to stan, który daje poczucie pewności oraz gwarancję jego zachowania, a także szansę do doskonalenia. W związku z tym zasadne jest prowadzenie badań w celu jego zagwarantowania. Dlatego też artykuł został poświęcony charakterystyce wybranych metod empirycznych, które są stosowane w naukach o bezpieczeństwie. Dzięki nim istnieje możliwość badania zachodzących procesów w celu wyciągnięcia właściwych wniosków, aby móc następnie zapewnić bezpieczne egzystowanie wszelkim podmiotom. W artykule scharakteryzowano takie metody badawcze jak obserwacja, eksperyment, metody ankietowania, wywiad, metody eksperckie oraz metoda modelowania. Uzupełnienie metod teoretycznych metodami empirycznymi stwarza szansę uzyskania wiarygodnych danych, które mogą być podstawą do unikania ryzykownych sytuacji zagrażających stabilizacji.

Summary

Safety is a basic human need. It is a condition, which gives a sense of confidence and assurance in behaviour and also provides an opportunity for improvement. Therefore, it is appropriate to conduct research in this area with the aim of securing such a condition. For this reason the article describes characteristics of selected empirical methods, which are applied in research concerning safety. Such methods facilitate examination of processes with the aim of drawing conclusions and ultimately securing a safe existence for all. The article describes research methods such as: observation, experiments, interviews, expert methods and modelling. Supplementing theory with empirical methods creates an opportunity for securing reliable data, which can provide the basis for avoiding risk situations, which threaten stability.

Słowa kluczowe: nauka, bezpieczeństwo, metody badawcze, metody empiryczne, obserwacja, eksperyment, ankiet, wywiad, model;

Keywords: science, safety, research methods, empirical method, observation, experiment, survey, interview, model;

Wprowadzenie

Nauka przechodzi ciągłą ewolucję i przyczynia się do wyjaśniania funkcjonowania świata, w którym egzystuje istota ludzka. Odnosząc się do tematu, należy nadmienić, iż nauki społeczne badają strukturę oraz funkcje dziejów społeczeństwa, jego rozwój, pochodzenie kulturowe. Należą do nauk empirycznych, zaraz obok nauk humanistycznych oraz przyrodniczych. Do nauk społecznych zaliczyć można m.in.:

- ekonomię;
- geografę;
- pedagogikę;
- prawo;

- psychologię;
- socjologię;
- stosunki międzynarodowe;
- nauki o bezpieczeństwie;
- nauki o obronności³.

Odnosząc się do nauk o bezpieczeństwie oraz samego bezpieczeństwa, warto pokusić się o stwierdzenie, iż są to aspekty bardzo bliskie współczesnemu społeczeństwu. Zwrot uwagi ku zapewnianiu bezpieczeństwa poszczególnym jednostkom oraz całym grupom stało się priorytetem dla działalności organów państwa i instytucji, które je wspierają. Owa rewolucja związana jest przede wszystkim ze wzrostem różnego rodzaju zagrożeń oraz pojawieniem się nowych niebezpieczeństw, które mogłyby pozbawić ludzi poczucia pewności i stabilizacji. Interpretowanie oraz definiowanie pojęcia, jakim jest

¹ Akademia Obrony Narodowej, Wydział Zarządzania i Dowodzenia, Warszawa, al. gen. Antoniego Chruściela „Montera” 103, 00-910 Warszawa, Polska; obie współautorki wniosły równy wkład merytoryczny w powstanie artykułu (po 50%)

² a.rozej@poczta.aon.edu.pl

³ to nie wszystkie nauki, które znajdują się w naukach społecznych.

bezpieczeństwo, odbywa się na różnych poziomach i tak naprawdę charakteryzowane jest przez liczne definicje [5; s. 9]. Ilu teoretyków, tyle tłumaczeń, wyjaśnień omawianego hasła. Wynikiem tej różnorodności w interpretacji bezpieczeństwa jest obiektywne bądź subiektywne podejście do tego terminu. Dla jednych bowiem bezpieczeństwo będzie poczuciem braku zagrożenia, a dla innych umożliwieniem prowadzenia innowacyjnej oraz twórczej działalności [14, s. 11].

Jednym ze sposobów definiowania bezpieczeństwa jest upatrywanie w nim pewnej skali potrzeb określonego podmiotu oraz stopnia natężenia wszelkich zmian zachodzących w jego otoczeniu (np. zmian sytuacji gospodarczej kraju, innowacji technologicznych, przeobrażeń polityki bezpieczeństwa państwa itd.). Rozważając istotę bezpieczeństwa pod kątem życia codziennego poszczególniej jednostki, warto uznać, iż w efekcie jest ono zwyczajnym stanem poczucia pewności, stabilizacji, harmonii, która pozwala na bezstresowe i niczym nie zachwiane funkcjonowanie w społeczeństwie. Bezpieczeństwo powinno umożliwiać człowiekowi przetrwanie, rozwój, podejmowanie wyzwań w trosce o swoje dobro, umiejętne identyfikowanie potencjalnych zagrożeń oraz ich przedwczesne niwelowanie [7].

Nie będzie więc błędem, jeśli przyjmie się, iż bezpieczeństwo posiada naturę procesu typowo społecznego, ponieważ w głównej mierze bazuje na człowieku jako jednostce oraz grupie społecznej [5; s. 10]. Odnosząc się do metodologii w zakresie szeroko rozumianego bezpieczeństwa, należy stwierdzić, że badaniom podlegają indywidualne oczekiwania każdego człowieka oraz liczba, jakość, częstotliwość procesów, które w niebagatelnie szybkim tempie ulegają zmianie, a także warunki, w jakich ono się rozwija [5; s. 9].

1. Istota metod badawczych

W nauce metodologią nazywa się naukę o czynnościach poznawczych badań naukowych oraz wytworach poznawczych tych czynności [2; s. 9]. Elementarnym zainteresowaniem metodologii są metody badawcze oraz ich wytwory w formie faktów [2; s. 9]. Za fakty uznaje się zdobyte informacje zaprezentowane jako jakościowe lub ilościowe zmienne i wskaźniki [2; s. 9]. Metodą badawczą określić można zespół teoretycznie uzasadnionych zabiegów koncepcyjnych i instrumentalnych obejmujących najogólniej całość postępowania badawczego zmierzającego do rozwiązania określonego problemu naukowego [2; s. 9]. Metody można podzielić na teoretyczne oraz empiryczne. W metodologii za metody teoretyczne uznaje się te, które bazują na teorii i tym samym dostarczają uproszczony obraz rzeczywistości. Teoria, która w przeciwieństwie do empirii nie jest poparta dowodami, przeobrażana jest w hipotezę. Podstawą niniejszych rozważań są jednak empi-

ryczne metody badań. Postrzega się je jako uzupełnienie metod teoretycznych. Realizowane są przy pomocy bezpośredniego poznawania obiektów, procesów czy zjawisk. Fundamentem metod empirycznych jest doświadczenie, a więc wywołanie lub odтворzenie zjawiska w sztucznych warunkach [12]. Badacz, posługujący się metodami empirycznymi, doświadcza, czyli doznaje czegoś, bądź poddaje kogoś lub coś próbie.

Odnosząc się do filozofii, można wyszczególnić dwa sposoby zbierania wiedzy. Pierwszy z nich posługuje się racjonalizmem metodologicznym, inaczej aprioryzmem⁴, poglądem w epistemologii⁵, który głosi niezależność wiedzy od doświadczenia zmysłowego. Wyróżnia się na tym etapie racjonalizm metodologiczny skrajny i umiarkowany. Skrajny charakteryzuje się bardzo konserwatywnym podejściem, gdyż uznaje, że rozum jest jedynym źródłem poznania [1; s. 57]. Z kolei drugi rodzaj racjonalizmu jest bardziej liberalny, ponieważ stwierdza, iż naturalnie rozum jest podstawowym źródłem poznania, ale dopuszcza także wnioski z doświadczeń zmysłowych [1; s. 58].

Drugim sposobem zbierania wiedzy jest empiryzm metodologiczny, inaczej aposterioryzm⁶, który w całości odzwierciedla istotę prowadzenia badań empirycznych. Pogląd ten upatruje uzasadnienia ludzkiego poznania bezpośrednio lub pośrednio w doświadczeniu [1; s. 59]. Wiedzę zdobywa się tylko i wyłącznie poprzez doświadczenia zmysłowe. Empiryści z kolei nie kwestionują roli rozumu w poznaniu, ale negują zdobywanie wiedzy tylko na podstawie aktów myślowych.

W badaniach empirycznych ważną rolę odgrywa odpowiedni i przemyślany dobór metod, technik oraz narzędzi. Już na etapie pisania pracy magisterskiej badacz winien posiadać kompleksową wiedzę obejmującą wyżej wymienione aspekty. Dzięki temu badacz będzie bliski osiągnięcia sukcesu prowadzonego przez siebie procesu badawczego. Analizując zależność metod, technik oraz narzędzi, należy na wstępie wyjaśnić ich znaczenie na gruncie metodologii.

Metodą nazywa się świadomie stosowany sposób postępowania, prowadzący do osiągnięcia zamierzonego celu [12]. L. Sołoma w jednej ze swoich książek poświęconych metodologii opisuje metodę

⁴ pogląd, według którego możliwe jest poznanie a priori, tj. przed doświadczeniem, nieopierające się na nim;

⁵ (od stgr. ἐπιστήμη, episteme – „wiedza; umiejętność, zrozumienie”; λόγος, logos – „nauka; myśl”), teoria poznania lub gnoseologia – dział filozofii, zajmujący się relacjami między poznawaniem, poznaniem a rzeczywistością. Epistemologia rozważa naturę takich pojęć jak: prawda, przekonanie, sąd, spostrzeganie, wiedza czy uzasadnienie;

⁶ pogląd filozoficzny, według którego prawdziwe poznanie zawsze opiera się na doświadczeniu i w nim tylko znajduje uzasadnienie;

jako powtarzalny i skuteczny sposób rozwiązywania ogólnego problemu badawczego [13; s. 27]. Metoda badawcza jest określonym zespołem powtarzalnych technik i sposobów badawczych służących do zebrania i analizy danych, które pozwolą odpowiedzieć na pytania problemowe oraz uzasadnić je z określonym stopniem prawdziwości.

Za technikę w badaniach uznaje się sposób zbierania (uzyskiwania, zdobywania) danych (informacji, materiałów) [13; s. 27]. Technika badawcza jest szeregiem wzorów czynności potrzebnych do realizacji określonych zadań badawczych i utrwalonych w postaci metodologicznych dyrektyw porządkujących reguły i zasady ich stosowania [3; s. 149]. M. Łobocki twierdzi, iż są to czynności praktyczne, regulowane wypracowanymi dyrektywami, pozwalającymi na otrzymanie optymalnie sprawdzalnych opinii, faktów, informacji [8; s. 46]. Kiedy mówi się o technice, jako sposobie zdobywania wiadomości, należy to odnieść do zbioru środków oraz czynności prowadzonych zgodnie z wyznaczonymi regułami, w efekcie czego pozyskuje się dane istotne w dalszych działaniach badawczych. Techniki badawcze to przede wszystkim sposoby zbierania materiału oparte na starannie opracowanych dyrektywach (dokładnych, jasnych, ścisłych), weryfikowanych w badaniach różnych nauk społecznych i dzięki temu posiadających walor użyteczności międzydiscyplinarnej. Mają charakter instrukcji – tym użyteczniejszej, im wierniej stosowanej [6; s. 54]. Odnosząc się do narzędzi badawczych, literatura podaje, iż są to przedmioty służące do realizacji wybranej techniki badań. O ile technika badawcza oznacza czynność, obserwowanie, prowadzenie wywiadu, o tyle narzędzie badawcze to instrument służący do technicznego gromadzenia danych z badań [6; s. 54].

W literaturze przedmiotu stosowanie metod empirycznych często określa się metaforycznie jako życie motyla. W powszechnym tłumaczeniu oznacza to uprawianie nauki w teraźniejszości, czyli w danym momencie. Wyrazem tego typu postrzegania nauk empirycznych jest z całą pewnością obserwacja naukowa.

2. Charakterystyka wybranych metod empirycznych

2.1. Obserwacja

Metoda obserwacyjna jest wyrazem stwierdzenia, że historia prowadzenia badań jest bardzo długa. Otóż obserwacje nie należą do nowych, współczesnych metod badawczych. Wręcz przeciwnie – stanowią one najstarsze metody badawcze stosowane przez naukowców. Jednakże w przeszłości ich rola była niebagatelna. Prawie do początków XX wieku obserwacje były podstawowymi metodami badawczymi, które uważano za najbardziej wiarygodne

[2; s. 62]. Obecnie w rezultacie rozwoju nieco bardziej efektywnych metod badawczych obserwacje tracą swoją pierwotną wartość. Dzisiaj traktuje się je raczej jako metody uzupełniające. Jednak pomimo utraty swojego prestiżowego znaczenia, obserwacje w dalszym ciągu posiadają atrybuty metod badawczych. Przede wszystkim służą do zbierania materiału naukowego, który jest pomocny przy opisie oraz identyfikacji zjawisk i wydarzeń w rzeczywistości.

Obserwacja naukowa jest bardzo popularną oraz powszechną metodą badawczą, co oznacza, że znają ją wszyscy naukowcy. Jednak aby przystąpić do jej analizy, należy zidentyfikować jej definicję. Otóż według *Wielkiej Encyklopedii Powszechnej* termin obserwacji naukowej oznacza metodę badań naukowych, której systematyczne i planowane postrzeganie jest podstawowym sposobem zdobywania materiałów naukowych. Należy zwrócić również uwagę na to, że podczas obserwacji mamy do czynienia ze sprzężeniem zwrotnym, które zachodzi pomiędzy jej czterema podstawowymi elementami. Są to:

- obserwator – osoba, która przeprowadza badanie;
- przedmiot obserwowany – mogą to być na przykład ludzie, ich zachowania oraz wytwory, zeznania osób, które pozwalają na obserwację przeżyć psychicznych czy dana kultura, jej elementy oraz symbole;
- warunki, w jakich zachodzi obserwacja;
- środki i narzędzia wykorzystywane podczas badania.

Elementy te oddziałują na siebie wzajemnie, sprawiając, że badanie zostaje przeprowadzone w sposób rzetelny oraz przyczynia się do uzyskania wiarygodnych faktów naukowych. Ponadto elementy te odgrywają niebagatelną rolę podczas etapów obserwacji, do których należy zaliczyć w pierwszej kolejności spostrzeganie danego przedmiotu, a następnie jego rozpoznawanie, ocenianie, opisywanie oraz dokonywanie pomiaru.

Biorąc pod uwagę obserwację, należy uwzględnić jej cechy, które nadają jej prawdziwości oraz efektywności. Otóż metoda badawcza, jaką jest obserwacja naukowa, powinna być:

- planowa – oznacza, iż przed przystąpieniem do badania należy zaplanować cel, przedmiot obserwowania, warunki, a także niezbędne środki;
- systematyczna – cecha ta dotyczy przede wszystkim długookresowych obserwacji, które są rozłożone w czasie;
- selektywna – oznacza to, że należy racjonalnie zidentyfikować dany fragment przedmiotu, który będzie podlegał obserwacji;
- krytyczna – efekty powinny podlegać krytyce oraz kontroli;
- obiektywna – wyraża się w stosunku obserwatora do badanego przedmiotu.

Relacja ta powinna oddawać rzeczywisty stan, a nie wizję, którą obserwator chciałby zobaczyć. Przeszkodą w obiektywnym spojrzeniu mogą być złudzenia emocjonalne oraz intelektualne, które mogą się pojawić w sytuacji, kiedy osoba obserwująca zakłada pewne hipotezy, które następnie próbuje udowodnić [9; s. 207].

W zależności od wybranego kryterium rozróżnia się kilka rodzajów obserwacji naukowych. Biorąc pod uwagę związek obserwatora z badanym przedmiotem wyróżniamy:

- obserwację bezpośrednią;
- obserwację pośrednią, która występuje wtedy, kiedy inna osoba, a nie badacz, prowadzi obserwację oraz, kiedy obserwacja dotyczy efektów działania danego przedmiotu.

Kolejne kryterium uwzględnia stosunek badacza do badanego przedmiotu. Mówimy wówczas o:

- obserwacji biernej – polega na postrzeganiu i obserwowaniu danego przedmiotu;
- obserwacji uczestniczącej – występuje, kiedy członek zespołu badawczego pełni podwójną rolę. Z jednej strony jest on wykonawcą obserwowanego zadania, a z drugiej należy do zespołu badawczego.

Uwzględniając jeszcze szereg innych kryteriów, wyróżnia się następujące rodzaje obserwacji:

- obserwację prowadzoną w warunkach naturalnych;
- obserwację prowadzoną w warunkach eksperymentu;
- obserwację ciągłą;
- obserwację okresową;
- obserwację indywidualną;
- obserwację zespołową;
- obserwację instrumentalną;
- obserwację wykonywaną bez dodatkowych środków.

Mimo że obserwacja niegdyś stanowiła podstawową metodę badawczą, zarówno w naukach przyrodniczych, jak i społecznych, ze względu na łatwość jej przeprowadzenia, obecnie jest metodą mało skuteczną i zastępowaną przez inne, bardziej efektywne metody badawcze.

2.2. Eksperyment naukowy

Kolejną z elementarnych metod empirycznych jest eksperyment naukowy – ściśle związany z metodą obserwacji. Stosuje się go w momencie, kiedy obserwacja naukowa nie pozwala na zbadanie istoty procesu, zjawiska bądź, kiedy przedmiot prowadzonych badań nie uwydatnia swoich podstawowych cech przed badaczem [15; s. 24]. Warto także pokusić się o stwierdzenie, że każdy eksperyment można uznać za obserwację, jednakże nie każda obserwacja będzie eksperymentem. Owo twierdzenie

zostało dobrze wytłumaczone w definicji metody eksperymentu naukowego.

Eksperyment jest metodą naukowego badania określonego wycinka rzeczywistości, polegającą na wywołaniu lub tylko zmienianiu przebiegu procesów przez wprowadzanie do nich jakiegoś czynnika i obserwowaniu zmian powstałych pod jego wpływem [15; s. 24]. Zmiany te powinny zostać zaobserwowane oraz poddane wnioskowaniu. W podstawowym podziale można wyróżnić dwa rodzaje eksperymentu: naturalny i laboratoryjny. Na eksperyment naturalny powinno się zwrócić szczególną uwagę w naukach społecznych. W tego rodzaju eksperymencie wszelkie procesy bądź zjawiska są inicjowane oraz kontrolowane w takich warunkach, w jakich przebiegały dotychczas [10; s. 58]. Drugi rodzaj eksperymentu – laboratoryjny – znacząco różni się od powyższego. Przede wszystkim jest przeciwieństwem naturalności, ponieważ przeprowadza się go w warunkach sztucznych. Wszystkie procesy są odizolowane od czynników naturalnych [10; s. 58]. Dodatkowo prowadząc eksperyment naukowy laboratoryjny, często wymaga się używania skomplikowanej aparatury, która jest pomocna przy uzyskaniu jakichkolwiek efektów. W takim wypadku badacz jest zobligowany do zapoznania się z obsługą owej aparatury oraz sposobami jej wykorzystania.

2.3. Ankieta jako metoda badań

Bardzo popularną metodą stosowaną w różnych dziedzinach nauki jest metoda ankietowania. Jej istota polega na zdobyciu informacji na temat zjawisk oraz wydarzeń poprzez poznanie poglądów i opinii właściwie dobranych osób. Narzędziem wykorzystywanym podczas przeprowadzania badań jest kwestionariusz, który zawiera odpowiednio skonstruowane pytania [2; s. 86]. Oznacza to, że należy właściwie dobrać formę oraz treść pytań. Sformułowanie nieprawidłowych pytań zmniejsza szansę na uzyskanie wiarygodnych odpowiedzi, co w konsekwencji przekreśli możliwość uzyskania rzetelnych danych. W związku z tym pytania:

- powinny być ułożone w sposób logiczny;
- powinny być sformułowane w sposób zrozumiały oraz jasny dla respondentów;
- muszą uwzględniać rzeczywiste możliwości osób badanych;
- nie mogą sugerować odpowiedzi.

Kolejną bardzo istotną kwestią, o której należy pamiętać, jest ułożenie pytań we właściwej kolejności. Wynika to z faktu, że kwestionariusz ankiety musi stanowić zwartą oraz logiczną całość. W pierwszej kolejności powinno się sformułować pytania jak najbardziej ogólne, dotyczące danego zagadnienia w najbardziej rozległym jego zakresie, a w dalszej kolejności powinno się zadawać pytania, które coraz bardziej zawężałyby zakres badanego problemu.

Aby badanie zostało wykonane poprawnie, musi się ono składać z następujących czynności [10; s. 59-60]:

- zaprojektowanie kwestionariusza;
- dobranie ankietowanych, tak zwanych respondentów;
- dokonanie wyboru sposobu przeprowadzania ankiety;
- przeprowadzenie ankietowania;
- opracowanie wyników.

Opracowanie wyników ankiety jest dosyć trudnym zadaniem, ponieważ wymaga zwrócenia szczególnej uwagi na wiarygodność respondentów oraz ich odpowiedzi. Z logicznego punktu widzenia należy odrzucić kwestionariusze, które zostały wypełnione przez osoby nieodpowiednio dobrane i przypadkowe. Pomocna w tym przypadku jest korelacja, jaka powinna zachodzić pomiędzy pytaniami.

Metoda ankietowania, podobnie jak i inne techniki badań naukowych, posiada swoje wady i zalety. Do pozytywnych stron należy zaliczyć takie aspekty jak:

- stosunkowo krótki czas przeprowadzenia badania;
- nieznaczne nakłady finansowe, techniczne oraz organizacyjne;
- zachowanie anonimowości wśród respondentów;
- możliwość zastosowania ankiet w licznych populacjach.

Natomiast wśród negatywnych stron ankiet identyfikuje się:

- brak albo niewielkie możliwości oddziaływania na motywację obowiązków poprawnego wypełnienia ankiety;
- uzależnienie wiarygodności odpowiedzi od poziomu jej anonimowości;
- brak szczerości w odpowiedziach;
- brak obiektywizmu w wypowiedziach;
- sztuczność odpowiedzi powodująca liczne błędy.

Pomimo ogromnej powszechności stosowania tej metody, praktyka jej stosowania wskazuje jednak na jej dużą niedokładność oraz zawodność, co skłania badaczy do używania ankietowania w sytuacjach, kiedy nie ma możliwości zastosowania dokładniejszych metod badawczych.

2.4. Wywiad

Przez jednych metodologów jest postrzegany jako metoda badawcza, przez innych jako technika badawcza. Mimo tych rozbieżności najczęściej wywiad postrzega się jako jedną z technik występujących w badaniach sondażowych – stanowi on jedną z technik metody sondażu diagnostycznego [11; s. 15]. Wywiad, podobnie jak technika ankiety, ma na celu poznanie pewnych zjawisk i stanów rzeczywistości drogą ustalenia opinii, poglądów odpowiednio dobranej grupy respondentów w bezpośredniej

rozmowie [10; s. 60]. W prostym rozumieniu technika wywiadu jest sposobem zbierania informacji i badania opinii publicznej. Polega na przeprowadzeniu odpowiednio ukierunkowanych rozmów. Wyróżnić można następujące rodzaje wywiadu:

- indywidualny;
- zbiorowy;
- jawny;
- ukryty;
- standaryzowany;
- niestandaryzowany [16; s. 56].

Wywiad indywidualny to rozmowa osoby przeprowadzającej wywiad z jednym respondentem, natomiast wywiad zbiorowy polega na prowadzeniu rozmowy z grupą osób, która winna charakteryzować się pewną jednorodnością, np. grupa studentów tego samego roku.

Wywiad jawny odbywa się w momencie, kiedy respondent został poinformowany o prowadzonym wywiadzie oraz celu, do jakiego dąży prowadzący rozmowę. Z kolei w wywiadzie ukrytym respondent nie jest zaznajamiany z celem rozmowy, ani rolą, jaką odgrywa osoba prowadząca rozmowę.

Wywiad niestandaryzowany, inaczej swobodny, to zwykła, luźna rozmowa, z reguły naturalna, niewyreżyserowana. Natomiast wywiad standaryzowany – przeciwny do poprzedniego – jest skategoryzowany, ustalony, wcześniej przygotowany, najczęściej prowadzony przy pomocy kwestionariusza wywiadu.

2.5. Metody eksperckie

Metody eksperckie to badania należące do grupy metod zbierania opinii oraz poglądów. Choć należą do tej kategorii, ich głównym celem jest znalezienie rozwiązania danego problemu poprzez ekspertów. Za pomocą tej metody rozwiązuje się problemy:

- nowe, kiedy brak jest odpowiednich informacji oraz doświadczeń;
- praktyczne;
- wymagające szybkiego rozwiązania.

Logika stosowania tej metody wskazuje w pierwszej kolejności na zgromadzenie informacji o potencjalnych ekspertach. Następnie z przygotowanej bazy wybiera się odpowiednich specjalistów oraz dobiera właściwą technikę badawczą. Przykładowo może to być burza mózgów bądź wariant delficki.

Burza mózgów to technika bardzo dobrze znana naukowcom. Polega ona na zebraniu ekspertów w jednym miejscu. Aby badanie zostało przeprowadzone w sposób rzetelny, teoretycy oraz praktycy zalecają, ażeby grupa ekspertów nie przekraczała dwunastu osób. Ponadto specjaliści zajmujący się daną dziedziną nie powinni przekraczać połowy zebranych osób. Co więcej, uznaje się, że w grupie bada-

czy powinien znaleźć się specjalista z innej dziedziny, chociaż jeden praktyk, a także chociaż jednym z ekspertów powinna być kobieta. Zagrożeniem podczas stosowania tej techniki jest możliwość wystąpienia tak zwanego syndromu grupowego myślenia. Polega on nie tyle na znalezieniu najbardziej właściwego rozwiązania, ale takiego, który zostanie zaakceptowany przez wszystkich ekspertów.

Kolejną techniką, która pozwala uniknąć wyżej wymienionego syndromu, jest metoda delficka. Właściwością odróżniającą tę technikę od burzy mózgów jest fakt, że eksperci nie mają ze sobą bezpośredniego kontaktu. Technika ta polega na udzieleniu odpowiedzi na pytania zawarte w kwestionariuszu przez ekspertów. Następnie dokonuje się opracowania ankiet zarówno pod względem statystycznym, jak i rzeczowym. Do każdej odpowiedzi zostaje przypisana ocena środkowa oraz skrajna, wraz z podaniem argumentów, jeśli jest to konieczne. Po takiej analizie przetworzone ankiety odsyła się ponownie do ekspertów, którzy mogą albo zwerdyktować swój pogląd albo przy nim pozostać. Jeśli zdecydują się pozostać przy swoich pierwszych odpowiedziach, muszą to w odpowiedni sposób uzasadnić. Następnie dokonuje się ponownej analizy ankiet. Praktycy tej techniki uważają, że wystarczą 3–4 obiegi ankiet, aby móc wypracować wspólny dla wszystkich ekspertów pogląd.

2.6. Metoda modelowania

Ostatnią z podstawowych metod empirycznych jest metoda modelowania, która, jak sama nazwa wskazuje, opiera się na tworzeniu modelu. Modelem w tym przypadku określa się układ elementów odwzorowany na układzie oryginalnym, ale prostszy i bardziej przyjazny w prowadzeniu badań [10; s. 62]. Tak więc modelowanie to przybliżone odtwarzanie najważniejszych właściwości oryginału w celu uproszczenia otaczającej badacza rzeczywistości. W praktyce dzięki modelowaniu można:

- zmniejszyć bądź powiększyć badany obiekt (np. tworzenie map geograficznych);
- przeanalizować procesy, które w rzeczywistości są trudne do uchwycenia ze względu na ich szybkie lub wolne tempo przebiegu (np. cząsteczki wody w wodospadzie);
- zbadać jeden interesujący aspekt przy pominięciu innych [10; s. 62].

Podsumowanie

Uznając wszystkie racje, które prezentują zarówno zwolennicy metod teoretycznych oraz empirycznych w badaniach naukowych, należy jednak skłaniać się ku wartości, jaka tkwi w posługiwaniu się metodami empirycznymi. Teoria nie zawsze wystarczy, aby odpowiednio udowodnić oraz udokumentować swoje badania. Empiria posiada szczególne znaczenie właśnie w naukach, które uznaje się

za typowo doświadczalne, takich jak np. nauki społeczne.

Reasumując, jak mawiał Emmanuel Kant, „Wszystka wiedza pochodzi z doświadczenia. Doświadczenie jest produktem rozumu”, dlatego też metody empiryczne są tak bardzo istotne w metodologii oraz badaniu istniejącej rzeczywistości.

Literatura

1. Ajdukiewicz K., *Zagadnienia i kierunki filozofii*, wyd. Antyk, Warszawa, 2003.
2. Apanowicz J., *Metodologia nauk*, Toruń, 2003.
3. Domański T., *Marketing dla menedżerów*, PWN, Warszawa, 1988.
4. Dutkiewicz W., *Praca magisterska. Przewodnik metodyczny dla studentów pedagogiki*, Kielce, 1996.
5. Dworecki S. E., *Logistyka w zarządzaniu bezpieczeństwem cywilnym, SGSP*, Warszawa, 2012.
6. Kamiński A., *Metoda, technika, procedura badawcza w pedagogice empirycznej*, [w:] R. Wroczyński, T. Pilch (red.), *Metodologia pedagogiki społecznej*, Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wrocław, 1974.
7. Koziej S., *Środowisko bezpieczeństwa*. Skrypt internetowy. www.koziej.pl [dostęp: 02.04.2013]
8. Łobocki M., *Techniki badań pedagogicznych*, Kraków, 2000.
9. Łubnicki N., *Nauka poprawnego myślenia*, PWN, Warszawa, 1971.
10. Pelc M., *Elementy metodologii badań naukowych*, AON, Warszawa, 2012.
11. Pilch T., *Zasady badań pedagogicznych. Strategie ilościowe i jakościowe*, Warszawa 2001.
12. Słownik języka polskiego. www.sjp.pwn.pl [dostęp: 21.03.2013].
13. Sołoma L., *Metody i techniki badań socjologicznych*, WUM, Olsztyn, 2002.
14. Stańczyk J., *Współczesne pojmowanie bezpieczeństwa*, ISP PAN, Warszawa, 1996.
15. Zaczynski W., *Praca badawcza nauczyciela*, WSiP, Warszawa, 2010.
16. Żegnałek K., *Metodologia badań dla autorów prac licencjackich i magisterskich z pedagogiki*, Warszawa, 2010.

mgr Karina GÓRSKA – absolwentka studiów magisterskich na kierunkach Zarządzanie i Logistyka w Akademii Obrony Narodowej. Obecnie doktorantka na Wydziale Zarządzania i Dowodzenia w Akademii Obrony Narodowej.

mgr Anna ROŻEJ – absolwentka studiów magisterskich na kierunku Zarządzanie w Akademii Obrony Narodowej oraz kierunku Europeistyka na Politechnice Opolskiej. Obecnie doktorantka na Wydziale Zarządzania i Dowodzenia w Akademii Obrony Narodowej.

st. kpt. mgr inż. **Robert MAZUR**¹

st. bryg. mgr inż. **Andrzej KWASIBORSKI**²

OCENA STOPNIA BEZPIECZEŃSTWA W ASPEKCIE STATYSTYK ZDARZEŃ ZA LATA 2007-2012. POŻARY

Assessment of safety level in aspect of 2007-2012 statistics. Fires

Streszczenie

W ramach niniejszej publikacji przeprowadzono analizę rozkładu wybranych cech pożarowych zarejestrowanych w *Informacjach ze zdarzeń* Państwowej Straży Pożarnej za lata 2007-2012, zagregowanych do poziomu kraju. Cechy zdarzeń poddawane analizie to ogólna liczba pożarów, poszkodowanych (rannych, ofiar śmiertelnych) w ujęciu ogólnym oraz zagregowanych do klas obiektów użyteczności publicznej, mieszkalnych, produkcyjnych, magazynowych, środków transportu, lasów, upraw, rolnictwa i innych. Na podstawie wyników opracowano roczne wskaźniki rannych i ofiar śmiertelnych. Obliczono roczne oraz sześcioletnie wskaźniki częstości występowania pożarów, rannych i ofiar śmiertelnych, w rozbiciu na poszczególne kategorie obiektów. W podsumowaniu dokonano ogólnej oceny poziomu bezpieczeństwa polegającej na wskazaniu obszarów, w których wartości wskaźników są największe. Wyniki badań wskazują, że wraz z rosnącą w ostatnich latach liczbą pożarów wskaźnik ofiar śmiertelnych i rannych w odniesieniu do liczby pożarów maleje. Zauważa się, że częstość występowania pożarów obiektów mieszkalnych plasuje się dopiero na trzecim miejscu, podczas gdy współczynniki rannych i ofiar śmiertelnych są dla nich kilkunasto, a nawet kilkudziesięciokrotnie wyższe niż dla pozostałych obiektów.

Summary

An analysis of factors associated with fire incidents was conducted on data from the State Fire Service Reports on fire incidents, covering the period 2007–2012. Information about fire injuries and fatalities was classified by type of premises and areas accessible to the public: residential dwelling, production facilities, storage areas, means of transport, forests, agricultural and other. Results from the analysis facilitated the construction of annual indicators covering injuries and fatalities. Calculations were also produced to reveal annual and six yearly frequency of fire incidents, injuries and fatalities, broken down by specific category of premises. A general assessment of fire safety was conducted to reveal areas where the indicator values are at the highest level. Results show that in tandem with an increase in the frequency of fires during recent years, indicators dealing with deaths and injuries attributable to fires show a decline. It is observed that the frequency of fires in residential dwellings is ranked third, whereas the coefficients of injuries and fatalities are about a dozen times higher than for the remainder of premises.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo pożarowe, bezpieczeństwo cywilne, statystyka pożarowa, wskaźnik częstości pożarów, ranni w pożarach, ofiary śmiertelne pożarów, ocena poziomu bezpieczeństwa;

Keywords: fire safety, civil safety, fire statistics, fire frequency distribution coefficient, fire injured, fire fatalities, fire safety level assessment;

Wprowadzenie

W 2012 roku Państwowa Straż Pożarna (PSP) obchodziła jubileusz 20-lecia funkcjonowania. Jak każdy jubileusz, tak w szczególności ten, skłania do refleksji i podsumowań, jeśli chodzi o kierunki rozwoju formacji. Najbardziej nurtujące pytania to zmiany w strukturze organizacyjnej, realizowanych zadaniach, stanie kadrowym, wyszkoleniu, bezpie-

czeństwie czy wyposażeniu. Innym interesującym aspektem jest ilościowa zmiana pożarów i ich ofiar na przestrzeni lat. Jak kształtuje się liczba pożarów oraz częstość ich występowania w rozbiciu na obiekty użyteczności publicznej, mieszkalne, produkcyjne i inne? Jakie są tendencje zmian? Na jakie klasy obiektów, z punktu widzenia wysokich wskaźników wypadkowości, należy zwrócić szczególną uwagę? To tylko nieliczne z pytań, na które autorzy próbują znaleźć odpowiedź, a tym samym wskazać obszary o najmniejszym poziomie bezpieczeństwa.

Drogą do realizacji założonych celów jest analiza statystyczna *Informacji ze zdarzeń PSP*. Warto do-

¹ Komenda Główna Państwowej Straży Pożarnej ul. Podchorążych 38, 00-463 Warszawa, Polska; rmazur@kgpsp.gov.pl; wkład merytoryczny – 95%;

² Komenda Główna Państwowej Straży Pożarnej; wkład merytoryczny – 5%;

dać, że artykuł jest pierwszym z cyklu czterech publikacji planowanych do wydania, nt. *Ocena stopnia bezpieczeństwa w aspekcie statystyk zdarzeń PSP*. W skład publikacji wchodzi: analiza statystyczna pożarów (2007-2012, 1. artykuł), miejscowych zagrożeń (2007-2012, 2. artykuł), czasowo-przestrzenna charakterystyka zagrożeń pożarowych obiektów mieszkalnych w systemie informacji przestrzennej GIS, na przykładzie m.st. Warszawa (2000-2012, 3. artykuł) oraz analiza statystyczna przypuszczalnych przyczyn pożarów obiektów mieszkalnych w skali kraju i miasta (2000-2012, 4. artykuł).

Celem dwóch pierwszych artykułów jest wskazanie trendów, szacunkowych wielkości dot. koncentracji zdarzeń, poszkodowanych w wybranych klasach obiektów, stąd też analizie poddano jedynie dane za okres 6 lat (2007-2012). Po zauważeniu pewnych zależności, przeprowadzono czasowo-przestrzenne badania wybranych cech pożarów, obejmujące okres 12 lat, których wnioski przedstawia się w trzeciej i czwartej publikacji.

1. Analiza literaturowa

Autorzy publikacji w obszarze inżynierii bezpieczeństwa pożarowego i cywilnego stosunkowo często posługują się metodami i narzędziami statystycznymi, celem określenia zależności i reguł ukrytych w danych. Według wiedzy autorów pierwsza opublikowana wzmianka na ten temat pojawiła się w 1970 roku. Grupa naukowców reprezentująca departament rządu Wielkiej Brytanii, w ramach projektu badawczego dot. predykcji pożarów na obszarach miejskich naniosła dane pożarowe na krajową siatkę kartograficzną. Opracowano wówczas trzy równania statystyczne określające relację pomiędzy pożarami a populacją obszarów mieszkalnych i pracujących [1]. Dużo miejsca zajmują roczne i wieloletnie zestawienia statystyczne pożarów w rozbiciu na ich wielkość, lokalizację (regiony, prowincje) [2], [3] kategorię obiektów (mieszkalne, handlowe, magazynowe, użyteczności publicznej, parkingi itp.), przyczyny powstania [3] [4] [5] [6], liczbę poszkodowanych [2] [3] [6] [7]. Interesujące zastosowanie analizy statystycznej pojawiło się w opracowaniu Yang L. i innych [1]. Autorzy oszacowali liczbę pożarów obiektów mieszkalnych w funkcji wieku mieszkańców, a następnie obliczyli średni błąd kwadratowy pomiędzy rzeczywistymi danymi a wynikami predykcji otrzymanej za pomocą modelu sieci neuronowych, logistycznego i algorytmu genetycznego. Oryginalne podejście zastosowali również Chhetri P. i inni [8], Corcoran J. i inni [9]. Autorzy przeprowadzali badania czasowo-przestrzennej charakterystyki pożarów oraz wpływ składowych indeksów socjoekonomicznych na liczbę pożarów w oparciu o GIS.

Spośród krajowych publikacji na szczególną uwagę zasługuje „Biuletyn Informacyjny PSP” [3].

Oprócz ogólnych informacji nt. organizacji PSP opisuje m.in. strukturę Krajowego Systemu Ratowniczo-Gaśniczego (KSRG), wybrane działania ratowniczo-gaśnicze, kontrolno-rozpoznawcze, problematykę naukowo-badawczą, szkoleniową. Ujęte w formie statystyk raporty przedstawiają rozkłady zdarzeń na poziomie kraju w funkcji rodzaju, wielkości, miesięcy, województw, kategorii obiektów i wielu innych. Zagregowane do jednego roku informacje stanowią cenne źródło o charakterze ogólnopoglądowym, będące punktem wyjściowym do dalszych rozważań. Wygenerowanie dokładniejszych ze względu na wybraną cechę zestawień możliwe jest za pośrednictwem informatycznego systemu wspomagania decyzji SWD-ST [10] [11].

2. Metodologia badań

Badania podzielono na dwie części. Pierwsza koncentruje się na analizie statystycznej ogólnej liczby pożarów (Ryc. 1), osób poszkodowanych, podzielonych na rannych i ofiary śmiertelne (Ryc. 2). Druga skupia się na analizie częstości występowania pożarów (Ryc. 3), poszkodowanych w obiektach użyteczności publicznej, mieszkalnych, produkcyjnych, magazynowych, środkach transportu, lasach, uprawach i rolnictwie, innych obiektach (Ryc. 4, 5). Poprzez liczbę rannych i ofiar śmiertelnych przyjęto sumę poszkodowanych ratowników i innych osób. Należy zaznaczyć, że dane statystyczne PSP zakładają opis zgodny z *Instrukcją w sprawie zasad sporządzania i obiegu dokumentacji zdarzeń*. Dokument jest załącznikiem do nieobowiązującego już rozporządzenia MSWiA w sprawie szczegółowych zasad organizacji KSRG [12]. Zgodnie z wytycznymi liczbę i stan poszkodowanych określa się od momentu rozpoczęcia, do momentu zakończenia działań ratowniczo-gaśniczych³, prowadzonych przez jednostki ochrony przeciwpożarowej (JOP)⁴. Instrukcję zastąpiono w 2012 roku *Zasadami ewidencjonowania zdarzeń w zmodernizowanym Systemie Wspomaga-*

³ Oznacza to, że jeżeli przed przybyciem JOP obecny na miejscu zespół ratownictwa medycznego udzielił pomocy i przetransportował poszkodowanego do siedziby jednostek ochrony zdrowia, wówczas osoba taka nie jest uwzględniana w „Informacji ze zdarzenia” – dany stan zaistniał poza ramami czasowymi prowadzonych przez JOP działań. Podobnie jest z klasyfikacją stopnia poszkodowania – ofiara śmiertelna zdarzenia może występować w raporcie jako ranna ze względu na to, że właśnie taki stan odnotowany był podczas prowadzonych działań.

⁴ Zgodnie z art. 15 ustawy o ochronie przeciwpożarowej JOP są: jednostki organizacyjne PSP, jednostki organizacyjne Wojskowej Ochrony Przeciwpożarowej, Zakładowa Straż Pożarna, Zakładowa Służba Ratownicza, Gminna Zawodowa Straż Pożarna, Powiatowa (Miejska) Zawodowa Straż Pożarna, Terenowa Służba Ratownicza, Ochotnicza Straż Pożarna, Związek Ochotniczych Straży Pożarnych, inne jednostki ratownicze [15].

nia Decyzji-ST [14], uszczegółowiającymi załącznik nr 6 „nowego” rozporządzenia MSWiA o KSRG [13].

Badania przeprowadzono w oparciu o raporty PSP za lata 2007–2012 w skali kraju, wygenerowane w systemie SWD-ST (v. 1.24.9.0 za lata 2007–2010; v. 3.0.1.25 za lata 2011–2012). Badania rozpoczęto od obliczenia rocznej liczby pożarów, poszkodowanych, a następnie oszacowano odpowiadające im względne współczynniki. Współczynniki obliczono jako iloraz rannych (ofiar śmiertelnych) przypadających na roczną liczbę pożarów (Tabela 1).

W kolejnym kroku obliczono współczynniki częstości pożarów (Θ_p) dla poszczególnych klas obiektów jako iloraz pożarów zarejestrowanych w klasie do ogólnej ich liczby w roku (3.). Miara współczynnika mieści się w granicach 0÷1, wskazując, w jakich obszarach i z jaką częstotliwością zdarzenia pojawiały się najczęściej. Tym samym definiuje obszary o największym stopniu zagrożenia pożarowego. Na podstawie rocznych wartości indeksów obliczono średnie, sześciolatnie wskaźniki $\overline{\Theta_p}$ (Ryc. 3).

$$W_{RP} = \frac{RP}{\sum P} * 10^3 \quad (1)$$

$$W_{SP} = \frac{SP}{\sum P} * 10^3 \quad (2)$$

$$\Theta_p = \frac{P_n}{\sum P} \quad (3)$$

W_{RP} – względny współczynnik rannych w pożarach,
 RP – liczba rannych w pożarach,

$\sum P$ – ogólna liczba pożarów,

W_{SP} – względny współczynnik ofiar śmiertelnych w pożarach,

SP – liczba ofiar śmiertelnych w pożarach,

Θ_p – współczynnik częstości pożarów,

P_n – liczba pożarów n-tej klasy obiektów,

n – klasa obiektów użyteczności publicznej, mieszkalnych, produkcyjnych, magazynowych, środków transportu, lasów (prywatnych, państwowych), upraw i rolnictwa, pozostałych obiektów.

W analogiczny do Θ_p sposób obliczono względny współczynnik częstości rannych Ψ_{RP} (4.) i ofiar śmiertelnych Ψ_{SP} (5.), odpowiednio jako iloraz liczby rannych (ofiar śmiertelnych) w klasie obiektów do ogólnej liczby rannych (ofiar śmiertelnych). Podobnie jak dla współczynnika Θ , wartości Ψ mieszczą się w granicach 0÷1, określając obszary o największym stopniu wypadkowości. Ze względu na w miarę stały rozkład wartości, zilustrowano jedynie średnie wartości współczynników $\overline{\Psi_{RP}}$ i $\overline{\Psi_{SP}}$ (Ryc. 4, 5).

$$\Psi_{RP} = \frac{RP_n}{\sum RP} \quad (4)$$

$$\Psi_{SP} = \frac{SP_n}{\sum SP} \quad (5)$$

Ψ_{RP} – względny współczynnik rannych w pożarach,

RP_n – liczba rannych w pożarach n-tej klasy obiektów,

$\sum RP$ – ogólna liczba rannych w pożarach,

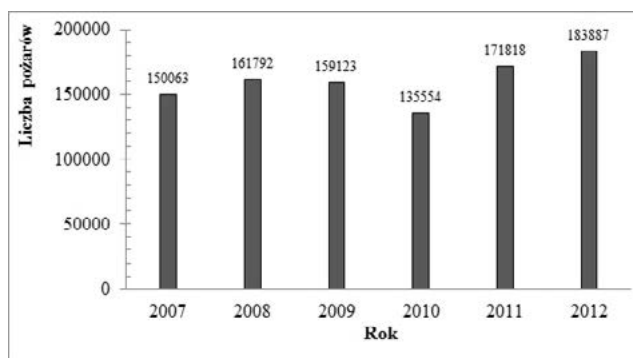
Ψ_{SP} – względny współczynnik ofiar śmiertelnych w pożarach,

SP_n – liczba ofiar śmiertelnych w pożarach n-tej klasy obiektów,

$\sum SP$ – ogólna liczba ofiar śmiertelnych w pożarach,
 n – jak w opisie równania 1.

3. Rezultaty i dyskusja

Liczba pożarów na przestrzeni 2007–2012 kształtuje się w przedziale 135,5–183,8 tys. W 2010 r. odnotowano najmniejszą ich liczbę, podczas gdy w 2012 największą. Lata 2007–2009 utrzymywały stałą tendencję na poziomie 150–161 tys., zaś trzy ostatnie lata mają tendencję rosnącą. W poprzednim roku odnotowano 36-proc. wzrost w stosunku do roku 2010.



Ryc. 1. Liczba pożarów w latach 2007–2012.

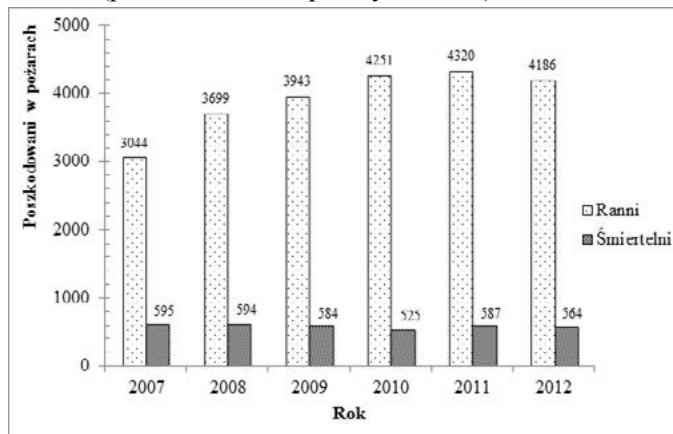
[Badania własne na podstawie danych statystycznych KGSPS]

Fig. 1. Number of fires between 2007–2012.

[Own research based on Headquarters of The State Fire Service (HofSFS) statistical data]

Biorąc pod uwagę bezwzględną liczbę rannych (Ryc. 2), okazuje się, że mają one charakter stale rosnący na poziomie 3–4,1 tys. Ich liczba w 2012, w stosunku do 2007, wzrosła o 38%. Ofiary śmiertelne wykazują tendencję odwrotną do roku 2010, zaś w 2011 i 2012 następuje wzrost. Na przestrzeni lat ich liczba to ok. 525–595. Największy spadek, bo o ok. 12%, odnotowuje się dla 2010 roku (w stosunku do 2007) i jest to różnica 29 ofiar, co daje pięcioprocentowy spadek. Nieco inaczej kształtują się względne współczynniki W_{RP} , W_{SP} , określające liczbę

bę poszkodowanych, względem rocznej liczby zdarzeń (pomnożone o współczynnik 10^3).



Ryc. 2. Liczba rannych i ofiar śmiertelnych w pożarach w latach 2007-2012. [Badania własne na podstawie danych statystycznych KGSPS]

Fig. 2. Number of fire injured and fire fatalities for 2007-2012.

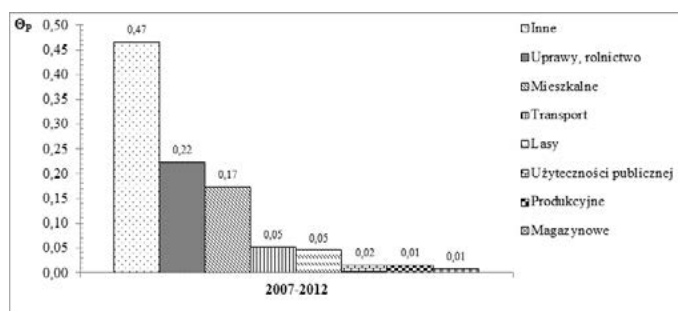
[Own research based on HofSFS statistical data]

Okazuje się, że analizowany współczynnik śmiertelności w latach 2007–2012 (oprócz 2010) ma stałą tendencję spadkową. Najtragiczniejsze są lata 2007, 2010. Odnotowano wówczas najmniejsze liczby pożarów (ok. 150; 135,5 tys.), w których stwierdzono względnie najwięcej ofiar (595, 525). Dało to rekordową wartość współczynników W_{SP} – 4,0 i 3,9. Na przestrzeni lat wartość W_{SP} spadła z 4,0 do 3,1, co dało blisko 25-proc. spadek. Potwierdza to względną tendencję spadkową ofiar śmiertelnych. W przypadku wskaźnika W_{RP} rosnąca tendencja rannych potwierdza się do 2010 roku. Pomiedzy latami 2007–2010 różnica wartości wskaźników wynosi 11,1, co daje 55-proc. wzrost względnej liczby rannych. Jednoznacznie zauważa się, że od 2010 roku występuje wyraźny spadek liczby poszkodowanych, zarówno rannych, jak i śmiertelnych, w stosunku do zwiększającej się liczby pożarów.

Liczba pożarów oraz osób w nich poszkodowanych ujęta w skali kraju nie do końca daje pełen obraz koncentracji zdarzeń. W związku z powyższym przeprowadzono badania uzupełniające. W tym celu opracowano współczynnik Θ_p wg za-

leżności 3. Obrazuje on, jak często zdarzenia pojawiają się w poszczególnych klasach obiektów. Wskaźnik Θ_p ma w miarę stały rozkład w czasie, dlatego też przedstawia się jedynie jego średnie wartości Θ_p (Ryc. 3).

Grupa obiektów, w których najczęściej dochodzi do interwencji, to inne obiekty (0,47), uprawy i rolnictwo (0,22) oraz mieszkalne (0,17). Pełen wykaz składowych klas obiektów zaprezentowanych na rycinach opisuje rozporządzenie w sprawie szczegółowych zasad organizacji KSRG [13]. Wysoka wartość Θ_p innych obiektów generowana jest głównie przez pożary śmietników, zsypów, wysypisk śmieci, traw na terenach nierolniczych, poboczach dróg, szlaków komunikacyjnych; w uprawach, rolnictwie przez pożary traw na nieużytkowanych powierzchniach rolniczych, łąkach, rzyskach, stogach, brogach, budynkach inwentarskich, gospodarczych; w obiektach mieszkalnych przez pożary budynków jedno i wielorodzinnych na obszarach miejskich i wiejskich. Pomijalnie niskie wartości notuje się dla środków transportu i lasów (0,05), budynków użyteczności publicznej (0,02), produkcyjnych i magazynowych (po 0,01).



Ryc. 3. Średnie wartości współczynnika częstości pożarów za lata 2007–2012 wg kategorii obiektów. [Badania własne na podstawie danych statystycznych KGSPS]

Fig. 3. Mean of fire frequency distribution coefficient for 2007–2012 divided into object classes. [Own research based on HofSFS statistical data]

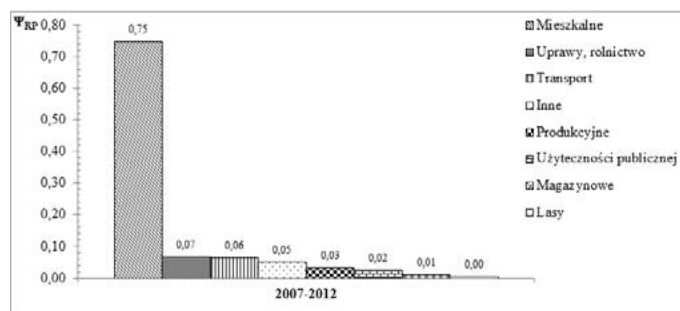
Wartości współczynnika rannych i śmiertelnych w pożarach za lata 2007-2012 w skali kraju.
[Badania własne na podstawie danych statystycznych KGSPS]

Tabela 1.

Fire injured and fatalities coefficient for 2007-2012 on the state level.
[Own research based on HofSFS statistical data]

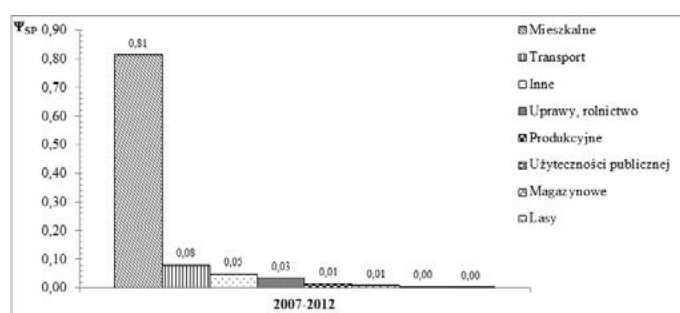
Table 1.

	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Liczba pożarów	150063	161792	159123	135554	171818	183887
Ranni	3044	3699	3943	4251	4320	4186
Ofiary śmiertelne	595	594	584	525	587	564
W_{RP}	20,3	22,9	24,8	31,4	25,1	22,8
W_{SP}	4,0	3,7	3,7	3,9	3,4	3,1



Ryc. 4. Średnie wartości współczynnika częstości rannych w pożarach za lata 2007–2012 wg kategorii obiektów. [Badania własne na podstawie danych statystycznych KGSPS]

Fig. 4. Mean of fire injured frequency distribution coefficient for 2007-2012 divided into object classes. [Own research based on HofSFS statistical data]



Ryc. 5. Średnie wartości współczynnika częstości ofiar śmiertelnych w pożarach za lata 2007-2012 wg kategorii obiektów. [Badania własne na podstawie danych statystycznych KGSPS]

Fig. 5. Mean of fire fatalities frequency distribution coefficient for 2007-2012 divided into object classes. [Own research based on HofSFS statistical data]

Wysokie wartości Θ_p innych obiektów, upraw i rolnictwa, nie pociągają za sobą wysokich wskaźników rannych Ψ_{RP} (Ryc. 4) i śmiertelnych Ψ_{SP} (Ryc. 5). Największe współczynniki obserwuje się dla obiektów mieszkalnych, wynoszące odpowiednio 0,75 dla rannych i 0,81 dla ofiar śmiertelnych. Są one wyższe kilkunasto, a nawet kilkudziesięciokrotnie od wskaźników pozostałych obiektów.

4. Podsumowanie

Celem artykułu było udzielenie odpowiedzi na pytania dotyczące tendencji pożarów, częstości ich występowania, jak również wartości współczynników wypadkowości dla klas obiektów użyteczności publicznej, mieszkalnych, produkcyjnych, środków transportu, lasów, upraw i rolnictwa oraz pozostałych.

Przeprowadzona analiza statystyczna wskazuje na rosnącą w ostatnich trzech latach ilość zdarzeń, podczas gdy względne wartości współczynników rannych i śmiertelnych charakteryzuje tendencja spadkowa. Blisko 72% pożarów pojawia się w klasie innych obiektów (50%) oraz uprawach i rolnictwie (22%). Ich liczba generowana jest głównie przez po-

żary traw na nieużytkowanych powierzchniach rolniczych, łąkach, rzyskach oraz pożary śmietników, zsypów, wysypisk śmieci, na poboczach dróg i szlaków komunikacyjnych. Wzrost ilości pożarów spowodowany jest między innymi warunkami klimatycznymi oraz zaniedbaniami lub nieostrożnością osób dorosłych w posługiwaniu się ogniem. Liczba zdarzeń w tych klasach nie przekłada się bezpośrednio na ilość uszkodzonych, osiągając średni współczynnik rannych na poziomie ok. 6% i śmiertelnych 4%.

Na trzecim miejscu pod względem częstości występowania kształtują się pożary obiektów mieszkalnych, osiągając ok. 17% ogólnej liczby pożarów. Niepokojąca jest wciąż wysoka liczba uszkodzonych w pożarach, aczkolwiek względne wskaźniki wykazują na przestrzeni ostatnich trzech lat stałą tendencję spadkową. Wpływ na poprawiające się współczynniki bezpieczeństwa mogą mieć stałe nakłady środków finansowych na kampanię społeczną, szkolenie i sprzęt ratowniczo-gaśniczy. Liczba uszkodzonych generowana jest głównie przez pożary obiektów jedno- i wielorodzinnych na obszarach miejskich i wiejskich, osiągając przy tym ok. 75% rannych i 80% ofiar śmiertelnych. Istotne jest to, że liczba i stan uszkodzonych zarejestrowanych w raportach PSP określane są od momentu przybycia do momentu zakończenia działań przez JOP. Daje to stosunkowo wysoki obraz problematyki, aczkolwiek można przypuszczać, że liczba ofiar zdecydowanie wzrośnie po przyjęciu jednolitego międzyresortowego mechanizmu kwalifikującego ofiary pożarów. Niewątpliwie przyczynami opisywanego zjawiska mogą być brak rozwiązań prawnych w zakresie stosowania technicznych systemów zabezpieczeń w obiektach mieszkalnych, czynniki socjoekonomiczne oraz w dalszym ciągu brak świadomości społecznej nt. zasad bezpieczeństwa pożarowego.

Wyniki badań nie potwierdzają jednoznacznie tezy artykułu *Ryzyko utraty życia w pożarze* [16], wskazującej Polskę jako jednego z liderów krajów UE pod względem śmiertelności w pożarach. Ze względu na brak jednolitych definicji i pojęć dotyczących zasad ewidencjonowania pożarów w państwach UE, odmienne zakresy formularzy statystycznych, jak również niemiernodajne metody obliczeniowe, nie powinniśmy porównywać ze sobą tak niewrażliwych danych.

Przedstawione w artykule wyniki badań stanowią wstęp do problematyki czasowo-przestrzennej charakterystyki pożarów obiektów mieszkalnych w skali miasta. W kolejnych artykułach autorzy zaprezentują wyniki badań nad przestrzennym rozkładem pożarów obiektów mieszkalnych jedno- i wielorodzinnych oraz przypuszczalnych przyczyn pożarów w systemie informacji przestrzennej (GIS) na przykładzie m.st. Warszawa.

Literatura

1. Yang L., Dawson C.W., Brown M.R., Gell M., *Neural network and GA approaches for dwelling fire occurrence prediction*, 'Knowledge-Based Systems', 19 (2006), 213-219.
2. Yang L., Zhou X., Deng Z., Fan W., *Fire situation and fire characteristic analysis based on fire statistics of China*. 'Fire Safety Journal', 37 (2002), 785-802.
3. „Biuletyn Informacyjny PSP”, Komenda Główna Państwowej Straży Pożarnej, roczniki 2007, 2008, 2009, 2010, 2011.
4. Rahikainen J., Keski-Rahkonen O., *Statistical Determination of ignition frequency of structural fires in different premises in Finland*, 'Fire Technology', 40 (2004), 335-353.
5. Rosenberg T., *Statistics for fire prevention in Sweden*, 'Fire Safety Journal', 33 (1999), 283-294.
6. Holborn P.G., Nolan P.F., Golt J., *An analysis of fatal unintentional dwelling fires investigated by London Fire Brigade between 1996 and 2000*, 'Fire Safety Journal', 38 (2003), 1-42.
7. Wang H., Fan W., *Progress and Problems of Fire Protection in China*, 'Fire Safety Journal', 28 (1997), 191-205.
8. Chhetri P., Corcoran J., Stimson R., *Exploring the spatio-temporal dynamics of fire incidence and the influence of socio economic status A case study from south east Queensland Australia*, 'Journal of Spatial Science', 1 (2009), 79-91.
9. Corcoran J., Higgs G., Higginson A., *Fire incidence in metropolitan areas: A comparative study of Brisbane (Australia) and Cardiff (United Kingdom)*, 'Applied Geography', 31 (2011), 65-75.
10. Mazur R., *Badanie zakresu implementacji i stopnia wspomagania systemu „SWD-ST” na poziomie powiatu (miasta)*, „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza”, 4 (2010), 77-90.
11. *Podręcznik użytkownika Systemu SWD-ST 2.5*, Abakus Systemy Teleinformatyczne Sp. z o.o., Bielsko-Biała 2012.
12. Rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 29 grudnia 1999 r. w sprawie szczegółowych zasad organizacji krajowego systemu ratowniczo-gaśniczego (Dz.U. 111.1311), Załącznik nr 2.
13. Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 18 lutego 2011 r. w sprawie szczegółowych zasad organizacji krajowego systemu ratowniczo-gaśniczego (Dz.U. 11.46.239).
14. *Zasady ewidencjonowania zdarzeń w zmodernizowanym Systemie Wspomagania Decyzji – ST*, Komenda Główna PSP, Warszawa, 2012;
15. Ustawa z dnia 24 sierpnia 1991 r. o ochronie przeciwpożarowej (Dz.U.2009.178.1380).
16. Sawicki T., *Ryzyko utraty życia w pożarze*, „Przegląd Pożarniczy”, 10 (2012), 22-24.

st. kpt. mgr inż. Robert Mazur – absolwent Dziennych Studiów Inżynierskich (2002) oraz Uzupełniających Studiów Magisterskich (2004) na Wydziale Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego Szkoły Głównej Służby Pożarniczej. Absolwent studiów podyplomowych Wyższej Polsko-Japońskiej Szkoły Technik Komputerowych na kierunku „Zaawansowane Multimedia w Internecie” (2006) oraz studiów III st. na Wydziale Cybernetyki Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie na kierunku informatyka (2011). Ukończył szereg szkoleń z zakresu wykorzystania systemów informacji przestrzennej w bezpieczeństwie powszechnym oraz analityki na bazie danych ORACLE. W latach 2002–2011 asystent, kierownik laboratorium, wykładowca Szkoły Głównej Służby Pożarniczej (obecna Katedra Badań Bezpieczeństwa). Od 2011 roku starszy specjalista w Krajowym Centrum Koordynacji Ratownictwa i Ochrony Ludności Komendy Głównej Państwowej Straży Pożarnej. Na co dzień zajmuje się opracowaniami statystycznymi i analitycznymi z zakresu działalności PSP.

st. bryg. mgr inż. Andrzej Kwasiborski – absolwent inżynierskich dziennych studiów w zakresie specjalności taktyczno-dowódczej i magisterskich w zakresie ochrony przeciwpożarowej Szkoły Głównej Służby Pożarniczej (1992 r.). Absolwent studiów podyplomowych m.in. Akademii Medycznej w Poznaniu II Wydział Lekarski – Podyplomowe Studium Medycyny Ratunkowej – specjalista ds. medycyny katastrof; Uniwersytetu Warszawskiego – Wydział Socjologii „Zbiorowe Stosunki Pracy i Zarządzanie Zasobami Ludzkimi”; Centralnego Instytutu Ochrony Pracy w Warszawie „Bezpieczeństwo i Ochrona Człowieka w Środowisku Pracy”, Wyższej Szkoły Policji w Szczytnie „Bezpieczeństwo narodowe w zarządzaniu kryzysowym”. Ukończył szereg szkoleń z zakresu bezpieczeństwa narodowego i zarządzania kryzysowego. W latach 1992–2007 pracował na wszystkich szczeblach dowódczych podziału bojowego oraz w stanowiskach kierowania PSP woj. mazowieckiego. Od 2007 roku Naczelnik Wydziału Koordynacji Ratownictwa w Krajowym Centrum Koordynacji Ratownictwa i Ochrony Ludności Komendy Głównej Państwowej Straży Pożarnej. Na co dzień koordynuje i bezpośrednio nadzoruje pracę Stanowiska Kierowania Komendanta Głównego PSP realizującego m.in. zadania Centrum Zarządzania Kryzysowego MSW.

dr inż. **Grzegorz GINDA**¹
dr hab. inż. **Mariusz MAŚLAK**²

MAPY KOGNITYWNE DO EKSPERCKIEJ ANALIZY RELACJI POMIĘDZY CZYNNIKAMI RYZYKA I ICH ROLA W SZACOWANIU BEZPIECZEŃSTWA POŻAROWEGO

Cognitive maps for expert analysis of interrelations between the risk factors and their role in fire safety evaluation

Streszczenie

Zaprezentowano i przedyskutowano oryginalną technikę jakościowej i ilościowej oceny charakteru relacji pomiędzy zidentyfikowanymi a priori czynnikami determinującymi poziom bezpieczeństwa użytkowników budynku na wypadek rozgorzenia w nim pożaru. Proponowana metodologia bazuje na rekurencyjnej procedurze oceny, charakterystycznej dla analizy tak zwanych map kognitywnych. W pracy postuluje się zastąpienie klasycznego algorytmu obliczeń alternatywnym podejściem analitycznym wykorzystującym założenia procedury DEMATEL. Omawiane podejście pozwala na szczegółową analizę istotności relacji przyczynowo-skutkowych pomiędzy porównywanymi czynnikami. Punkt wyjścia do tej analizy stanowią odpowiednio ważone oceny eksperckie wykorzystujące wielostopniową skalę ocen. Zaproponowany model obliczeniowy można w łatwy sposób przystosować do badania informacji o charakterze niepewnym lub niepełnym. Szczególnym przypadkiem rozważań tego typu jest opisywany przez autorów w osobnych publikacjach przykład wykorzystujący opinie wyrażone poprzez liczby rozmyte [8] [9]. W ujęciu autorów reprezentacją mapy kognitywnej jest skierowany graf bezpośredniego wpływu, którego wierzchołki odwzorowują porównywane obiekty, natomiast krawędzie – relacje pomiędzy nimi. Relacje te nie muszą być jednokierunkowe, mogą bowiem odzwierciedlać potencjalne sprzężenia. Ostateczna ocena sumuje wpływy bezpośrednie i znacznie trudniej ujawniające się wpływy pośrednie. Dla lepszej czytelności otrzymanych wyników postuluje się wyznaczenie wartości progowej wykluczającej z dalszego badania relacje niewystarczająco istotne. Matematycznym reprezentantem wyspecyfikowanych map – grafów są skojarzone z nimi macierze wpływu, odpowiednio: bezpośredniego, pośredniego i całkowitego. Można również określić macierz całkowitego wpływu netto. Ideę zaproponowaną przez autorów ilustruje prosty przykład obliczeniowy bazujący na opinii pojedynczego eksperta. Założona struktura powiązań pomiędzy porównywanymi czynnikami nie zawiera sprzężeń, a oceny określono przy pomocy danych deterministycznych. Bardziej złożone przykłady zainteresowany czytelnik znajdzie w odrębnych opracowaniach autorów – artykułach i referatach zestawionych na końcu niniejszej pracy.

Summary

This paper presents and discusses the application of original qualitative and quantitative techniques for evaluating interrelations between factors identified as a priori and determining safety levels for building users in case of a fire. A recurrent numerical process, typical for cognitive map application, is normally used in such an evaluation. The authors suggest an alternative to the classic algorithm, by harnessing the DEMATEL method. The discussed approach appears easier to cope with and allows for a specific analysis of cause and effect relations between factors under consideration. The starting point for this approach is expert opinion applied on a multi-level evaluation scale. The algorithm can be easily adapted to examine uncertain or incomplete information e.g. application of fuzzy numbers [8] [9]. The cognitive process is represented by an impact-relations-map, whose vertices represent comparable factors and arcs reflect direct relationships between factors. Such relationships need not be one directional, they can mirror potential feedback to be incorporated in the analysis. The final evaluation sums up direct influences and the more difficult emerging indirect influences. For easier interpretation of data it is suggested that a threshold value is determined to limit superfluous information and therefore exclude factors with relationships not considered sufficiently intensive to afford clear and unequivocal deductions. The proposed maps are represented mathematically by relative matrices of direct, indirect and total influence. Moreover it is also possible to establish the net total matrix. The idea proposed by the authors is illustrated in this paper with the aid of a simple numerical example, dealing with a single expert opinion, in which the assumed influence structure between

¹ Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Nauk o Materiałach i Środowisku, ul. Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała, Polska; wkład procentowy w powstanie artykułu – 60%;

² prof. Politechniki Krakowskiej, Wydział Inżynierii Lądowej, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, Polska; wkład procentowy w powstanie artykułu – 40%;

considered factors does not include feedback. Furthermore, only one deterministic data set is applied to express levels of direct influence. More advanced and complex examples are presented and discussed by the authors in other papers. Interested readers will find relevant details in the bibliography.

Słowa kluczowe: pożar, bezpieczeństwo, mapa kognitywna, graf wpływu, DEMATEL;

Keywords: fire, safety, cognitive maps, influence map, DEMATEL;

Wprowadzenie

Poziom bezpieczeństwa użytkowników budynku w przypadku powstania pożaru zależy od wielu różnego typu czynników. Czynniki te przekładają się na potencjalne ryzyka związane z zagrożeniem życia i zdrowia ludzi, a także ze znacznymi stratami materialnymi i kulturowymi. Nie są one wzajemnie niezależne. Na ogół da się je pogrupować w zależności od źródła pochodzenia, specyfiki, podobnych możliwych konsekwencji czy chociażby rodzaju powodowanych skutków. W ramach poszczególnych grup czynników określa się pomiędzy nimi formalne relacje podrzędności i nadrzędności, w kontekście wyspecyfikowania ewentualnych ciągów logicznych typu przyczyna – skutek. W ujęciu globalnym dysponujemy zatem złożonym układem hierarchicznym o jednoznacznie określonej strukturze. Analizie tego typu układów autorzy niniejszego artykułu poświęcili osobną pracę [5], w której zaprezentowano sposób szacowania istotności poszczególnych czynników poprzez przypisanie im odpowiednio uzasadnionych wag określających pozycję badanego czynnika w ogólnym bilansie wpływów determinujących bezpieczeństwo. Zaproponowaną metodykę postępowania oparto na technikach analizy decyzyjnej. Pojedyncze oceny eksperckie były odpowiednio przetwarzane i agregowane do uzyskania uśrednionej oceny globalnej, której można przypisać odpowiedni poziom wiarygodności. Celem niniejszej pracy jest demonstracja podstaw modelu matematycznego umożliwiającego bardziej precyzyjne badanie charakteru poszczególnych relacji i ich względnego znaczenia w globalnej sieci powiązań. Rozpatrywane relacje wizualizowane są poprzez grafy z odpowiednio różnicowanymi krawędziami, a ich matematyczną reprezentację stanowią tak zwane macierze kognitywne. Takie podejście pozwala na efektywne zaadaptowanie do modelu uzyskanych wcześniej ocen eksperckich. W rezultacie otrzymuje się wynikowe macierze wpływu stanowiące podstawę do finalnego oszacowania istotności i kierunku badanej relacji. Chodzi o to, czy dany czynnik jest przyczyną, czy raczej skutkiem czynnika z nim porównywanego.

Trzeba podkreślić, że w praktyce inżynierskiej identyfikacja a priori charakteru badanych relacji wydaje się wysoce pożądana z uwagi na stworzenie realnej możliwości dostatecznie uzasadnionego doboru optymalnych rozwiązań konstrukcyjnych, formalnych i funkcjonalnych. Zaproponowane podejście prowadzi do uzyskania oceny całościowej, uwzględniającej rozmaite wpływy otoczenia. Wy-

korzystanie dostępnych ocen eksperckich zwiększa przy tym jego elastyczność i raczej dodaje wiarygodności. Ze względu na potencjalne występowanie trudno mierzalnych oddziaływań pomiędzy badanymi czynnikami ich faktyczny wpływ na bezpieczeństwo nie jest bowiem łatwy do oceny w inny sposób, na przykład na drodze eksperymentalnej. Poza tym poszczególne czynniki mogą wpływać na bezpieczeństwo pożarowe zarówno w sposób bezpośredni, jak i wynikający z pośrednictwa innych czynników. W rezultacie struktura zależności między czynnikami oprócz jednokierunkowych zależności hierarchicznych może również obejmować różnego rodzaju sprzężenia.

1. Koncepcja mapy kognitywnej

Termin „mapy kognitywne” (ang. *cognitive maps*, CM) sugeruje związek z kognitywistyką, stosunkowo młodą dziedziną nauki wyodrębnioną z klasycznej logiki. Stawia sobie ona za cel możliwe precyzyjne modelowanie rozmaitych procesów myślowych, zwłaszcza w kontekście ich późniejszego odwzorowania przy tworzeniu obiektów sztucznej inteligencji. Stąd dążenie raczej do szczegółowej analizy struktury powiązań logicznych i ich wzajemnych oddziaływań kosztem precyzyjnego badania prawdziwości reguł matematycznych opisujących poszczególne wyodrębnione relacje. Mapy tego typu pierwotnie opracowano do modelowania decyzji politycznych [1]. Później, zwłaszcza po roku 2000, były one wykorzystywane do badania zagadnień decyzyjnych należących do różnych dziedzin nauki. W latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku [10] dostosowano je do aplikacji informacji o charakterze rozmytym. Tego rodzaju mapy (ang. *fuzzy cognitive maps*, FCM) nazywa się czasem rozmytymi mapami decyzji (ang. *fuzzy decision maps*, FDM) [11].

Zastosowanie podejścia związanego z koncepcją mapy kognitywnej wiąże się ze specyfikacją następujących obiektów matematycznych:

- zbioru rozważanych n czynników – N ,
- macierzy powiązań pomiędzy czynnikami – E ,
- macierzy stanu – C ,
- funkcji progowej – f .

Macierz kwadratowa E ma wymiar $n \times n$ i wyraża strukturę bezpośredniego wpływu badanych czynników. Obrazem tej macierzy jest graf, którego wierzchołki odwzorowują rozpatrywane wpływy. Symbol C oznacza macierz wynikającą ze stopniowego przekształcania macierzy E . Ma ona przy tym zawsze ten sam rozmiar co macierz E . Funkcja pro-

gowa f ułatwia uwypuklenie różnic pomiędzy poszczególnymi czynnikami. W praktyce stosowane są różne postacie tej funkcji. Trzeba zaznaczyć, że od wyboru tej postaci zależy otrzymany wynik finalny. W wyborze odpowiedniej formy funkcji f pomagają wykorzystanie klasycznej analizy wrażliwości [2].

Początkowa forma macierzy stanu oznaczana jest jako $C^{(0)}$ i odpowiada macierzy jednostkowej I:

$$C^{(0)} = I \quad (1)$$

Postać końcową $C^{(T)}$ otrzymuje się na podstawie wielokrokowej procedury wykorzystującej formułę rekurencyjną:

$$C^{(t+1)} = f(C^{(t)} \cdot E) \quad \text{gdzie: } t = 0, 1, \dots, T \quad (2)$$

Postać $C^{(T)}$ odpowiada zatem macierzy otrzymanej w kroku $t = T$. Można przy tym wyróżnić dwa rodzaje stanów granicznych:

- stan ustalony związany ze stosowaniem tej samej postaci macierzy w kolejnych krokach procedury obliczeniowej:

$$C^{(T+1)} = C^{(T)} \quad (3)$$

- cykl stanu granicznego odpowiadający nieskończonemu cyklicznemu powtarzaniu sekwencji postaci $C^{(T)}$ w krokach $t = T, T+1, \dots, T+i \cdot (c-1), T+i \cdot c, T+i \cdot (c+1), \dots$:

$$C^{(T)} = C^{(T+i \cdot c)} \quad (4)$$

gdzie: i oznacza kolejne liczby naturalne $i = 1, 2, 3, \dots$

Miarą poszukiwanych wpływów jest zestaw wag w wyrażających całkowite oddziaływanie rozważanych czynników, to znaczy łączące wpływy zarówno bezpośrednie, jak i pośrednie. Zestaw ten opisuje wektor w o postaci:

$$w = \bar{z} + \bar{C}^{(T)} \cdot \bar{z} \quad (5)$$

W powyższej formule symbol $\bar{z}$ oznacza znormalizowaną postać wektora nieujemnych wag z , który oddaje znaczenie rozważanych obiektów (wartości składowych wektora można wyznaczać, posługując się dowolnymi metodami), $\bar{C}^{(T)}$ stanowi znormalizowaną wierszowo postać końcowej macierzy stanu $C^{(T)}$. Do wyznaczenia składników wzoru (5) najczęściej wykorzystuje się następujące formuły:

$$\bar{z} = \frac{z}{\sum_{i=1}^n z_i} \quad (6)$$

$$\bar{C}^{(r)} = \frac{C^{(r)}}{\max_i \left\{ \sum_{j=1}^n c_{ij}^{(r)} \right\}} \quad (7)$$

Ostatnio [2] zwrócono uwagę na to, że przy założeniu liniowej postaci funkcji progowej f procedura obliczeniowa związana z zastosowaniem koncepcji macierzy kognitywnej staje się równoważna klasycznemu algorytmowi metodyki DEMATEL [4].

2. Podstawy metodyki DEMATEL

Podobnie jak procedury związane z analizą map kognitywnych, także metodyka DEMATEL (*DEcision MAKing Trial and Evaluation Laboratory*) wykorzystuje pojęcie bezpośredniego wpływu czynników. Bazuje ona przy tym na badaniu istotności bezpośredniej relacji przyczynowo-skutkowej pomiędzy dwoma porównywanymi czynnikami. Istnieją przy tym 3 możliwości opisu takiej relacji: pierwszy czynnik warunkuje drugi, drugi warunkuje pierwszy albo czynniki te wzajemnie na siebie nie wpływają. Możliwe jest również uwzględnienie wewnętrznego sprzężenia rozważanej relacji, to znaczy sytuacji gdy zachodzi ona w obu kierunkach. Do wyrażenia intensywności badanego wpływu na ogół wykorzystuje się $(N + 1)$ – stopniową skalę ocen, w której najniższy poziom wyraża całkowity brak jakiegokolwiek relacji (poziom zerowy), najwyższy zaś (poziom N -ty) odpowiada jej skrajnie dużej intensywności. Przykładowo, dla skali pięciostopniowej ($N = 4$) można przyjąć następującą interpretację pośrednich poziomów relacji:

- ($N = 1$) – niewielki bezpośredni wpływ pierwszego czynnika na drugi,
- ($N = 2$) – znaczący bezpośredni wpływ pierwszego czynnika na drugi,
- ($N = 3$) – bardzo duży bezpośredni wpływ pierwszego czynnika na drugi.

Z oczywistych względów trzeba również założyć, że żaden czynnik nie wywiera bezpośredniego wpływu na samego siebie.

Kompletny zestaw ocen bezpośrednich relacji grupy n czynników jest zatem zbiorem $(n-1) \cdot n$ -elementowym. Opisuje go *mapa bezpośredniego wpływu* opracowana w postaci *skierowanego grafu bezpośredniego wpływu* $X(V_X, E_X)$. Wierzchołki grafu V_X oznaczają tu oceniane czynniki, łuki E_X natomiast relacje między porównywanymi czynnikami. Powyższy graf reprezentuje *kwadratową macierz bezpośredniego wpływu* X o rozmiarze $n \times n$. Wyraz tej macierzy położony na przecięciu i -tego wiersza i j -tej kolumny wyraża przy tym bezpośredni wpływ i -tego czynnika na j -ty czynnik ($i, j = 1, 2, \dots, n$). Zauważmy, że graf bezpośredniego wpływu ma budowę analogiczną do struktury mapy kognitywnej,

natomiast macierz bezpośredniego wpływu $\mathbf{X}$ stanowi z kolei odpowiednik macierzy połączeń $\mathbf{E}$.

Na łączny efekt relacji porównywanych czynników składa się część pochodząca od określonego powyżej jawnego wpływu bezpośredniego oraz część dodatkowa wynikająca z ukrytego wpływu pośredniego. Pełny opis całkowitego wpływu ma zatem postać skierowanego grafu całkowitego wpływu $T(V_T, E_T)$. Graf ten reprezentowany jest przez kwadratową macierz całkowitego wpływu $\mathbf{T}$, również o rozmiarze $n \times n$. Wyrazy macierzy $\mathbf{T}$ mają interpretację analogiczną do odpowiadających im wyrazów macierzy $\mathbf{X}$. W konsekwencji:

$$\mathbf{T} = \bar{\mathbf{X}} + \Delta\mathbf{T} \quad (8)$$

gdzie symbol $\bar{\mathbf{X}}$ oznacza znormalizowaną macierz bezpośredniego wpływu, natomiast $\Delta\mathbf{T}$ – macierz pośredniego wpływu. Znormalizowaną postać macierzy bezpośredniego wpływu $\mathbf{X}$, zawierającą jedynie elementy z przedziału $(0,1)$, otrzymuje się z zależności:

$$\bar{\mathbf{X}} = \frac{1}{\lambda} \cdot \mathbf{X} \quad (9)$$

przy czym λ jest maksymalną wierszową i kolumnową sumą składników macierzy $\mathbf{X}$, taką, że:

$$\lambda = \max \left\{ \max_i \sum_{j=1}^n x_{ij}, \max_j \sum_{i=1}^n x_{ij} \right\} \quad (10)$$

Dysponowanie opiniami H niezależnych ekspertów pozwala na zbudowanie grupowej uśrednionej macierzy bezpośredniego wpływu $\mathbf{X}_{sr}$ w postaci:

$$\mathbf{X}_{sr} = \frac{1}{H} \sum_{m=1}^H \mathbf{X}^m \quad (11)$$

gdzie $\mathbf{X}^m$ jest macierzą bezpośredniego wpływu pochodzącą od m -tego eksperta ($m = 1, 2, \dots, H$).

Odnosząc się do pojedynczej opinii eksperckiej, macierz $\Delta\mathbf{T}$ zwykle konstruuje się sumując kolejne, wyższe niż pierwsza, potęgi macierzy $\bar{\mathbf{X}}$ [3]:

$$\Delta\mathbf{T} = \bar{\mathbf{X}}^2 + \bar{\mathbf{X}}^3 + \dots = \sum_{i=2}^{\infty} \bar{\mathbf{X}}^i \quad (12)$$

Zauważmy, że:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \bar{\mathbf{X}}^k = \mathbf{0}_{n \times n} \quad (13)$$

gdzie $\mathbf{0}_{n \times n}$ jest macierzą zerową o rozmiarze $n \times n$. Poza tym zachodzi:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \left(\mathbf{I} + \bar{\mathbf{X}} + \bar{\mathbf{X}}^2 + \dots + \bar{\mathbf{X}}^k \right) = (\mathbf{I} - \bar{\mathbf{X}})^{-1} \quad (14)$$

przy czym $\mathbf{I} = \mathbf{I}_{n \times n}$ oznacza kwadratową macierz jednostkową o tym samym rozmiarze. A zatem po uwzględnieniu (8) i (12) otrzymuje się:

$$\mathbf{T} = \bar{\mathbf{X}} + \bar{\mathbf{X}}^2 + \dots + \bar{\mathbf{X}}^k = \bar{\mathbf{X}} \left(\mathbf{I} + \bar{\mathbf{X}} + \dots + \bar{\mathbf{X}}^{k-1} \right) = \bar{\mathbf{X}} (\mathbf{I} - \bar{\mathbf{X}})^{-1} \quad (15)$$

Na podstawie przyjętej macierzy $\mathbf{X}$, po zbudowaniu macierzy $\Delta\mathbf{T}$ i $\mathbf{T}$, można wyznaczyć wartości wskaźników opisujących rolę i znaczenie rozpatrywanych czynników w kontekście oddziaływania bezpośredniego, pośredniego lub całkowitego. Dokonuje się tego, sumując lub odejmując od siebie wartość i -tego wiersza oraz i -tej kolumny macierzy wyrażającej określony kontekst odpowiadający rozpatrywanemu i -temu czynnikowi. Wskaźniki te odniesione do macierzy $\mathbf{T}$ nazywają się odpowiednio *pozycją* s^+ oraz *relacją* s^- . *Pozycja* wyraża znaczenie danego czynnika w procesie wyznaczania struktury powiązań pomiędzy rozważanymi czynnikami. Jej wartość dla i -tego czynnika określa się z zależności:

$$s_i^+ = R_i + C_i \quad (16)$$

gdzie $R_i = \sum_{j=1}^n t_{ij}$ stanowi sumę elementów i -tego wiersza, natomiast $C_i = \sum_{j=1}^n t_{ji}$ sumę elementów i -tej kolumny macierzy $\mathbf{T}$. *Relacja* wskazuje na charakter wzajemnych odniesień (*przyczynowy lub skutkowy*) pomiędzy porównywanymi czynnikami. Jej wartość wynika z różnicy:

$$s_i^- = R_i - C_i \quad (17)$$

Dodatnia wartość s_i^- potwierdza *przyczynowy charakter* badanego czynnika w stosunku do tego, który jest z nim porównywany. Z drugiej strony wartość ujemna oznacza, że badany czynnik *nie jest przyczyną, ale raczej skutkiem* czynnika, do którego się odnosi. Wartości bliskie zeru sugerują przy tym prawie neutralną relację pomiędzy badanymi czynnikami.

Alternatywnie, w przypadku relacji pomiędzy parą czynników, i -tym i j -tym, można określić *wynikową miarę całkowitego wpływu netto*. Miarę tę definiuje zależność:

$$\Delta n_{ij} = \begin{cases} t_{ij} - t_{ji} & \text{gdy } t_{ij} > t_{ji}, \\ 0 & \text{gdy } t_{ij} \leq t_{ji} \end{cases} \quad (18)$$

Mapę całkowitego wpływu netto wyraża skierowany graf całkowitego wpływu netto $N(V_N, E_N)$. Jego łuki E_N wskazują kierunek relacji i wypadkową intensywność całkowitego wpływu netto.

Mapa całkowitego wpływu może być jednak zbyt złożona. Prezentację rezultatów analizy ułatwia wtedy zastosowanie *wartości progowej intensywności całkowitego wpływu* δ , redukującej zbędną informację. Wartość progowa jest tu szczególną postacią funkcji progowej f wykorzystywanej przy badaniu macierzy kognitywnych. Stosowanie takiego progu niejako odchudza mapę całkowitego wpływu, pozostawiając widoczną jedynie informację o wpły-

wach o intensywności nie niższej niż δ . W rezultacie otrzymuje się zredukowaną postać mapy całkowitego wpływu. Opisuje ją skierowany graf całkowitego wpływu $\bar{T}$, dla którego:

$$\bar{t}_{ij} = \begin{cases} t_{ij} & \text{gdy } t_{ij} \geq \delta, \\ 0 & \text{gdy } t_{ij} < \delta \end{cases} \quad (19)$$

Z przedstawionego powyżej opisu wynika, że stosowana zastępczo klasyczna procedura algorytmu DEMATEL jest w rozpatrywanym przypadku łatwiejsza do praktycznej implementacji niż opisana w rozdziale 1. niniejszego opracowania metodyka obliczeń oparta na bezpośredniej analizie macierzy kognitywnych. Znaczące ułatwienie jest tu bowiem wynikiem zastąpienia podejścia rekurencyjnego zwykłymi formułami analitycznymi.

3. Przykładowa ocena wzajemnych relacji dla wybranych czynników determinujących bezpieczeństwo w pożarze

Użyteczność opisanego powyżej algorytmu oceny wzajemnych relacji pomiędzy badanymi czynnikami zostanie zaprezentowana na prostym przykładzie. Załóżmy, że zbiór rozpatrywanych czynników jest ograniczony i składa się jedynie z następujących podstawowych uogólnionych grup:

- czynniki wynikające z zastosowanych rozwiązań konstrukcyjnych i sposobu użytkowania budynku – (B),
- czynniki warunkujące efektywne wykrycie pożaru i skuteczne zaalarmowanie użytkowników budynku – (W),
- czynniki wpływające na skuteczność zwalczania pożaru – (A),
- czynniki determinujące możliwości ewakuacji – (E).

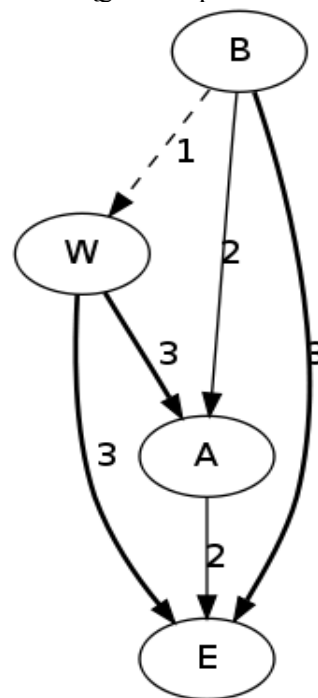
Do oceny intensywności bezpośredniego wpływu porównywanych czynników wykorzystano opinie pojedynczego eksperta. Wybrano przy tym czterostopniową skalę ocen 0-3.

Ekspert ocenił, że:

- czynniki z grupy (B) w jedynie niewielkim stopniu wpływają na czynniki z grupy (W), co oznacza ocenę na poziomie 1, w wyraźnie większym stopniu na czynniki z grupy (A) – zaproponowano ocenę 2, natomiast ich wpływ na czynniki z grupy (E) jest skrajnie wysoki – ocena 3.
- czynniki z grupy (W) wpływają w skrajnie dużym stopniu zarówno na czynniki z grupy (A) jak i czynniki z grupy (E) – obie oceny na poziomie 3.
- czynniki z grupy (A) w znaczący sposób wpływają na czynniki z grupy (E) – zaproponowano ocenę 2.

Na ryc. 1 zaprezentowano graf bezpośredniego wpływu otrzymany na podstawie powyższych ocen.

Do rozróżnienia intensywności relacji wykorzystano w nim łuki narysowane liniami o różnych krojach. Przerwana linia kreskowa odpowiada zatem intensywności relacji bezpośredniego wpływu na poziomie 1, cienka linia ciągła – na poziomie 2, natomiast pogrubiona linia ciągła – na poziomie 3.



Ryc. 1. Graf bezpośredniego wpływu dla porównywanych czynników

Fig. 1. The graph of direct influence specified for compared factors

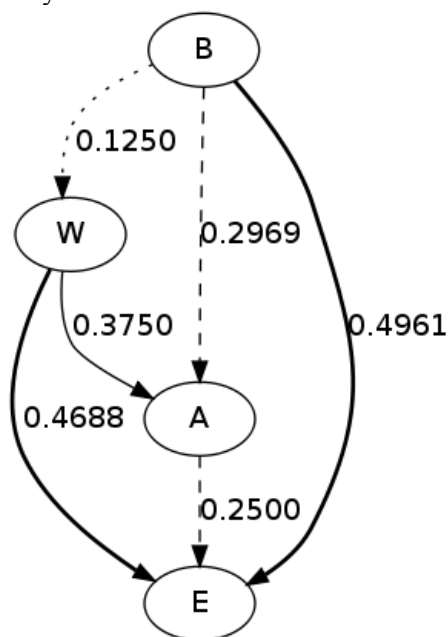
Takiej postaci grafu odpowiada następująca macierz bezpośredniego wpływu:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 \\ 0 & 0 & 3 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (20)$$

Zauważmy, że w powyższym grafie nie wyspecyfikowano żadnych sprzężeń toteż wszystkie relacje są jednokierunkowe. Znormalizowaną postać macierzy A otrzymano na podstawie maksymalnej wierszowej i kolumnowej sumy jej elementów. Wynosi ona 8 i jest osiągana w przypadku ostatniej z kolumn macierzy. Następnie, na podstawie zależności (15), wyznacza się macierz całkowitego wpływu T. Ponieważ przyjęta przez eksperta struktura bezpośredniego wpływu nie zawierała żadnych sprzężeń, macierz ta ma postać identyczną jak macierz całkowitego wpływu netto Δn . Ostatecznie:

$$\Delta n = T = \begin{bmatrix} 0 & 0,1250 & 0,2969 & 0,4961 \\ 0 & 0 & 0,3750 & 0,4688 \\ 0 & 0 & 0 & 0,2500 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (21)$$

Macierzom tym odpowiada skierowany graf, stanowiący jednocześnie graf całkowitego wpływu oraz graf całkowitego wpływu netto. Przedstawiono go na ryc. 2.



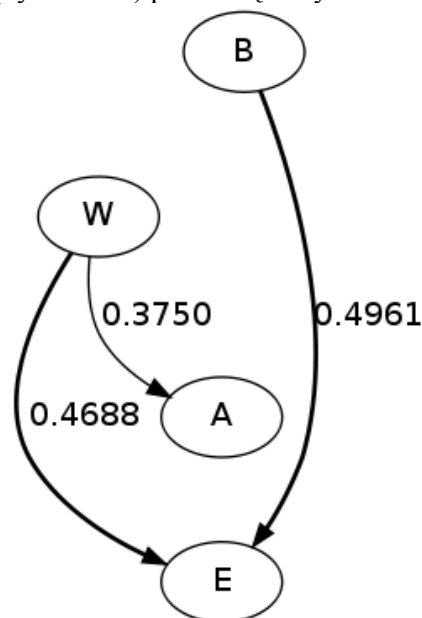
Ryc. 2. Mapa całkowitego wpływu, w rozpatrywanym przykładzie równoważna mapie całkowitego wpływu netto

Fig. 2. The total influence map, in considered example it is the equivalent of total net influence map

Mapa wpływu przedstawiona na ryc. 2 potwierdza, że o bezpieczeństwie użytkowników budynku na wypadek rozgorzenia w nim pożaru najbardziej decydują czynniki grupy (B). Wpływają one bowiem na wszystkie pozostałe czynniki, stanowiąc dla nich przyczynę (a nie skutek). Z drugiej strony jest jasne, że czynniki grupy (E) stanowią oczywisty efekt oddziaływania wszystkich pozostałych czynników. Czynniki grupy (W) stanowią bardziej przyczynę niż skutek, gdyż poza czynnikami z grupy (E) wpływają również na czynniki z grupy (A). Z kolei czynniki należące do grupy (A) stanowią bardziej skutek niż przyczynę, gdyż znajdują się pod wpływem dwóch ewidentnych przyczyn – czynników z grup (B) i (W), a wpływają jedynie, i to stosunkowo słabo, na czynniki z grupy (E). Zwróćmy uwagę, że graf – mapa z ryc. 2 pozwala na bardziej precyzyjną ocenę w stosunku do tej, którą można otrzymać na podstawie grafu zaprezentowanego na ryc. 1. Przykładem na to jest ilościowe wyróżnienie relacji $(B) \rightarrow (E)$ w porównaniu z ocenionymi wstępnie przez eksperta w podobny sposób relacjami $(W) \rightarrow (E)$ i $(W) \rightarrow (A)$. Analogiczny wniosek można wyciągnąć, porównując intensywność relacji $(B) \rightarrow (A)$ oraz $(A) \rightarrow (E)$.

Mapę całkowitego wpływu netto można zmodyfikować w celu wyciągnięcia bardziej czytelnych wniosków. W tym celu używa się progu intensywności całkowitego wpływu (ewentualnie całkowitego

go wpływu netto). Dzięki zastosowaniu takiego progu pozbywa się z grafu łuków odpowiadających relacjom o najmniejszej, podprogowej intensywności. Załóżmy dla przykładu, że wartość progu całkowitego wpływu wynosi $\delta = 0.3$. W rezultacie, wychodząc z mapy przedstawionej na ryc. 2, otrzymuje się zredukowaną mapę całkowitego wpływu (całkowitego wpływu netto) pokazaną na ryc. 3.



Ryc. 3. Zredukowana mapa całkowitego wpływu (całkowitego wpływu netto) po zastosowaniu progu $\delta = 0.3$

Fig. 3. The reduced total (net) influence map after $\delta = 0.3$ threshold application

Mapa ta potwierdza wcześniejsze spostrzeżenie, że czynniki z grupy (W) rzeczywiście stanowią przyczynę znacząco wpływającą zarówno na czynniki z grupy (A), jak i z grupy (E). Z drugiej strony widać, że czynniki z grupy (A) stanowią znaczący efekt oddziaływania czynników z grupy (W), ale nie wpływają odpowiednio wyraźnie na czynniki z grupy (E).

Zaprezentowany powyżej przykład dyskutowany był przez autorów bardziej szczegółowo podczas obrad konferencji w Nikozji [6]. Autorzy pragną jednak zwrócić uwagę zainteresowanego czytelnika na przykład znacznie bardziej rozbudowany, uwzględniający wewnętrzne sprzężenia oraz rozmyty charakter dostępnej informacji. Został on wstępnie pokazany na konferencji IFIP WG 7.5 w ormiańskim Erywaniu [9], a następnie, po odpowiedniej obróbce, opublikowany w „Czasopiśmie Technicznym” [8]. Niezależnie, na konferencji sieci ASRA-Net w Londynie [7], analizowano przykład oparty na analogicznych założeniach i metodyce postępowania, niemniej jednak uwzględniający i kwantyfikujący relacje pomiędzy znacznie większą liczbą czynników, o odpowiednio bardziej złożonej strukturze powiązań.

4. Uwagi końcowe

Wydaje się, że analiza map kognitywnych (CMs), zwanych czasem mapami decyzyjnymi (DMs), i/lub ich rozmytych odpowiedników (FDMs) stanowi interesujące i uniwersalne narzędzie do badań nad budową oraz charakterem potencjalnych łańcuchów przyczynowo-skutkowych użytecznych przy odwzorowywaniu struktury relacji pomiędzy zidentyfikowanymi a priori różnego typu czynnikami determinującymi bezpieczeństwo pożarowe. Dzięki zastąpieniu złożonej i rekurencyjnej klasycznej procedury obliczeniowej znacznie prostszą procedurą alternatywną, opartą na analitycznym algorytmie metodyki DEMATEL, można wydatnie ułatwić proces samej oceny, czyniąc go dostępnym dla szerszego grona zainteresowanych badaczy i praktyków. Warto przy tym zauważyć, że zastosowanie powyższego algorytmu przynosi dodatkowe korzyści. Wiążą się one przede wszystkim z możliwością przeprowadzania analizy wielowymiarowej oraz wykorzystania odpowiednio ważonych opinii grup ekspertów.

Rysunki zamieszczone w niniejszej pracy wygenerowano przy użyciu środowiska *Graphviz* stanowiącego wolne oprogramowanie FLOSS, dostępne w sieci Internet (<http://www.graphviz.org>).

Powyższą pracę przygotowano dzięki finansowemu wsparciu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, w ramach projektu badawczego N N506 243938.

Literatura

1. Axelrod R. *Structure of decision, cognitive maps of political elite*. Princeton University Press, London, 1976.
2. Chen W.H., Yu R., Tzeng G.H., *Comparison between DEMATEL method and fuzzy decision maps: a sensitive analysis approach*. Proceedings of the International Symposium on Management Engineering, Waseda University, Kitakyushu, Japan, 2008.
3. Dytczak M., *Wybrane metody rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych w budownictwie*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej, Opole, 2010.
4. Gabus A., Fontela E., *World problems an invitation to further thought within the framework of DEMATEL*. Battelle Geneva Research Centre, Geneva, Switzerland, 1972.
5. Ginda G., Maślak M., *Ekspercka hierarchia atrybutów w ocenie bezpieczeństwa pożarowego użytkowników budynków*, „Czasopismo Techniczne”, z. 13-B/2006, 59-77.
6. Ginda G., Maślak M., *Application of FDM-based approach for assessment of influence of fire safety factors*, Proceedings of the 1st International Conference on Safety and Crisis Man-

agement in the Construction, Tourism and SMEs Sectors (CoSaCM), Nicosia, Cyprus, June 24-28, 2011, BrownWalker Press, Boca Raton, Florida, USA, 2012, 570-579,

7. Ginda G., Maślak M., *Feedback-aware role identification for building fire safety factors*, Proceedings of 6th International ASRANet Conference *Integrating Structural Analysis, Risk & Reliability*, London – Croydon, Great Britain, July 2-4, 2012, paper 64,
8. Ginda G., Maślak M., *Ekspercka analiza relacji pomiędzy różnorodnymi ryzykami w kontekście wymagań zrównoważonego budownictwa*, „Czasopismo Techniczne”, z. 4-B/2012,
9. Ginda G., Maślak M., *Multi-dimensional risk interdependence analysis for buildings and building users*, w: Proceedings of the sixteenth working conference of the International Federation of Information Processing (IFIP), Working Group 7.5 on Reliability and Optimization of Structural Systems, Yerevan, Armenia, June 24-27, 2012, Der Kiureghian A., Hajian A. (Eds.), American University of Armenia Press, Yerevan, Armenia, 2012, 119-126,
10. Kosko B., *Fuzzy cognitive maps*, ‘International Journal of Man-Machine Studies’, vol. 24, 1986, 65-75,
11. Tzeng G.-H., Chen W.-H., Yu R., Shih M.-L., *Fuzzy decision maps: a generalization of the DEMATEL methods*, ‘Soft Computing’, vol. 14, 2010, 1141-1150.

dr inż. Grzegorz Ginda – jest inżynierem budownictwa i absolwentem Politechniki Opolskiej. W 1999 r. uzyskał stopień doktora nauk technicznych. Obecnie pracuje na stanowisku adiunkta w Akademii Techniczno-Humanistycznej w Białymostku. Interesuje się zagadnieniami analizy eksperckiej, w tym w szczególności metodami oceny bezpieczeństwa pożarowego budynków i związanym z nimi wielokryterialnym wspomaganie decyzji.

dr hab. inż. Mariusz Maślak, prof. PK – jest profesorem w Katedrze Konstrukcji Metalowych na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej. W pracy naukowej zajmuje się doskonaleniem metod projektowania i oceny stanu technicznego różnego typu konstrukcji stalowych oraz analizą ich niezawodności. W szczególności interesuje go modelowanie odpowiedzi ustrojów nośnych konstrukcji budowlanych na ekspozycję ogniową, a także specyfikacja i kalibracja miar wykorzystywanych do oceny bezpieczeństwa w pożarze oraz badanie relacji między nimi. Jest członkiem IAFSS (*International Association for Fire Safety Science*).

st. kpt. dr inż. **Zdzisław SALAMONOWICZ**^{1,2}

st. kpt mgr inż. **Małgorzata MAJDER-ŁOPATKA**¹

EMERGENCY SCENARIOS DURING ACCIDENTS INVOLVING LPG. BLEVE EXPLOSION MECHANISM

Scenariusze awaryjne podczas zdarzeń z LPG. Mechanizm wybuchu BLEVE

Streszczenie

W artykule przedstawiono możliwe scenariusze awaryjne podczas zdarzeń z LPG. Należy tu wymienić zjawiska tj.: emisja gazu bez zapłonu z rozprzestrzenianiem w powietrzu, pożar chmury palnej mieszaniny – Flash Fire – po opóźnionym zapłonie, wybuch chmury par w przestrzeni ograniczonej – Vapour Cloud Explosion – i nieograniczonej Unconfined VCE, pożar strumieniowy – Jet Fire, wybuch rozprężających się par wrzącej cieczy – Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion, pożar kulisty – Fire Ball oraz odłamkowanie. Następnie opisano kilka wybranych awarii z udziałem LPG w Polsce i w świecie oraz zestawiono w tabeli zawierającej opis, przyczyny, skutki i zauważone zjawiska podczas przedmiotowych awarii. W artykule omówiono teorie wybuchu fizycznego BLEVE szczegółowo opisując mechanizm prowadzący do wybuchu i jego efektów fizycznych. W podsumowaniu zawarto wskazówki dla Kierującego Działaniem Ratowniczym podczas zdarzeń z LPG oraz oznaki zbliżającego się wybuchu BLEVE.

Summary

This article presents potential emergency scenarios during accidents involving Liquefied Petroleum Gas (LPG). In this context it is appropriate to mention incidents such as: gas emissions without ignition, which disperse in the atmosphere, fire of a combustible cloud after delayed ignition, Flash Fire (FF), Vapour Cloud Explosion (VCE) within a confined space, unconfined VCE, Jet Fire (JF), Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion (BLEVE), Fireball (FB) and fragmentation. Furthermore, the article describes a number of industrial accidents in Poland and across the world, involving LPG. These are summarised in a table describing the cause, effect and phenomena observed during such incidents. The article discusses the theories of a BLEVE explosion, describing the mechanism which leads to an explosion and its physical outcome. The summary contains guidelines for the Rescue Operations Commander, when dealing with LPG incidents and provides recognition signs of an approaching BLEVE explosion.

Słowa kluczowe: LPG, scenariusze awaryjne, wybuch BLEVE;

Keywords: LPG, emergency scenarios, BLEVE explosion;

Introduction

First information about untypical phenomenon occurring during incidents involving liquid gases dates back to the 1940's. At the end of 1950's the concept of Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion (BLEVE) was introduced. Since then several studies were conducted on the phenomenon, its course, structure and prevention methods.

Rescue Operations Commanders may face hazards, which are strongly linked to physical and chemical properties and storage parameters of a propane-butane mixture. Failures during transportation, distribution and storage of LPG poses a serious threat to both humans and environment. Road cis-

terns containing liquefied hydrocarbon gases present the main hazard, since they run a risk of collision and accidents, resulting in the release of dangerous gasses, fire or in the most unfavourable conditions – explosion. The cause of LPG release from a pressurised container can be a combination of fire and mechanical damage e.g. effect of an impact, corrosion etc.

1. LPG properties

Main components of liquefied petroleum gas (LPG) are C3 propane, C4 butane and non-saturated hydrocarbons. Propane and butane belong to a group of light saturated hydrocarbons. Small quantities of gas are obtained from oil drilling. The largest LPG gas volumes are obtained during the treatment of crude oil. The main suppliers of liquefied petroleum gas are refineries. Gas is produced during a process of cracking and hydrogenation of crude

¹ Szkoła Główna Służby Pożarniczej, ul. Słowackiego 52/54, 01-629 Warszawa, Polska; współautorzy wnieśli równy wkład w powstanie artykułu (po 50%)

² zsalamonowicz@sgsp.edu.pl

oil. The amount of gas obtained from the complex processes cannot be estimated with precision. Gas capacities can vary with type of raw material and method of treatment, which is mainly oriented to petrol and diesel oil production.

Liquefied petroleum gas vapour is colourless, 1.9 times heavier than air, and odourless, which makes it difficult to detect. Propane and mixture of propane and butane are odorized using an agent with a detection threshold lower than the lower explosion limit (LEL). The liquefied petroleum gas is non-toxic. In high concentrations and at longer exposure time it can act as a narcotic and suffocate, as well as cause fainting due to displacement of oxygen from the area where the emission occurs. Dangerous combustion products in the air can contain: carbon dioxide, nitrogen oxides, and non-combusted hydrocarbons. In the initial phase, LPG dispersion from a tank or pipeline leak occurs close to the ground. All obstacles such as technological infrastructure, buildings or vegetation cause an increasing turbulence causing LPG to mix with air and in case of ignition provide a path for flame acceleration. Such processes decrease resultant air density, causing the emergence of vertical cloud propagation. The LPG emission rate from a leakage depends mainly on the pressure and breach opening. Fig. 1 presents the relationship between pressure and temperature of propane, butane and pressure of a 50-50 mixture. This relationship is the result of the Peng-Robinson Equation of State simulation prepared in MATLAB.

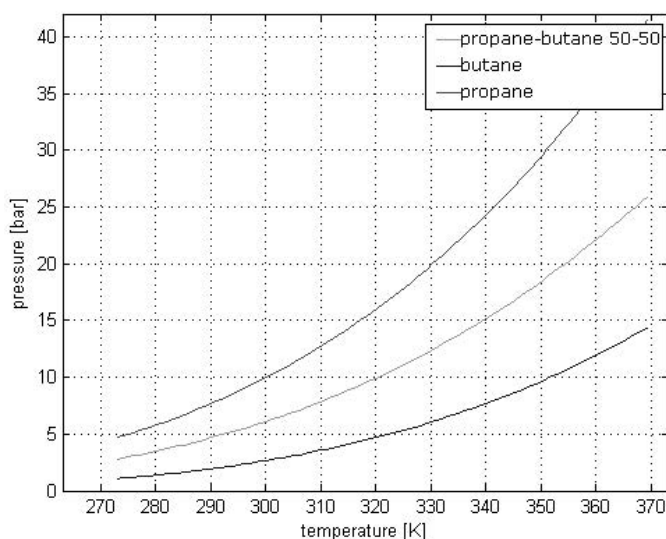


Fig. 1. Vapour pressure of propane, butane and 50-50 propane-butane mixture

[Peng-Robinson Equation of State simulation]

Ryc. 1. Ciśnienie w zbiorniku z propanem, butanem i mieszanina 50-50 propan-butan

[symulacja Równaniem Stanu Penga-Robinsona]

2. Failures and accidents with LPG

There have been many tragic failures and accidents involving LPG in Poland and across the world.

On many occasions such incidents culminated in significant material losses and consumed many lives. Ensuing paragraphs describe and briefly analysed a range of selected accidents, which attracted much attention in Poland and across the world.

2.1. Mexico City, Mexico

On 19th of November 1984 the greatest and the most tragic gas explosion in the world took place in Mexico. Mexico City with 16 million of inhabitants consumes considerable amounts of gas. There are several large gas warehouses around the city. One of them in St. Juanico – Ixhuatpec, was located in the suburbs of the Mexico City. It was a large plant, where a vast amount of gas stored. The storage area consisted of four spherical LPG tanks with a capacity of 1600 m³ each, two spherical tanks of 2400 m³ each, and 48 cylindrical tanks of different diameters stored horizontally. At the moment of explosion the total amount of LPG in the refinery was within the range of 11000 and 12000 m³. As a consequence of the explosion about 5000 people were killed, and 7000 were injured.

On the day, early in the morning, a large amount of LPG leaked, most probably from a storage tank or pipeline. The gas, which is heavier than air propagated in the valley forming a 1 m high wall. At the moment of ignition the cloud reached a height of 2 meters. At 5:45 ignition of vapours occurred. Propagating gas penetrated houses and these were totally destroyed by internal explosions after ignition of the vapour cloud. A minute after the explosion, there was a second violent explosion coupled with series of fireballs. A large amount of heat associated with the explosions produced a series of successive BLEVE explosions in remaining tanks.

The explosions completely destroyed four smaller spherical tanks, while in the larger ones the pillars were buckled. Only 4 out of 48 tanks remained at their original locations.

Twelve of them were thrown at a distance of 100 m, and one even as far as 1200 m. The diameter of the fireball was 200-300 m and its duration was approx. 20 seconds. This was accompanied by high thermal radiation, violent blast and fragmentation, as well as burning gas droplets, which travelled a large distance [4].

2.2. Feyzin, France

On 4th of January 1966, at Feyzin Refinery in France, a leakage occurred from the storage tank containing LPG. The gas ignited and the fire around the tank caused a BLEVE explosion. Consequently 18 people died and 81 were injured.

The LPG storage system in the Feyzin refinery consisted of eight spherical tanks, four with propane of 1200 m³, four with butane of 2000 m³, and two pressure tanks for LPG storage. The tanks were

located at the distance of 450 m from refinery and 300 m from the houses of neighbouring village. The shortest distance between the tanks and road was 42 m. The distances between the tanks ranged between 11,3 to 17,2 m.

Periodically, gas samples were taken for analysis. An operator's action, contrary to procedures in the operation manual, contributed to the freezing of the valve and its blockage in an open position, resulting in the release of a large amount of propane. Most probably, a passing car was the source of ignition. The flame travelled back to the source of the gas leak.

The storage tank, which was the source of leakage, was not cooled down. At 8:40 the tank broke up into five large pieces. A large fireball was formed, which killed and injured 100 people. Five minutes later a second tank exploded, and the third was completely emptied by damaged pipelines. Three remaining tanks exploded without fragmentation. Feyzin village, at a distance of 400 m from the place of explosion, suffered extensive losses. The fire caused the death of 18 people and 81 suffered injuries. Five spherical tanks were destroyed [2].

2.3. Naftobaza, Poland

On 15th of March 2007 about 4:30 pm, a State Fire Service station in Hajnowka received information about a gas fire of rail cistern at NO 15 Fuel Depot, NAFTOBAZA" in Narewka.

A bottom valve split in one of the rail cisterns containing about 40 tons of liquefied propane-butane gas. Gas leakage and vaporization occurred forming a gas cloud, which was propagated in the direction of the wind. The gas ignited, most probably as a result of un-extinguished fire. Based on recordings from the monitoring cameras it was determined that a tank ruptured at 4:22 pm, and at 4:26 pm a flash fire occurred, which later converted into a jet fire. Undergrowth in the forest located near the plant also ignited. Fire brigades concentrated their efforts on extinguishing the fire in the tank, to prevent its overheating. The undergrowth fire was also extinguished and the remaining rail cisterns, close to the fire were towed away to a safe distance. After the suppression of the fire and primary cooling down of the cistern, firefighters secured the leaking valve to prevent a further escape of gas. Direct fire-fighting operations lasted about 2 hours, in which 11 fire-fighting vehicles with crew took part (including a plant rescue team from NAFTOBAZA).

During a fire suppression test one of the employees of the plant sustained burn injuries. He was evacuated by fellow workers to the medical centre in Hajnowka. The tank insulation and 1 hectare of forest undergrowth was burnt [8].

2.4. Warsaw, Poland

During 1997 there was an explosion of liquefied petroleum gas at the „Autogas” filling station in Warsaw. The accident was caused by a drunken driver who collided with one of 4 storage tanks containing LPG. A gas leak and fire occurred. The explosion and rupture of the tank was caused by a fire. Storage tank fragments were scattered at a distance of several meters, causing the rupture of successive tanks. A fire embraced two further tanks, each with a capacity of 3 m³ of gas, a building containing 11 kg cylinders, two containers belonging to a meat warehouse, car wash, and two cars parked nearby.

An officer who coordinated the operation conducted a reconnaissance, which revealed that the fire embraced 3 tanks located in the neighbourhood of the destroyed one. Practically all were located within an area of 1000 m². Additional forces and resources were declined.

A further explosion occurred and the fire at the filling station intensified. It was probably caused by a leak from a broken installation. Rescue operations were conducted a few meters from the tank.

During the accident two people were killed, and dozens were injured [7].

3. Hazards during emergency incidents involving LPG

Rescue operations during incidents involving LPG storage tanks are associated with the existence of many hazards, depending on how the situation develops at the scene of the incident. Depending on the shape, magnitude and type of failure, the Rescue Operations Commander should consider the following during operations:

- Uncontrolled gas escape into the atmosphere, the formation of flammable gas-air mixture and possibility of its ignition;
 - Rapidly moving flame caused by ignition of a mixture of air and flammable substance (Flash Fire (FF));
 - Vapour explosion in a confined or unconfined space (Vapour Cloud Explosion – (VCE) and Unconfined VCE (UVCE));
 - Jet Fire (JF);
 - Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion (BLEVE);
 - Fire Ball – (FB);
- and secondary phenomena associated with fires and explosions, such as:
- Heat radiation;
 - Overpressure wave;
 - Fragmentation.

Propagation of gas in the air depends on the physical properties of the substance, meteorological conditions and topography of the terrain. The main meteorological factors influencing propagation

Table. 1.

Comparison of causes and effects of selected failures and accidents [2]

Tabela. 1.

Zestawienie przyczyn i skutków wybranych awarii i katastrof [2]

Lp	Location	Flammable material	Cause	Failure effect	Phenomena associated with explosion
1.	San Juan Ixhuatepec, Mexico	propane-butane	Leakage of large amount of LPG.	650 died, 6400 were killed, complete damage within 400 m. Main cause of such high number of deaths was: thermal radiation generated by firewall, overpressure and fragmentation.	BLEVE
2.	Nijmegen, Holland	propane-butane	Leakage during refuelling.	Fireball of 40 m diameter at height of 25 m, radiant power of 180 kW/m ² . Cause: radiation and overpressure wave.	BLEVE FIREBALL
3.	Feyzin, France	propane-butane	Disregard of operation manual.	18 people dead, 81 injured, extensive damages within 400 m. Cause: heat radiation from generated cloud, fragmentation.	BLEVE
4.	Albert City, USA	propane-butane	Driver carelessness, who run into the ground pipelines from the tank to two vaporizers.	2 people died, 7 were injured, a few buildings destroyed. Cause: overpressure wave, radiation due to BLEVE.	UVCE BLEVE
5.	Mill Woods Area, Canada	propane-butane	Excessive pressure increase in pipeline, and ignition by a passing vehicle	Evacuation of 19 000 people. Cause: heat radiation from the ignited gas cloud.	UVCE
6.	Lynchburg, Virginia, USA	propane	Gas leakage after disturbance to the tank.	2 people died, 5 injured, fireball diameter of 120 m. Cause: burns due to gas cloud ignition.	FIREBALL
7.	BP Oil West Glamorgan	propane – butane	Damage of a recirculation pump seal.	Area around the tanks was seriously damaged.	JET FIRE
8.	Belt Montana	propane	Train derailment and cascading down the embankment.	2 people died, 11 injured, 40 houses destroyed, 19 cars destroyed. Cause: heat radiation.	BLEVE FIREBALL
9.	Donnellson Iowa,	propane	Pipeline unsealing, unknown cause.	2 people died, 3 injured. Cause: heat radiation.	FLASH FIRE
10.	Crescent City	propane	Train derailment, puncture of cistern and gas leakage.	No victims, dozens people injured, fireball diameter of 270 m. Cause: fragmentation, heat radiation	BLEVE FIREBALL
11.	Kingman, Arizona	propane	Propane leakage caused by a leaking tank.	Fire destroyed everything within 120 m, pieces scattered within 360 m, 12 people died. Cause: burn due to explosion	BLEVE FIREBALL
12.	Port Hudson, Missouri, USA	propane	Pipeline breakage, unknown cause.	Explosion of 50 000 TNT, explosion in form of detonation. Cause: high pressure increase and radiation.	FF
13.	Oneonta, New York	propane	Train derailment.	One part of 12 tons thrown out in the air at the distance of 400 m, 50 people injured (mainly firemen). Cause: unknown.	BLEVE FIREBALL
14.	Enschede, Holland	propane	Container toppled during its relocation.	Destroyed building structure and part of the building facade, no accident victims.	FF
15.	Naftobaza, Poland	propane – butane	Unsealing of the bottom valve, ignited by un-extinguished fire.	1 person injured, storage tank installation and forest undergrowth burnt. Cause: burn due to radiation.	PF, JF
16.	Uroczysko – Cygan, Poland	propane – butane	During reloading of gas from cisterns to storage tanks.	Window glass fragments flying to a distance of 3 km. Cause: overpressure wave due to BLEVE.	BLEVE
17.	Prażmów, Poland	propane – butane	Unknown.	Slight.	JF
18.	Station „Autogaz” Warsaw, Poland	propane – butane	Out of control gas release, disregard of fire safety regulations and technical conditions.	2 people died, dozens injured, extensive damages around the filling station. Cause: heat radiation and overpressure wave.	BLEVE, FIREBALL

of the substance in the air is wind velocity, time of the day, temperature and temperature gradient with height. Topographical factors include shape of the terrain, coverage, land development and other obstacles. The physical property, which significantly impacts on gas behaviour in the air is density. Gases and vapours with density higher than the density of air have a natural tendency to settle at a faster rate where the density difference between the two is greater. Propane and butane is 1.5 and 2 times heavier than the air and will gravitate downwards, and at the same time mix with air. Heavy gases or vapours will deposit themselves in hollows and propagate close to the ground. After a release of LPG, all ditches, culverts and other spaces at ground level or below, will be quickly filled with the heavier LPG substance. During an LPG storage tank failure, without a fire in the vicinity, the liquefied substance will evaporate or cause a gas leak. A propane-butane mixture is non-toxic, thus it poses no threat to people and environment. The threat is fire or explosion. The most dangerous circumstances, especially for firefighters, are situations where a cloud is formed by the initial mixture of gas and air, in which the concentration of a flammable mixture will be between low and high explosion limit. Even the smallest ignition agent can initiate the fire or explosion of such a flammable cloud. A retarded ignition of the flammable cloud more often will cause burning back to the source of emission. Such a phenomenon is called Flash Fire, which means a fire of the cloud made up from a mixture of flammable substance and air.

The explosion of a gas cloud rarely happens during accidents with LPG. In order for the explosion to occur in an unconfined space or transition made from a cloud fire of the flammable mixture into an explosion a number of conditions should be present. The appropriate shape, minimum mass (so called critical mass), the presence of obstacles, such as buildings causing enhanced combustion velocity, as well as large turbulence inside the cloud are necessary. The wave created as a result of the explosion in the unconfined space is characterized by relatively slow pressure rise to a maximum value and relatively long time lag of overpressure (a few tenths of second). The explosion of gas or vapour cloud in an unconfined space gives overpressure of about 1 bar [2] and in a confined space overpressure is up to 10 bar (fig. 2.).

In the event of an explosion or fire of a cloud of gas-air mixture, where there is a continuous release of flammable substances e.g. caused by a broken LPG cistern valve, the flames will travel back to the emission source thus causing a jet fire (fig. 3). A jet fire can also occur during initial ignition of flammable gas leaking through an opening in the tank or pipeline. The average radiation intensity during LPG jet fires is about 350 kW/m², while the temperature

of the flame is 1200°C [1]. Heat radiation from the flame causes high heat loads on the structural elements and equipment, reducing their strength, thus exposing them to destruction.



Fig. 2. Vapour explosion in a confined space – VCE [11]
Ryc. 2. Wybuch par w przestrzeni ograniczonej – VCE [11]



Fig. 3. Jet Fire [6]
Ryc. 3. Pożar strumieniowy – Jet Fire [6]

Continuous and long term heating of the tank's casing results in an internal increase in temperature and rapid pressure growth. It causes weakening of the storage tank structure, plasticisation of steel, and consequential rupture of the tank with a catastrophic leakage into the environment. Such a phenomenon is called Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion (BLEVE). The term was defined and introduced by the National Fire Protection Association (NFPA) in USA. It stands for the explosion of the boiling liquids expanding vapours. A BLEVE explosion is the sudden physical process related to a rapid phase in the transition of the liquid. At once, an enormous amount of substance changes from a liquid state to the gas state, significantly and rapidly increasing its volume.

Fire located under a storage tank, contributes to an increase in temperature of the tank's wall. Heat accumulation in the tank is slow and mainly depends on the tank's volume. Large volumes cause the temperature and pressure increase inside the tank to develop slowly. It gives time for appropriate action to prevent the approaching danger of BLEVE. After

**Fig. 4.** BLEVE explosion [9]**Ryc. 4.** Wybuch BLEVE [9]

the safety valve pressure limit is exceeded the valve opens and gas is released into the atmosphere. This in turn results in the lowering of the liquid level inside the tank. If the storage tank is surrounded by burning gas the temperature increase to the wall of the container is significantly faster, as well as the increase in temperature and pressure inside the tank, which accelerates the BLEVE occurrence. Figure 4 shows a BLEVE explosion.

When the temperature and pressure increases inside the tank there is an accompanying increase to the internal energy of the system. After exceeding strength parameters of the tank, there is a release of the accumulated energy in the form of physical explosion and creation as well as dispersion of fragments. In the case of a physical explosion we are dealing with the phenomena of rapid compensation of pressure difference between the tank interior and its external environment. Additionally, during a BLEVE incident the transition from liquid state to gas state is made, accompanied by an increase in the volume occupied by the stored substance. It produces overpressure, which propagates in the atmosphere with destructive potential.

Part of the internal energy is transferred to the tank's walls, which causes their disintegration and fragmentation into different shapes and sizes. Con-

sequently, fragments are scattered around the tank area at high speed. In open spaces the dispersion zone can be up to a 1 km diameter around the storage tank. The number of fragments generated during a BLEVE explosion, as well as during other explosions is unpredictable.

In the case of a gas cloud ignition, a BLEVE explosion is accompanied by a *fireball*. A fireball can occur when there is a release of flammable substances. Characteristics of a fireball are heat flux versus distance from the centre of the fire and duration of the phenomenon. Figure 5 illustrates a fireball.

**Fig. 5.** Fireball [10]**Ryc. 5.** Pożar kulisty – fireball [10]

4. BLEVE explosion mechanism

The explosion defined as BLEVE in the literature, is a sudden physical process related to the tank disintegration and a rapid transition in the state of the substance present in the tank. A wave of overpressure is produced, which propagates in the atmosphere, and due to its power can cause significant damage. However, it should be noted that the disintegration of the tank is not always the result of a high power explosion. It will occur only in specific conditions exist. Such conditions mainly refer to the state of the substance present in the tank at the moment of the tank's break-up.

If the internal pressure of a container is increased as a result of heating, then the boiling temperature of the contents will increase correspondingly. Therefore, the liquid in the tank can have a temperature significantly higher the one at which it would boil in the environment. Temperature, which is higher than the boiling temperature at normal conditions, is defined in literature as superheat limit temperature. For the majority of substances used in industry, it is (p_{atm}) at the atmospheric pressure and takes the value $T_{lim} = 0,89 - 0,90$ of the critical temperature T_c [3]. In standard applications substances have a temperature of T_l and pressure of p_l . If there is an impact of heat flux from the fire surrounding the tank, the temperature of the substance present inside the tank will increase. The temperature increase will be accompanied by a pressure increase, according to the saturated vapours pressure curve vs. temperature. The curve indicating phases of the liquid state is moving upward, through points 2, 3, 4 (fig. 6). Despite the fact that each pressurised container used for storage or transportation of liquefied gases is designed to withstand high pressures, much higher than operational ones, it is impossible to predict the pressure, which will cause the break-up of a container during accidents. It is worth observing that the impact of a fire weakens the shell of the container. The cause of failure can also have an impact on strength reduction, e.g. creation of a mechanical damage (indentation, scratches, etc.). Thus, there is a real possibility of a tank break-up at each moment of the pressure increase process.

Let us consider a situation, where a container bursts at the moment when the liquid has not reached the superheat temperature limit. For such a situation, with reference to the curve, the liquid state will be determined by any point along the curve between points 1 and 3. The fracture of the tank's walls will cause a rapid pressure drop up to p_{atm} , at which the boiling temperature for liquefied gases is significantly lower than the ambient temperature. The released liquid will partly evaporate and rapidly create a boiling pool, and if ignition occurs, its vapours will burn. The rate of state transition will depend on the heat transfer from the environment, and it will not be

high enough to create a destructive pressure wave. From the curve, it can be seen when the liquid temperature will exceed superheat limit temperature. It will be any point located at the curve between point 3 and 5. After a fracture of the tank's shell the pressure will decrease down to the level of atmospheric pressure. At some point of the pressure decrease liquid temperature will equal superheat limit temperature, corresponding to instantaneous pressure. A further pressure decrease will cause the liquid temperature to exceed superheat limit temperature and the substance will rapidly change its state from that of liquid to gas. This is attributable to the fact that the evaporation heat needed for the transition was accumulated in the liquid. The transition from liquid state to gas will cause a significant increase in volume taken up by the substance. After exceeding critical parameters a change from liquid state to one defined as 'overcritical liquid' will occur. A fracture of the tank, after exceeding critical parameters will result in an explosion of the 'overcritical liquid' [1, 2].

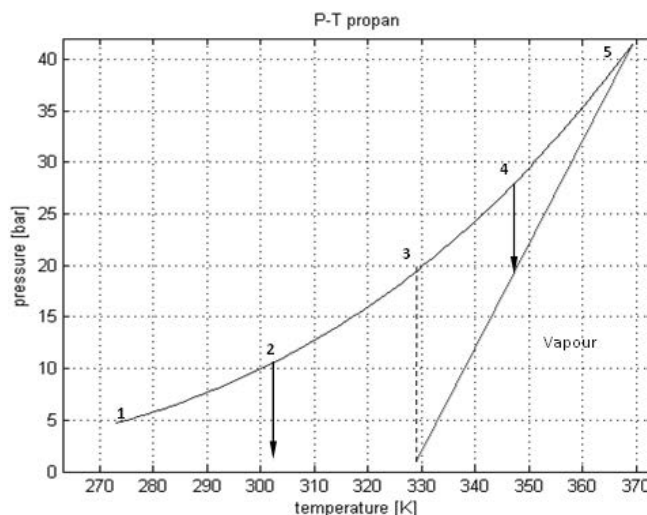


Fig. 6. Pressure vs. temperature of liquefied propane in a container – heating stages

Ryc. 6. Ciśnienie vs. temperatura skroplonego propanu w zbiorniku – etapy ogrzewania

5. Summary

From the point of view of safety during firefighting and rescue operations, the least hazardous situation occurs, when a leakage and gas ignition occurs without the heating of the container's shell. The most unfavourable situation is a leakage without ignition and leakage with ignition accompanied by heating of the container shell by flames.

In order to eliminate hazards during out-of-control LPG gas leaks from pressurised tanks, officers co-ordinating operations should take into account many influencing factors associated with the release of propane-butane gas. The first, which may give rise to further action, is to identify whether ignition has occurred. If ignition has occurred, it should be determined how the tank is affected by the flame.

If the flame is vertical and does not surround the tank, different steps should be taken compared with the situation where the tank is surrounded and heated by flames.

During situations where flames do not surround the container, pouring water on the shell of the container should be avoided. Otherwise, the expanding gas and liquid state evaporation will cause frosting and cooling of the container down to temperatures below zero. Sprinkling the container with water from fire appliances, hydrants and watercourses, which have temperature higher than 0°C, will result in heating of the container shell and supply of higher temperatures required for the evaporation process. Avoiding such action is very beneficial because the evaporation process of the liquid involves absorbing heat from the environment. Sprinkling of the tank with water results in increased evaporation, increased amount of leaking gas, and increased flame height. Additionally, such action will cause a slower pressure decrease inside the tank. In case of a real fire it will be difficult to determine the temperature of liquid and gas state, as well as obtain precise pressure readings inside the container because of e.g. broken manometer. The feature of a jet fire is the shape of the flame, which indicates that in an out-of-control leakage of LPG, gas temperature at the liquid state has reached a limit value and stabilized, while the pressure in the container has dropped to the lower value. When the flame is high, vertical, without any deflections, it means that liquid state temperature is high and pressure inside the tank is high. When the flame is shrinking, and is no longer stable, it means that the liquid state temperature and pressure in the tank will soon reach the lowest possible value. Such a flame display indicates the time for action to seal the leak and transfer remaining gas into a replacement container.

Where flames surround the container, the shell should be totally cooled with water, since the temperature of flames can reach up to 1200°C, which can result in an explosion of the container. Flames engulfing a container heat it thus posing a danger to life and health of firefighters, as well as people in the surrounding area. In such a situation, cooling of the container will prevent a rapid liquid and gas state temperature increase, minimise danger for humans, reduce the risk of rising temperature to the container shell and culminate in a quicker drop in pressure.

Estimation of the time lag from the start of a gas leak until the container is empty is very difficult. During a jet fire it is not possible to check the diameter of the outflow, which is one of the parameters necessary to determine the predicted duration of a fire. Apart from the outflow diameter, a knowledge of the evaporating liquid volume is also required, to correctly estimate the duration of discharge. Dynamically changing fire-thermal conditions and

heat transfer to the container structure preclude precise calculation of discharge duration or time lag to a BLEVE explosion.

Emergency Rescue Operation Commanders should establish a hazard zone during accidents involving LPG, where there is a high probability of an explosion, which is not less than 250 m distance from 11 kg containers, 350 m – for road cisterns and LPG storage tanks at filling stations, and even 1000 m for rail cisterns [5].

If the temperature of the liquid in an LPG container exceeds approximately 60°C, there is a high probability of a BLEVE explosion. Additional signs indicating an approaching BLEVE explosion are:

- Safety valve indications of a pressure increase inside the tank. A tank shell should be intensively cooled down. In case of water vapour occurrence and/or dry spots on the container's shell surface, the cooling intensity should be increased.
- Frequency level of the tone associated with a gas escape depends on the velocity of the gas leak. A higher frequency equates to higher gas velocity and higher pressure inside the container.
- The height of flame depends on the velocity of a gas leakage. A higher flame means higher pressure inside the container.
- Buzzing noises and other disturbing sounds indicate increasing steel loads and strength reduction.
- Change to the shell colour, visible fragments of metal coating, peeling paint indicate high temperature of the container shell.
- Deformations, swelling, blisters indicate rapid pressure increase and melting steel.

Literature

1. Abbasi T., Abbasi S.A., *The boiling liquid expanding vapour explosion (BLEVE): Mechanism, consequence assessment, management*, 'Journal of Hazardous Materials', 2007, 141, 489-519.
2. CCPS, *Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapour Cloud Explosions, Flash Fires and BLEVE's*, Center for Chemical Process Safety, American Institute of Chemical Engineers, New York, 1994.
3. Perry R.H., Green D.W., *Perry's chemical engineers handbook 7th ed.*, McGraw Hill, 1997.
4. Pietersen C.M., *Analysis of the LPG disaster in Mexico City*, 'Journal of Hazardous Materials', Vol. 20, 1988, 85-108.
5. Salamonowicz Z., Jarosz W., *Splinters forming during LPG tank explosion*, 'Safety and Fire Technique', 3 (2012), 53-58.
6. Analysis from the Provincial State Fire Service in Krakow.
7. Analysis from the Provincial State Fire Service in Warsaw.

8. Analysis from the Provincial State Fire Service in Białystok.
9. Projekt celowy, 148104/C-T00/96, Analiza ryzyka podczas transportu, magazynowania i dystrybucji płynnych paliw gazowych (LPG), Komitet Badań Naukowych, Łódź 1998.
10. http://davepics.com/Album/2006/08-27.Burning-Man/2BLEVE.herby_fr.jpg
11. [http://www.bakerrisk.com/pdf/flyers/VCE Research Flyer.pdf](http://www.bakerrisk.com/pdf/flyers/VCE%20Research%20Flyer.pdf)

st. kpt. mgr inż. Małgorzata Majder-Lopatka – absolwentka Wydziału Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego Szkoły Głównej Służby Pożarniczej oraz Wydziału Inżynierii, Chemii i Fizyki Technicznej Wojskowej Akademii Technicznej. Obecnie kierownik Pracowni Pomiarów Parametrów Środowiska w SGSP.

st. kpt. dr inż. Zdzisław Salamonowicz ukończył Szkołę Główną Służby Pożarniczej w roku 2003 i uzyskał tytuł magistra inżyniera pożarnictwa w zakresie inżynierii bezpieczeństwa pożarowego. W 2005 roku ukończył studia na Wydziale Chemii Politechniki Warszawskiej z dyplomem inżyniera na kierunku technologia chemiczna, specjalność – technologia materiałów wysokoenergetycznych i bezpieczeństwo procesów chemicznych. W roku 2011, na Wydziale Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska Politechniki Łódzkiej, otrzymał stopień doktora nauk technicznych w zakresie inżynierii chemicznej, specjalność – bezpieczeństwo procesowe. Obecnie pełni służbę w Szkole Głównej Służby Pożarniczej jako kierownik Zakładu Ratownictwa Chemicznego i Ekologicznego na Wydziale Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego.

dr inż. **Rafał POROWSKI**^{1,2}
inż. **Piotr LESIAK**¹
mgr inż. **Wojciech RUDY**³
mgr **Martyna STRZYŻEWSKA**¹

ZJAWISKO CIĄGU WSTECZNEGO – BACKDRAFT

The backdraft phenomenon

Streszczenie

Zjawisko ciągu wstecznego (ang. *backdraft*) jest zjawiskiem stosunkowo słabo poznanym i nadal badanym przez wiele ośrodków naukowych na świecie. Aby wystąpił backdraft, pożar musi mieć miejsce w pomieszczeniu słabo wentylowanym i być rozciągnięty w czasie. Zjawisko to zachodzi, gdy w powyższych warunkach pożar zużyje większość tlenu, przygaśnie i w pomieszczeniu zostanie utworzony otwór np. poprzez otwarcie drzwi czy wybite okna. W otworze utworzą się dwa grawitacyjne strumienie o przeciwnych kierunkach ruchu. Pierwszy z nich – górny – to wypływający strumień gorących gazów pożarowych, drugi – dolny – to dopływający strumień świeżego powietrza. Gdy świeże powietrze dotrze do źródła zapłonu (najczęściej jest to początkowe miejsce pożaru), następuje zapłon i spalanie wytworzonej mieszaniny. Gwałtowność i długotrwałość procesu zależy od ilości wytworzonej mieszaniny w granicach palności i może jej towarzyszyć kula ognia. Pierwsza wzmianka o backdraft wraz z próbą wyjaśnienia zjawiska pojawiła się w 1914 r. Backdraft wyjaśniono jako „zapłon dymu lub sadzy”. Do lat 70. praktycznie nie było żadnych badań ukierunkowanych na wyjaśnienie tego zjawiska. Od lat 80. do chwili obecnej obserwowane jest wyraźne zainteresowanie badaniami eksperymentalnymi nad backdraft wraz z próbami określenia warunków granicznych do jego zaistnienia. Niewątpliwie przyczyniły się do tego pożary z backdraft, podczas których niestety zginęli strażacy. Badane są różne materiały palne: ciała stałe, ciecze i gazy. W zależności od badanego materiału minimalne warunki do backdraft zmieniają się od 2,5 do 10% udziału objętościowego paliwa w objętości. W ostatnim 15-leciu poza zainteresowaniem badaniami eksperymentalnymi obserwuje się wyraźny wzrost wykorzystania nowoczesnych narzędzi obliczeniowych do symulacji pożaru i backdraft. Ciągłe doskonałe modele obliczeniowe wraz z coraz szybszymi komputerami są w stanie odtworzyć skutki backdraft na ekranie domowego komputera.

Summary

Backdraft is not a very well known phenomenon and is still undergoing research by many science and research centres across the world. Backdraft takes place in poorly ventilated confinements and develops over an extended timescale. It occurs when the fire in a room has consumed most of the oxygen, partly burned itself out and a void is created within e.g. by opening a door or breaking a glass window. Two gravitational streams are created, each pulling in the opposite direction. The first, at the upper level, will consist of escaping hot gasses from the fire. The second, at lower level, will be incoming fresh air. When fresh air reaches the source of ignition (more often it is the starting point of the fire) the new mixture will ignite and burn. The ferocity and duration of the process depends on volume of the new mixture within the flammable range and it may be accompanied by a fireball. The first mention of backdraft, accompanied by an attempt to explain the phenomenon, appeared in 1914. Backdraft was explained as the “ignition of smoke and soot”. Until the 1970’s there was practically no research undertaken to explain this phenomenon. From the 1980’s until now one can see a clear interest in experimental research of backdraft, accompanied by tests to determine conditional parameters for it to occur. Undoubtedly, backdraft fires contributed to the deaths of fire fighters. Experimental studies were conducted on a range of flammable materials; solids, liquids and gasses. Depending on materials tested, minimal backdraft conditions vary from 2.5% to 10% of unburned fuel concentration by volume. During recent 15 years, apart from experimental research interest, one can detect a significant growth in the use of state of the art tools for backdraft fire simulation. Continuously improved sophisticated modelling programmes, accompanied by faster computers, are capable of reproducing consequences of backdraft on home computers.

Słowa kluczowe: ciąg wsteczny, zagrożenie pożarem, modelowanie pożaru;

Keywords: backdraft, fire hazard, fire modelling;

¹ Zespół Laboratoriów Procesów Spalania i Wybuchowości, Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpowodziowej – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Nadwiślańska 213, 05-420 Józefów k. Otwocka, Polska; każdy ze współautorów wniósł równy wkład w powstanie artykułu (po 25%);

² rporowski@cnbop.pl

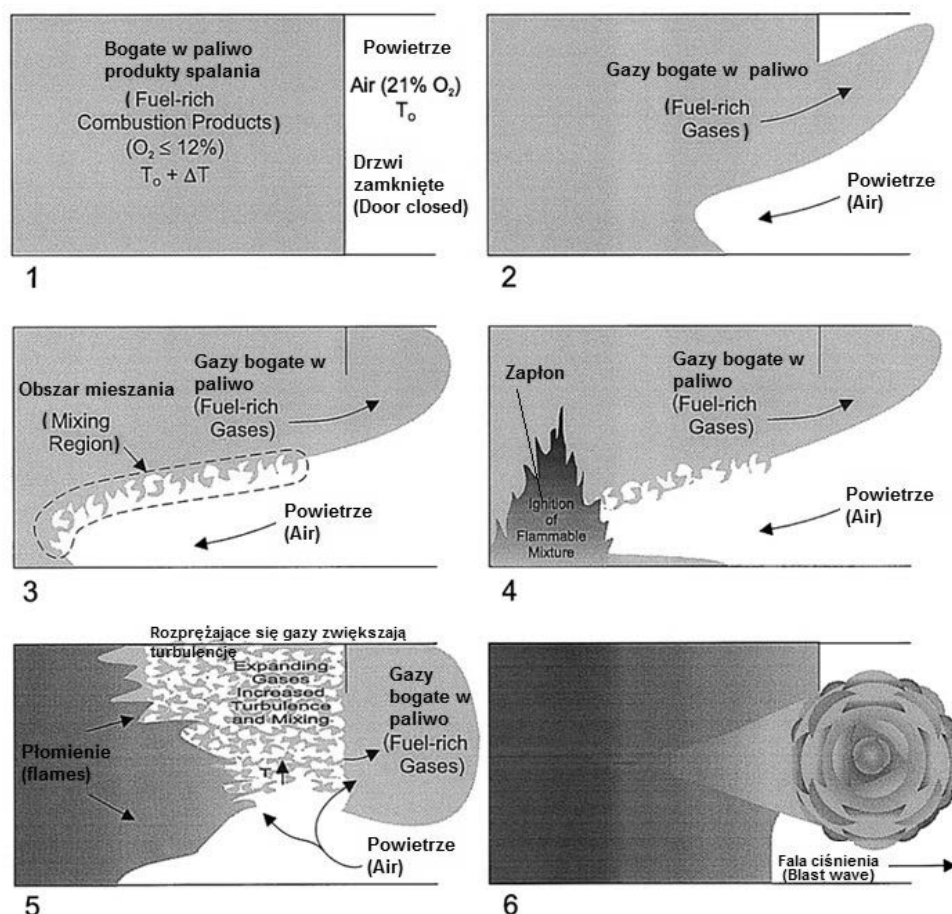
³ Instytut Techniki Ciepłej Wydział MEiL Politechniki Warszawskiej, ul. Nowowiejska 21/25, 00-665 Warszawa, Polska;

Wprowadzenie

W ostatnich latach powstała znaczna liczba publikacji naukowych w literaturze światowej (głównie w USA) traktujących o zjawisku ciągu wstecznego lub ognistego podmuchu (ang. *backdraft*) [1]. Niewątpliwie wpłynęły na to tragiczne zdarzenia, jakie miały miejsce w USA w przeciągu ostatnich kilkunastu lat. W Polsce zjawisko to nie jest tak powszechnie znane i badane. Backdraft określany jest jako spalanie płomieniowe mające miejsce w wyniku wejścia utleniacza (najczęściej powietrza) do pomieszczenia wypełnionego zgromadzonymi produktami niepełnego i niecałkowitego spalania oraz rozkładu termicznego (pirolizy). Schematycznie zjawisko to przedstawiono na Ryc. 1 [1]. W pomieszczeniu zamkniętym wybucha pożar. Pomieszczenie jest na tyle szczelne, że nie pozwala na dopływ świeżego powietrza z zewnątrz w dużych ilościach, i na tyle nieszczelne, że nie zachodzi znaczny wzrost ciśnienia w pomieszczeniu na skutek wzrostu ilości produktów spalania. Temperatura w pomieszczeniu stopniowo rośnie, pożar zużywa tlen nagromadzony w pomieszczeniu, powodując stopniowy spadek jego stężenia. Na skutek spadku ilości tlenu pożar stopniowo zanika, jednocześnie nie pozwalając na zupełne spalanie się płonących przedmiotów – dominującym zjawiskiem zaczyna być piroliza. Pomieszczenie wypełnia się więc produktami niezu-

pełnego i niecałkowitego spalania o stosunkowo wysokiej temperaturze $<200-300^{\circ}\text{C}$ (Ryc. 1-1). Na skutek nagłego otwarcia pomieszczenia (wybicie szyby, otwarcie drzwi) w powstałym otworze pojawiają się dwa strumienie gazów o przeciwnych kierunkach ruchu: pierwszy – świeżego powietrza poruszający się w dolnej części powstałego otworu w kierunku „do pomieszczenia” i drugi – produktów niepełnego spalania nagromadzonych w górnej części pomieszczenia, wypływający „z pomieszczenia” przez górną część otworu (Ryc. 1-2). Napływające dołem świeże powietrze miesza się z produktami niepełnego spalania (Ryc. 1-3). W momencie, gdy bogata w tlen mieszanina gazów dotrze do źródła zapłonu – najczęściej źródłem jest pożar, który stopniowo zanikł – następuje zapłon znacznej objętości wymieszanych z powietrzem gazów (Ryc. 1-4). Powstałe płomienie dodatkowo powodują powstanie przepływu turbulentnego w pomieszczeniu, zwiększając szybkość mieszania się pozostałych gazów ze świeżym powietrzem (Ryc. 1-5). Następuje przyspieszenie płomieni, nagły wzrost objętości i ciśnienia gazów. Z otworu wypływa struga gorących produktów spalania, której może towarzyszyć również fala uderzeniowa (Ryc. 1-6). Płonące, wypływające gazy przekształcają się następnie w kulę ognia.

Zjawisko backdraft jest szczególnie niebezpieczne dla strażaków w momencie wchodzenia do po-



Ryc. 1. Schemat powstania backdraft [1]
Fig. 1. The backdraft development mechanism [1]

mieszceń, w których stwierdzono obecność pożaru. Czas trwania powstałej strugi jest uzależniony głównie od objętości pomieszczenia (ilości nagromadzonych gazów) i wielkości otworu, w jakim struga powstaje. W ostatnich latach powstało wiele prac naukowych, które miały głównie na celu określenie granicznych warunków powstania backdraft. Znajomość tych warunków jest kluczowe dla zapewnienia bezpieczeństwa służbom pożarniczym prowadzącym akcje gaśnicze.

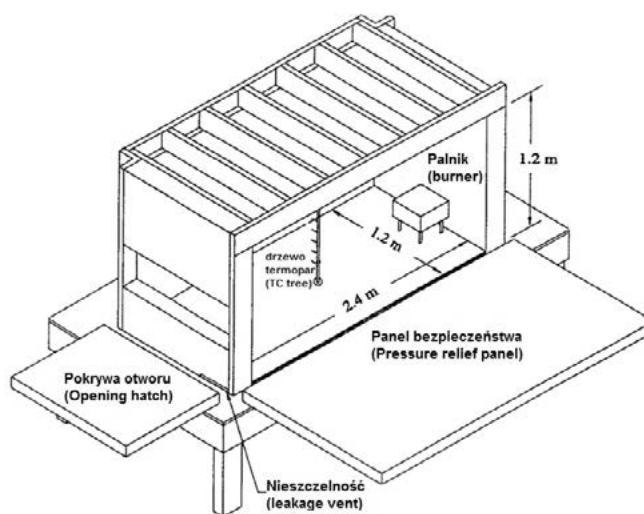
Celem niniejszej pracy jest przybliżenie zjawiska backdraft oraz określenie warunków koniecznych do jego zaistnienia na podstawie najnowszych publikacji naukowych w literaturze światowej. Poza pracami czysto eksperymentalnymi przytoczono najnowsze badania numeryczne opisujące zjawisko ciągu wstecznego. Badania numeryczne dzięki wciąż doskonalonym modelom matematycznym, jak również wzrostowi możliwości obliczeniowych komputerów, stają się coraz bardziej użytecznymi narzędziami do symulacji rozwoju pożarów i towarzyszących im zjawisk.

1. Badania eksperymentalne

Po raz pierwszy wzmianka o zjawisku backdraft pojawiła się w roku 1914 [2]. Zjawisko to nie było jeszcze prawidłowo zidentyfikowane i nazwano je „wybuchem dymu”. Następne próby wyjaśnienia backdraft doprowadziły do tego, że nazwano je zapłonem gazów albo zapłonem cząstek sadzy w temperaturach niższych niż 500°C [3]. Do początku lat 80. istniała tylko jedna publikacja opisująca występowanie zjawiska ciągu wstecznego. Badania te przeprowadzono w 1976 r. w skali laboratoryjnej [4] i były wynikiem pożaru, jaki wystąpił w roku 1975 w hali, w której składowano piankowe materace [5]. W pomieszczeniu o objętości 1,4 m³ składowano piankę używaną do wypełniania materacy. Po jej podpaleniu, kiedy znaczna część tlenu została zużyta, spalanie płomieniowe pianki ustało i następowała jej powolna piroliza. Po uchyleniu jednej ze ścian i przyłożeniu płomienia przy podłodze, następował wybuch zgromadzonych gazów.

Analiza danych zebranych w latach 1972-1976 [6] obejmujących 127 pożarów z eksplozjami mającymi miejsce w Wielkiej Brytanii, Stanach Zjednoczonych i Kanadzie wykazała, że aż w 109 z nich wystąpił backdraft. Znaczne zainteresowanie zjawiskiem nastąpiło w latach 90. w USA po kilku spektakularnych pożarach, w których zginęli strażacy. Chociaż pożary z udziałem backdraft zdarzały się dużo wcześniej [5-8], dopiero nagłośniona w prasie śmierć trzech strażaków podczas pożaru hotelu w Nowym Jorku w 1994 r. [9] skłoniła świat nauki do głębszej analizy tego zjawiska. W roku 1993 zjawisko ciągu wstecznego eksperymentalnie i numerycznie przebadał Fleischmann [10]. Raport z badań obejmował:

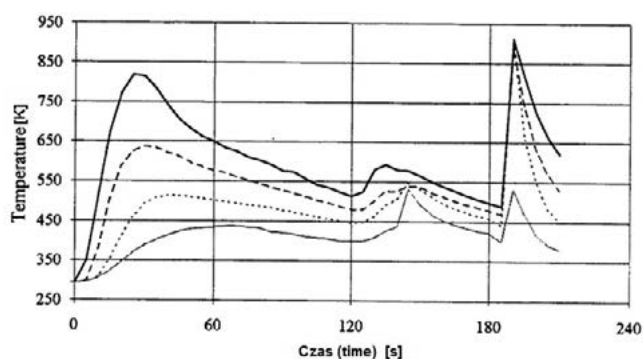
- badania wstępne mające na celu opisać podstawowe cechy zjawiska,
- badania z wykorzystaniem słonej wody w małej skali,
- badania końcowe w ilości 28 z wykorzystaniem palnika metanowego.



Ryc. 2. Schemat stanowiska do badania backdraft [10]

Fig. 2. Experimental facility for backdraft research [10]

Badania wstępne obejmowały 23 eksperymenty. Oprzyrządowanie pozwalało na pomiar temperatury na różnych wysokościach objętości, przepływu masowego paliwa, ciśnienia w pomieszczeniu, jak również wielkości kuli ognia wytworzonej podczas zjawiska backdraft. Modyfikowanymi parametrami były: przepływ masowy metanu, czas włączenia palnika, moment otwarcia i liczba otworów. Jedynie 8 eksperymentów doprowadziło do zjawiska backdraft. Przykładowe wskazania temperatur na różnych wysokościach w pomieszczeniu pokazano na Ryc. 3. Po początkowym wzroście temperatury następuje jej spadek na skutek obniżania się zawartości tlenu w pomieszczeniu, po ok. 120 s płomień odrywał się od palnika i zaczynał rozprzestrzeniać się tuż przy powierzchni podłogi. Zjawisko to jest prawdopodobnie spowodowane nierównomiernym stężeniem tlenu w warstwie podłogowej, do której tlen w niewielkiej ilości docierał z nieszczelności stanowiska. Otwarcie pomieszczenia nastąpiło w 180 s i po ok. 5 s dało się zaobserwować backdraft z kulą ognia (pik temperatury od ok. 190 s). Czas od momentu otwarcia kłapy do wystąpienia backdraft wynosił od 4,1 do 6,4 s. Zaobserwowano również, że im większy był czas opóźnienia zapłonu, tym backdraft przebiegał w sposób bardziej dynamiczny. Wyjaśnieniem jest tutaj dłuższy czas mieszania się powietrza z gazami a tym samym większa objętość mieszaniny w granicach palności.



Ryc. 3. Pomiar temperatury na różnych wysokościach w pomieszczeniu. Od góry: $h=1,02$ m, $h=0,72$ m, $h=0,42$ m, $h=0,12$ m [10]

Fig. 3. Temperature profiles at different heights. From the top: $h=1,02$ m, $h=0,72$ m, $h=0,42$ m, $h=0,12$ m [10]

Kolejny etap badań obejmował badania z wykorzystaniem słonej wody. Badania tego typu przeprowadza się w małej skali i polegają one na obserwacji rozprzestrzeniania się płynu o większej gęstości (słona woda) w płynie o mniejszej gęstości (czysta woda). Dzięki wprowadzeniu współczynnika wyporu, odpowiednich liczb podobieństwa i bezwymiarowych prędkości możliwe jest określenie w sposób ilościowy procesu mieszania się dwóch strumieni płynu o różnych gęstościach, podobnie jak ma to miejsce w przypadku tworzenia backdraft. Analiza wyników pokazała, że bezwymiarowa prędkość obu strumieni (wlotowego – gęstego i wylotowego – rzadszego) jest niezależna od współczynnika wyporu, a zależy jedynie od położenia i kształtu otworu.

Ostatnim etapem badań były eksperymenty określające warunki brzegowe konieczne do zaistnienia zjawiska backdraft. Wykorzystano w tych eksperymentach termopary, analizatory gazów, czujniki ciśnienia, szybką kamerę cyfrową oraz przepływomierze. Przeprowadzone badania doświadczalne wykazały, że do zaistnienia backdraft powinny być spełnione następujące warunki:

- stężenie paliwa w pomieszczeniu musi być $>10\%$, dla stężeń paliwa $>15\%$ pojawia się duża kula ognia, której średnica rośnie wraz ze wzrostem

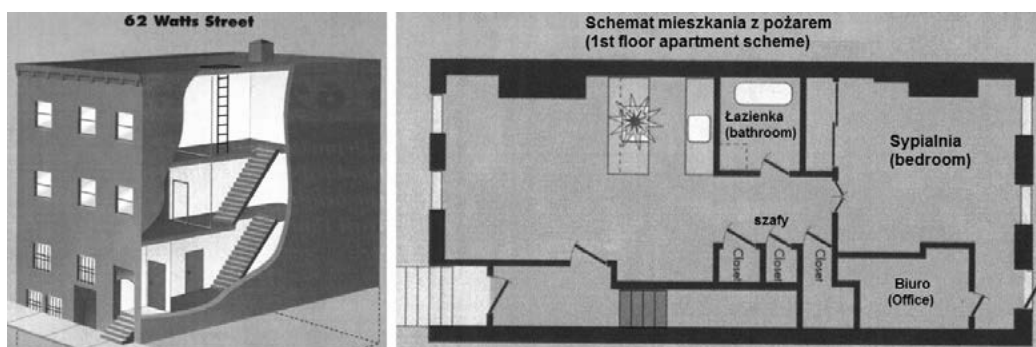
stężenia paliwa, podobny trend wykazują rejestrowane wartości nadciśnienia,

- źródło ognia musi być relatywnie małe (zastosowano palnik 70 kW) tak, żeby stężenie tlenu malało w sposób ustabilizowany.

Bodźcem do kolejnych badań okazał się pożar 1. piętra w trzykondygnacyjnym hotelu w Nowym Jorku przy ulicy Watts zginęło wtedy 3 strażaków [9]. Podczas zdarzenia wystąpił backdraft o niespotykane długim czasie trwania – ok. 6,5 min, a płomień objął praktycznie całą klatkę schodową budynku, odcinając strażaków od wyjścia. Jak pokazały późniejsze oględziny miejsca zdarzenia, pożar strawił jedynie około połowę powierzchni pierwszego piętra i drewniane schody na klatce schodowej. Reszta pomieszczeń w budynku pozostała praktycznie nietknięta.

Dalsze badania wykazały, że źródłem zapłonu był palnik pilotowy w piecyku gazowym, który zapalił położoną na nim plastikową torbę na śmieci. Płomień objął kolejne elementy znajdujące się w pobliżu oraz drewnianą podłogę. Do momentu wejścia strażaków do pomieszczenia pożar trwał ok. 60 min. Domownicy potwierdzili, że wszystkie okna oraz drzwi były pozamykane. Kanał wentylacyjny okapu zapewnił początkowo stałe ciśnienie w pomieszczeniu, a po obniżeniu się warstwy spalin poniżej jego poziomu zapewnił wentylację dymu. Pożar zgłoszono w momencie, gdy jeden z sąsiadów zauważył dym wydostający się z komina budynku.

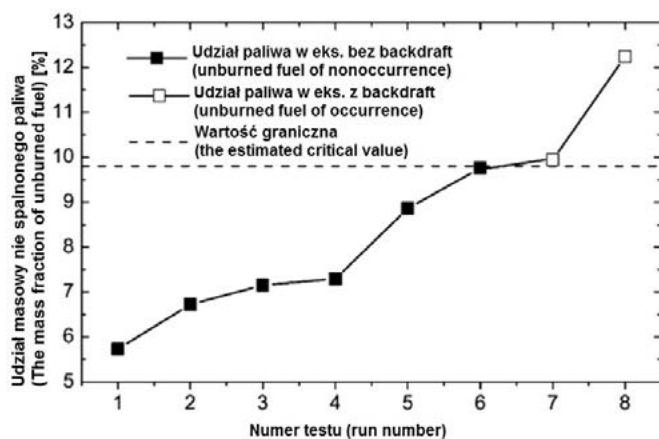
Kolejne badania w zakresie zjawiska ciągu wstecznego przeprowadzili Weng i Fan [11]. Eksperymenty miały na celu określenie warunków granicznych, dla których backdraft może zaistnieć oraz jeśli do niego dojdzie, to o jakiej będzie intensywności. Stanowisko badawcze składało się z pomieszczenia o wymiarach $1,2 \times 0,6 \times 0,6$ m z zamykanym otworem o wymiarach $0,2 \times 0,6$ m, położonym centralnie na jednym z boków. Podczas każdego eksperymentu rejestrowano temperatury na różnych poziomach w badanej objętości, udziały objętościowe paliwa, CO i CO₂ w badanej objętości oraz nadci-



Ryc. 4. Schemat 3-kondygnacyjnego hotelu i 1. piętra z pożarem przy ulicy 62 Watts w Nowym Jorku, w którym miał miejsce 6,5-min backdraft [9]

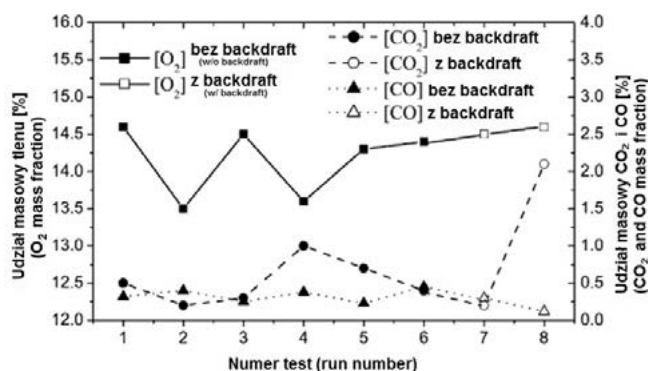
Fig. 4. 62 Watts Street hotel in New York: 3 floors building where the 6,5 min backdraft took place [9]

śnienie generowane przez backdraft. Znaczna ilość przeprowadzonych eksperymentów pozwoliła na określenie istotnych dla wystąpienia zjawiska parametrów oraz ich granicznych wartości. Najważniejszym parametrem determinującym backdraft okazał się udział niespalonego paliwa w mieszaninie (w tym przypadku był to metan). Dla udziałów metanu w mieszaninie w ilości przewyższającej 9,8% backdraft miał miejsce (Ryc. 5). Zawartość tlenu węgla była praktycznie stała (ok. 0,5%) we wszystkich przeprowadzonych eksperymentach (Ryc. 6), skąd można wyciągnąć wniosek o jego niskim wpływie na backdraft. Zawartość tlenu w zakresie 13,5-14,5% również nie wykazała trendu mogącego mieć jakikolwiek wpływ na występowanie tego zjawiska. Występujące nadciśnienia ściśle zależą od zawartości niespalonego paliwa w mieszaninie. W trakcie eksperymentów rejestrowano także wielkość wytworzonej w trakcie backdraft kuli ognia. Jej zasięg w poziomie wykazał również zależność wprost proporcjonalną do zawartości paliwa.



Ryc. 5. Wpływ zawartości niespalonego paliwa na występowanie backdraft [11]

Fig. 5. The unburned fuel mass fraction influence on backdraft occurrence [11]

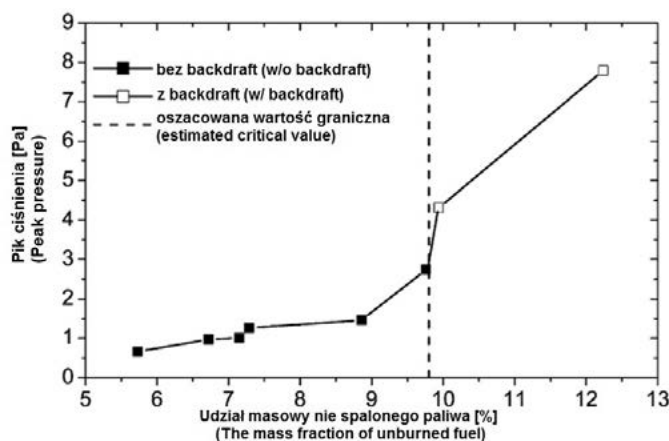


Ryc. 6. Wpływ zawartości O₂, CO i CO₂ na występowanie backdraft [11]

Fig. 6. O₂, CO, and CO₂ mass fraction influence on backdraft occurrence [11]

Najnowsze badania eksperymentalne i teoretyczne [12] ukierunkowano na poznanie ogólnych zależ-

ności, które mogą opisywać pożary ciał stałych i ciekłych, mogące doprowadzić do zjawiska backdraft. Zauważono, że występowanie ciągu wstecznego jest zależne od udziału paliwa w powietrzu. Jednocześnie wartość graniczna udziału paliwa jest różna dla różnych materiałów palnych. Przebadane pożary drewna i n-heptanu wykazały, że krytyczne wartości udziałów niespalonych gazów dla tych substancji wynoszą odpowiednio 8,7% oraz 2,5%. Aby zapalić dowolny gaz w powietrzu, musi się on znajdować w zakresie stężeniowym granic palności. Zaproponowano wprowadzenie parametru β odpowiadającego stosunkowi udziału niespalonych gazów w objętości do dolnej granicy palności danej mieszaniny. Z przeprowadzonej analizy wynika, że niezależnie od zastosowanego materiału, wartość współczynnika β jest bardzo zbliżona i równa ok. 1,4, co oznacza, że stężenie gazów palnych w objętości musi być co najmniej 1,4 razy większe niż dolna granica palności takiej mieszaniny. Zależność tę dla drewna i n-heptanu przedstawiono na Ryc. 8.



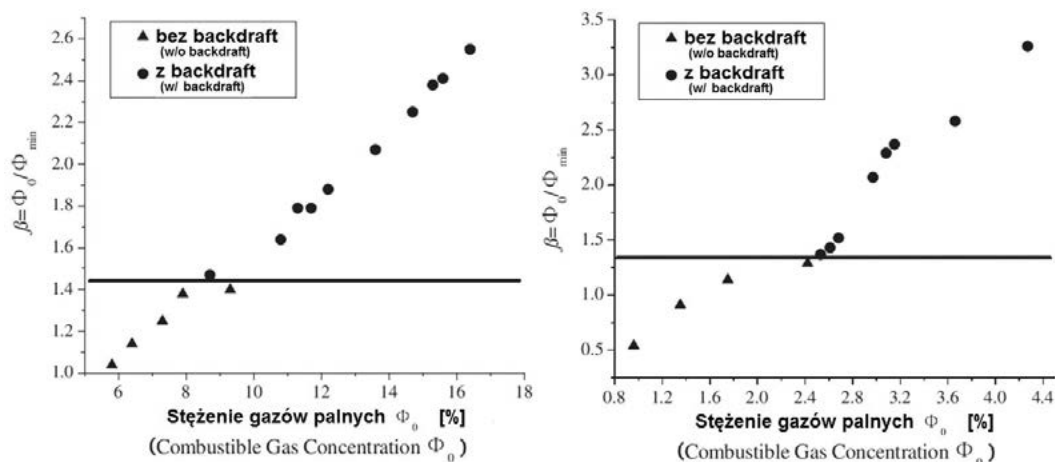
Ryc. 7. Wpływ zawartości niespalonego paliwa na występujące nadciśnienia i backdraft [11]

Fig. 7. The unburned fuel mass fraction influence on backdraft occurrence and overpressures [11]

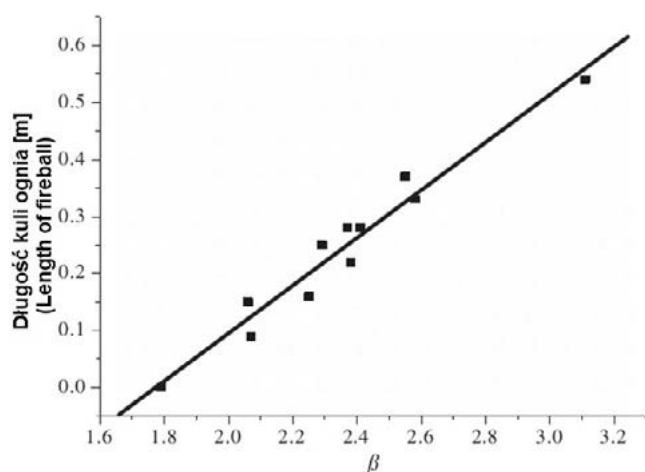
Wprowadzony parametr β pozwolił również na określenie jego granicznej wartości dla występowania kuli ognia ($\beta = 1,84$), tuż po zjawisku backdraft, jak również zasięgu (w tym wypadku długości) kuli. Zależność na zasięg (L') kuli ognia wygląda zatem następująco:

$$L' = 0,42 \beta - 0,74 \quad (1)$$

Zależność ta jest wynikiem aproksymacji wyników badań doświadczalnych, co przedstawiono na Ryc. 9.



Ryc. 8. Wpływ parametru β na występowanie backdraft dla drewna (lewy) i n-heptanu (prawy) [12]
 Fig. 8. The β parameter influence on backdraft occurrence in wood (left) and n-heptane (right) fire [12]



Ryc. 9. Zależność na zasięg kuli ognia w funkcji parametru β [12]

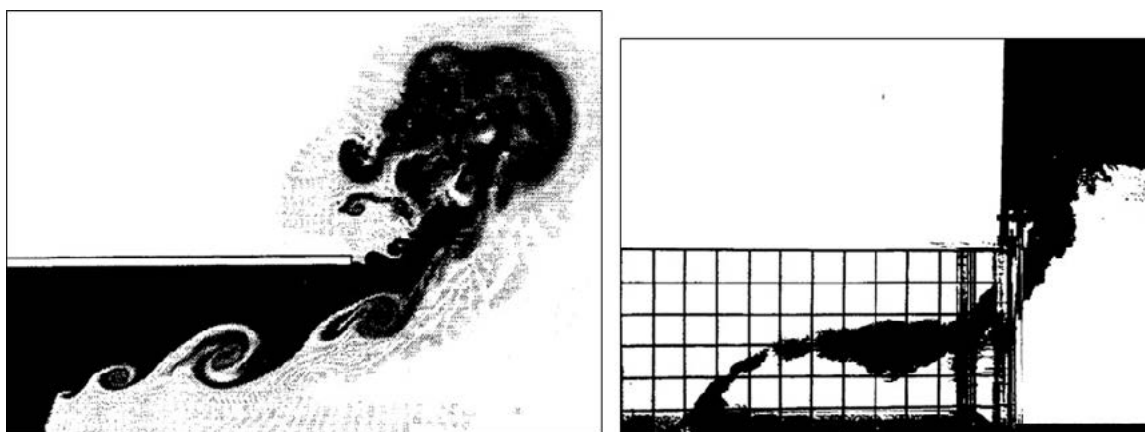
Fig. 9. The fire ball range in a function of β parameter [12]

2. Symulacje numeryczne

W ostatnich latach coraz częściej w projektowaniu inżynierskim wykorzystuje się nowoczesne narzędzia obliczeniowe. Narzędzia te umożliwia-

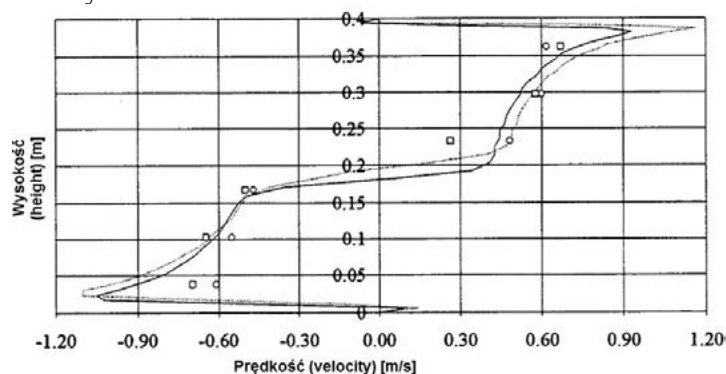
ją prowadzenie obliczeń wytrzymałości materiałów i konstrukcji, wymiany ciepła, rozkładu przepływów homo- i heterogenicznych, mieszania i spalania oraz wielu innych. Coraz szersze zastosowanie spowodowane jest wzrostem mocy obliczeniowych komputerów oraz powstaniem bardziej efektywnych metod numerycznych. Ponadto, prowadzenie obliczeń jest zdecydowanie tańsze niż długotrwałe badania eksperymentalne i dostarcza znacznie więcej danych o badanym zjawisku. Obliczenia numeryczne znacznie skracają również czas projektowania i przygotowania do produkcji nowych elementów i urządzeń. Jednym z wielu zastosowań obliczeń numerycznych jest symulacja rozwoju pożarów. Istnieją w tym zakresie dwa podejścia: symulacja przy pomocy modelu strefowego i symulacja typu CFD (ang. *Computational Fluid Dynamics* – obliczeniowa dynamika płynów).

Jedne z pierwszych obliczeń numerycznych przeprowadził Fleischmann [10] w 1994 r. Symulacje przeprowadzono w geometrii o wymiarach 0,3x0,15 m dla przepływu słonej wody. Na Ryc. 10 przedstawiono przykładowe wyniki uzyskane na



Ryc. 10. Symulacja numeryczna (lewy) i eksperyment (prawy) przepływu słonej wody [9]
 Fig. 10. Numerical simulation (left) and experiment (right) of salt water flow [9]

podstawie symulacji przepływu słonej wody oraz zdjęcia z badań doświadczalnych. W eksperymencie ze względu na zastosowanie fenolaftalenu w komorze (pH ~6,8) i wodorotlenku sodu (pH ~11,7) w komorze zewnętrznej, strefa mieszania się dwóch strumieni przybierała barwę czerwoną, co na przytoczonych czarno-białych zdjęciach odpowiada barwie czarnej. Na Ryc. 11 znajduje się porównanie profili prędkości w otworze, uzyskane za pomocą symulacji i badań eksperymentalnych. Jak wykazały porównania profili prędkości oraz dalsze obliczenia zawarte w tej pracy, symulacje wykazują prawidłowe odwzorowanie przepływu strumieni w komorze, zarówno pod względem jakościowym, jak i ilościowym.



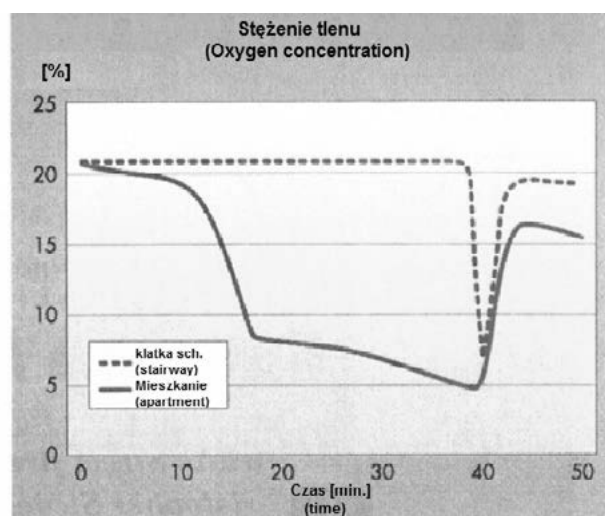
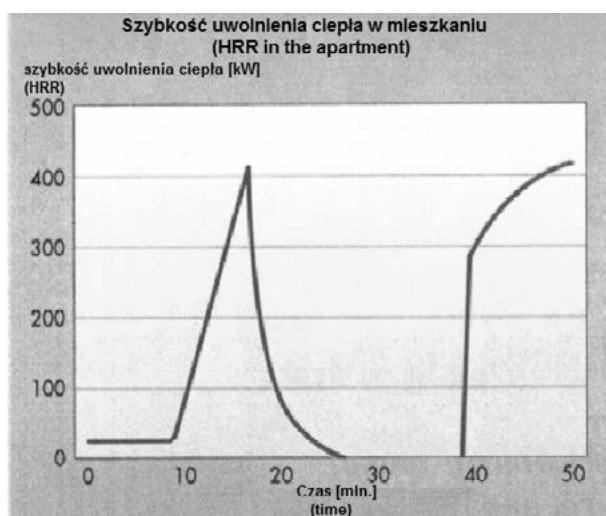
Ryc. 11. Profil prędkości wzdłuż wysokości otworu w pomieszczeniu po różnych czasach od otwarcia. Linie – symulacje numeryczne (linia ciągła $t = 4$ s, linia kropka $t = 8$ s), punkty – dane eksperymentalne (kwadraty $t = 4$ s, koła $t = 8$ s) [10]

Fig. 11. Velocity profiles along the orifice height at different time. Lines – numerical simulations (solid line $t = 4$ s, dot line $t = 8$ s), Points – experimental data (squares $t = 4$ s, circles $t = 8$ s) [10]

Kolejne symulacje przeprowadzono w programie CFAST [9], wykorzystującym do obliczeń modele strefowe. Symulacja, którą przeprowadzono,

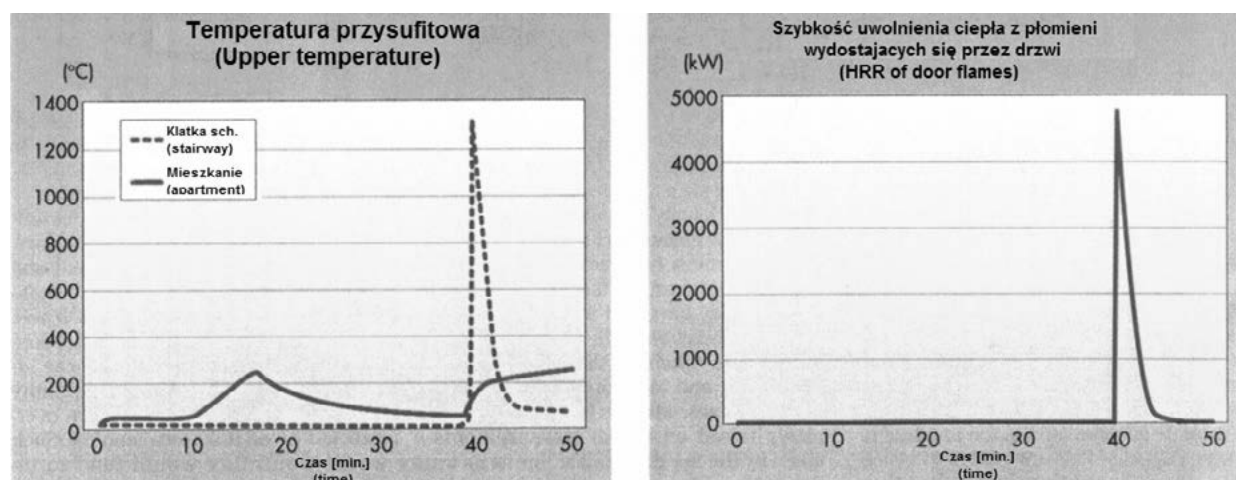
miała na celu odwzorować warunki zaistniałe w opisanym już wcześniej pożarze w Nowym Jorku [9]. Symulacja ta obejmowała pomieszczenie objęte pożarem oraz klatkę schodową z otworami wentylacyjnymi na górze oraz otwartymi drzwiami na dole. Na potrzeby symulacji założono, że drzwi zostały otwarte po 37,5 min od momentu rozpoczęcia obliczeń. Zarejestrowana szybkość wydzielania ciepła (ang. HRR – *Heat Release Rate*) oraz średnie stężenie tlenu w pomieszczeniu i na klatce schodowej przedstawiono na Ryc. 12 [9]. Na podstawie przeprowadzonych kalkulacji zauważono nagły spadek stężenia tlenu w pomieszczeniu do ok. 8%, a następnie pożar coraz wolniej zużywał tlen, który osiągnął stężenie ok. 5% po czasie 37,5 min. Po otwarciu drzwi nastąpił nagły dopływ tlenu do mieszkania, po wymieszaniu się z produktami niepełnego spalania doszło do zapłonu tej mieszaniny i wypływu przez otwór drzwiowy. Zjawisko to przedstawiono na Ryc. 13, na którym widać wyraźny wzrost temperatury na klatce schodowej do około 1200°C. Zmierzona moc pożaru w przekroju drzwi osiągnęła wartość prawie 5 MW. Czas trwania przepływu płomieni przez otwór drzwiowy wyniósł ok. 7 min, co wykazuje zgodność z zarejestrowanym rzeczywistym czasem trwania zjawiska backdraft (6,5 min.).

Mimo że przytoczona symulacja numeryczna bazowała na pewnych założeniach początkowych, które mogą mieć wpływ na uzyskane wyniki, to jednak udowodniła, że możliwe jest trwanie zjawiska backdraft przez tak długi okres. Analiza wyników wykazała również, że na długotrwałość backdraft mają wpływ takie czynniki jak kubatura pomieszczenia, stopień szczelności otworów okiennych i drzwiowych, położenie otworów wentylacyjnych oraz moment otwarcia pomieszczenia. Kolejnym bardzo ważnym wnioskiem z analizowanego zdarzenia jest nieefektywność wyposażenia jednostek straży pożarnej w przypadku zaistnienia tak długotrwałego oraz dynamicznego zjawiska.



Ryc. 12. Szybkość wydzielania ciepła (HRR) w mieszkaniu (lewy) i średnie stężenie tlenu w mieszkaniu i na klatce schodowej (prawy) zarejestrowana podczas symulacji komputerowej [9]

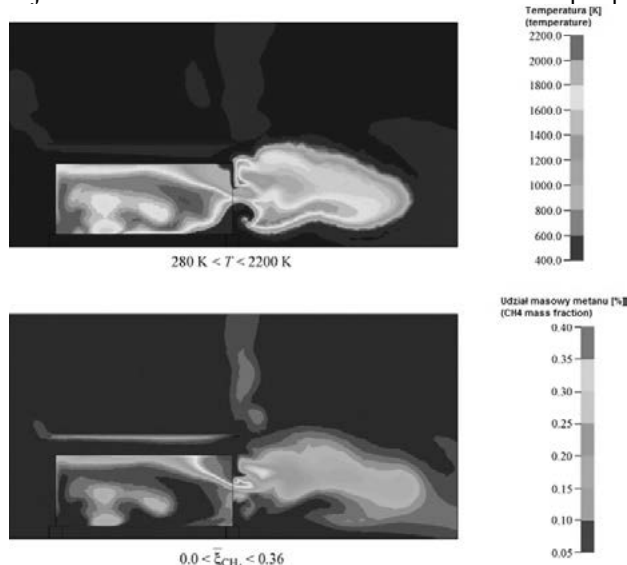
Fig. 12. Heat Release Rate (left) and mean oxygen concentration in the apartment and on stairway [9]



Ryc. 13. Temperatury w warstwie podsufitowej w mieszkaniu i klatce schodowej (lewy) i szybkość wydzielania ciepła z przekroju drzwi wejściowych do mieszkania (prawy) [9]

Fig. 13. Temperature history near the ceiling in the apartment and in the stairway (left) and Heat Release Rate from the open door (right) [9]

Kolejne symulacje numeryczne zjawiska backdraft przeprowadzili Horvat i inni [13-14]. Modelowana geometria była identyczna, jak w eksperymentach prowadzonych w Lund University w Szwecji w 2000 r. [15]. Do obliczeń użyto programu CFX-5 oraz modelowania typu DES (ang. *Detached Eddy Simulation*), czyli pewnego rodzaju hybrydy dwóch modeli turbulencji RANS (ang. *Reynolds Averaged Navier-Stokes*) i LES (ang. *Large Eddy Simulation*). Przykładowe kontury temperatury i stężenia metanu uzyskane w symulacji przedstawiono na Ryc. 14. Symulacja pokazała, że spalanie ma miejsce nie tylko w samej objętości, ale również poza nią, jeśli po zapłonie ciśnienie gazów rośnie wystarczająco szybko. Mieszanina palna znajdująca się przy otworze zostaje wypchnięta, a po zapłonie tworzy kulę ognia. Zjawisko to zaobserwowali również Chen i in. [12].



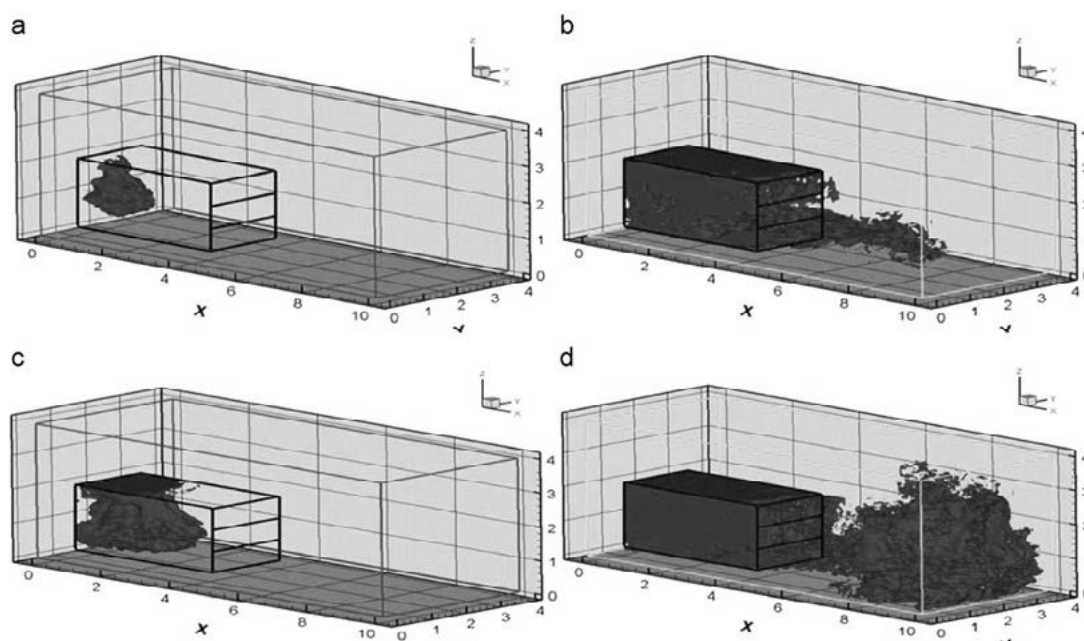
Ryc. 14. Rozkład temperatury i stężenia metanu w symulacji backdraft w programie CFX-5 [13]

Fig. 14. Temperature (top) and methane concentration (bottom) contours of backdraft simulation in CFX-5 code [13]

Podczas badań eksperymentalnych zjawisko backdraft występowało po czasie opóźnienia (od momentu otwarcia otworu do zauważenia płomieni na zewnątrz) od 15 do 46 s. Czas opóźnienia zapłonu uzyskany w symulacji wyniósł 11,4 s. Należy jednak zauważyć, że jest to czas zapłonu w tylnej części objętości, stąd wartość ta jest nieznacznie заниzona. Ponadto doświadczalna wartość czasu opóźnienia wykazuje cechy stochastyczne, bez wyraźnej zależności od parametrów początkowych.

Wpływ występowania przeszkód na rozwój backdraft przebadali numerycznie Pérez-Jiménez i inni [16]. Odzworowane stanowisko podobnie jak w pracach [13-14] zaczerpnięto z badań prowadzonych w Lund University [15]. Przeszkody miały na celu modyfikację przepływu w momencie otwarcia okna. Wytwarzający się dolny strumień świeżego powietrza miał przez to odmienny charakter. Symulacje numeryczne wykazały, że przeszkody znacznie opóźniają (ok. 2-krotnie) wystąpienie backdraft, jednocześnie wydłużając czas trwania zjawiska po jego wystąpieniu. Może mieć to istotny wpływ na prowadzenie działań ratowniczo-gaśniczych w miejscach gęsto wypełnionych przeszkodami np. stołem, krzesłami, fotelami lub szafkami w budynkach z otwartą powierzchnią biurową.

Inne symulacje odwzorowujące badania doświadczalne z Lund University przeprowadzili Ferraris i inni [17]. Do obliczeń tych wykorzystano program FDS (ang. *Fire Dynamics Simulator*) [18]. Jest to darmowy program, powszechnie używany do obliczeń rozprzestrzeniania się pożaru i dymu w obiektach budowlanych. Po pewnych modyfikacjach kodu źródłowego, które wprowadzili autorzy pracy [17], możliwe jest użycie programu do obliczeń zjawiska back draft (Ryc. 15.). Podobnie jak w innych pracach [13, 14], obliczenia wykazały, że spalanie gazów może mieć miejsce również poza analizowaną objętością, jeśli sam proces spalania będzie



Ryc. 15. Symulacja zjawiska backdraft w programie FDS [17]

Fig. 15. The FDS code backdraft simulation [17]

wystarczająco dynamiczny. Ponadto nie wszystkie gazy zawierają się w granicach palności i osiągają ją dopiero po wyjściu z objętości. Opóźnienie zapłonu w symulacjach wyniosło 18 s, co stanowi wartość bliższą wynikom badań eksperymentalnych, niż uzyskane w poprzednich pracach.

3. Podsumowanie i wnioski

W powyższej pracy przedstawiono przegląd badań doświadczalnych i obliczeń numerycznych odnoszących się do zjawiska ciągu wstecznego – backdraft. Zjawisko to jest nadal słabo poznane i wymaga prowadzenia dalszych prac, w szczególności nakierowanych na określenie ilościowe parametrów granicznych jego występowania. Znaczna ilość materiałów, które biorą zazwyczaj udział w spalaniu prowadzącym do backdraft, bardziej komplikuje to zadanie. Pierwsze kroki w tym kierunku zostały jednak już podjęte [12]. Backdraft to złożone zjawisko i zależy od wielu czynników, w tym między innymi od:

- rodzaju materiałów (ciała stałe, ciecze, gazy) biorących udział w spalaniu,
- stopnia uszczelnienia pomieszczenia,
- czasu trwania pożaru,
- czasu otwarcia i wielkości otworu.

Wszystkie te czynniki mają wpływ na ilość wygenerowanych gazów palnych znajdujących się w rozpatrywanej objętości, a jak pokazało wiele prac [10-16] udział objętościowy tych gazów ma kluczowe znaczenie. Symulacje numeryczne stanowią przydatne narzędzie, ale obecnie nie są jeszcze w stanie prawidłowo odwzorować przebiegu pełnego zjawiska pożaru z backdraft. Problemem jest między in-

nymi właściwy model spalania, który byłby w stanie odwzorować prawidłowo proces zaniku płomieni i przejście pożaru w tlenie. Dalszy przebieg zjawiska – wyrzut płomieni, kula ognia i fala nadciśnienia – jest symulowany w sposób jakościowo i ilościowo prawidłowy. Oprócz kilku wad, symulacje numeryczne posiadają również wiele zalet, które decydują o ich wykorzystaniu w zagadnieniach zarówno naukowych, jak i inżynierskich. Ciągły rozwój metod numerycznych oraz sprzętu komputerowego niewątpliwie doprowadzi do powstawania modeli rozwoju pożaru (w tym backdraft) i szacowania jego skutków.

Literatura

1. Gottuk D.T., Peatross M.J., Farley J.P., Williams F.W., *The development and mitigation of backdraft: a real-scale shipboard study*, 'Fire Safety Journal', 33, 2009.
2. Steward P., *Dust and smoke explosions*, 'NFPA Quarterly', 7, 1914.
3. Roblee C. L., *Backdraft*, Fire Chief, December 1977.
4. Pagni P. J., Shih T. M., *Excess Pyrolyzates*, 16th Symposium on Combustion, The Combustion Institute, Pittsburgh, PA, 1976.
5. Anon, *Fatal Mattress Store Fire at Chatham Dockyard*, 'Fire', 67, 1975.
6. Croft W. M., *Fires involving Explosions – a literature review*, 'Fire Safety Journal', 3, 1980.
7. Russel D., *Seven Fire Fighters Caught in Explosion*, 'Fire Engineering', 1983.
8. *Backdraft: A Horrible Reality that Kills or Maims in Seconds*, Fire Fighting in Canada, April-May, 1980.

9. Bukowski R. W., *Modelling Backdraft: the fire at 62 watts street*, 'National Fire Protection Association Journal', 89, 1995.
10. Fleischmann C. M., *Backdraft Phenomena*, National Institute of Standards and Technology, Report no. NIST-GCR-94-646, 1994.
11. Weng W.G., Fan W.C., *Critical condition of backdraft in compartment fires: a reduced-scale experimental study*, 'Journal of Loss Prevention in the Process Industries', 16, 2003.
12. Chen A., Zhou L., Liu B., Chen W., *Theoretical analysis and experimental study on critical conditions of backdraft*, 'Journal of Loss Prevention in the Process Industries', 24, 2011.
13. Horvat A., Sinai Y., *Numerical simulation of backdraft phenomena*, 'Fire Safety Journal', 42, 2007.
14. Horvat A., Sinai Y., Gojkovic D., Karlsson B., *Numerical and experimental investigation of backdraft*, 'Combustion Science and Technology', 180, 2008.
15. Gojkovic D., *Initial backdraft experiments. Report 3121*, Department of Fire Safety Engineering, Lund University, Sweden, 2000.
16. Pérez-Jiménez C., Guigay G.J., Horvat A., Sinai Y., Fransse J.-M., *Influence of obstacles on the development of gravity current prior to backdraft*, 'Fire Technology', 45, 2009.
17. Ferraris S.A., Wen J.X., Demble S., *Large eddy simulation of the backdraft phenomenon*, 'Fire Safety Journal', 43, 2008.
18. <http://code.google.com/p/fds-smv/>

inż. Piotr Lesiak – absolwent Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie. Absolwent studiów inżynierskich na kierunku chemia w Wojskowej Aka-

demii Technicznej. Pełni służbę w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpowodziarowej PIB w Józefowie, na stanowisku starszego specjalisty w Zespole Laboratoriów Procesów Spalania i Wybuchowości.

dr inż. Rafał Porowski – absolwent Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie. W latach 2008-2009 był uczestnikiem studiów podyplomowych z inżynierii bezpieczeństwa wodorowego w University of Ulster w Irlandii Północnej. W roku 2010 ukończył studia doktoranckie na Wydziale Mechanicznym, Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej. W latach 2009-2010 w ramach stypendium Fulbrighta pracował w California Institute of Technology. Obecnie pełni funkcję kierownika Zespołu Laboratoriów Procesów Spalania i Wybuchowości w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpowodziarowej – PIB w Józefowie.

mgr inż. Wojciech Rudy – absolwent Wydziału Mechanicznego, Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej. W latach 2008-2009 był uczestnikiem studiów podyplomowych z inżynierii bezpieczeństwa wodorowego w University of Ulster w Irlandii Północnej. Obecnie jest doktorantem w Instytucie Techniki Ciepłej Wydziału MEiL Politechniki Warszawskiej. Tematyka badawcza związana ze spalaniem i wybuchowością mieszanin gazowych.

mgr Martyna Strzyżewska – absolwentka Wydziału Zarządzania Uniwersytetu Warszawskiego. Pracuje na stanowisku młodszego specjalisty w Zespole Laboratoriów Procesów Spalania i Wybuchowości w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpowodziarowej – PIB w Józefowie.

dr inż. **Dorota RIEGERT¹**

SPOSOBY MODYFIKOWANIA WŁAŚCIWOŚCI PALNYCH TWORZYW SZTUCZNYCH

The ability to modification the properties of flammable plastics

Streszczenie:

W artykule przedstawiono i omówiono problematykę związaną z powszechnym stosowaniem materiałów polimerowych, które mimo wielu swoich zalet charakteryzują się szacunkowo niską odpornością na działanie ognia. Omówiono możliwości podwyższenia odporności na działanie ognia poprzez dodatek do tworzywa sztucznego odpowiednio dobranego antypirenu. W artykule przeanalizowano również sposoby działania środków uniepalniających.

Summary:

This article presents and discusses problems associated with the general use of polymer materials, which, despite many beneficial qualities, characterise themselves with low resistance to fire. The discussion focussed on possibilities of increasing the resistance to fire with the aid of a suitably selected additive flame retardants. The paper also analysed behavioural characteristics of flame retardants.

Słowa kluczowe: polimery, antypireny, zagrożenie pożarowe;

Keywords: polymers, retardants, fire hazard;

Wprowadzenie

Wyroby z polimerowych tworzyw sztucznych są jednymi z najbardziej rozpowszechnionych materiałów wytwarzanych przez ludzi. Ze względu na swoje liczne zalety towarzyszą one ludziom w prawie wszystkich dziedzinach życia codziennego. Różnorodne zalety decydują również o ich powszechnym zastosowaniu w wielu dziedzinach, gdzie stopniowo zastępują tradycyjne materiały [1]. Wyjątkowa wszechstronność materiałów polimerowych sprawia, że stosuje się je coraz częściej w produkcji opakowań (butelki plastikowe, worki na śmieci), budownictwie (styropian, rury, ramy okienne), transporcie (reflektory samochodowe, zderzaki, deski rozdzielcze), przemyśle elektrycznym i elektronicznym (izolacje przewodów), rolnictwie (narzędzia ogrodnicze, donice), medycynie (sztuczna rogówka, osłonki leków, sztuczne serce, kaniule) czy sporcie (buty, rakietki tenisowe, łódzie).

Niestety zdecydowana większość produkowanych na skalę przemysłową polimerów jest palna. Wśród polimerowych tworzyw sztucznych są materiały, które ulegają spalaniu nawet przy niedoborze tlenu (np. celuloza) [2]. W praktyce, materiały te często stosowane są również w dziedzinach, któ-

re wymagają wysokiego bezpieczeństwa pożarowego. W razie pożaru stwarzają one duże zagrożenie dla ludzi i mienia.

Wszelkiego rodzaju pożary trapią ludzkość, odkąd ludzie zaczęli używać ognia. Niestety wraz z rozwojem cywilizacji pożary coraz częściej mają gwałtowny i szybki postęp. Zagrożają one życiu, niszczą wszystko, co napotkają na swej drodze, dewastując i nieodwracalnie zmieniając środowisko naturalne. Jednak człowiek nauczył się zapobiegać i walczyć z pożarami. Do najgroźniejszych pożarów zalicza się pożary powstające we wszelkiego rodzaju zakładach przemysłowych, przetwórstwa tworzyw sztucznych i włókienniczych, a także w miejscach ich magazynowania. Tego typu pożary często charakteryzują się dużą szybkością spalania, między innymi ze względu na wszechobecne stosowanie polimerowych tworzyw sztucznych.

Przebieg pożaru w dużej mierze uzależniony jest od rodzaju i postaci spalonych materiałów w tym materiałów polimerowych, a także od warunków, jakie panują w pomieszczeniu, w którym pożar powstaje. Ogólnie można stwierdzić, że pożary mają gwałtowny przebieg szczególnie, gdy palą się porowate tworzywa sztuczne (np. pianki poliuretanowe). W trakcie takich pożarów następuje intensywne wydzielanie ciepła, dymu i toksycznych gazów. Wówczas materiały te ulegają rozkładowi termicznemu już w dość niskich temperaturach – około 180–400°C, w wyniku którego wydzielają się znaczne ilości dymu, sa-

¹ Zespół Laboratoriów Badań Chemicznych i Pożarowych, Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpowodziowej – Państwowy Instytut Badawczy, Józefów, ul. Nadwiślańska 213, 05-420 Józefów k. Otwocka, Polska; driegert@cnbop.pl;

dzy i substancji toksycznych, a także następuje ściekanie płonącymi kroplami. Notuje się, że najczęściej to polimery piankowe i techniczne wyroby włókiennicze (m.in. środki opatrunkowe, specjalistyczna odzież ochronna np. dla strażaków, sprzęt ratunkowy – tratwy, pasy, liny, spadochrony, kamizelki kuloodporne, tkaniny i włókny do filtracji, a także wyroby stosowane w budownictwie, w przemyśle motoryzacyjnym, okrętowym, lotniczym, kolejowym czy zbrojeniowym) stają się źródłem pożaru. Tego typu pożary stwarzają olbrzymie ryzyko dla zdrowia i życia ludzkiego.

W warunkach pożaru tworzyw sztucznych mogą tworzyć się zarówno produkty rozkładu termoutleniającego, jak i pełnego lub niepełnego spalania. Poniżej temperatury zapalenia produktów występują produkty rozkładu termoutleniającego, zaś powyżej – produkty spalania. Jednakże podział ten jest dość płynny, ponieważ np. tlenek węgla jest zarówno produktem rozkładu, jak i produktem spalania. W Tabeli 1 zestawiono temperatury zapłonu i topnienia wybranych tworzyw sztucznych.

Tabela 1.

**Temperatury zapłonu pilotowego i topnienia
wybranych tworzyw sztucznych [3]**

Table 1.

**Piloted ignition temperature and melting point
of the selected plastic [3]**

Rodzaj materiału Type of material	Temperatura zapłonu [°C] Piloted ignition [°C]	Temperatura topnienia [°C] Melting point [°C]
ABS	416	88–125
Akryl	560	91–125
Celuloza	475–540	49–121
Nylon	424–532	160–275
Poliester	432–488	220–268
Polipropylen	570	158–168
Polistyren	488–496	100–120
Poliuretan	416	85–121
Poliwęglan	580	140–150
PVC	435–557	75–110

Zapalenie następuje wówczas, gdy powstałe w wyniku rozkładu termicznego gazy osiągną stężenie mieszczące się w granicach zapalności oraz temperaturę równą temperaturze zapalenia chociaż jednego ze składników tych gazów. Wówczas płomień pojawi się samorzutnie, a materiał zacznie się palić.

Zagrożenie życia ludzkiego w czasie pożaru zależy od rodzaju substancji toksycznych, ich stężenia oraz warunków pożaru (rozmiarów przestrzennych). Na przykład 1 kg polichloru winylu (płytki PCV, pojemniki plastikowe) spalany w warunkach pożaru wydziela 0,28 m³ trującego chlorowodoru. Natomiast 1 kg poliuretanu (gąbka, uszczelki) wytwarza 0,03–0,05 m³ cyjanowodoru, jednej z najsilniejszych trucizn. Po spaleniu 1 kg pianki poliuretanowej w pomieszczeniu o objętości 30 m³ stężenie niebezpieczne dla życia może zostać przekroczone po 90 sekundach. Ponadto podczas niskotemperaturowego spalania tworzyw sztucznych zawierających w swym składzie chlor wytwarzają się dioksyny (pochodne chloru), które są bardzo groźnymi związkami chemicznymi. W tabeli (Tabela 2) przedstawiono charakterystyki przykładowych tworzyw sztucznych oraz rodzaje powstających produktów spalania i ich rozkładu w warunkach pożaru.

Substancje szkodliwe powstałe w wyniku spalania przedostają się do organizmu ludzkiego przez ich wdychanie lub absorpcję przez skórę, przenikają one także do przewodu pokarmowego.

Prowadzone badania potwierdzają, że nadal najgroźniejszym i najczęściej spotykanym gazem, wchodzącym w skład produktów spalania (powstałym również z płonących tworzyw sztucznych) jest tlenek węgla (CO). Tlenek węgla to gaz bardzo toksyczny, który stwarza zagrożenie w każdym stężeniu – w niższych stężeniach wywołuje utratę koordynacji ruchowej, w dużych stężeniach – nagłą śmierć. Ponad 0,2% zawartości tlenu węgla w powietrzu w krótkim czasie działa zabójczo. Zawartość tlenu węgla w gazach pożarowych wynosi 0,1–0,5% objętości [4].

Tabela 2.

Charakterystyki tworzyw sztucznych oraz rodzaje powstających produktów spalania i rozkładu termicznego w warunkach pożaru

Table 2.

The characteristics of plastics and generated types of combustion and pyrolysis under fire

Material Material	Ciepło spalania [kJ/kg] Heat of combustion [kJ/kg]	Palność Combustibility	Produkty spalania i rozkładu termicznego Products of combustion and pyrolysis	
			Rozkład Distribution	Spalanie Combustion
Epoksydy	–	Palne	Epichlorohydryna, toluol	HCl, CO, CO ₂ , kwas mrówkowy
Polietylen	46500	Palny	etylen	CO, CO ₂
Polichlorek winylu	16700–29300	Palny, trudno zapalny	HCl, chlorek winylu	HCl, CO, CO ₂
Polistyren	42000	Palny	Dimery i trymery styrenu	CO, CO ₂
Poliamid	30900	Palny	Cyjanowodór	CO, CO ₂
Poliuretany	23250	Palne	Dwuizocyjanianki, cyjanowodór	CO, CO ₂ , HCN, NO ₂

1. Metody obniżania palności tworzyw sztucznych

Mimo ogromnego postępu technologicznego cały czas pożary tworzyw sztucznych są poważnym zagrożeniem. Dlatego, aby ograniczyć negatywne skutki tego typu pożarów, zarówno w Polsce [5–11], jak i na świecie [12–14] prowadzonych jest wiele prac badawczych dotyczących metod ograniczania palności lub uniepalniania tworzyw sztucznych.

Historia pierwszych prób opóźniania zapalności polimerów zaczyna się już w starożytności. Pierwsze wzmianki w tym temacie można znaleźć w pracach greckiego historyka Herodota (V w. p.n.e.), który zanotował, że Egipcjanie uodparniali drewno i bawełnę na działalność ognia poprzez zanurzanie ich na pewien czas w wodnym roztworze alunu – glinowo-potasowego [15], a w IV w. p.n.e. mieszaninę tę wzbogacano o ocet. Natomiast w latach 1912–1913 chemik W. H. Perkin badał metody uniepalnienia flaneli wodnym roztworem cynianu sodu i siarczanu amonu, a następnie sformułował wymagania, jakie powinny spełniać środki opóźniające spalanie wyrobów włókienniczych. Temat ograniczenia palności tworzyw sztucznych zyskał na popularności w pierwszej połowie XIX wieku, co zbiegło się z wynalezieniem łatwopalnego azotanu celulozy i celulozoidu. Początkowo jako środki zmniejszające palność polimerów i materiałów polimerowych stosowano reaktywne związki chlorowcowe i wodorotlenek glinu.

Spalanie jest bardzo złożonym zjawiskiem. Aby zmniejszyć lub nawet całkowicie zahamować ten proces, należy oddziaływać środkami fizycznymi i/lub chemicznymi na etap lub etapy spalania.

Do fizycznych sposobów zmniejszania lub ograniczania szybkości spalania można zaliczyć między innymi [15]:

- Ograniczenie dopływu ciepła do płonącego polimeru,
- Ochłodzenie strefy spalania przez zwiększenie odpływu ciepła do otoczenia,
- Utrudnienie dopływu reagentów do frontu spalania w płomieniu – utworzenie warstwy karbonizowanej lub szklistej,
- Wprowadzenie do polimeru antypirenów, które w procesie pirolizy lub spalania powodują endotermiczne reakcje chemiczne,
- Wprowadzenie do polimeru substancji obojętnych – napelniacze, inhibitory i inne domieszki, które podczas pirolizy rozkładają się z wydzielaniem dużych ilości gazów obojętnych np.: CO_2 , N_2 , para wodna,
- Zastosowanie pokryć ognioochronnych na powierzchni materiałów polimerowych,
- Modyfikacja powierzchni materiału za pomocą związków zmniejszających palność,
- Zwiększenie stopnia krystaliczności oraz wielkości monokryształów i zmniejszenie zwartości de-

fektów w sieci krystalicznej, co prowadzi do podwyższenia temperatury topnienia i rozkładu termicznego,

- W bezpieczeństwie pożarowym istotny jest również właściwy dobór materiału polimerowego w zależności od zastosowania.

Natomiast do chemicznych sposobów zmniejszania lub ograniczania szybkości spalania można zaliczyć stosowanie środków reaktywnych wpływających na przebieg reakcji chemicznych podczas spalania, a także modyfikacja budowy łańcucha polimeru. W tym celu stosuje się środki opóźniające palność zwane inhibitorami spalania, antypirenami, uniepalniaczami lub retardantami (*flame retardant* – FR) [16–19]. Środki te mają za zadanie zwiększenie ognioodporności polimerów i/lub zmodyfikowanie ich zachowania w płomieniu [20], ale jednocześnie muszą być kompatybilne z uniepalnianym polimerem bez wpływania na ich parametry przetwórcze. Powinny również charakteryzować się dobrą odpornością na działanie promieniowania UV, tlenu oraz na podwyższoną temperaturę, a podczas spalania ich produkty rozkładu termicznego nie mogą być toksyczne [2].

Środki uniepalniające – inhibują proces zapalenia się oraz spowalniają szybkość reakcji pirolizy lub reakcji rozkładu termicznego materiałów polimerowych w zetknięciu z płomieniem. Antypireny posiadają zdolność tłumienia płomienia oraz dezaktywacji rodników powstających podczas palenia się polimeru.

Środki uniepalniające można podzielić na dwie podstawowe klasy:

- związki uniepalniające związane z polimerem w trakcie syntezy lub sieciowania. Związkami takimi stosowanymi głównie do poliestrów, poliuretanów czy epoksydów są np.: pentabromofenol, poliole zawierające fosfor, azot lub halogeny,
- niereaktywne związki w stosunku do polimeru dodawane zazwyczaj w trakcie przetwórstwa termoplastów. Do grupy tej należą np.: związki halogenowe – bromowane tlenki difenyłowe, chlorowane i bromowane parafiny, związki antymonu, wodorotlenki glinu i magnezu, związki boru oraz pochodne melaniny [21].

W mechanizmie działania antypirenów można wyróżnić kilka sposobów [22]:

- absorpcja ciepła przez rozkładający się materiał i dopływ tlenu O_2 do tworzywa hamuje proces pirolizy. Para wodna $\text{H}_2\text{O}_{(g)}$ działa jako atmosfera ochronna utrudniająca dostęp tlenu O_2 do palącego się materiału. Zwiększenie pojemności cieplnej osiąga się poprzez wprowadzenie do tworzywa tlenków żelaza, cynku czy antymonu;
- tworzenie powierzchniowej warstwy zwęglonej, która izoluje tworzywo od ognia i ogranicza do-

plyw paliwa w postaci lotnych produktów rozkładu termicznego, potrzebnego do podtrzymania procesu palenia. Według tego mechanizmu działają borany i fosforany. Powierzchniowa, izolująca warstwa tlenkowa powstaje również w wyniku termicznego rozkładu wodorotlenku glinu lub magnezu;

- powstanie spęcznionej warstwy powierzchniowej, która izoluje termicznie następne warstwy tworzywa i uniemożliwia dostęp ognia. Typowa kompozycja pęczniącego systemu antypirenowego to: poliole i melamina. Kolejne fazy procesu to: mięknięcie, uwolnienie nieorganicznego kwasu, zwęglenie alkoholu wielowodorotlenowego, wytwarzanie produktów gazowych z rozpadu melaminy, pęcznienie mieszaniny, zestalenie na drodze sieciowania;
- inhibicja reakcji spalania przez wolne rodniki powstałe z antypirenow podczas palenia. Uniepalniające środki halogenowe dla poprawy efektywności działania wymagają obecności dodatków synergicznych. Antypireny halogenowe są szeroko stosowane w wyrobach z poliamidów, poliestrów, poliolefin, PCV, polistyrenu oraz gumy.

W zależności od rodzaju polimeru, przeznaczenia produktu, stopnia zagrożenia dobiera się rodzaj i ilość antypirenu. Zazwyczaj są to ilości w granicach: od 15% wagowych (bromowe węglowodory) do 90% wagowych (wodorotlenek glinu). Przykładowe, używane w praktyce antypireny zestawiono w tabeli 3.

Jednakże bez względu na to, jaką substancję wybierano jako najbardziej optymalny środek uniepalniający dane tworzywo polimerowe, powinna ona wyróżniać się między innymi następującymi cechami [15]:

- wysoką skutecznością w zapobieganiu pożarom przy zawartości w modyfikowanym tworzywie do 10% wag;
- stabilnością fizyczną i chemiczną podczas użytkowania;
- zdolnością tworzenia jednorodnej mieszaniny z polimerem;
- łatwością stosowania;
- brakiem emisji substancji toksycznych i korozyjnych podczas użytkowania;
- brakiem wpływu na właściwości fizyczne, mechaniczne i estetyczne polimeru;
- nieszkodliwością ekologiczną,
- odpornością na działanie wody i degradację spowodowaną poprzez działanie promieniowania UV;
- niską ceną;
- właściwościami grzybo- i owadobójczymi, jeśli ma być stosowany do celulozy, drewna, bawełny itp.

Niestety do tej pory nie został wynaleziony inhibitor spalania, który charakteryzowałby się wszystkimi zakładanymi cechami. Dlatego na całym świecie w dalszym ciągu prowadzi się intensywne prace w celu otrzymania antypirenu idealnego.

Obecnie najpopularniejszą metodą uniepalniania tworzyw sztucznych jest stosowanie nanonapełniaczy, a tym samym tworzenie tak zwanych nanokompozytów. Mają one podstawową przewagę nad tradycyjnymi, omówionymi w artykule metodami uniepalniania materiału – dodatek napełniacza, czyli ich napełnienie, mieści się w przedziale od kilku setnych do zaledwie kilku części wagowych (maksymalnie 10 części wagowych). Niskie napełnienie tworzyw, w porównaniu z tradycyjnymi napełniaczami, pozwala na wyeliminowanie takich wad, jak pogorszenie właściwości przetwórczych i obniżenie parametrów mechanicznych. W zależności od oczekiwanych cech dobiera się rodzaje nanonapełniaczy. Poprawę odporności na podwyższone temperatury oraz działanie ognia pozwalają osiągnąć nanonapełniacze na bazie glinokrzemianów, wytwarzanych z glinokrzemianów o strukturze warstwowej. Naturalny bentonit przetwarzany jest na drodze wymiany jonowej w bentonit modyfikowany jonami sodu zdolny do pęcznienia. Najbardziej znane odmiany warstwowych krzemianów to: montmorylonit, hektorit i saponit.

Nanokompozyty polimerowe zawierające glinki organiczne mają lepszą stabilność termiczną i odporność na działanie ognia w porównaniu z polimerami modyfikowanymi tradycyjnymi metodami. Relatywnie mała zawartość glinokrzemianów (ok 3-5% wag.) pozwala na łatwe ich przetworstwo poprzez wytłaczanie, kalandrowanie czy wtrysk, podobnie jak polimerów bez nanododatków. Ponadto mała zawartość nanododatków w nanokompozytach pozwala na uzyskiwanie transparentnych produktów [24]. Nanokompozyty polimerowe z dodatkiem glinokrzemianów są przyjazne dla środowiska, w przeciwieństwie do tradycyjnych kompozytów z dodatkiem halogenów czy fosforanów. Takie nanokompozyty nie wydzielają tak znacznych ilości tlenku węgla i sadzy, co można zaobserwować w przypadku kompozytów z tradycyjnymi antypirenami [24]. Wprowadzenie niewielkich ilości napełniacza polepsza szereg właściwości tworzywa, takich jak wytrzymałość na rozerwanie, wytrzymałość na ściskanie, współczynnik rozszerzalności cieplnej, odporność chemiczna [25].

Bardzo dobre cechy ogniowe nanokompozytów wynikają ze struktury tych materiałów. Pod wpływem działania wysokiej temperatury i płomieni na powierzchni materiału tworzy się mocna, zwęglona warstwa bez spękań, izolująca polimer od ognia, a to ogranicza dostęp palnych produktów rozpadu polimerów do strefy spalania.

Klasyfikacja antypirenów (zestawiono na podstawie [23])

Tabela 3.

Table 3.

Classification flame retardants (summarized from [23])

Grupa Group	Rodzaj Type	Przykład Example	Uwagi Notes
Napelniacze	krzemionka, SiO_2	krzemionka koloidalna	wymaga użycia w dużym stężeniu, co pogarsza właściwości mechaniczne materiałów polimerowych
	kreda CaCO_3		
		kaolin	
	glino-krzemiany	montmorylonit modyfikowany czwartorzędowymi związkami amonu, protonowanymi aminami, organicznymi jonami fosfonowymi lub kwasami aminokarboksyłowymi	zaleca się mieszać go z wodorotlenkami metali, co poprawia skuteczność ochrony i pozwala zmniejszyć stężenie antypirenów; wystarczy stężenie 5 – 10 phr (jednostka phr oznacza części wagowe w przeliczeniu na 100 części wprowadzanego materiału) pod warunkiem dobrego zdyspergowania, które równocześnie poprawia właściwości mechaniczne materiałów polimerowych
		bentonit	wystarczy użycie w małym stężeniu pod warunkiem dobrego zdyspergowania, ale trzeba się liczyć z gorszymi właściwościami mechanicznymi materiałów polimerowych niż przy użyciu o MMT
	szkło	mikrokulki i mikrobaloniki	obniżają palność kompozytów
	grafit	ekspandowany grafit (EG)	jest stosowany w spienionych poliuretanach, żywicach i termoplastach, działa synergicznie z wodorotlenkiem magnezu i sproszkowanym wodorotlenkiem glinu; zmniejsza palność kompozytu polimerowego wskutek tworzenia struktury zwęglonej (mechanizm bariery fizycznej) oraz ochrony przeciwogniowej – efekt spieniania polimeru
	Fe_2O_3 drobnodyspersyjny	mieszanina Fe/FeO (nanocząstki)	działa synergicznie z klasycznymi antypirynami w HDPE
		$\text{MoO}_3 + \text{Fe}$	zmniejsza ilość tworzącego się dymu (nawet o 60%) i palność materiałów polimerowych
		FeOOH	ogranicza dymienie podczas palenia chlorowanych polimerów i ich mieszanin z innymi polimerami, na przykład ABS; kombinacja $\text{Sb}_2\text{O}_3/\text{FeOOH}$ jest bardziej skuteczna niż sam FeOOH
	wodorotlenki metali o średnicy cząstek od 1,5 do 3,5 (lub do 10) μm i powierzchni od 3 do 50 m^2/g oraz od 100 do 300 nm lub 1,3 μm	wodorotlenek glinu $\text{Al}(\text{OH})_3$	jest stosowany w stężeniu nawet powyżej 60 phr (jednostka phr oznacza części wagowe w przeliczeniu na 100 części wprowadzanego materiału surowego), na powierzchni materiału polimerowego pod wpływem ogrzewania tworzy warstwę szklaną, która zapobiega propagacji ognia, zmniejsza toksyczność spalin, powoduje endotermiczną dehydratację, pochłaniając ciepło, temperatura rozkładu powyżej 190°C, ale maksymalna temperatura przetwórstwa materiałów polimerowych 200°C; niestety dodatek ten pogarsza właściwości mechaniczne i elektryczne materiału; działa synergicznie z boranem cynku; wodorotlenki metali mogą mieć cząstki o powierzchni hydrofobizowanej, na przykład silanami, stosowany do poliestrów, poliwęglanów, PET, PBT, PA; wodorotlenek glinu o powierzchni zmodyfikowanej silanem jest bardziej skuteczny niż bez takiej modyfikacji
		wodorotlenek magnezu, $\text{Mg}(\text{OH})_2$	działa synergicznie z ekspandowanym grafitem i czerwonym fosforem; w stężeniu powyżej 60 phr zmniejsza palność materiałów polimerowych poddanych działaniu wyższej temperatury, przy których wprowadzono $\text{Al}(\text{OH})_3$ jest już za mało stabilny; pogarsza właściwości mechaniczne materiału; jeśli wodorotlenek jest dobrze zdyspergowany w polimerze, może być stosowany w izolacji kabli, w wyrobach z polimerów termoplastycznych (na przykład PP i PA) i termoutwardzalnych
	tytan	TiO_2	pod wpływem promieniowania UV katalizuje reakcje utleniania
	kobalt	stearynian kobaltu	stosowany w układach synergicznych w celu zmniejszenia palności PA6

Grupa Group	Rodzaj Type	Przykład Example	Uwagi Notes
Fosfor i związki fosforu		czerwony fosfor	zmniejsza emisję dymu i korozję w produktach rozkładu; działa synergicznie z halogenami, co umożliwia stosowanie go zamiast Sb_2O_3 ; używany do zmniejszenia palności żywic poliestrowych itp.
		mono-, di- lub poli(fosforany amonu)	są używane do impregnacji zmniejszającej palność drewna
		kwas ortofosforowy	jest używany do impregnacji zmniejszającej palność drewna
		fosforan guanylomocznika, $NH_2 \cdot CO \cdot NH \cdot C(=NH) \cdot NH_2$	jest używany do impregnacji zmniejszającej palność drewna
		fosfoniany amonu	są skuteczne w impregnacji zmniejszającej palność drewna
		węglan wapnia, $CaCO_3$ $CaCO_3$ + silikony	są używane do wspomagania wytwarzania warstwy zwęglonej; skutecznie stosowane w dwukrotnie mniejszych stężeniach niż wodorotlenki metali w izolacjach; zawierający je materiał polimerowy lepiej się przetwarza, ma lepsze właściwości mechaniczne, elektryczne i jest tańszy
Związki halogenowe organiczne	bromowe	tetrabromobisfenol A	antypiren przeciwdziałający także rozwojowi mikrobów
		tlenek dekabromodifenylu, DBDPO	jest skutecznym antypirenem w PA, PBT i poliestrach, odporny na stosunkowo wysoką temperaturę przetwórstwa i starzenie atmosferyczne wyrobów, nie powoduje zmiany barwy wyrobów, jest stosowany w małych stężeniach
	chlorowe	chlorowane parafiny z zawartością chloru ok. 65%	po zmieszaniu z PVC daje materiał trudnopalny pokrywający się porowatą warstwą zwęgloną, maksymalna temperatura jego spieniania wynosi 360°C
		chlorowany polietylen	
Fosforo-organiczne	halogenowe fosorany	chlorek tetra(hydroksymetylo)-fosfoniowy, THPC	jest skuteczny w zastosowaniach do tkanin bawełnianych
		fosforan, TDCPP, $C_9H_{15}O_4Cl_6P$	temperatura rozkładu 230°C, jest stosowany do PVC, miękkich i twardych pianek PU, żywic epoksydowych, żywic nienasyconych, włókien poliestrowych i gum na taśmy przenośnikowe; działa zarówno w fazie stałej, jak i gazowej
Związki antypirenu zawierające atomy azotu		cyjanuran melaminy	jest stabilny do temperatury 320°C, zawierające go materiały polimerowe charakteryzują się dużym modulem Younga, wydłużeniem przy zerwaniu i uderzością; jest używany do zmniejszenia palności i tendencji do kapania, można go stosować do PA6, litego i spienionego PU

2. Podsumowanie

Bezpieczeństwo pożarowe jest jednym z priorytetów stawianych naukowcom i służbom bezpieczeństwa. Spowodowane jest to szybkim rozwojem przemysłowym i niebezpieczeństwami. W coraz to nowszych gałęziach naszego życia znajdują zastosowanie tworzywa sztuczne. Niestety są one materiałami łatwopalnymi, a paląc się są bardzo toksyczne i sprawiają wiele problemów podczas gaszenia. W związku z tym, zarówno w Polsce, jak i na świecie prowadzone są liczne i bardzo szerokie prace nad poprawą bezpieczeństwa pożarowego związanego z użytkowaniem polimerowych tworzyw sztucz-

nych. Z powodzeniem realizowane są nowoczesne badania dążące do ograniczenia palności i zapalności tworzyw.

Najpopularniejszą metodą obniżenia palności polimerowych tworzyw sztucznych jest modyfikacja ich poprzez dodatek antypirenow. Odpowiedni dodatek uniepalniacza zmniejsza efektywność spalania polimerowych tworzyw sztucznych dzięki czemu m.in. temperatura pożaru wzrasta wolniej, a zatem czas na ewakuację ludzi z pomieszczenia staje się dłuższy, a co za tym idzie ulega poprawie bezpieczeństwo ludzi.

Obecnie prowadzone są intensywne prace nad nanokompozytami polimerowymi [22] [26], które mają tę przewagę w porównaniu do tradycyjnych kompozytów z antypirenami, że wystarczy dodatek zaledwie ok. 5% wag., by zmienić ich właściwości palne przy jednoczesnym zachowaniu właściwości mechanicznych i przetwórczych.

Literatura

1. Półka M., *Analiza szybkości wydzielania ciepła i dymu z materiałów epoksydowych niemodyfikowanych i modyfikowanych środkami ogniochronnymi*, „Polimery” 10 (2011).
2. Rybiński P., Janowska G., *Wpływ antypirenów na stabilność termiczną i palność usieciowanych kauczków nitrylowych*, „Polimery”, (11-12) 2009.
3. Gruin I., Ryszkowska J., *Materiały polimerowe*, Oficyna Wydaw. Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1996.
4. Sawicki T., *Tworzywa sztuczne a zagrożenie pożarowe*, „Bezpieczeństwo pracy”, (7-8) 2003.
5. Ryszkowska J., Jurczyk-Kowalska M., Waśniewski B., *Struktura i właściwości termiczne nanokompozytów epoksydowych z antypirynami*, „Inżynieria Materiałowa”, 6 (2006).
6. Nagrodzka M., Małozieć D., *Impregnacja drewna środkami ognioochronnymi*, „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza”, 3 (2011).
7. Gałaj J., Jaskółowski W., Karpowicz Z., Šukys R., *Investigation of the influence of impregnation on the pine timber combustion using flow through tests*, „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza”, 3 (2011).
8. Kuciel S., *Ocena możliwości uniepalniania kompozytów na osnowie poliolefin napełnianych mączką drzewną*, „Czasopismo Techniczne. Mechanika”, 2006, R. 103, z. 6-M, 297-302.
9. Kicko-Walczak E., *Uniepalnianie nienasyconych żywic poliestrowych. Dotychczasowe osiągnięcia oraz nowe propozycje*, „Przemysł Chemiczny”, 12 (2001).
10. Riegert D., *Struktura i właściwości nanokompozytów poliuretanowych z montmorylonitem*, praca magisterska, Wydział Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej.
11. Jurczyk-Kowalska M., *Kompozyty poliuretanowe modyfikowane nanocząstkami bemitu*, praca doktorska, Politechnika Warszawska. Wydział Inżynierii Materiałowej, 2010.
12. Giannelis E.P., *Flame Retardant Nanocomposite Materials*, [dok. elektr.] www.nist.gov [dostęp: 20.12.2012].
13. Innes A., *Flame Retardants*, Applied Plastics Engineering Handbook: Processing and Materials
14. Bourbigot S., Duquesne S., *Fire retardant polymers: recent developments and opportunities*, „Journal of Materials Chemistry”, 17 (2007).
15. Janowska G., Przygocki W., Włochowicz A., *Palność polimerów i materiałów polimerowych*, Wyd. naukowo – Techniczne, Warszawa 2007.
16. Nagrodzka M., Małozieć D., *Znaczenie środków ognioochronnych wykorzystywanych w materiałach stosowanych w budownictwie*, „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza”, 2 (2010).
17. Boryniec S., Przygocki W., *Procesy spalania polimerów. Cz. I. Zagadnienia podstawowe*, „Polimery”, 2 (1999).
18. Boryniec S., Przygocki W., *Procesy spalania polimerów. Cz. II. Zjawisko zapłonu w polimerach*, Polimery, 6 (1999).
19. Boryniec S., Przygocki W., *Procesy spalania polimerów. Cz. III Opóźnianie spalania materiałów polimerowych*, „Polimery”, 10 (1999).
20. Kicko-Walczak E., *Nowe bezhalogenowe antypiryny – uniepalnianie nienasyconych żywic poliestrowych z zastosowaniem związków boru*, „Polimery”, 2 (2008).
21. Bortel K., *Środki pomocnicze w przetwórstwie tworzyw sztucznych*, „Plastics Review” 11 (2006), 36-46.
22. Morgan A.B., Wilkie C.A., *Flame retardant polymer nanocomposites*, 2007.
23. Jurkowski B., Rydarowski H., *Materiały polimerowe o obniżonej palności*, Wyd. Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji – Państwowego Instytutu Badawczego w Radomiu, 2012.
24. Olejnik M., *Nanokompozyty polimerowe z udziałem montmorylonitu – otrzymywanie, metody oceny, właściwości, zastosowanie*, „Techniczne Wyroby Włókiennicze”, 3/4 (2008).
25. Kacperski M., *Nanokompozyty polimerowe. Cz. II. Nanokompozyty na podstawie polimerów termoplastycznych i krzemianów warstwowych*, „Polimery”, 2 (2003).
26. Bras M.Le, Wilkie C.A., Bourbigot S., *Fire retardancy of polymers applications of mineral fillers*, The Royal Society of Chemistry, Cambridge, 2005.

dr inż. Dorota Riegert w roku 2012 ukończyła studia doktoranckie na Wydziale Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej, uzyskując stopień doktora nauk technicznych. Jest autorem lub współautorem artykułów publikowanych w czasopismach naukowych i materiałach konferencyjnych, a także autorem referatów prezentowanych na konferencjach krajowych i zagranicznych. Od czerwca 2012 pracownik Zespołu Laboratoriów Badań Chemicznych i Pożarowych w CNBOP-PIB, gdzie zajmuje się tematyką związaną z ochroną przeciwpowodziową.

mł. kpt. dr **Tomasz WĘSIERSKI**¹
dr inż. **Stefan WILCZKOWSKI**²
dr hab. inż. **Henryk RADOMIAK**³

WYGASZANIE PROCESU SPALANIA PRZY POMOCY FAL AKUSTYCZNYCH

Extinguishing fires with the aid of acoustic waves

Streszczenie

Przerwa w procesie produkcyjnym wiąże się zawsze ze stratami finansowymi przedsiębiorstwa. Tak więc niezwykle ważnym elementem w przypadku zaistnienia pożaru jest jego wykrycie i ugaszenie w jak najwcześniejszej fazie oraz wykorzystanie technologii gaśniczych oddziałujących w sposób niedestruktywny na obiekty chronione. Idealnym rozwiązaniem wydaje się zatem wykorzystanie fal akustycznych w procesie gaszenia pożarów. W artykule przedstawiono badania dotyczące gaśniczych właściwości fal akustycznych wraz z sugestią wykorzystania tego zjawiska jako elementu stałych urządzeń gaśniczych.

Summary

A break in the production process is always linked to financial losses for companies. Therefore, it is extremely important to detect and put out a fire at its earliest stage as well as harness extinguishing equipment in a non-destructive way to protected premises. The ideal solution may be found in the use of acoustic waves. This article describes research associated with the characteristics of acoustic waves, accompanied by a suggestion to utilise this phenomenon as one element of established fire fighting installations.

Słowa kluczowe: wygaszanie akustyczne płomieni, efekt gaśniczy, hamowanie spalania;

Keywords: acoustic waves fire suppression, extinguishing effect, fire retardation;

Wprowadzenie

Niezwykle istotnym parametrem bezpieczeństwa określającym zagrożenie życia oraz wysokość strat jest szybkie wykrycie oraz ugaszenie powstałego pożaru. Ze względu na znaczną ilość przechowywanych materiałów niebezpiecznych tyczy się to przede wszystkim dużych zakładów przemysłowych, gdzie niekontrolowany przebieg zdarzenia [1-10] może w krótkim okresie czasu spowodować eskalację zdarzenia do wielkości wymagającej działań na poziomie strategicznym [11-12].

Maksymalne zmniejszenie strat wynikające z prowadzenia działań gaśniczych, zarówno na poziomie rot ratowniczych, jak i na poziomie stałych urządzeń gaśniczych wymaga również zastosowania nowoczesnych i „czystych” technologii [13-18]

umożliwiających powrót zakładu oraz środowiska [19] po awarii do pełni funkcjonowania w maksymalnie krótkim czasie. Stąd też szczególną uwagę zwrócono na takie technologie jak efektywne użycie mgły wodnej [18], środków zwilżających [16] [17] czy też fal akustycznych [20-25] będących przedmiotem publikacji.

Badania nad procesami spalania wykazują, iż w pewnych warunkach może ono mieć przebieg nieciągły. Niestabilne spalanie zaobserwowano w wielu urządzeniach, takich jak palniki przemysłowe, dopalacze silników odrzutowych, silniki strumieniowe oraz rakiety, charakteryzujących się dużymi oscylacjami parametrów przepływu [26-28].

Law i Axelbaum [26] zweryfikowali eksperymentalnie założenia teoretyczne, iż rozciąganie płomienia wynikające głównie z działania wirów turbulentnych wpływa istotnie na jego aerodynamiczne zniekształcenie, prowadząc do jego wygaszania.

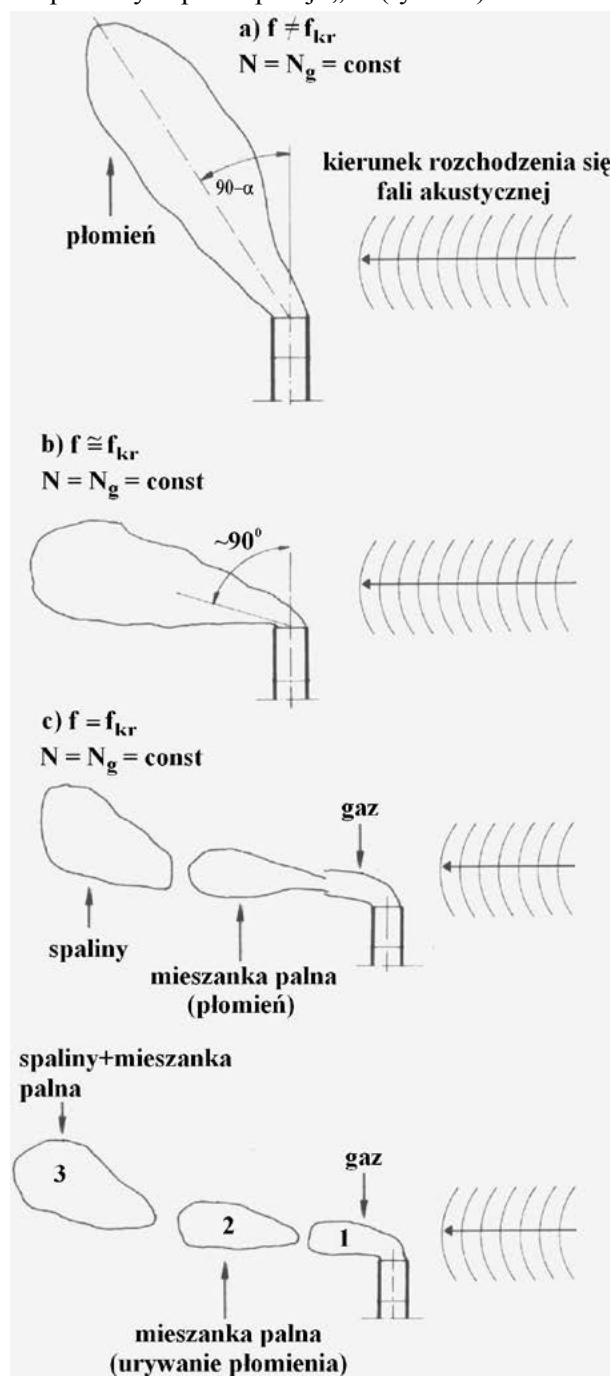
Wraz z falą akustyczną o częstotliwości f i mocy akustycznej N zostaje wysłana ze źródła drgań określona wartość energii. Tym samym istnieje możliwość wykonania pracy poprzez źródło dźwięku w określonym punkcie ośrodka albo też zmiany energii mechanicznej fali akustycznej w inny rodzaj energii. Jednocześnie skutek zmiany ciśnienia

¹ Szkoła Główna Służby Pożarniczej, ul. Słowackiego 52/54, 01-629 Warszawa, Polska; wesierskitomasz@poczta.onet.pl; wkład merytoryczny – 33%;

² Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpowodziowej – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Nadwiślańska 213, 05-420 Józefów k. Otwocka, Polska wkład merytoryczny – 33%;

³ Politechnika Częstochowska, ul. J.H. Dąbrowskiego 69, 42-201 Częstochowa, Polska; wkład merytoryczny – 33%;

akustycznego następuje zerwanie ciągłości strugi, co jest przyczyną podziału płomienia na porcje po osiągnięciu częstotliwości krytycznej f_{kr} (ryc. 1). Warunek brzegowy wygaszania płomienia następuje wtedy, gdy temperatura porcji „2” staje się mniejsza od temperatury zapłonu porcji „1” (ryc. 1 c).



Ryc. 1. Mechanizm zerwania ciągłości strugi płomienia na skutek działania fali akustycznej.

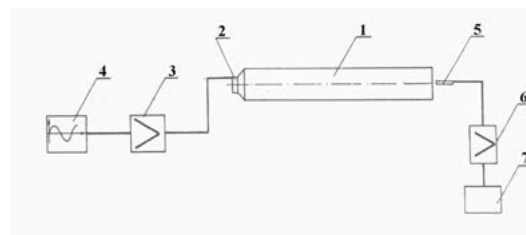
f – częstotliwość fali, f_{kr} – częstotliwość krytyczna, N – moc akustyczna, N_g – graniczna moc akustyczna

Fig. 1. Mechanism of flame continuity brake. f – wave frequency, f_{kr} – critical wave frequency, N – acoustic power, N_g – terminal acoustic power

1. Stanowisko pomiarowe

W ramach badań wpływu parametrów fali akustycznej na efektywność wygaszania płomienia me-

tanowego skonstruowano stanowisko badawcze przedstawione na ryc. 2.



Ryc. 2. Schemat stanowiska do badania parametrów generowanej fali akustycznej. 1 – tunel aerodynamiczny, 2 – głośnik, 3 – wzmacniacz, 4 – generator częstotliwości, 5 – mikrosonda pomiarowa, 6 – wzmacniacz sygnału sondy, 7 – komputerowy system pomiarowy

Fig. 2. Scheme of set to investigation of parameters generated acoustic wave. 1 – aerodynamic tunnel, 2 – speaker, 3 – amplifier, 4 – frequency generator, 5 – probe, 6 – amplifier of probe signal, 7 – computerized measuring system

Składało się ono z tunelu aerodynamicznego, głośnika, wzmacniacza, generatora częstotliwości, mikrosondy pomiarowej, wzmacniacza sygnału sondy oraz systemu zbierania danych.

Tunel akustyczny o średnicy 0,07 m i długości 0,65 m zaopatrzono w głośnik dynamiczny GDN/6/30 zasilany wzmacniaczem MDD2108M z generatora częstotliwości PO-21. Układ pozwolił na generowanie fali akustycznej o częstotliwości $20 < f < 5000$ Hz przy mocy podawanej na głośnik $P < 30$ W. Ciśnienie mierzono mikrosondą Küllite zaopatrzoną w standardowy wzmacniacz sygnału.

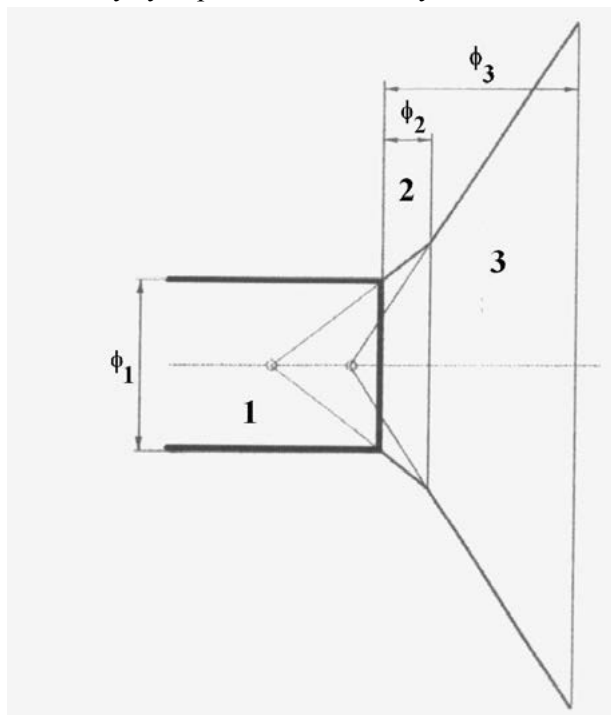
2. Wyniki i dyskusja

W badanym zakresie pomiarowym największą amplitudę zmian ciśnienia osiągnięto przy częstotliwości $f = 40$ Hz, najmniejszą natomiast przy $f = 900$ Hz. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów wartości ciśnień, zarówno przy tunelu otwartym, jak i przysłoniętym diafragmami określono geometrię drgającej wiązki falowej poza wyłotem tunelu (ryc. 3).

Stosunkowo duży kąt rozwarcia wiązki jest przyczyną wysokiego spadku ciśnienia w miarę oddalania się od płaszczyzny wylotu (ryc. 4).

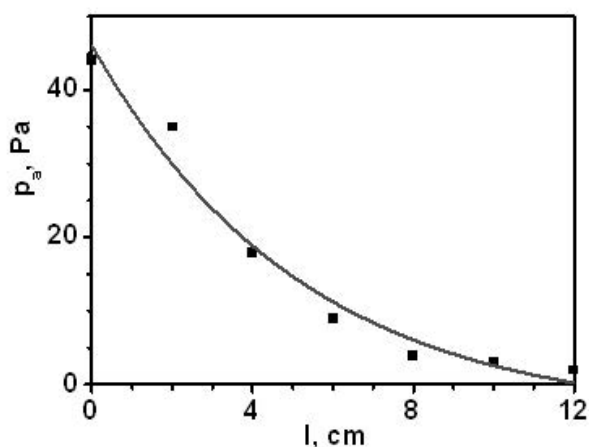
Tak więc przy projektowaniu urządzeń mających na celu gaszenie akustyczne pożaru warto wziąć ten parametr pod uwagę, kierując oraz modelując geometrię wiązki tak, by mogła jak najbardziej precyzyjnie trafić w przypuszczalne źródło pożaru. Technologia zatem może być przeznaczona do likwidacji zarzewi pożarów w początkowym ich stadium lub też konieczne będzie wykorzystanie głośników o znacznie większej mocy. Wynika to również z faktu, iż ciśnienie akustyczne wzrasta liniowo wraz z mocą podawaną na głośnik jedynie w pewnym

ograniczonym zakresie, co doskonale prezentuje charakterystyka przedstawiona na ryc. 5.



Ryc. 3. Geometria wylotu pasma – rura rezonansowa – kąt rozwarcia 75°/112°

Fig. 3. Band geometry outlet, resonance tube - angle of aperture 75°/112°

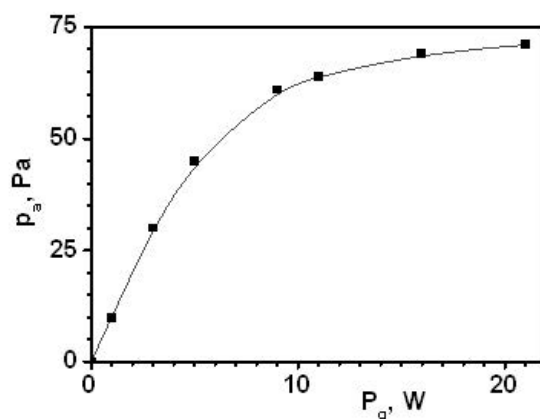


Ryc. 4. Zależność ciśnienia akustycznego w osi pasma od odległości od płaszczyzny wylotu.

Tunel otwarty $\phi = 70$ mm

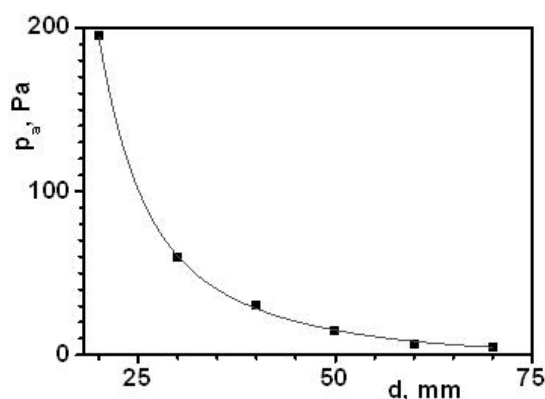
Fig. 4. Acoustic pressure p_a as a function of exit plane distance l . Opened tunnel $\phi = 70$ mm

Modelowanie wiązki mające na celu zwiększenie punkowego ciśnienia akustycznego można dokonać poprzez użycie diafragmy. Zależność ciśnienia od średnicy diafragmy przedstawiono na ryc. 6. Wyraźnie można zauważyć, iż spadek średnicy wylotu 70 mm do 20 mm dla zadanej odległości pomiaru (0,07 m) spowodował około 40-krotny wzrost ciśnienia akustycznego.



Ryc. 5. Zależność ciśnienia akustycznego od mocy podawanej na głośnik. Głośnik dynamiczny GDN/6/30

Fig. 5. Acoustic pressure as a function of power given to the speaker. Dynamic speaker GDN/6/30



Ryc. 6. Zależność ciśnienia akustycznego od średnicy diafragmy mierzone w odległości 70 mm od płaszczyzny wylotu tunelu ($f = 40$ Hz, $P_g = 5,2$ W)

Fig. 6. Acoustic pressure as a function of diaphragm diameter measured in the distance 70 mm from tunnel plane

Tak jak wspomniano wcześniej, efekt gaśniczy jest zależny od częstotliwości fali (tabela 1). W przypadku najmniej (900 Hz) i najbardziej (40 Hz) efektywnej gaśniczo częstotliwości różnica mocy podawanej na głośnik różni się aż 17-krotnie przy 3,5-krotnej różnicy ciśnień akustycznych.

W ramach badań przeprowadzono również testy gaśnicze, które sprawdzały wpływ mocy podanej na głośnik koniecznej do ugaszenia pożaru w funkcji odległości płomienia od źródła wygaszania (ryc. 7). Badania wykonano dla płomienia metanowego odpowiednio dla wysokości 4 oraz 20 cm. Określono, iż przeciętnie do ugaszenia płomienia na każdy centymetr wzrostu odległości od źródła wygaszania potrzebne jest odpowiednio dodatkowo 1,16 W oraz

2,2 W mocy (dla wysokości płomienia $h = 4$ oraz 20 cm).

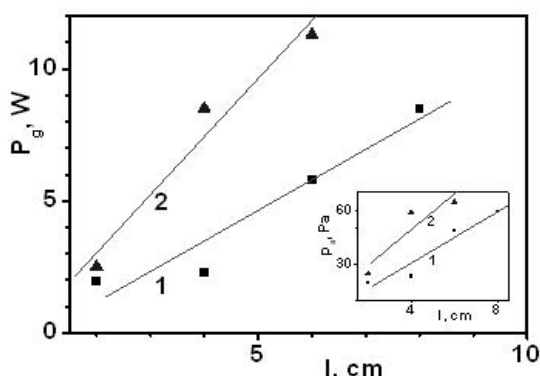
Tabela 1.

Zależność pomiędzy parametrami fali wygaszającej płomień: częstotliwość f , moc podawana na głośnik P , ciśnienie fali akustycznej p_a , natężenie fali akustycznej I . Wysokość płomienia $h = 2$ cm, odległość płomienia od płaszczyzny wylotu $l = 2$ cm, tunel całkowicie otwarty

Table 1.

Dependence between parameters of extinguishing wave: frequency f , power given to the speaker P , acoustic wave pressure p_a , acoustic wave intensity I . Flame height $h = 2$ cm, distance between flame and exit plane $l = 2$ cm, tunnel completely open

Częstotliwość f , Hz	Moc podawana na głośnik P , W	Ciśnienie fali akustycznej p_a , Pa	Natężenie fali akustycznej I , W · m ⁻²
40	1,3	21,2	1,08
230	6,0	46,2	1,52
465	15,0	68,0	3,75
900	22,0	73,5	5,56



Ryc. 7. Zależność mocy podawanej na głośnik wygaszającej płomień od odległości od źródła wygaszania. Insert: zależność ciśnienia akustycznego wygaszającego płomień od odległości od źródła wygaszania. Wysokość płomienia 1) $h = 4$ cm 2) $h = 20$ cm. Częstotliwość badawcza $f = 40$ Hz.

Fig. 7. Power given to the speaker necessary to extinguish flame as a function of the distance from extinction source. Insert: acoustic pressure necessary to extinguish flame as a function of the distance from extinction source. Flame height 1) $h = 4$ cm 2) $h = 20$ cm. Investigation frequency $f = 40$ Hz.

W przedmiocie zainteresowania znalazło się także określenie zależności pomiędzy mocą cieplną płomienia P_p a mocą podawaną na głośnik P_g . Moc cieplną płomienia P_p szacowano, wykorzystując zależność Simona i Wagnera²⁹⁾ podaną poniżej:

$$P_p = \frac{Q}{V_{pl}} \cdot W_d, \text{ kJ/m}^3\text{s}$$

gdzie:

Q – natężenie przepływu paliwa, m³/s

W_d – wartość opałowa paliwa, kJ/m³ (spalano gaz ziemny o wartości opałowej $35 \cdot 10^3$ kJ/m³)

V_{pl} – objętość płomienia, m³ (przybliżona wzorem na objętość stożka)

Eksperyment wykonano przy najbardziej efektywnej częstotliwości wygaszającej – 40 Hz. Na podstawie badań z diafragmami jako średnicę badawczą wybrano wylot konfuzora o wielkości 2 cm (patrz ryc. 6). Otrzymane wartości przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2.

Zależność mocy cieplnej płomienia P_p od mocy podawanej na głośnik P_g celem ugaznienia płomienia. $f = 40$ Hz, $d_{dyszy} = 3$ mm, $W_d = 35 \cdot 10^3$ kJ/m³

Table 2.

Power given to the speaker P_g necessary to extinguish a flame of power P_p . $f = 40$ Hz, $d_{dyszy} = 3$ mm, $W_d = 35 \cdot 10^3$ kJ/m³

Moc cieplna płomienia P_p , W·m ³	Moc podawana na głośnik P_g , W	$k = P_g/P_p \cdot 10^{-6}$
1320000	5,3	4,00
2640000	8,6	3,25
3960000	13,8	3,48
5280000	17,7	3,35
6080000	29,0	4,77

Można zauważyć, iż stosunek mocy gaszącej do mocy płomienia wykazuje stosunkowo niewielkie wahania i wynosi przeciętnie $k_{sr} = 3,77 \cdot 10^{-6}$ m³.

3. Wnioski

Badania wyraźnie potwierdziły efekt gaśniczy fal dźwiękowych. Jak wykazano, ewentualne wykorzystanie technologii wymaga doboru odpowiedniej częstotliwości gaszenia, jak również skupienia wiązki na możliwie najmniejszym obszarze. Zatem konieczne jest sprzężenie rozwiązania z systemem detekcji płomieni tak, aby móc punktowo uderzyć w źródło pożaru. Przy tworzeniu systemu warto też pamiętać o jego wielopunktowym rozmieszczeniu. Wynika to zarówno z odwrotnie proporcjonalnego spadku ciśnienia akustycznego w funkcji odległości od źródła, charakterystyki zależności ciśnienie akustyczne/moc głośnika, jak i ograniczeń związanych z przeszkodami w swobodnym rozchodzeniu się fali akustycznej.

Zatem technologia gaszenia płomieni falami akustycznymi mogłaby stać się elementem wspomagającym bezpieczeństwo magazynów, hal przemysłowych, zbiorników cieczy palnych działającym na zasadzie stałych urządzeń gaśniczych. Regulowane wysokościowo rozwiązanie spełniające dyrekty-

wę ATEX mogłoby się przyszłościowo sprawdzić, zwłaszcza w ostatnim przypadku ze względu na możliwość umieszczania głośników wielopunktowo i stosunkowo blisko powierzchni dachu pływającego, jak również dzięki brakowi przeszkód na drodze rozchodzenia się fali w zbiornikach.

Na obecnym etapie znajomości technologii dyskusyjna jest natomiast możliwość wykorzystania rozwiązania w działaniach ratowniczo-gaśniczych podstawowych jednostek ochrony przeciwpożarowej. Aby tak się stało, wymagana byłaby miniaturyzacja urządzeń z jednoczesnym wbudowaniem w nie głośników dużej mocy. Konieczne byłoby również wykonanie ich w technologii odpornej na warunki prowadzenia działań. Dyskusyjny jest również wpływ tego typu urządzeń na zdrowie ratowników i poszkodowanych przy bezpośrednim znalezieniu się w strumieniu wiązki. Takie sytuacje miałyby miejsce bardzo często podczas prowadzenia działań przez rotę ratowniczą.

Aby dać sobie odpowiedź na wszelkie możliwe sugestie wykorzystania technologii konieczne jest jednak przeprowadzenie badań na urządzeniach o znacznie większej mocy. Pozwoli nam to określić granice zasięgu działania technologii, jej graniczne zdolności gaśnicze oraz bezpieczeństwo użytkowania przez ludzi.

Literatura

1. Lesiak P., Porowski R., *Ocena skutków awarii przemysłowej w instalacjach procesowych, w tym efektu domino – część I*, „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza”, 2012, 27, 13.
2. Salamonowicz Z., Jarosz W., *Odlamkowanie podczas wybuchu zbiorników z LPG*, „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza”, 2012, 27, 53.
3. Abbasi T., Abbasi S. A., *The boiling liquid expanding vapour explosion (BLEVE): Mechanism, consequence assessment, management*, ‘Journal of Hazardous Materials’, 2007, 141, 489.
4. Park K., Mannan M. S., Jo Y. D., Kim J. Y., Keren N., Wang Y., *Incident Analysis of Bucheon LPG Filling Station – Pool Fire and BLEVE*, ‘Journal of Hazardous Materials’, 2006, 137, 62.
5. Gubinelli G., Cozzani V., *Assessment of missile hazards: identification of reference fragmentation patterns*, ‘Journal of Hazardous Materials’, 2009, 163, 1008.
6. Gubinelli G., Cozzani V., *Assessment of missile hazards: Evaluation of the fragment number and drag factors*, ‘Journal of Hazardous Materials’, 2009, 161, 439.
7. Bubbico R., Marchini M., *Assessment of an explosive LPG release accident. A case study*, ‘Journal of Hazardous Materials’, 2008, 155, 558.
8. Cozzani V., Tugnoli A., Salzano E., *Prevention of domino effect: from active and passive strategies to inherently safe design*, ‘Journal of Hazardous Materials’, 2007, 139, 209.
9. Michalik J. S., Gajek A., Słomka L., *Zagrożenia stwarzane przez substancje niebezpieczne w razie poważnych awarii w zakładach niesewerskich. Przesłanki do postępowania kwalifikacyjnego w odniesieniu do tych zakładów*, „Przemysł Chemiczny”, 2011, 90, 1966.
10. Węsierski T., Porowski R., *Metodyka obliczeń średnicy oraz czasu BLEVE-fireball*, „Przemysł Chemiczny”, 2011, 90, 2112.
11. Peterson W., *Nowa wersja krajowej strategii skutecznego reagowania kryzysowego w przypadku wystąpienia kataklizmu: Wnioski z przebiegu huraganu Katrina*, „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza”, 2011, 21, 9.
12. Peterson W., *Nowa wersja krajowej strategii skutecznego reagowania kryzysowego w przypadku wystąpienia kataklizmu: Wnioski z przebiegu huraganu Karina. Cz. II*, „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza”, 2011, 22, 9.
13. Wnęk W., Kubica P., Basiak M., *Standardy projektowania urządzeń gaśniczych tryskaczowych – porównanie głównych parametrów*, „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza”, 2012, 27, 83.
14. Rakowska J., Ślosorz Z., *Korozja instalacji gaśniczych i armatury pożarniczej*, „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza”, 2011, 24, 113.
15. Radwan K., Rakowska J., *Analiza skuteczności zastosowania wodnych roztworów mieszanin koncentratów pianotwórczych do gaszenia pożarów cieczy palnych*, „Przemysł Chemiczny”, 2011, 90, 2118.
16. Twardochleb B., Jaszkievicz A., Szwach I., Prochaska K., *Aktywność powierzchniowa, pianotwórczość oraz biodegradowalność surfaktantów stosowanych w pianotwórczych środkach gaśniczych*, „Przemysł Chemiczny”, 2011, 90, 1802.
17. Twardochleb B., Jaszkievicz A., Semeniuk I., Radwan K., Rakowska J., *Wpływ anionowych związków powierzchniowo czynnych na właściwości preparatów przeznaczonych do usuwania ropopochodnych*, „Przemysł Chemiczny”, 2012, 91, 1918.
18. Węsierski T., Kielin J., Gontarz A., *Samochody z turbinowym systemem gaśniczym*, „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza”, 2010, 20, 139.
19. Radwan K., Ślosorz Z., Rakowska J., *Efekty środowiskowe usuwania zanieczyszczeń ropopochodnych*, „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza”, 2012, 27, 107.
20. Plaks D., Nelson E., Hyatt N., Espinosa J., Coley Z., Tran C., Mayo B., „Journal of the Acoustical Society of America”, 2005, 118, 1945.

21. Poisot T., Yip B., Veynante P., Trouve A., Samaniego J. M., Candel S., Zero-g acoustic fire suppression system, „Journal de Physique III”, 1992, 2, 1331.
22. <http://www.extremetech.com/extreme/132859-darpa-creates-sound-based-fire-extinguisher>
23. Leśniak B., Wilczkowski S., „BiT KG SP Nauka i Technika Pożarnicza”, 1988, 2, 40.
24. Wilczkowski S., Szczówka L., Radomiak H., Mszoro K., *Urządzenie do gaszenia płomieni falami akustycznymi*, Patent krajowy Nr 177478.
25. Wilczkowski S., Szczówka L., Radomiak H., Mszoro K., *Sposób gaszenia płomieni falami akustycznymi*, Patent krajowy Nr 177792.
26. Im H. G., Law C.K., Axelbaum R. L., *Opening of the Burke-Schumann Flame Tip and the Effects of Curvature on Diffusion Flame Extinction*, „Proceedings of the Combustion Institute”, 1990, 23, 551.
27. Chellah H. K., Law C. K., Ueda T., Smooke M.D., Williams F. A., *An experimental and theoretical investigation of the dilution, pressure and flow-field effects on the extinction condition of methane-air-nitrogen diffusion flames*, „Proceedings of the Combustion Institute”, 1990, 23, 503.
28. Becker H., Monkhouse P. B., Wolfrum J., Kant R.S., Bray N.C., Maly R., Pfister W., Stahl G., Warnatz J., *Investigation of extinction in unsteady flames in turbulent combustion by 2D-LIF of OH radicals and flamelet analysis*, „Proceedings of the Combustion Institute”, 1990, 23, 817.
29. Simon D. M., Wagner P., Characteristics of Turbulent Combustion by Flame Space and Space Heating, „Journal of Industrial and Engineering Chemistry”, 1956, 1, 129.

ml. kpt. dr Tomasz Węsierski – adiunkt w Zakładzie Ratownictwa Chemicznego i Ekologicznego Szkoły Głównej Służby Pożarniczej. W służbie od 2008 roku. W zakresie jego zainteresowań leży poprawa bezpieczeństwa działań ratowniczych przy niekontrolowanych uwolnieniach substancji niebezpiecznych.

dr hab. inż. Henryk Radomiak, kierownik Katedry Pieców Przemysłowych i Ochrony Środowiska Politechniki Częstochowskiej. Zajmuje się szeroko pojętym spalaniem paliw i odpadów oraz diagnostyką urządzeń grzewczych.

dr. inż. Stefan Wilczkowski, studia ukończył na Wydziale Chemii Spożywczej Politechniki Łódzkiej (1953), a następnie na Wydziale Matematyczno-Fizyczno-Chemicznym Uniwersytetu Łódzkiego (1958). Ukończył również studia podyplomowe „Spalanie” na Politechnice Warszawskiej. Tytuł doktora nauk technicznych uzyskał w 1977 w Wyższej Inżynierskiej Technicznej Szkole Pożarniczej w Moskwie. Obecnie pracuje w CNBOP-PIB. Specjalność – chemia pożarowa.

доктор. физ-мат. наук **СИЗИКОВ А.С./SIZIKOV A.S.**¹

профессор доктор. физ-мат. наук, **БЕЛЯЕВ Б.И./BELIAEV B.I.**²

доцент канд. физ-мат. наук **КАТКОВСКИЙ Л.В./KATKOVSKII L.V.**²

доцент **ХВАЛЕЙ С.В./KHVALEI S.V.**²

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ МОНИТОРИНГА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ, ОСУЩЕСТВЛЯЕМОГО ПУТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Prospects for the development of technical means for emergency situations monitoring, implemented through remote sensing

Содержание

Статья посвящена вопросам современных тенденций развития аэрокосмического мониторинга чрезвычайных ситуаций в Республике Беларусь, имеющимся проблемам и путям их решения. Рассматриваются основные разработки существующих в республике средств аэрокосмического мониторинга в зависимости от типа летательного аппарата – носителя, предлагается актуальное направление исследований для совершенствования технического обеспечения в данной области.

Summary

The article is devoted to the modern trends of aerospace monitoring of emergency in the Republic of Belarus, to the existing problems and ways to solve them. The basic design of aerospace monitoring tools, that exist in Republic and depend on the each type of aircraft are considered in this article. The actual ways of researches to improve the technical support in this area are suggested.

Ключевые слова: аэрокосмический мониторинг, чрезвычайные ситуации, дистанционное зондирование, беспилотный летательный аппарат (БПЛА), инерционные космические аппараты;

Keywords: aerospace monitoring, emergency, remote sensing, unmanned aerial vehicle (UAV), inertial spacecrafts;

Введение

В последние десятилетия имеет место значительный прогресс в развитии способов и средств исследования поверхности Земли с помощью методов дистанционного аэрокосмического мониторинга. Данное направление, как таковое, начало формироваться в шестидесятых годах прошлого века благодаря появившейся возможности осуществления съемок с авиационных платформ

и космических орбит, а также эффективного использования средств ЭВМ для оцифровки и последующей обработки больших объемов получаемой информации.

К числу параметров, которые измеряются в данных исследованиях, следует относить пространственные, временные и угловые зависимости спектральных, энергетических и поляризационных характеристик поля излучения самой Земли непосредственно, а также объектов на ее поверхности и в атмосфере.

Возможность и точность определения параметров атмосферы и различных объектов при осуществлении оптического дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) зависят от схемы и организации соответствующих экспериментов, используемой при исследованиях аппаратуры, погрешностей измерений, методов и алгоритмов восстановления искомых параметров, а также применяемых моделей и решений как прямых, так и обратных задач переноса излучения.

¹ Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, г. Минск /the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Research Institute of Fire Safety and Emergencies;

² Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем имени А.Н.Севченко» Белорусского государственного университета Institute of Applied Physical Problems of A.N. Sevchenko of Belarus State University;

Поэтому большое значение имеет разработка и применение усовершенствованных физических моделей и решений как прямых, так и обратных задач теории переноса излучения. Для увеличения информативности данных, получаемых из измерений рассеянного излучения, в дополнение к измерению интенсивности все чаще возникает необходимость регистрации поляризационных параметров рассеянного излучения.

Методы и системы дистанционного зондирования, которые используют видеоспектральную информацию об объектах, с каждым годом все чаще применяются при проведении научных исследований, в экономике (ГИС и производственно-хозяйственная инфраструктура), в сельском и лесном хозяйстве, экологии и т.д. [1].

Особо следует выделить применение настоящих методов и систем дистанционного зондирования при постоянном мониторинге чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, так как данное направление имеет прямое и непосредственное отношение к сохранению жизни и здоровья людей, обеспечению безопасной жизнедеятельности, а также к устойчивому функционированию экономики.

Реализацию целей и задач в этой сфере, эффективное функционирование органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь невозможно представить без современного оборудования, инновационных техники, приборов, снаряжения и технологий.

1. Основные тенденции развития аэрокосмического мониторинга

Аэрокосмические данные являются основным источником информации для мониторинга поверхности Земли при ДЗЗ. Эффективность их использования определяется типом носителя, а также применением современных информационных технологий, благодаря которым осуществляется автоматический прием, обработка и архивация данных мониторинга.

В настоящее время можно условно выделить существование четырех основных видов средств аэрокосмического мониторинга чрезвычайных ситуаций различного характера, в зависимости от технического способа выполнения полета летательного аппарата: космический аппарат (искусственный спутник Земли), самолет, вертолет, беспилотный летательный аппарат (БПЛА) (рис. 1) [2].

Несмотря на многообразие технических средств аэрокосмического мониторинга, предназначенного для получения и обработки (спутниковые спектральные и спектрально-аналитические системы, такие как Landsat Thematic Mapper (TM), ETM, ETM+, NOAA, HRV (SPOT), IRS-1, MODIS (Terra), МСУ-Э (Ресурс-О), МСУ-СК (Ресурс-О1) и Метеор-3М; авиационные системы AVIRIS (США), CASI (Канада), HRSC-A (Россия)) существует ряд определенных недостатков при их

эксплуатации, в том числе для нужд и целей органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь.



Рис.1. Основные средства аэрокосмического мониторинга

Fig. 1. Main elements of an aerospace monitoring system

В первую очередь – это его достаточная сложность в освоении конечным пользователем, в связи с избыточной функциональностью, предназначенной в большей степени для научных, а не прикладных целей. Во-вторых – это закрытость кода и конечная функциональность, которые не позволяют вносить изменения как в само техническое средство, так и в его ПО для решения некоторых специфических задач. В-третьих – не всегда оперативное предоставление полученных данных, связанное с задержками на обработку информации и передачу ее непосредственному пользователю. В-четвертых – высокие стоимостные характеристики. В-пятых – отсутствие комплектующих, невозможность проведения при необходимости оперативного ремонта (технического обслуживания, регламентных работ).

Рациональным выходом из сложившейся ситуации является разработка собственных средств ДЗЗ, видеонаблюдения при осуществлении аэрокосмического мониторинга, а также необходимого ПО к ним, предназначенного для конкретных целей и конкретного пользователя.

Данная задача активно решается в нашей республике. Примером чему могут служить приборные и методические разработки отдела аэрокосмических исследований НИИПФП им. А.Н. Севченко [3].

2. Средства аэрокосмического мониторинга, размещаемые на борту инерционного космического аппарата

2.1. Спектрорадиометры на область спектра 0,35÷1,1 мкм

Важной задачей является разработка и создание малогабаритных спектрорадиометров видимого и ближнего ИК-диапазонов [1–5], а так-

же их применение при проведении космических и подспутниковых экспериментов [6–9]. Созданные спектрорадиометры серии МС (МС-08, МС-09 МС-10 МС-11, МС-12) позволяют обеспечить высокоточные абсолютные измерения спектральной плотности энергетической яркости (СПЭЯ) излучения в целях анализа его спектрально-энергетических характеристик, а также рассеяния, пропускания, поглощения и люминесценции разнообразных природных и искусственных объектов и сред в естественных и лабораторных условиях. В частности, спектрорадиометры высокого спектрального разрешения (2 – 3 мкм) МС-11, МС-12 в сочетании с дополнительным набором оборудования (сменные объективы, световодные и поляризационные насадки) используются как в качестве самостоятельных исследовательских приборов, так и в составе ряда авиакосмических систем дистанционного зондирования в виде спектрометрических модулей (с соответствующими модификациями).

Специальное программное обеспечение (ПО) МС-12 состоит из двух независимых программ, предназначенных для управления спектрорадиометром и получения спектрометрических данных, их отображения, сохранения на жестком диске ПК, расчета различных интегральных по длинам волн характеристик спектров.

2.2. Фотоспектральная система

Система регулярных наблюдений и контроля за развитием опасных процессов и явлений в окружающей среде в рамках осуществления космического мониторинга методами дистанционного зондирования позволяет осуществлять не только фиксацию природных и техногенных явлений, но и выполнять их прогноз для минимизации возможного ущерба. По заказу Института географии РАН и РКК «Энергия» была создана уникальная фотоспектральная система [10–16], предназначенная для проведения измерений спектров отраженного излучения подстилающих поверхностей в диапазоне длин волн 350–1050 нм (модуль спектрорадиометра – МС) и фотоизображений высокого пространственного разрешения в видимом диапазоне длин волн (модуль регистрации изображений – МРИ) с борта российского сегмента МКС в космическом эксперименте «Ураган» (экспериментальная отработка наземно-космической системы мониторинга и прогноза развития природных и техногенных катастроф) (рис. 2).

ФСС была доставлена на борт МКС 4 июля 2010 г., и с этого времени используется для периодических измерений. Целью обработки данных ФСС является повышение достоверности обнаружения и повышение точности классификации различных объектов из космоса на осно-

ве совместной обработки спектров и изображений и формирование базы данных спектральных сигнатур объектов подстилающих поверхностей и явлений для последующего использования при изучении космической информации. С помощью ПО обработки данных ФСС и при использовании таблицы калибровочных данных осуществляется пересчет исходных спектров в СПЭЯ («на лету»), что позволяет просматривать изображения и сопутствующие спектры (в заданном формате «длина волны / СПЭЯ, длина волны / отсчеты АЦП»), выполнять ряд математических операций), отображать служебную информацию по каждому пакету данных.



Рис. 2. Внешний вид фотоспектральной системы, съемка с борта МКС космонавтом Ф. Юрчихиным:

- 1 – модуль регистрации изображений (МРИ);
- 2 – модуль спектрометрический (МС);
- 3 – планшетный компьютер модуля электроники;
- 4 – объектив МРИ; 5 – объектив МС

Fig. 2. Outward appearance of the photo-spectral system, photograph taken from the International Space Station (ISS) by astronaut F. Jurczihin:

- 1 – Image recording module (IRM); 2 – spectrometric module (SM); 3 – electronic module panel; 4 – IRM lens; 5 – SM lens

Однако, несмотря на значительные достижения в данном направлении, необходимо отметить, что разработанная аппаратура и ПО практически не используется непосредственно для нужд органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь по причине отсутствия необходимых методик. Кроме этого, методы обнаружения и средства контроля космического базирования помимо высоких финансово-экономических затрат еще недостаточно совершенны по целому ряду параметров (редкие проходы в течение требуемого времени (значительный период обращения вокруг Земли), пространственное разрешение, точностные характеристики) и не позволяют эффективно решать

многие задачи контроля территорий в рамках мониторинга чрезвычайных ситуаций.

3. Средства аэрокосмического мониторинга, размещаемые на борту воздушных судов

В сравнении с методами обнаружения и средствами контроля космического базирования, использование воздушных судов отличается большей оперативностью, избирательностью и доступностью мониторинга любых территорий, относительно невысокая стоимость съемки, возможность оперативного обновления модулей и спектральных каналов. В этой связи, эксплуатация в качестве носителей приборов и оборудования для осуществления мониторинга именно авиационных средств, на территории Республики Беларусь представляется весьма актуальным и экономически оправданным.

3.1. Средства аэрокосмического мониторинга, размещаемые на борту самолета

Для решения оперативных задач мониторинга ЧС по заказу МЧС Республики Беларусь была разработана и создана авиационная система контроля зон чрезвычайных ситуаций и последствий от них – АСК-ЧС [17, 18], находящаяся в эксплуатации на специально оборудованном самолете АН-2 МЧС Республики Беларусь. Основное назначение АСК-ЧС – проведение авиационных съемок районов чрезвычайных ситуаций в видимом и тепловом ИК-диапазонах длин волн, оперативная тематическая обработка полученных изображений для выявления особенностей объектов произошедших и потенциальных ЧС, а также документирование данных.

В состав АСК-ЧС входят (рис. 3): блок оптических датчиков, состоящий из модуля спектральной съемки (МСС), включающего модуль зональной съемки (МЗС) территории ЧС одновременно в трех заранее выбранных узких спектральных зонах, или съемки с тремя различно ориентированными поляризационными светофильтрами, и модуль обзорной съемки (МОС), предназначенный для получения стандартного цветного изображения с более широким полем зрения, чем МЗС; модуль инфракрасной съемки (МИК) территории ЧС в диапазоне длин волн $7,5 \div 13$ мкм с тепловизором ThermoVision A40M; модуль трассовой съемки (МТС) для получения цветного видеоизображения трассы полета с целью контроля наведения самолета на объект съемки; модуль координатной привязки для определения координат и скорости самолета во время съемок (GPS приемник Garmin 18USB).



Рис. 3. Внешний вид основных модулей и блоков АСК-ЧС:

1 – блок оптических датчиков; 2 – модуль инфракрасной съемки; 3 – модуль трассовой съемки; 4 – управляющий компьютер; 5 – блок питания и коммутации; 6 – монитор пилота; 7 – устройство записи данных; 8 – сменная кассета светофильтров модуля зональной съемки; 9 – приемник GPS

Fig. 3. Outward appearance of the main modules and elements of an Aircraft Emergency Flight Control System:

1 – cluster of optical sensors; 2 – infrared imaging module; 3 – path recording module; 4 – controlling computer; 5 – power supply switch-over module; 6 – pilots' monitor; 7 – data recorder; 8 – replacement cartridge of polarisation filters for zone recording module; 9 – GPS receiver

Блок МСС снабжен четырьмя сменными кассетами, каждая из которых предназначена для решения определенного круга задач, в числе которых необходимо выделить оценку последствий пожаров, ураганов, наводнений, последствий вырубок, исследование растительного покрова и растительности при низкой освещенности, водных поверхностей.

Предусмотрена экспрессная обработка данных с помощью пакета ПО ASKmapper, позволяющего проводить построение трассовых и площадных мозаик спектральнозональных изображений, эффективно использовать доступные векторные и растровые электронные карты Беларуси и спутниковые снимки в качестве топографической основы (подложки) и для уточнения географической привязки изображений. Оперативная тематическая обработка (на борту) полученных синтезированных изображений осуществляется методом попиксельной классификации с обучением на построенных оператором обучающих выборках по искомым классам.

Разработаны методы и программы послеполетной тематической обработки полученных системой АСК-ЧС спектральнозональных изображений видимого диапазона, а также тепловых изображений местности [19–23]. Синтезированные

изображения подвергаются контрастированию, а также производится коррекция пространственных смещений изображений каналов относительно друг друга (корегистрация), имеющих место из-за погрешностей временной синхронизации поступающих на камеры из компьютера команд, погрешностей установки камер и нестабильности носителя.

Построение мозаики спектральнональных изображений производится на основании данных GPS и алгоритма пересчета географических координат в декартовы на эллипсоиде WGS84.

Совместное использование спектральнональных изображений видимого диапазона и изображений теплового ИК-диапазона позволяет, например, обнаружить трубу нефтепровода, залегающего на глубине от одного до трех метров.

Разработана методика оценки пожарной опасности лесов по данным АСК-ЧС [23]. Изображения видимого диапазона дает возможность идентифицировать различные типы подстилающих поверхностей – лесных горючих материалов, от температуры и влагосодержания которых зависит степень пожарной опасности лесов. Температура почвенного покрова определяется по тепловизору, оценка влагосодержания осуществляется с использованием изображений всех каналов после исключения облачности и водных поверхностей, а также метеоданных о количестве осадков за предшествующий период. В попиксельных вычислениях используются известные соотношения для комплексного метеорологического показателя пожарной опасности.

Имеется возможность экспорта данных АСК-ЧС в пакет обработки изображений ENVI, который включает большой набор методов тематической обработки.

Таким образом, основные методики оперативного контроля с использованием системы АСК-ЧС и программное обеспечение тематической обработки данных, регистрируемых этой системой, включают:

- оперативное построение картосхем тепловых полей лесных и торфяных пожаров, а также пожаров других объектов в условиях сильной задымленности, с координатной привязкой очагов горения, определение площадей пожаров и гарей, оценку их последствий и нанесенного ущерба, методику оценки пожарной опасности лесов;
- определение масштабов утечек из нефте- и продуктопроводов, методику расчета массы (объема) вылившегося нефтепродукта, необходимую для оценки ущерба, причиненного в результате аварий на магистральных нефтепроводах;
- построение картосхем повреждений от ураганов и оценку их последствий;

- построение картосхем наводнений и оценку их последствий.

Однако, несмотря на несомненные достоинства системы АСК-ЧС в целом, следует отметить ряд недостатков, вызванных, в первую очередь, размещением оборудования на борту самолета (Ан-2) это недостаточная мобильность при ориентировании на конкретную цель на ограниченных участках, а также некоторые другие, среди которых необходимо обозначить отсутствие технической возможности оперативной передачи получаемой системой информации оператору.

3.2. Средства аэрокосмического мониторинга, размещаемые на борту вертолета

Использование вертолета в качестве носителя необходимого оборудования для осуществления мониторинга земной поверхности, в том числе зон ЧС, позволяет избежать недостатков, присущих самолетам. В том числе обеспечивает возможность мобильности при ориентировании на конкретную цель на ограниченных участках. В рамках республиканской научной программы «Леса Беларуси и их рациональное использование». По заказу Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь был разработан и создан авиационный видеоспектральный комплекс аппаратуры ВСК-2, предназначенный для дистанционного контроля за состоянием лесных насаждений с борта авиационных носителей (вертолета Ми-2).

Видеоспектральный комплекс осуществляет регистрацию, обработку и представление пространственной и спектрополяризационной информации в виде телевизионных изображений контролируемого участка территории, а также в виде спектров высокого разрешения объектов, повышающих информативность получаемых данных.

В состав комплекса входят блок оптических модулей (БОМ) и бортовой управляющий вычислительный комплекс (БУВК). БОМ состоит из блока спектрально-поляризационной съемки БСПС-1, спектрорадиометра МС-09 и цветной обзорной видеокамеры (ТВ-камеры). Оптико-кинематическая схема БОМ ВСК-2 приведена на рис. 4. Комплекс ВСК-2 снабжен блоком точного географического позиционирования (GPS).

Вертолетный видеоспектральный комплекс ВСК-2 успешно использовался при осуществлении мониторинга территорий Беларуси с борта вертолета Ми-2. В качестве объектов исследования выбирались участки отдельных лесничеств различных лесхозов (в частности, Столбцовского, Молодеченского, Новогрудского). Выбор обуславливался необходимостью решения конкрет-

ных задач, в том числе отработкой методик обнаружения и картирования территорий, подвергавшихся лесным и торфяным пожарам (гарей). Проведенный комплекс работ позволил отработать методику и выбрать оптимальные параметры съемки для решения задачи выделения и картирования зон лесного пожара, а также оценки площади и степени поражения лесных массивов, разработать методику расчета ущерба, причиненного пожарами [1].

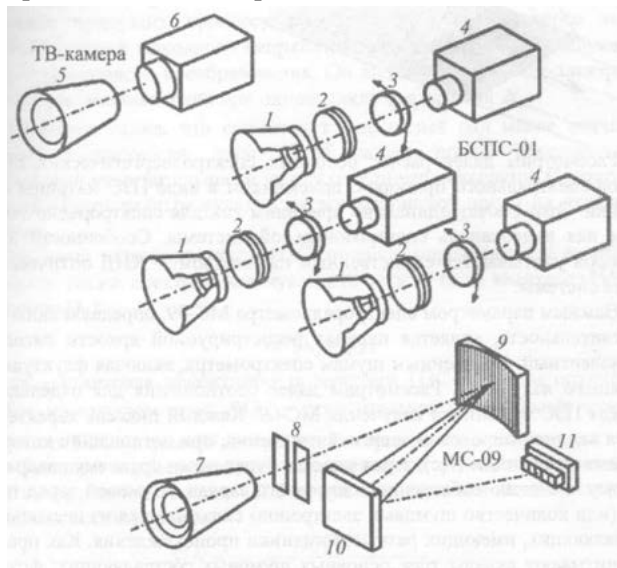


Рис. 4. Оптико-кинематическая схема ВСК-2:

- 1, 5, 7 – входные объективы с блендами;
 2 – интерференционные светофильтры;
 3 – поляризационные светофильтры; 4 – черно-белые телевизионные камеры; 6 – цветная обзорная ТВ-камера; 8 – выходная щель спектрометра;
 9 – вогнутая отражательная дифракционная решетка;
 10 – плоское зеркало; 11 – приемная ПЗС-линейка.

Fig 4. Optical-kinematic diagram VSC-2 (videospectral complex):

- 1, 5, 7 – input lens with hood; 2 – interference filters;
 3 – polarization filters; 4 – black and white TV cameras;
 6 – TV camera with colour function for verification and assessment; 8 – spectrometer output gap; 9 – concave reflective diffraction grille; 10 – plane mirror;
 11 – CCD (Charge-coupled device) line array receiver

Однако важно отметить, те недостатки, которые присущи данному способу осуществления ДЗЗ посредством вертолетного комплекса ВСК-2. Это, в первую очередь, отсутствие в составе комплекса тепловизора, что не позволяет осуществлять результативный мониторинг зоны ЧС (например, развивающегося лесного пожара) в условиях сильной задымленности. Кроме этого, недостатки обусловленные типом носителя оборудования (для вертолетов это - нестабильность направления оптической оси жестко связанного с носителем прибора (случайный крен, тангаж), рыскание, сильное влияние ветра (при этом скорость полета при различных направлениях может меняться).

3.3. Средства аэрокосмического мониторинга, размещаемые на борту беспилотного летательного аппарата

За рубежом использование беспилотных летательных аппаратов в качестве носителя аппаратуры, оборудования, приборов и средств осуществления ДЗЗ получило весьма широкое распространение. В числе таких моделей БПЛА, предназначенных для аэрофотосъемки, следует назвать: ZALA 421-Ф, Птеро-Е4, Дозор-50 (Россия), SmartOne – Personal Aerial Mapping System (Швеция), Gatewing X100 (Бельгия), CropCam (Канада), Bramor (Словения), CryoWing (Норвегия), Geosopter (Нидерланды) и другие [24].

Однако, несмотря на достаточно широкое использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в мире, в Республике Беларусь данные летательные аппараты практически не используются. Вместе с тем, исходя из возможностей рынка БПЛА, для решения оперативно-тактических задач органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь имеется возможность использования легких БПЛА с малым и средним радиусами действия. Это позволит эффективно выполнять следующие задачи мониторинга ЧС:

- проведение воздушной разведки кромки действующего крупного пожара самостоятельно силами наземных и аэромобильных команд тушения;
- использования БПЛА в качестве географически привязанного воздушного пункта наблюдения («летающей вышки») для обнаружения пожаров в районах возникновения высокой (чрезвычайной) пожарной опасности лесов, прежде всего для защиты населенных пунктов;
- патрулирование локальных площадей (сельхозугодий, участков ценных насаждений, молодняков, мест массового посещения людьми и т.п.);
- осмотр нескольких действующих пожаров в телевизионном и тепловизионном режиме непосредственно с авиаотделения (лесничества), в том числе в чрезвычайные периоды, когда применение классической авиации запрещено из-за задымленности района работ;
- оперативный осмотр (в режиме фото-видеодокументирования) незначительных по площади лесных участков с лесопатологическими состоянием.

В настоящее время исходя из перспективности внедрения и эксплуатации БПЛА в системе органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям, а также иных организаций, подчиненных МЧС, совместно с ГНУ «Физико-технический институт НАНБ» и БГУИР осуществляется реализация задания «Разработать и внедрить

в системе МЧС беспилотный авиационный комплекс для мониторинга чрезвычайных ситуаций с дальностью применения 290 км» в рамках ГНТП «БАК и технологии» (подпрограмма «Создание и освоение производства гаммы технологий и элементов летательных аппаратов, целевых нагрузок и беспилотных авиационных комплексов многофункционального назначения»).

Основной аппаратурой, предназначенной для размещения на БПЛА в целях осуществления аэрофото- и видеосъемки в рамках мониторинга являются цифровые камеры высокого разрешения [25]. Однако для осуществления полноценного мониторинга ЧС одной фото- и видеосъемки недостаточно. Например, отсутствие на борту БПЛА тепловизора не позволит фиксировать развитие лесного пожара в условиях сильной задымленности.

С учетом проведенного анализа и стоящих задач наиболее оптимальный перечень полезной нагрузки БПЛА должен включать в себя: фотокамеру, ТВ-камеру, ИК-камеру, РЛС бокового обзора, средства радиотехнической разведки, средства радиационно-химической разведки, средства картографирования, средства ретрансляции радиосигналов.

При этом важно отметить, что осуществление ДЗЗ с использованием БПЛА предъявляет повышенные требования к выходным данным, а именно к выдерживанию геометрических параметров съемки. Небольшие БПЛА экономичны в эксплуатации и портативны, однако менее стабильны с этой точки зрения. Как следствие, блоки снимков, полученные с БПЛА, обладающие отличной детальностью, яркостью и контрастом могут иметь низкое фотограмметрическое качество с точки зрения традиционных фотограмметрических пакетов. Использование БПЛА в данном направлении возможно при консолидации усилий как производителей БПЛА (в том числе производителей полноценного бортового оборудования), так и разработчиков профессионального фотограмметрического программного обеспечения. С одной стороны должно повышаться качество съемки, с другой стороны программные пакеты должны быть доработаны в сторону снижения требований к входным данным в случае работы со снимками, полученными с БПЛА.

4. Необходимость создания универсальной системы авиационного мониторинга ЧС путем оптического ДЗЗ

С учетом вышеизложенного очевидно, что вопросы аэрокосмического мониторинга являются весьма актуальными в настоящее время. Ведущими научными организациями Беларуси в рамках государственных научно-технических

программ проводятся исследования, разрабатываются и создаются отечественные образцы оборудования для осуществления ДЗЗ, программное обеспечение к нему. Однако как отечественные приборы, так и большинство зарубежных разработок предназначаются для эксплуатации на конкретном типе летательного аппарата: инерционных космических аппаратах (орбитальных космических станциях или искусственных спутниках Земли), воздушных судах (самолетах, вертолетах, БПЛА различного типа) с учетом особенностей и специфики применения данных типов ЛА и не могут быть использованы на носителях другого типа. Другими словами, вертолетный комплекс ВСК-2 не будет эффективен для выполнения поставленных задач на борту орбитальной космической станции, а система АСК-ЧС не может быть использована с борта вертолета или БПЛА.

Вместе с тем складывающаяся оперативная обстановка не всегда позволяет использовать именно тот тип ЛА, который в настоящий момент доступен для эксплуатации и оснащен необходимым оборудованием и техническими средствами. Отсутствие возможности применения конкретных систем, технических и программных средств на носителе иного типа может привести к невыполнению боевой задачи. И в первую очередь это касается воздушных судов.

Например, если в ходе осуществления мониторинга развивающегося лесного пожара с помощью системы АСК-ЧС носитель Ан-2 в силу тех или иных обстоятельств (техническая неисправность, человеческий фактор, погодные условия и т.п.) окажется не способен к дальнейшей эксплуатации, то даже при условии наличия боееспособного вертолета, система АСК-ЧС не сможет более эксплуатироваться при выполнении данной задачи, так как не предназначена для использования на ЛА вертолетного типа.

Таким образом, создание универсальной отечественной системы для осуществления авиационного мониторинга ЧС (УСАМ) путем оптического ДЗЗ с борта ВС независимо от типа последнего (самолет, вертолет, БПЛА) представляется не только актуальной и перспективной, но и экономически обоснованной. Вместо трех различных систем, используемых на каждом конкретном типе ВС, достаточно будет одной универсальной, которую, при необходимости можно с одинаковой эффективностью эксплуатировать на различных типах ВС, в зависимости от особенностей оперативной обстановки и характера решаемых задач. При этом отдельное требование при подготовке технического задания должно предъявляться к ресурсу (сроку службы) универсальной системы, который не должен быть меньше планируемого к выполнению объема работ.

Данная универсальная система должна быть выполнена с учетом особенностей и недостатков, присущих различным типам ВС:

- для самолетов это - это недостаточная мобильность при ориентировании на конкретную цель на ограниченных участках, влияние облаков и т.п.;
- для вертолетов это - нестабильность направления оптической оси жестко связанного с носителем прибора (случайный крен, тангаж), рыскание, сильное влияние ветра (при этом скорость полета при различных направлениях может меняться);
- для БПЛА это - слабая адаптация к динамичному изменению тактической обстановки, возможным отказам и повреждениям, подверженность линий передач данных между БПЛА и оператором воздействию помех, имеющиеся ограничения по массе и составу полезной нагрузки, сравнительно небольшая дальность действия с использованием дистанционного управления при отсутствии дополнительных средств ретрансляции и др.

В состав УСАМ должны входить оптические датчики зональной и обзорной съемки, тепловизор, модули трассовой съемки и координатной привязки (GPS приемник), блок хранения получаемой информации, модуль обработки и передачи получаемой информации оператору, для обеспечения возможности оперативного на ЧС и ее последствия в режиме реального времени, датчик радиационной разведки.

При этом важно отметить, что с учетом ограничения массы полезной нагрузки БПЛА проектируемая система должна комплектоваться минимальными по весу техническими средствами. Для этого необходимо определить минимально возможный вес проектируемой УСАМ (в зависимости от тактико-технических характеристик БПЛА, планируемого в качестве носителя) и затем осуществлять выбор (проектирование) необходимого оборудования и технических средств.

Также в зависимости от области решаемых задач необходимо создание специализированного ПО для универсальной системы путем модернизации имеющегося пакета ПО ASKmapreg (используется на АСК-ЧС).

Данные требования должны быть учтены в полном объеме при подготовке проекта технического задания на разработку универсальной отечественной системы для осуществления авиационного мониторинга ЧС (УСАМ) путем оптического ДЗЗ.

5. Заключение

Таким образом, применение существующих методов и систем дистанционного зондирова-

ния при постоянном мониторинге чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера крайне важно, так как данное направление имеет прямое и непосредственное отношение к сохранению жизни и здоровья людей, обеспечению безопасной жизнедеятельности, а также к устойчивому функционированию экономики. В рамках реализации данного направления успешно создаются и эксплуатируются отечественные образцы приборов и оборудования для ДЗЗ, размещаемые на летательных аппаратах различных типов, как на инерционных космических аппаратах (орбитальных космических станциях или искусственных спутниках Земли), так и воздушных судах (самолеты, вертолеты). Активно ведутся работы по созданию отечественного БПЛА, предназначенного для мониторинга ЧС, использования в деятельности органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь.

Однако каждая из рассматриваемых систем ДЗЗ предназначена для эксплуатации на конкретном носителе (ЛА определенного типа), и не может быть эффективно использована на носителе другого типа, что накладывает ряд ограничений на оперативность проводимых работ в рамках осуществления мониторинга ЧС.

С учетом вышеизложенного, создание универсальной отечественной системы для осуществления авиационного мониторинга ЧС путем оптического ДЗЗ с борта ВС независимо от типа последнего (самолет, вертолет, БПЛА) представляется не только актуальной и перспективной, но и экономически обоснованной.

Список литературы

1. Беляев, Б.И. Оптическое дистанционное зондирование / Б.И. Беляев, Л.В. Катковский. – Минск: БГУ, 2006. – 455 с.
2. Сизиков, А.С. Современные тенденции развития аэрокосмического мониторинга чрезвычайных ситуаций. / А.С. Сизиков, С.В. Хвалец // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации-2012: Тез. докл. междунар. научно-практич. конф. Гомель, 24-25 мая 2012 г. Ч. 1. С. 115-116.
3. Беляев, Б.И. Приборы и методы аэрокосмического дистанционного зондирования природных объектов / Б.И. Беляев, Л.В. Катковский, В.А. Сосенко // – Вестн. БГУ. Сер. 1. – 2011. – № 3. – С. 18-23.
4. Съемка и обработка изображений авиационной системы контроля чрезвычайных ситуаций / Б.И. Беляев [и др.] // Журн. прикл. Спектроскопии. – 1998. – Т. 65. – № 2. – С. 128-131.
5. Приборы и методы аэрокосмического дистанционного зондирования природных объектов

- / Б.И. Беляев [и др.] // Журн. прикл. Спектроскопии. – 2000. – Т. 67. – № 4. – С. 141-152.
6. Спектральные приборы для аналитических применений. Перспективные разработки / Б.И. Беляев [и др.]; под общ. ред. Е.С. Воронина. – Минск: БГУ, 2005. 67 с.
 7. Беляев, Б.И. Новые технологии оценки ущерба от аварий и катастроф на базе авиационной системы контроля чрезвычайных ситуаций. / Б.И. Беляев // MILEX-2009: Тез. докл. 4-й Междунар. науч. конф. по военно-техн. проблемам, проблемам обороны и безопасности, использованию технологий двойного применения. – 2009 г. – С. 83.
 8. Беляев, Б.И. Системы наблюдения, мониторинга и дистанционного зондирования Земли / Б.И. Беляев, В.А. Сосенко, Т.Г. Протко, А.Ф. Чернявский // VI Науч.-техн. конф., Адлер (Россия), 14–18 сент. 2009 г.
 9. Приборостроение-2009: материалы 2 Междунар. научн.-техн. конф., Минск, 11–13 ноября 2009 г. / Мн., 2009. – 123 с.
 10. Катковский, Л.В. Применение авиационной системы контроля ЧС для оценки пожарной опасности лесов, обнаружения пожаров и оценки их последствий. / Л.В. Катковский // Доклады БГУИР. – 2010 г. – № 6 (52). – С. 5-13.
 11. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса / Б.И. Беляев [и др.] // Журн. прикл. спектроскопии. – 2008. – Т. 75. – № 1. – 25-29 с.
 12. Системы наблюдения, мониторинга и дистанционного зондирования Земли: материалы VI Науч.-практ. конф., Адлер (Россия), 14-18 сентября 2009 г. / под. ред. Б.И. Беляева [и др.]. – М., 2009. – 395 с.
 13. Беляев, Ю.В. Приборы и методы аэрокосмического дистанционного зондирования природных объектов. / Ю.В. Беляев // Четвертый Белорусский космический конгресс. – 2009 г. – С. 30.
 14. Съемка и обработка изображений авиационной системы контроля чрезвычайных ситуаций / Б.И. Беляев [и др.] // Космічна наука і технологія. – 2010. – Т. 6. – № 2. – С. 41-45.
 15. Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды / Ю.В. Беляев [и др.] // Космічна наука і технологія. – 2011. – Т. 17. – № 2. – С. 80-85.
 16. Оптическое дистанционное зондирование / Б.И. Беляев [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2011. – Т. 8. – № 2. – С. 261-264.
 17. Тез. V Юбилейной открытой Всерос. конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» [Электронный ресурс]. – 2007. – Режим доступа: <http://d902.iki.rssi.ru/theses-cgi/thesis.pl?id=847>. – Дата доступа: 13.04.2012.
 18. Беляев, Б.И. Системы наблюдения и мониторинга Земли / Б.И. Беляев // MILEX-2009: Тез. докл. 4-й Междунар. науч. конф. по военно-техническим проблемам, проблемам обороны и безопасности, использованию технологий двойного применения, Минск, 20–21 мая 2009 г. – Минск, 2009. – С. 244.
 19. Ранчинский, К.В. Оптическое дистанционное зондирование / К.В. Ранчинский // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: Сб. тез. докл. IV Междунар.-й науч.-практ. конф.: в 3 т. – Минск, 2007. – С. 244.
 20. Обработка и представление данных авиационной системы контроля чрезвычайных / Б.И. Беляев [и др.] // Вестн. БГУ. – 2008. – Сер. 1. – № 1. – С. 25.
 21. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов: сб. науч. ст./редкол.: Б.И. Беляев [и др.]. – Минск, 2008. – 235 с.
 22. Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов // А.А. Казак [и др.]. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2000. – Вып. 6. – Т. 1. – С. 174.
 23. Воробьев, С.Ю. Применение авиационной системы контроля ЧС для оценки пожарной опасности лесов, обнаружения пожаров и оценки их последствий. / С.Ю. Воробьев // Доклады БГУИР. – 2010 г. – № 6 (52). – С. 5-13.
 24. Беспилотные летательные аппараты: применение в целях аэрофотосъемки для картографирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.racurs.ru/?page=681>. – Дата доступа: 15.04.2012.
 25. Цифровые камеры для аэрофотосъемки. Обзор моделей (декабрь 2011). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.racurs.ru/?page=630>. – Дата доступа: 10.04.2012.

mł. kpt. mgr inż. **Łukasz ŁACIOK**¹
bryg. prof. dr hab. **Janusz RYBIŃSKI**²
dr inż. **Anna SZAJEWSKA**²

WYKORZYSTANIE KAMERY TERMOWIZYJNEJ PODCZAS GASZENIA POŻARU ZAKŁADU PRODUKCYJNEGO³

Exploitation of thermo-visual cameras during fire incidents in production centres

Streszczenie

W artykule przedstawiono częstotliwość i sposoby wykorzystania kamer termowizyjnych w akcjach ratowniczych. Opisano przebieg akcji gaszenia pożarów z użyciem kamery termowizyjnej w dwóch zakładach produkcyjnych. Zamieszczono termogramy i fotografie dokumentujące działania straży pożarnej. Oceniono przydatność kamer termowizyjnych w poszczególnych elementach działań.

W opisanych poniżej akcjach strażacy dysponowali obserwacyjną kamerą termowizyjną z możliwością pomiaru temperatury w jednym punkcie. Kamera zaprojektowana została do pracy w warunkach pożarowych.

Kamerę wykorzystano w akcji gaszenia pożaru w fabryce w Czechowicach-Dziedzicach, w 2011 roku. Użyto jej do pomiaru temperatury wewnątrz pieca hartowniczego, w którym wybuchł pożar. Kamery użyto do kontroli przewodów kominowych. Zaobserwowano spadek temperatury, podawanie środków gaśniczych nie było konieczne. Kamery termowizyjną zastosowano również do kontroli przewodów wentylacyjnych. W celu wykluczenia powstania pożaru wtórnego lub pożaru sąsiedniej części hali produkcyjnej przeprowadzono pomiary temperatury ciągów tych przewodów. Następny pożar, w którym użyto kamery, miał miejsce w zakładzie przetwórstwa mięsnego w Bielsku-Białej w 2011 roku. Po sprawieniu drabiny mechanicznej przeprowadzono z niej ogląd dachu kamerą termowizyjną w celu lokalizacji źródła pożaru. Gęsta konstrukcja więźby dachowej, duże zadymienie oraz znaczne ilości wytwarzającej się pary wodnej utrudniały lokalizację źródeł ognia. Strażak obserwujący obraz w kamerze termowizyjnej z łatwością lokalizuje miejsca mocno nagrzane, żarzące się i palące.

Pomiary z użyciem kamery wykonano również wewnątrz hali zakładu. Kamera termowizyjna pomogła sprawnie i szybko przeprowadzić akcję gaśniczą. Bez niej zużyłoby więcej środków gaśniczych, strażacy musieliby niepotrzebnie wybijać otwory w ścianach i stropach. W rezultacie czas akcji byłby dłuższy, a straty większe.

Termowizja jest pomocna w ocenie sytuacji pożarowej. Pomaga w lokalizacji źródeł pożaru, gaszeniu pożarów ukrytych w niedostępnych przestrzeniach, w kontroli pogorzeliska. Umożliwia pomiar temperatury trudno dostępnych elementów obiektu, przewodów kominowych, kanałów wentylacyjnych, rozdzielni elektrycznych, instalacji, maszyn i urządzeń. Znajomość temperatury obiektu pozwala ograniczyć straty do minimum. Kamera termowizyjna pozwala prowadzić akcje szybko i sprawnie przy zużyciu minimalnej ilości środków gaśniczych oraz ogranicza straty do minimum.

Summary

The paper presents the frequency and ways of using thermovision cameras in rescue actions. It includes a report on firefighting actions with thermovision cameras performed in two production plants. The work includes also thermograms and pictures presenting a documentation of Fire Service actions. The usefulness of thermovision cameras in particular action elements was estimated. The paper includes authors' comments on demands that should be met by thermovision cameras used in Fire Service actions.

In the actions described below, the firefighters could use a thermovision camera with the ability of measuring the temperature in one point. The camera itself is very convenient and designed for work in fire environment.

A thermovision camera was used in a firefighting action during a fire in a factory in Czechowice-Dziedzice, in 2011. The camera was used to measure the temperature inside the hardening furnace, where the fire started.

After that, the thermovision camera was used to control the flue ducts. Due to decrease of the temperature applying of the extinguishing media was not necessary. A thermovision camera was also used to control the ventilation ducts. The

¹ Komenda Miejska Państwowej Straży Pożarnej w Bielsku-Białej, ul. Leszczyńska 43, 43-300 Bielsko-Biała, Polska; lacioklukasz@gmail.com;

² Szkoła Główna Służby Pożarniczej w Warszawie, ul. Słowackiego 52/54, 01-629 Warszawa, Polska;

³ Każdy ze współautorów wniósł równy wkład merytoryczny w powstanie artykułu (po 33%);

measurements of temperature in ventilation ducts was conducted to eliminate a secondary fire or a fire in a neighbouring part of the production hall.

Next fire where the thermovision camera was used, took place in a meat processing plant, in Bielsko-Biała, in 2011. After checking the mechanical ladder, it was used to localize the fire source. The roof was examined with a thermovision camera. Thick structure of rafter framing, big smoke and a lot of water steam significantly inhibited the location of fire sources. Firefighter who was observing the picture in thermovision camera, could easily localize places that were strongly heated, embers and fire.

Measurements taken by the camera were conducted inside the plant hall as well. Thermovision camera helped to run the firefighting action fast and smoothly. More extinguishing media would have been used without such a camera and the firefighters would have to make unnecessary holes in walls and ceilings. As a result the action would have lasted longer, the losses would have been bigger.

Thermovision is helpful in estimating the fire situation. It helps in localizing sources of fire, extinguishing fires hidden in unapproachable spaces and inspecting sites of the fire. It also enables to measure temperature of difficult to access elements, chimney ducts, ventilation ducts, electrical switchboards, systems, machines and devices. Knowing the temperature of an object lets minimize the losses. The camera enabled to perform the actions fast and efficiently with minimum extinguishing media and minimizing any losses.

Słowa kluczowe: kamera termowizyjna, pożar, akcja gaśnicza, termogram, strażak;

Keywords: thermal camera, firefighting, thermographs;

Wprowadzenie

W Szkole Głównej Służby Pożarniczej prowadzone są prace naukowo-badawcze dotyczące zastosowań termowizji w pożarnictwie. W pracach uczestniczą studenci wykonujący prace magisterskie. Studenci przeprowadzili kilkanaście testów pożarowych w pełnej skali, w których badano rozwój pożaru samochodu osobowego oraz testy pożaru traw. W testach korzystano z kamer termowizyjnych [2-6].

Studenci studiów niestacjonarnych SGSP, zatrudnieni w PSP w podziale bojowym, zbierają informacje o akcjach z użyciem kamery termowizyjnej. W akcjach, w których osobiście uczestniczą, rejestrują obrazy termiczne obiektów i jednocześnie fotografują te obiekty. W ten sposób powstaje dokumentacja użycia kamery, która pozwala przeprowadzić analizę jej przydatności. Powstaje wartościowy, pochodzący z pierwszej ręki materiał, dotyczący sposobów wykorzystania kamer, ich zalet i wad.

1. Sposoby wykorzystania kamer termowizyjnych

W programie meldunkowym SWD ST nie odnotowuje się faktu użycia kamery termowizyjnej. Dlatego bardzo trudno jest sporządzić statystykę wykorzystania kamer termowizyjnych w akcjach ratowniczo-gaśniczych. Z analizy dokumentacji tworzonej przez Państwową Straż Pożarną, a także z relacji strażaków wynika, że kamery termowizyjne wykorzystywane są na wiele sposobów w zależności od sytuacji. Wykorzystywane są głównie do:

- oceny pożarowej miejsca akcji,
- przeszukiwania zadymionych pomieszczeń,
- lokalizacji źródeł ognia w wolnych przestrzeniach między stropami lub ścianami,
- kontroli temperatury schładzanych elementów budynku,

- lokalizacji źródeł ognia w zsypach,
- poszukiwania osób zaginionych w terenie.

Termowizja najczęściej wykorzystywana jest podczas gaszenia pożarów. Ułatwia orientację i poruszanie się ratowników w strefach silnie zadymionych, gdzie widoczność spada nawet do zera, jak również we mgle i w ciemnościach. Pozwala zlokalizować znajdujące się tam osoby i udzielić im pomocy.

System meldunkowy SWD ST nie wymaga rejestracji faktu użycia kamery termowizyjnej podczas działań podmiotów Krajowego Systemu Ratowniczo-Gaśniczego. Niemożliwe jest więc sporządzenie szczegółowej statystyki wykorzystania kamer termowizyjnych podczas działań ratowniczo-gaśniczych. Fakt użycia kamery jest jedynie odnotowany w części opisowej meldunku ze zdarzenia, lecz nie w każdym przypadku. To od dowódcy akcji zależy, czy zamieści ten fakt w meldunku. Z programu SWD ST wysegregowano zdarzenia na terenie województwa śląskiego, które w części opisowej zawierały termin „kamera termowizyjna”. Takich zdarzeń w roku 2011 było 66. Jest to niewiele w porównaniu do ogólnej liczby interwencji, których było 53813. Kamery termowizyjne używane były zaledwie w 0,12% wszystkich zdarzeń w województwie w 2011 roku. Faktyczny udział procentowy działań z kamerą termowizyjną był z pewnością znacznie większy, bo nie wszystkie przypadki zostały odnotowane.

Podobne zestawienie przeprowadzono dla KM PSP Gdańsk, na obszarze której działa pięć JRG. Komenda wyposażona jest w dwie kamery termowizyjne. W ciągu trzech ostatnich lat z kamery korzystano w około 0,5% interwencji, przy czym prawie wyłącznie w gaszeniu pożarów – sporadycznie tylko podczas miejscowych zagrożeń. Zgromadzono obszerny materiał dotyczący akcji gaśniczych z wy-

korzystaniem termowizji. Wybrano z niego i przedstawiono poniżej przykłady akcji gaśniczych, w których kamera termowizyjna okazała się bardzo pomocna. Te przykłady mają udowodnić przydatność kamer i zachęcić do częstszego korzystania z nich.

W opisanych poniżej akcjach strażacy dysponowali obserwacyjną kamerą termowizyjną z możliwością pomiaru temperatury w jednym punkcie (ryc. 1). Współczynnik emisyjności ustawiony jest na stałe, dlatego wyświetlana wartość temperatury może być obciążona znacznym błędem [1, 7]. Kamera zawiera matrycę mikrobolometryczną o rozdzielczości 320x240 detektorów. Temperatura obiektu zobrazowana jest w skali barw lub w skali szarości. Kamera jest poręczna. Można nią operować nawet jedną ręką. Jest prosta w obsłudze. Obraz wyświetlany jest na małym ekranie ciekłokrystalicznym. Kamera zaprojektowana została do pracy w warunkach pożarowych. Operator obsługuje wszystkie funkcje kamery za pomocą trzech przycisków. Kamera wraz z osprzętem przechowywana jest w poręcznej, trwałej i wodoszczelnej walizce. Nie wymaga szczególnych czynności konserwacyjnych. W pełni naładowane akumulatory zapewniają działanie na czas około trzech godzin. Można przyjąć, że kamera spełnia oczekiwania strażaków.



Ryc. 1. Kamera termowizyjna używana w akcjach gaśniczych

Fig. 1. A thermivision camera used in firefighting actions

2. Opis akcji gaśniczych z użyciem kamery termowizyjnej

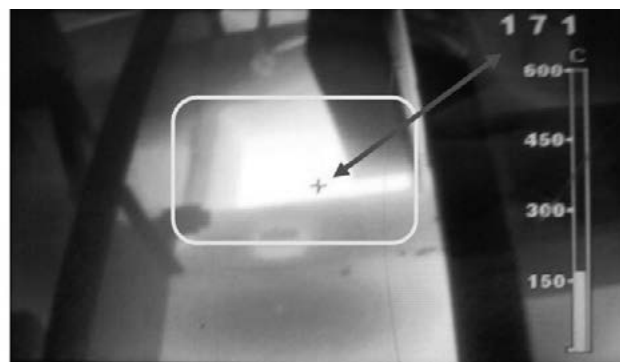
Poniżej przedstawiono przykłady użycia kamer termowizyjnych w dwóch wybranych akcjach gaśniczych. Termogramy i fotografie wykonywał strażak uczestniczący w akcji. Był on obciążony wielokilogramowym strażackim ubraniem specjalnym

i uzbrojeniem osobistym oraz pracował w pośpiechu i stresie, w trudnych warunkach pożarowych. Dlatego jakość termogramów i fotografii nie zawsze jest zadowalająca.

2.1. Pożar w fabryce w Czechowicach-Dziedzicach przy ul. Bestwińskiej, w dniu 4 kwietnia 2011 roku

W działaniach brało udział 5 zastępów Państwowej Straży Pożarnej (16 ratowników). Pożar powstał w piecu hartowniczym i uruchomił stałe urządzenie gaśnicze. Zadaniem straży pożarnej było zabezpieczenie miejsca pożaru, potwierdzenie 100-proc. ewakuacji pracowników oraz skontrolowanie pieca hartowniczego i systemu kanałów kominowych spalinyowych oraz wentylacyjnych. Kamera termowizyjna okazała się bardzo użyteczna w tych działaniach.

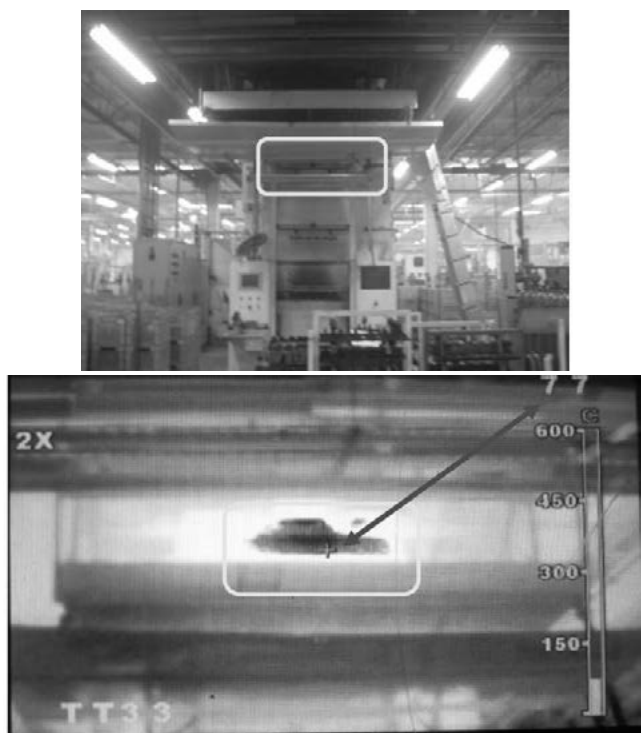
Kamerę użyto do pomiaru temperatury wewnątrz pieca hartowniczego, w którym wybuchł pożar. Temperatura wewnątrz pieca hartowniczego wynosiła 171°C (ryc. 2). Była to ważna informacja dla strażaków.



Ryc. 2. Kontrola pieca hartowniczego

Fig. 2. Inspection of the hardening furnace

Następnie przy użyciu kamery termowizyjnej przeprowadzono kontrolę kanałów kominowych (ryc. 3). Zmierzono temperaturę zewnętrznej powierzchni kanału. Początkowo temperatura wynosiła 77°C. Po odczekaniu 5 minut ponownie wykonano pomiar. Ponieważ zaobserwowano spadek temperatury, podawanie środków gaśniczych nie było konieczne.



Ryc. 3. Kontrola kanału kominowego nad piecem hartowniczym. Obwódką zaznaczono miejsce pomiaru. Kolor fioletowy na termogramie obrazuje najwyższą temperaturę

Fig. 3 Inspection of the flue duct above the hardening furnace. The point of the measurement is marked with yellow rectangle. Spots marked in purple on the thermogram represent the highest temperature

Kamerę termowizyjną zastosowano również do kontroli przewodów wentylacyjnych. W celu wykluczenia powstania pożaru wtórnego lub pożaru sąsiedniej części hali produkcyjnej przeprowadzono pomiary temperatury ciągów wentylacyjnych (ryc. 4). Pomiary wykazały, że temperatura nie przekracza 44°C, co uznano za bezpieczne pod względem pożarowym.



Ryc. 4. Kontrola temperatury przewodów wentylacyjnych. Kolor fioletowy na termogramie obrazuje najwyższą temperaturę. W punkcie pomiarowym temperatura wynosi 44°C

Fig. 4. Inspection of the temperature of the ventilation ducts. The highest temperature on the thermogram is marked in purple. Temperature in the measurement point is 44°C

Dzięki użyciu kamery można było stwierdzić, które butle stałego urządzenia gaśniczego CO₂ zostały rozładowane. Na ryc. 5 przedstawiono fotografię i termogram baterii butli CO₂. Podczas rozładowania następuje oziębienie butli. Dwie zimniejsze butle zobrazowane na termogramie w ciemniejszym odcieniu zostały rozładowane.



Fotografia

Termogram

Ryc. 5. Bateria butli stałego urządzenia gaśniczego CO₂. Butle o najciemniejszym odcieniu są najzimniejsze. Świadczy to o tym, że dwie butle po prawej stronie zostały rozładowane

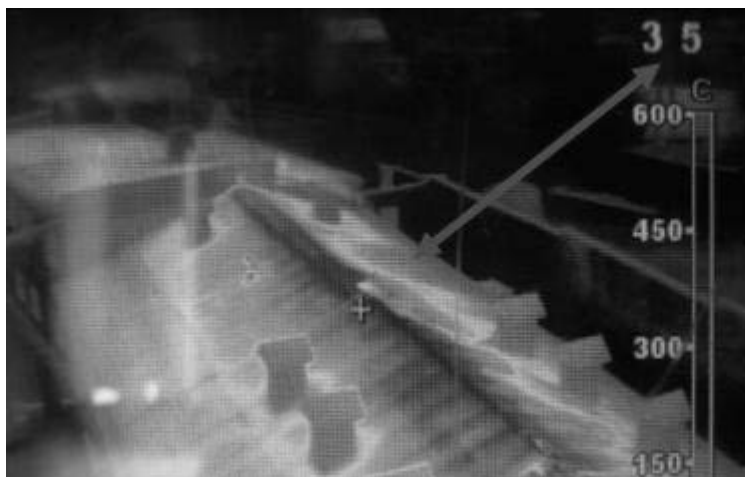
Fig. 5. Cylinders of fixed CO₂ fire extinguishing system. Cylinders marked in the darkest shades are the coolest. It means that two cylinders on the right have been unloaded

2.2. Pożar zakładu przetwórstwa mięsnego przy ulicy Nad Potokiem w Bielsku-Białej 19 kwietnia 2011 roku

W działaniach brało udział 12 zastępów (37 ratowników). Po przybyciu na miejsce zdarzenia pożarem objęte było poddasze nad częścią produkcyjną zakładu. Przeprowadzono ewakuację pracowników oraz wartościowego mienia, podano 4 prądy w natarciu oraz dwa w obronie na sąsiednie pomieszczenia. Po sprawieniu drabiny mechanicznej przeprowadzono z niej ogląd dachu kamerą termowizyjną w celu lokalizacji źródła pożaru (ryc. 6).

Po częściowej rozbiórce pokrycia dachu strażacy dostali się na nieużytkowe poddasze hali produkcyjnej. Konstrukcja poddasza była wykonana przede wszystkim z elementów drewnianych. Strażacy w sprzęcie ochrony dróg oddechowych dogaszali poddasze, lokalizując miejsca o podwyższonej temperaturze za pomocą kamery termowizyjnej. Gęsta konstrukcja więźby dachowej, duże zadymienie oraz znaczne ilości wytwarzającej się pary wodnej bardzo utrudniały lokalizację źródeł ognia. Strażak obserwujący obraz w kamerze termowizyjnej z łatwością lokalizuje miejsca mocno nagrzane, żarzące się i palące.

Pomiary kamerą wykonano również wewnątrz hali zakładu. Poszczególne pomieszczenia w zakładzie oddzielone były od siebie ścianami warstwo-



Ryc. 6. Dach hali produkcyjnej. Kolor fioletowy na termogramie obrazuje najwyższą temperaturę. W punkcie pomiarowym temperatura wynosi 35°C

Fig. 6. Roof of the production hall. Purple on the thermogram represents the highest temperature. The temperature in the measurement point is 35°C



wymi z łatwopalnym wykończeniem. Sufit hali produkcyjnej wykonany był z płyt gipsowych podwieszonych na metalowej konstrukcji. Strop nie uległ zawalaniu, lecz był znacznie przegrzany. Na termogramie bardzo wyraźnie widoczne są elementy konstrukcji (ryc. 7).



Ryc. 7. Termogram sufitu podwieszanego. Jasny odcień obrazuje podwyższoną temperaturę

Fig. 7. The thermogram of a suspended ceiling. Light shadows represent increased temperature

We wstępnym rozpoznaniu pomieszczenie z kotłem centralnego ogrzewania nie zostało zakwalifikowane jako objęte pożarem. Nie znaleziono tam wówczas źródła pożaru. Dopiero po obserwacji z użyciem kamery termowizyjnej zauważono przegrzane miejsce nad przewodem kominowym kotła, w którym temperatura miała wartość 412°C (ryc. 8). Doprowadziło to do wykrycia pożaru kanału kominowego oraz pożaru w części podsufitowej pomieszczenia.

Kamery termowizyjne są bardzo często wykorzystywane podczas małych pożarów kominów. Umożliwiają obserwację rozkładu temperatury na powierzchni przewodu kominowego na całej jego długości, a tym samym ocenę temperatury wewnątrz przewodu, nie ingerując w konstrukcję.



Ryc. 8. Termogram górnej powierzchni przewodu kominowego kotła. Jaśniejszy odcień obrazuje wyższą temperaturę

Fig. 8. The thermogram of a top surface of a boiler flue. Lighter shadow represents higher temperature

3. Podsumowanie i wnioski

Obecnie kamera termowizyjna zalicza się do standardowego wyposażenia Państwowej Straży Pożarnej. Jej zalety i możliwości zyskują coraz większe uznanie wśród strażaków. W wielu przypadkach ułatwia prowadzenie działań ratowniczych, ogranicza koszty akcji i straty materialne spowodowane działaniami straży pożarnej. W stosunku do państw z naszego sąsiedztwa, takich jak Czechy, Serbia, Słowacja, Węgry, Ukraina, Białoruś, Litwa, ilość kamer termowizyjnych będących w dyspozycji straży pożarnej jest imponująco duża.

Termowizja jest pomocna w ocenie sytuacji pożarowej. Pomaga w lokalizacji źródeł pożaru, gaszeniu pożarów ukrytych w niedostępnych przestrzeniach, kontroli pogorzeliska. Umożliwia pomiar temperatury trudno dostępnych elementów obiektu, przewodów kominowych, kanałów wentylacyjnych, rozdzielni elektrycznych, instalacji, maszyn i urządzeń. Znajomość temperatury obiektu pozwala ograniczyć do minimum podawanie środków ga-

śniczych, uniknąć wybijania otworów, prac rozbiórkowych itp.

Kamery termowizyjne znajdujące się na wyposażeniu JRG spełniają obecne oczekiwania ratowników. Są lekkie, poręczne, proste w obsłudze, odporne na wodę, zanieczyszczenia i wstrząsy oraz właściwie przystosowane do pracy w środowisku pożarowym. Bardzo przydatna okazała się opcja pomiaru temperatury. Znajomość wartości temperatury w niektórych przypadkach jest konieczna. Znajac temperaturę przewodów kominowych, przewodów wentylacyjnych, instalacji elektrycznych oraz obserwując temperatury obiektu w czasie, łatwiej można podjąć decyzję o zakończeniu działań lub o ich kontynuacji. Świadczą o tym opisane powyżej przebiegi akcji.

Utrudnieniem podczas pracy z kamerą termowizyjną jest konieczność trzymania jej w ręku. Na rynku można znaleźć kamery zintegrowane z hełmem, zapewniające całkowitą swobodę ruchu, ale nie znalazły one uznania ratowników. Niektóre kamery wyposażone są w moduł transmisji radiowej umożliwiający przekazywanie w czasie rzeczywistym obrazu z kamery do stanowiska dowodzenia. Jednak te dostępne w sprzedaży nie spełniają wszystkich oczekiwań odbiorców.

Obecnie jednostki PSP najczęściej nabywają kamery obserwacyjne z możliwością pomiaru temperatury w jednym punkcie, przystosowane do pracy w środowisku pożarowym. Wydaje się, że w najbliższej przyszłości powinno się je zastąpić kamerami pomiarowymi. Mogą być zbudowane na takich samych matrycach detektorów (320 x 240), które zapewniają wystarczającą rozdzielczość. Tego rodzaju kamery będą użyteczne, zarówno w akcjach ratowniczych, jak i w profilaktyce, w związku z tym wzrośnie ich wykorzystanie. Z uwagi na spadek cen sprzętu termowizyjnego cena proponowanej kamery nie powinna być wyższa od ceny kamery obserwacyjnej typu Bullard T4. Z kamerą termowizyjną powinien być sprzężony cyfrowy aparat fotograficzny. Ułatwi to dokumentację przebiegu działań ratowniczych. Taka dokumentacja pozwoli osobom nieuczestniczącym w akcji na przeprowadzenie analizy działań do celów dochodzeniowych lub badawczych.

Nie w każdej akcji ratowniczej korzystanie z kamery termowizyjnej jest zasadne. W większości przypadków ratownicy odbywają się bez kamery, nawet jeśli ją posiadają. Bywają jednak zdarzenia, w których kamera termowizyjna jest wyjątkowo

przydatna. Należą do nich akcje gaśnicze opisane powyżej. W akcjach tych kamera termowizyjna pomogła sprawnie i szybko przeprowadzić akcję gaśniczą. Bez niej zużyłoby więcej środków gaśniczych, strażacy musieliby niepotrzebnie wybijać otwory w ścianach i stropach. W rezultacie czas akcji byłby dłuższy, straty większe, a strażacy wracaliby z akcji bardziej utrudnieni.

Literatura

1. *Pomiary termowizyjne w praktyce*, H. Madura (red.), Agencja Wydawnicza PAK, Warszawa, 2004.
2. Rybiński J., *Nowoczesne techniki w inżynierii bezpieczeństwa – zastosowanie termowizji*, „Polski Przegląd Medycyny Lotniczej”, 15, 2 (2009), 183-191.
3. Rybiński J., *Zastosowania termowizji w inżynierii bezpieczeństwa*, „Zeszyty Naukowe SGSP”, 42, 2011, 207-216.
4. Rybiński J., Jakubowski I., Szajewska A., *The fire of the passenger cars*, „Zeszyty Naukowe SGSP”, 43, 2012.
5. Rybiński J., Szajewska A., *Wykorzystanie termowizji w Państwowej Straży Pożarnej*, „Pomiary Automatyka Kontrola”, vol. 57, 10 (2011), 1260-1263.
6. Rybiński J., Szajewska A., *Use of thermovision by the polish state fire service*. VIth International Scientific and Practical Conference *Emergency Situations: Prevention and Elimination*, Minsk (Belarus) 8-9.06.2011, Proc. Conf. pp. 216-220.
7. Więcek B., De Mey G., *Termowizja w podczernieni podstawy*, Wydawnictwo PAK, Warszawa 2011.

ml. kpt. mgr inż. Łukasz ŁACIOK jest pracownikiem Komendy Miejskiej Państwowej Straży Pożarnej w Bielsku-Białej. Od 10 lat pracuje w Jednostce Ratowniczo – Gaśniczej nr 2, obecnie zajmuje stanowisko dowódcy zmiany.

bryg. prof. dr hab. Janusz RYBIŃSKI jest profesorem Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie. W latach 2005–2010 pełnił funkcję Dziekana Wydziału Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego. Prowadzi prace naukowo-badawcze w zakresie inżynierii bezpieczeństwa.

dr inż. Anna SZAJEWSKA jest adiunktem Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie. Prowadzi prace naukowo-badawcze w zakresie wymiany ciepła i modelowania rozwoju pożarów.

dr inż. **Jacek ROGUSKI^{1,2}**st. bryg. mgr inż. **Dariusz CZERWIENKO¹**

BEZZAŁOGOWE PLATFORMY LĄDOWE

Unmanned Mobile Platforms

Streszczenie

W artykule omówiono tendencje rozwojowe w konstrukcji BPL (unmanned mobile platforms) oraz możliwości dostosowania do wymagań straży pożarnej. Podczas akcji ratowniczo-gaśniczych strażak pracuje w ekstremalnie trudnych warunkach. Narażony jest na m.in. niebezpieczeństwo wybuchu rozległego, szybko rozprzestrzeniającego się pożaru, awarie chemiczne, bardzo silne promieniowanie cieplne. Takie sytuacje stanowią zagrożenie dla ludzi, a także środowiska naturalnego. Niezwykle ważną rolę odgrywa wtedy sprzęt o odpowiedniej mobilności, który zapewni dotarcie na miejsce akcji w krótkim czasie, a także umożliwi pomoc poszkodowanym i ich szybką ewakuację poza strefę zagrożenia. Dlatego też tak ważne jest zbudowanie pojazdu wsparcia akcji ratowniczych prowadzonych w szczególnie trudnych warunkach. W załączonym materiale przedstawiono tendencje rozwojowe sprzętu wojskowego lub adaptowanego na potrzeby wojska oraz jego modyfikacje na potrzeby straży pożarnej do działań ratowniczo-gaśniczych i rozpoznania w środowiskach szkodliwych dla człowieka z podziałem na grupy zależne od wykonywanych zadań.

Summary

This paper discusses the development of BPL (unmanned mobile platforms) and potential for adaptation to the needs of the Fire Service. During fire and rescue operations a fire fighter works in extremely difficult conditions. He is exposed to dangers associated with explosions, a rapidly spreading fire, chemical accidents and acute heat conditions. Such situations present a danger to humans as well as to the natural environment. An important role is played by equipment with suitable mobility, which can reach an incident location quickly, provide assistance to casualties and secure their quick evacuation from the danger zone. Therefore, it is important to construct a support vehicle for rescue operations, which are conducted in extremely difficult conditions. The attached material presents development trends for military vehicles or vehicles adapted for military use. Such vehicles can be modified for the needs of the Fire Service, for use in fire and rescue operations, identification of dangerous environments for humans and grouped according to expected performance of tasks.

Słowa kluczowe: techniczne wyposażenie straży pożarnej, robot pożarniczy, pojazd pożarniczy, bezzałogowa platforma lądowa;

Keywords: technical equipment for fire service, firefighting robot, firefighting vehicle, unmanned mobile platform;

Wstęp

Stosowanie nowych materiałów i technologii w gospodarce powoduje wzrost zagrożeń technologicznych, co wymusza poszukiwanie nowych technik ich likwidacji w przypadku wystąpienia zdarzeń destrukcyjnych. Dotyczy to zwłaszcza awarii stwarzających szczególne zagrożenie dla ludzi, środowiska naturalnego i członków podmiotów ratowniczych. Stosowane w krajach Unii Europejskiej roz-

wiązania oparte są na typowym sprzęcie gaśniczym oraz specjalnych samochodach ratownictwa, których załoga wchodzi bezpośrednio do strefy zagrożenia. Zabezpieczenie ratowników to sprzęt ochronny dróg oddechowych i ubrania gazoszczelne. Czas pracy ratownika ograniczony jest czasem ochronnego działania sprzętu zabezpieczającego (około 20-30 minut). Bezpośrednie działania ratownicze wykonuje się niejednokrotnie w strefach zagrożenia wybuchem lub narażenia na działanie różnego rodzaju promieniowania. Trudne warunki pracy powodują u ratowników bardzo duże obciążenie fizyczne, co skutkuje koniecznością częstej wymiany ekip ratowniczych w strefach działań. Najczęściej identyfikacja zagrożenia opiera się na analizie obrazu z kamer oraz odczytu danych/oznakowania/przenośnych

¹ Zespół Laboratoriów Technicznego Wyposażenia Straży Pożarnej i Technicznych Zabezpieczeń Przeciwpowozowych Centrum Naukowo Badawczego Ochrony Przeciwpowozowej – Państwowego Instytutu Badawczego, ul. Nadwiślańska 213, 05-420 Józefów k. Otwocka, Polska; obaj współautorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w powstanie artykułu (po 50%).

² jroguski@cnbop.pl

urządzeń identyfikacyjno-pomiarowych wyposażonych w odpowiednie sondy.

Wzrost skuteczności i bezpieczeństwa działań ratowniczych w strefach zagrożenia można osiągnąć poprzez wprowadzenie zdalnie sterowanych platform mobilnych, wyposażonych w odpowiedni sprzęt rozpoznawczy i ratowniczo-gaśniczy. W ten sposób strażak-ratownik zostanie odsunięty od strefy bezpośredniego zagrożenia życia i zdrowia, a możliwości robocze konstrukcji pozwolą na jej długotrwałą eksploatację w warunkach ekstremalnych. W procesach dynamicznych, gdzie skutki zdarzenia rosną z upływem czasu, czynnikiem decydującym o powodzeniu akcji ratowniczej jest czas od chwili zaistnienia zdarzenia do podjęcia działań ratowniczych. Brak sprzętu o odpowiedniej mobilności powoduje, że dotarcie na miejsce akcji jest znacznie opóźnione i wymaga olbrzymiego wysiłku fizycznego, a pomoc poszkodowanym i ich ewakuacja poza strefę zagrożenia przeciąga się w czasie. Stąd też istotnego znaczenia nabiera kwestia budowy pojazdu wsparcia akcji ratowniczych prowadzonych w szczególnie trudnych warunkach, do których możemy zaliczyć:

- a) możliwość powstania wybuchu par cieczy i gazów;
- b) możliwość „okrażenia” przez pożar;
- c) wyrzuty i wykipienia substancji toksycznych, produktów rozkładu termicznego lub spalania;
- d) bardzo silne promieniowanie cieplne; radiacyjne;
- e) wysoką zmienność sytuacji i wystąpienie niespodziewanych zagrożeń, przy których wyposażenie ratowników w standardowe środki ochrony indywidualnej jest niewystarczające (o czym świadczą wypadki, również śmiertelne wśród ratowników);
- f) konieczność prowadzenia działań na obszarach niedostępnych dla standardowych pojazdów ratowniczych.

Użycie zdalnie sterowanego pojazdu w rejonach niebezpiecznych, ograniczających możliwości bezpośredniej obserwacji jego otoczenia, stawia szczególnie wysokie wymagania systemowi sterowania i zobrazowania, który powinien umożliwiać obserwację terenu i otoczenia, osprzętów roboczych oraz lokalizację pojazdu względem przeszkód [1]. Z tych względów należy wykorzystać system wizyjny pozwalający na zobrazowanie położenia pojazdu i jego lokalizację względem obiektów o znanym położeniu oraz względem celu misji. Zebrane dane powinny być przesyłane do stanowiska operatora. Efektywność działania wymaga teleoperacji tzn. zdalnego sterowania z pominięciem możliwości wykorzystania przez operatora bezpośrednich bodźcowych sprzężeń zwrotnych, na dystansie nie mniejszym niż 0,5 km. Zasadniczym problemem, jaki powinien zostać rozwiązany, jest przekazywanie danych przy ograniczonej przepustowości kanałów transmisji dla zobrazowania położenia i otoczenia pojazdu.

1. Bezzałogowe Platformy Lądowe (BPL)

W przypadku Bezzałogowych Platform Lądowych (BPL) ich podstawowym zadaniem jest zwiększanie dystansu między człowiekiem, a zagrożeniem. Dotyczy to głównie działań w warunkach szczególnie uciążliwych lub szkodliwych dla ludzi.

Przeprowadzona analiza literaturowa pokazała, że na świecie istnieje wiele rozwiązań tego typu pojazdów, niemniej jednak są to zwykle inspekcyjne roboty policyjne i militarne, których zadania polegają najczęściej na rozpoznaniu zagrożenia, podjęciu niewielkich ładunków, przeniesieniu ich w bezpieczne miejsce bądź neutralizacji w miejscu zidentyfikowania [2][3]. Dlatego poszukiwano rozwiązań konstrukcyjnych, które spełnią nowe oczekiwania i będą zdolne do realizacji stawianych przed nimi zadań. Pierwsze konstrukcje tego typu robotów stworzono w latach 90. – były to zautomatyzowane, przystosowane do teleoperacji ciężkie maszyny inżynierijne, głównie koparki gaśnicowe, kołowe i samochodowe oraz ładowarki i spycharki. Jednak ich cena i koszty eksploatacji były stosunkowo wysokie, a własności robocze słabo dostosowane do potrzeb. Różnorodność zadań stojących obecnie przed jednostkami służb ratowniczych, w tym przed jednostkami straży pożarnej, niejednokrotnie nie odbiega od tych realizowanych przez wojskowe jednostki specjalne misji pokojowych. Stąd też zarówno dla wojskowego robota wsparcia pokojowych misji ratowniczych, jak i dla robotów do działań ratowniczych wymagania będą bardzo podobne.

Zasadnicza różnica polega na tym, iż w przypadku zadań wykonywanych w warunkach pokoju robot nie będzie narażony na oddziaływania ze strony przeciwnika. Przy poszukiwaniu funkcji, jakie powinien posiadać robot wsparcia misji ratowniczych, podobnie jak w przypadku robotów militarnych, należy rozgraniczyć te wymagania w aspekcie sprecyzowanych zadań dla konkretnego robota. Niemniej jednak wspólną grupą wymagań dla wszystkich robotów tego typu będą te związane z możliwościami trakcyjnymi, a więc mobilnością w różnych warunkach terenowych, zarówno w terenie otwartym, jak i zurbanizowanym.

W zależności od przyjętej koncepcji użycia robotów oraz przewidywanych zadań i wymaganych zdolności, buduje się platformy o zróżnicowanej masie i wielkości. Z uwagi na możliwości robocze można wyróżnić następujące kategorie:

- platformy lekkie, których masa nie przekracza 400 kg;
- platformy średnie, o masie do 3500 kg;
- platformy ciężkie, o masie do 10 000 kg;
- platformy bardzo ciężkie – o masie powyżej 10 000 kg.

Pożądane zdolności robocze w zadaniach ratownictwa w terenie zurbanizowanym, wymagają, aby

były to pojazdy lekkie o masie rzędu kilkuset kg, z prędkościami przejazdowymi około 5-10 km/h i roboczymi do kilku km/h, z możliwością bezstopniowej ich zmiany i czasie realizacji misji od 1-2 godz. Roboty te powinny być wyposażone w osprzęt roboczy o kinematyce pozwalającej zarówno na penetrację przestrzeni wewnątrz budynków, jak i podejmowanie niewielkich przedmiotów, oraz w układ jezdny umożliwiający poruszanie się po trudnym podłożu. Zostanie to zaprezentowane w następnej publikacji dotyczącej zastosowań robotów.

Zastosowanie nowoczesnego systemu sterowania umożliwia zdalne sterowanie pojazdem i jego wyposażeniem z odległości nawet kilkuset metrów, skutecznie odsuwając zagrożenie i zmniejszając ryzyko w trakcie szczególnie niebezpiecznych akcji [4]. Jest to jeden z najbardziej perspektywicznych kierunków rozwoju omawianego sprzętu, którego przykłady zaprezentowano na Ryc. 1.



Ryc. 1. Zdalnie sterowane roboty pożarnicze minimalizujące bezpośrednie zagrożenie człowieka

Fig. 1. Remote-controlled robots to minimize the risk of human

Oferowane obecnie na rynku europejskim rozwiązania bazują na aplikacjach wojskowych, które zostały opracowane w latach 70.–80. i są już przestarzałe technicznie oraz słabo dostosowane do teraźniejszych potrzeb. Zaprojektowano je jako pojazdy transportowe, gdzie główny nacisk położono na zdolność pokonywania terenu o niskiej nośności oraz rozwijanie wysokich prędkości jazdy. W efekcie mają one ograniczone zdolności pracy z osprzętami specjalnymi. Wynika to z:

- braku odpowiedniego zawieszenia (elastyczne zawieszenie uniemożliwia precyzyjną kontro-

lę osprzętów oraz wyraźnie pogarsza stateczność pracujących maszyn);

- niedostosowania konstrukcji nośnej pojazdu do obciążeń od osprzętów roboczych;
- braku napędów hydraulicznych dużej mocy.

Ponadto nie są przystosowane do zdalnego sterowania i nie są standardowo wyposażone w manipulatory.

Zdalnie sterowane roboty pożarnicze minimalizują bezpośrednie zagrożenie człowieka, stąd rosnące zainteresowanie tego typu konstrukcjami [4]. Obecnie są one w fazie rozwoju i opracowywania technik ich wykorzystania. Na podstawie analizy wdrożonych aplikacji można stwierdzić, że dominują dwa podstawowe obszary zastosowań:

- prowadzenie akcji gaśniczej w strefie niebezpiecznej (roboty gaśnicze) – jako mobilny nośnik działka wodnego (do tego celu wykorzystywane są platformy wysokiej zwrotności i mobilności);
- torowanie dróg oraz usuwanie niebezpiecznych materiałów ze strefy bezpośredniego zagrożenia (roboty wsparcia) – w tym wypadku jako maszyny bazowe wykorzystywane są najczęściej minimaszyny



Ryc. 2. A. Niemiecki robot gaśniczy
B. Bezzałogowa Platforma Lądowa Strażak

Fig. 2. A. A German firefighting robot
B. An unmanned mobile platform Strażak

W uzasadnionych przypadkach można zaproponować rozwiązanie, które pozwoli na realizację obydwu grup zadań, jednak niesie to ze sobą zwiększenie kosztów robota, który niejednokrotnie narażony jest na zniszczenie. Dlatego też bardziej zasadne wydaje się konstruowanie wyspecjalizowanych zdalnie sterowanych pojazdów ratowniczych realizujących określone zadania w warunkach zagrożenia zdrowia

i życia ratownika. Przedstawione w artykule światowe rozwiązania konstrukcyjne robotów wspierających akcje jednostek straży pożarnej są obecnie bardzo poszukiwane, gdyż mogą zastąpić człowieka w warunkach zagrożenia zdrowia i życia.



Ryc. 3. Roboty wyposażone w system do zraszania dużych powierzchni [8]

Fig. 3. Robots equipped with a system for spraying large areas [8]

2. Przegląd istniejących konstrukcji BPL

Obecny brak zdalnie sterowanych robotów mobilnych dedykowanych służbom ratowniczym powoduje, że do akcji niebezpiecznych wprowadza się przystosowane do tego celu i dostępne na rynku minimaszyny. Niemniej jednak charakter procesów roboczych realizowanych w ramach działań ratowniczych na różnych płaszczyznach, a więc gaszenia pożarów, ewakuacji ludności, penetracji gruzowisk, rozpoznania skażeń, podejmowania i neutralizacji ładunków niebezpiecznych, zmniejszania zagrożenia wywołanego niekontrolowanym uwalnianiem substancji niebezpiecznych, etc., wymaga budowy robotów specjalistycznych. Podobnie jak w przypadku rozwiązań militarnych, próba stworzenia robota uniwersalnego znacznie zwiększa koszty takiej konstrukcji, a jej narażenie na potencjalne zniszczenie w czasie realizacji zadania sprawia, że kierunki takich działań są ekonomicznie nieuzasadnione.

Prowadzenie działań na obszarach o ograniczonym dostępie dla sprzętu przeznaczonego do poruszania się po drogach utwardzonych zawsze stanowiło wyzwanie dla służb ratowniczych. Brak możliwości bezpośredniego dotarcia z wyspecjalizowanym sprzętem do rejonu działania powoduje obniżenie tempa prowadzenia akcji, jej efektywności oraz skuteczności – wymaga przy tym znacznie większe-

go wysiłku i zaangażowania od uczestników akcji. Z tych względów obserwuje się tendencję wyposażania wyspecjalizowanych pododdziałów w sprzęt wysokiej mobilności umożliwiający im skuteczne działania w szczególnie trudnych warunkach. Jego przeznaczeniem jest szeroko rozumiane wsparcie logistyczne na stosunkowo krótkim dystansie (zwykle odległość rejonu akcji od dróg utwardzonych nie przekracza 0,5-3 km). Najczęściej wykorzystywane są do tego celu lekkie pojazdy wojskowe jak Gamma Goat, Supacat [1]. Cechują się one stosunkowo niską ładownością (od 1000 kg do 3000 kg), ale bardzo wysoką mobilnością terenową (wzrost masy pojazdu i ładowności ogranicza jego mobilność). Na świecie nie opracowano dotychczas norm pozwalających na jednoznaczne określenie poziomu mobilności pojazdu i istnieje w tym zakresie pełna dowolność.



Ryc. 4. Po lewej: Pojazdy adaptowane do prowadzenia akcji ratowniczych: Gamma Goat (USA) w wersji pożarnej; po prawej: Supacat (Wielka Brytania) [4]

Fig. 4. Left: Vehicles adapted to carry out rescue operations: Gamma Goat (USA) version for firefighting, on the right: Supacat (United Kingdom) [4]

W międzynarodowych opracowaniach pojęcie wysokiej mobilności jest jednak dość jednoznaczne (określa je m.in. *Nato Mobility Reference Model*), a dobrym przykładem wymagań w tym zakresie jest brytyjska norma obronna. Za podstawowe kryterium zdolności poruszania się w terenie uznano naciski układu jezdnego na podłoże, natomiast inne kryteria pełnią rolę pomocniczą, umożliwiającą ocenę zdolności pokonywania przeszkód.

Trudne warunki pracy maszyn inżynierskich i pojazdów specjalnych, duże i zmienne obciążenia ich układów roboczych i jezdnych, eksploatacja w relatywnie niekorzystnych warunkach sprawiają, że dąży się do efektywniejszych układów przenoszenia mocy, obniżających koszt eksploatacji maszyn i pojazdów. Ponadto powinny one zwiększać bezpieczeństwo pracy, odciążać kierowcę-operatora od nadmiernego wysiłku, oraz zapewniać obniżenie emitowanego przez maszyny hałasu i ciepła. Rozwój elementów hydraulicznych, wzrost ich niezawodności i podatności na sterowanie sprawił, iż hydrostatyczne układy napędowe są coraz częściej stosowane w rozwiązaniach układów napędowych jazdy współczesnych maszyn i pojazdów. Podstawowymi aspektami przemawiającymi za ich stosowaniem są:

- łatwość przenoszenia napędu od silnika spalinowego do kół;
- płynna zmiana przełożenia przekładni;
- wykorzystywanie dużego obszaru pracy silnika spalinowego;
- eliminacja rozłączalnych sprzęgieł, skrzyń biegów, przekładni rozdzielczych za silnikiem napędowym;
- optymalizacja realizowania napędu odwróconego i możliwość zabezpieczenia silnika napędowego przed rozbieganiem;
- zabezpieczenie silnika napędowego przed przeciążeniem;
- możliwość realizowania jazdy z automatyczną zmianą przełożenia,
- szeroki zakres prędkości obrotowych wałów silników hydraulicznych.

Etapem rozwojowym hydrostatycznych układów napędowych są systemy niezależnego od obciążenia rozdziału wydajności pompy, w których, wartości prędkości roboczych każdego z elementów wykonawczych mogą być precyzyjnie sterowane – bez względu na wielkość i charakter zmian obciążenia zewnętrznego. Podstawową zaletą tego typu układów jest automatyczne redukowanie prędkości wszystkich odbiorników w przypadku, gdy wydajność pompy jest niewystarczająca, aby zapewnić żądaną chłonność (nastawioną zaworem dławiącym) wszystkich odbiorników. Maszyny wyposażone w hydrostatyczne układy napędowe charakteryzują się większą precyzją sterowania, mniejszymi nadwyżkami dynamicznymi, lepszą ergonomią i podatnością na zdalne oraz automatyczne sterowanie. Wśród pojazdów wyposażonych w hydrostatyczne układy napędowe jazdy można znaleźć pojazdy rodzimej produkcji.

3. Polskie BPL

Przykładem takiego pojazdu jest lekki wielozadaniowy pojazd Lewiatan (Ryc. 5.), który po-

wstał w wyniku wzajemnej współpracy firm BIBUS MENOS, HYDROMEGA oraz Wojskowego Instytutu Techniki Pancernej i Samochodowej [4, 5].



Ryc. 5. Wielozadaniowy pojazd Lewiatan [5]

Fig. 5. Multitasking vehicle Lewiathan

Pojazd może być wykorzystany zarówno jako nośnik niewielkich ładunków (do 1,5 t) jak również jako pojazd bazowy – nośnik narzędzi lub sprzętów roboczych do wykonywania prac inżynierskich. Dobre właściwości trakcyjne w trudno dostępnym terenie, jak również zdolność pokonywania przeszkód wodnych zdecydowanie rozszerza zakres realizowanych przez pojazd prac. W pojeździe tym koła napędowe są niezależnie napędzane hydraulicznymi silnikami georotorowymi – stałej chłonności, zasilanymi pompą zmiennej wydajności sterowanej za pomocą serwowozoru. W czasie wyjeżdżania pojazdu z przeszkody wodnej możliwa jest jednoczesna praca śrub napędowych i wybranych silników kół. W układzie zastosowano specjalne zawory, bloki sterujące osiami napędowymi umożliwiające:

- włączanie i wyłączanie poszczególnych silników;
- synchronizację pracy kół napędowych;
- skręt w miejscu;
- skręt i wybór kierunku pływania;
- wybór kierunku jazdy pojazdu.

Do zasilania wspomagania układu kierowniczego, hamulcowego oraz odbiorników zewnętrznych zainstalowano pompy pomocnicze stałej wydajności. Sterowanie przekładnią hydrostatyczną realizowane jest poprzez elektroniczny układ automatycznej zmiany przełożenia oddziałujący na wydajność pompy. Operator ma możliwość wyboru dwóch zakresów przełożeń terenowych i jednego zakresu przełożeń szosowych.

Zaproponowane rozwiązanie hydrostatycznego układu skrętu umożliwia zarówno zdalne (elektryczne), jak i klasyczne (manualne) sterowanie pojazdem. W obu przypadkach czas pełnego przestawienia kół skrętnych pojazdu wyniósł około 2 s, co odpowiada czasowi, w jakim operator dokonuje skrętu kół w trybie manualnego sterowania. Pomiar minimalnego promienia skrętu wykazały, że pojazd przy tych samych warunkach skrętu, przy pręd-



Ryc. 6. Widok bezzałogowego inżynierskiego robota wsparcia taktycznego „Bogus” [6]

Fig. 6. Unmanned engineering robot for tactical support ‘Bogus’ [6]

kości pojazdu ok. 10 km/h, nawierzchni utwardzonej i równomiernym ciśnieniu powietrza w ogumieniu, posiada różne minimalne promienie skrętu w lewo (4,9 m) i w prawo (5,2 m). Z uzyskanych charakterystyk wynika iż, aby utrzymać stały promień skrętu pojazdu czy też poruszać się pojazdem w kierunku na wprost, konieczna jest ciągła korekta położenia siłownika układu skrętu [4, 5].

Kolejną konstrukcją o innej koncepcji wykonania jest bezzałogowy inżynierski robot wsparcia taktycznego „Bogus” [6]. Pojazd posiada konstrukcję członową, która przy relatywnie małym skoku zawieszenia umożliwia świetne kopiowanie terenu. Kontrolowany hydraulicznie sprzęg łączący człon przedni (napędowo-transportowy) i tylny (transportowy), oprócz wspomagania skrętu, pozwala na zwiększenie zdolności pokonywania przeszkód (Ryc. 6.).

Dla zapewnienia wymaganych zdolności zbudowany pojazd charakteryzuje się:

- nisko położonym środkiem ciężkości pojazdu;
- 5-cio osiowym układem jezdny;
- bardzo dobrą zdolnością kopiowania terenu;
- hydrostatycznym układem napędowym.

Efektywną realizację funkcji transportowych zapewnia widłowy system samoładowniczy wykorzystujący specjalnie zaprojektowany nowy standard palet o zwiększonych możliwościach transportowych – zgodny z istniejącymi systemami. Dzięki wyposażeniu go w układ ryglowania umożliwia on zastosowanie (i szybką wymianę) wyspecjalizowanych platform roboczych (Ryc. 7.).



Ryc. 7. Podejmowanie ładunku z platformy pojazdu za pomocą widłowego systemu samoładowniczego

Fig. 7. Removing cargo from the vehicle by means of self-loading lift system

W celu zwiększenia elastyczności systemu transportowego pojazd został wyposażony w wielozadaniowy manipulator z wymiennymi chwytakami – o udźwigu do 300 kg. Umożliwia to podejmowanie nie tylko materiałów przygotowanych do transportu (paletyzowanych), ale także innych przedmiotów np.: beczek wypełnionych różnorodnymi materiałami, drewnianych bali, butli z gazem itp. Jego konstrukcja pozwala na złożenie go do rozmiarów nie wykraczających poza obrys pojazdu, ustawienie w pozycji dogodnej dla operatora przy manewrowaniu pojazdem i pełne rozwinięcie do realizacji założonych zadań. Może on nie tylko podejmować ładunki, usuwać przeszkody terenowe, ale również jego konstrukcja umożliwia montaż specjalnego wyposażenia (działko wodne, kamera, czujniki). Pozwoli to poszerzyć zakres potencjalnych zastosowań przy zwalczaniu skutków klęsk żywiołowych, katastrof oraz podejmowaniu materiałów niebezpiecznych (Ryc. 8.).



Ryc. 8. Podnoszenie ładunków: po lewej – załadunek na pojazd; po prawej – podejmowanie ładunku zza przeszkody

Fig. 8. Lifting loads: on the left – loading the vehicle; on the right – to take loads behind the obstacle

Opracowany aktywny sprzęg hydrauliczny pełni potrójną rolę:

- wspomaga układ skrętu pojazdu;
- zwiększa zdolność pokonywania przeszkód;
- stabilizuje pojazd podczas podnoszenia ładunków.

System akumulatorów w sprzęgu elastycznie rozkłada obciążenia pomiędzy członami i usztywnia sprzęg na czas podnoszenia ładunków (Ryc. 9.).



Ryc. 9. Widok aktywnego sprzęgu hydraulicznego
Fig. 9. The view of active hydraulic coupling

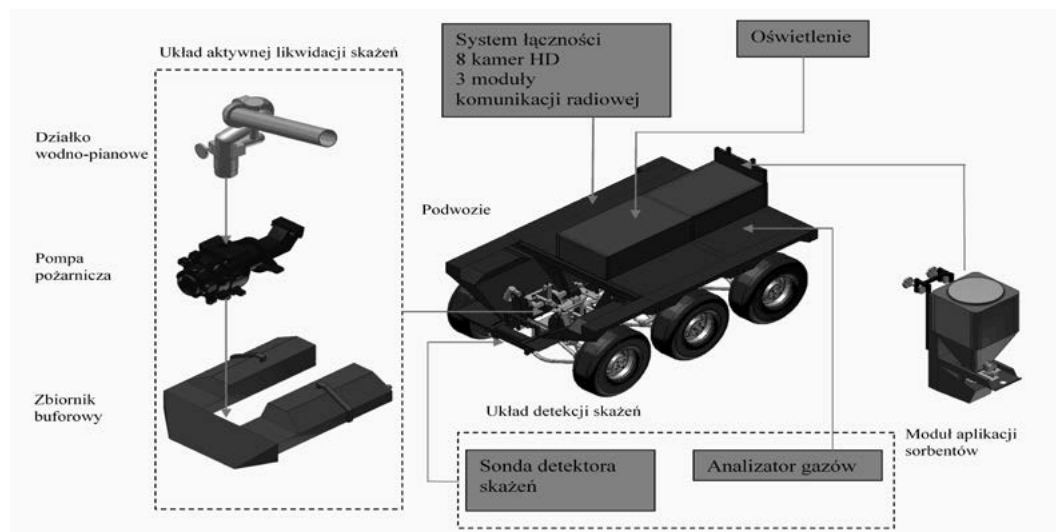
Kinematyka osprzętów roboczych pozwala na szybką realizację przewidywanych zadań zarówno w zakresie podejmowania ładunków, jak i ich transportu. Pojazd rozwija przy tym założone siły udźwigu i uciągu. Powyższe czynniki oraz zdolność do realizacji zróżnicowanych zadań poprzez dostosowanie pojazdu do szybkiego podejmowania i instalacji narzędzi oraz osprzętów specjalnych tworzą jedyną w swoim rodzaju bezzałogową platformę o szerokich możliwościach jej zastosowań [6].

Pierwszą platformą dedykowaną straży pożarnej jest (BPL) „STRAŻAK” [7, 9] – skonstruowana w ramach projektu badawczego „Technologia zmniejszenia zagrożenia wywołanego niekontrolowanym uwalnianiem substancji niebezpiecznych”. Bezzałogowa platforma lądowa (BPL) „STRAŻAK” przeznaczona jest do działań przy rozpoznaniu i likwidacji skutków awarii chemicznych w za-

kładach przemysłowych i transporcie materiałów niebezpiecznych.

Do realizacji tych funkcji wyposażona została w elementy przeznaczone do aplikowania wody i środków dekontaminacyjnych:

- Działko wodno-pianowe TORNADO RC model: Y2-E12A ze zdalnym bezprzewodowym elektrycznym sterowaniem przeznaczone do stałego mocowania, o następujących parametrach:
 - zakres ciśnień roboczych od 7 do 16 bar,
 - wydajność wodna regulowana w zakresie od 50 ± 10 do 2000 ± 100 l/min – mierzona przy ciśnieniach roboczych: od ciśnienia najniższego umożliwiającego rozwinięcie strumienia do ciśnienia 8 bar,
 - nachylenie w pionie regulowane zdalnie w zakresie od -45° do $+90^\circ$,
 - ruch obrotowy o zdalnym nastawie w zakresie kąta 360° (symetrycznie w prawo i w lewo po 180°),
 - nasada tłoczna $\varnothing 52$ mm.
- Zestaw trzech dysz i adapterów montowanych zamiennie na wylocie działka do wytwarzania strumieni zwartych i rozproszonych o następujących parametrach i funkcjonalności:
 - dysza o wydajności od 400 ± 10 l/min do 2000 ± 100 l/min ze stabilizacją ciśnienia w zakresie od 6 ± 1 bar do 8 ± 1 bar z możliwością zdalnego bezprzewodowego sterowania wydatkiem i kształtem strumienia; regulacja kształtu strumienia od zwanego do pełnego stożka o kącie rozwarcia 90° ,
 - dysza o wydajności od 400 ± 10 l/min do 2000 ± 100 l/min ze stabilizacją ciśnienia w zakresie od 3 ± 1 bar do 4 ± 1 bar z możliwością zdalnego bezprzewodowego sterowania wydatkiem i kształtem strumienia; regulacja kształtu strumienia od zwanego do pełnego stożka o kącie rozwarcia 90° ,



Ryc. 10. Zestawienie systemów BPL Strażak [9]

Fig. 10. Strazak – system configuration

- adapter do piany ciężkiej.
- System bezprzewodowego sterowania działkiem wodno-pianowym, wykorzystujący łączność radiową, regulujący kierunek podawania strumienia gaśniczego w pionie i w poziomie oraz kształt strumienia poprzez zmianę nastawy dyszy, zaopatrzonego w ręczny manipulator operatora,
- Wyświetlacz pokazujący operatorowi kierunek podawania prądu gaśniczego przez działko w pionie i w poziomie względem stałej bazy zamocowania działający z wykorzystaniem łączności radiowej,
- Odśrodkowa pompa wody zasilająca działko o nominalnym ciśnieniu 10 bar i wydatku wody 2000 l/min przystosowana do współpracy z działkiem, napędzana silnikiem hydraulicznym przystosowanym do zasilania ze źródła zewnętrznego. Pompa jest wyposażona w układ umożliwiający zassanie wody, działający w cyklu automatycznym, a zapotrzebowanie mocy do jej napędu nie przekracza 74 KM przy znamionowych parametrach pracy.

Poprzez zmianę ustawienia działka możliwa jest realizacja funkcji schładzania powierzchni zewnętrznych pojazdu w celu zabezpieczenia przed oddziaływaniem promieniowania ciepłego lub substancji chemicznych.

Krótki opis techniczny wyrobu/obiektu

Podwozie: zmodyfikowana BPL Lewiatan

Układ jezdny: 6x6

Silnik:

- typ: wysokoprężny czterosuwowy doładowany z wtryskiem pośrednim, 4CT90 Andoria, EURO 2,
- pojemność: 2,4 dm³,
- moc znamionowa 66 kW (90 KM) przy 4100 obr/min,
- moment obrotowy 195 Nm przy 2500 obr/min,

Układ napędowy: hydrostatyczny,

Moc jednostkowa: < 14,57 kW/t (pełny zbiornik wody).

Pompa pożarnicza wraz z układem wodno-pianowym jest umieszczona z przodu pojazdu w przedziale zamykanym drzwiami uchylnymi. Otwarcie i zamknięcie drzwi jest możliwe z poziomu gruntu. Konstrukcja przedziału umożliwia odprowadzanie wody z jego wnętrza. W zbiornik wody o pojemności 1000 dm³ wbudowany jest wskaźnik poziomu wody (płynowskaz). Na pulpicie operatora znajduje się kontrolka włączenia pompy. Układ wodno-pianowy umożliwia:

- podawanie z działka wody i wodnego roztworu środka pianotwórczego,
- pracę pompy przy zasilaniu ze zbiornika wody pojazdu,

- napełnianie zbiornika wody z hydrantu lub za pomocą samochodu gaśniczego.



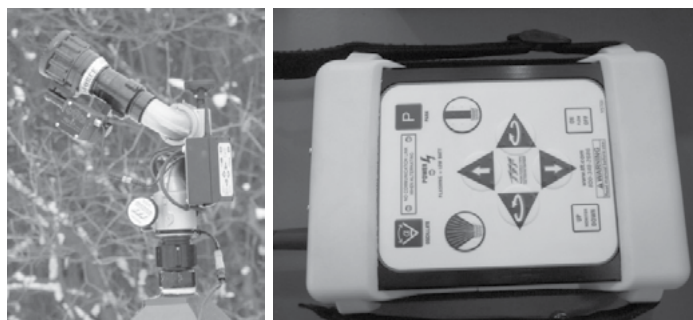
Ryc. 11. Bezzałogowa platforma lądowa Strazak [7]

Fig. 11. An unmanned mobile platform Strazak



Ryc. 12. Stanowisko operatora [7]

Fig. 12. Operators Station



Ryc. 13. Działko i pulpit zdalnego sterowania działkiem [7]

Fig. 13. Cannon and cannon remote desktop

Konstrukcja układu wodno-pianowego umożliwia jego przepłukanie po użyciu środka pianotwórczego i w razie potrzeby jego całkowite odwodnienie. Zbiornik wyposażono w urządzenie przelewowe zabezpieczające zbiornik przed uszkodzeniem podczas napełniania. W najniższym położonym punkcie zbiornika zainstalowano zawór do grawitacyjnego opróżniania zbiornika. Istnieje możliwość zdalnego odłączania linii tłocznej.

Ponieważ BPL Strażak dedykowany jest do pracy w środowisku, gdzie obecność człowieka powinna być ograniczona do minimum, podstawowym zadaniem systemu wizyjnego jest zapewnienie bezpieczeństwa maszynie, operator musi mieć możliwość oceny, czy zadanie, które ma wykonać, nie naraża sterowanego pojazdu na niebezpieczeństwo bądź nie stwarza zagrożenia dla środowiska.

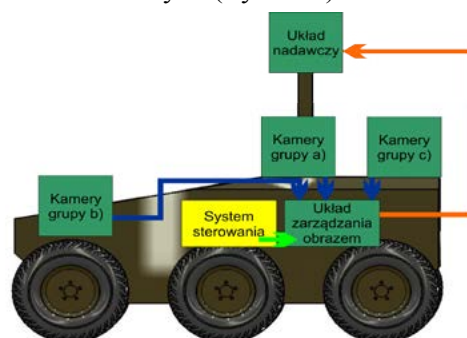
Ze względu na wyposażenie BPL w dodatkowy osprzęt do zwalczania zagrożeń chemicznych, system wizyjny dostarcza informacje odnośnie sposobu jego funkcjonowania. W ten sposób możliwa jest natychmiastowa reakcja w przypadku jego błędnego zadziałania, czym minimalizuje się negatywne oddziaływanie osprzętu na pojazd i bezpośrednie otoczenie.

Zastosowany system wizyjny pojazdu bezzałogowego to grupa układów współpracujących ze sobą w celu przekazania operatorowi informacji wizualnej odnośnie pojazdu i jego otoczenia. [9]

Przyjęta koncepcja zakłada wykorzystanie kamer wideo rozmieszczonych w specjalnie wytypowanych miejscach pojazdu. Łączy wideo przesyła obraz z pojazdu do pulpitu operatorskiego jednocześnie z 3 wybranych źródeł. W zależności od realizowanego zadania, następuje automatyczne przełączenie się pomiędzy wyselekcjonowanymi grupami kamer, wraz z możliwością manualnej kontroli przez operatora pojazdu. Proces przełączania realizowany jest przez tzw. układ zarządzania obrazem. Schemat rozmieszczenia poszczególnych układów systemu wizyjnego przedstawiony jest na Ryc. 14 wraz z kierunkiem przepływu informacji zaznaczonym za pomocą grotów strzałek.

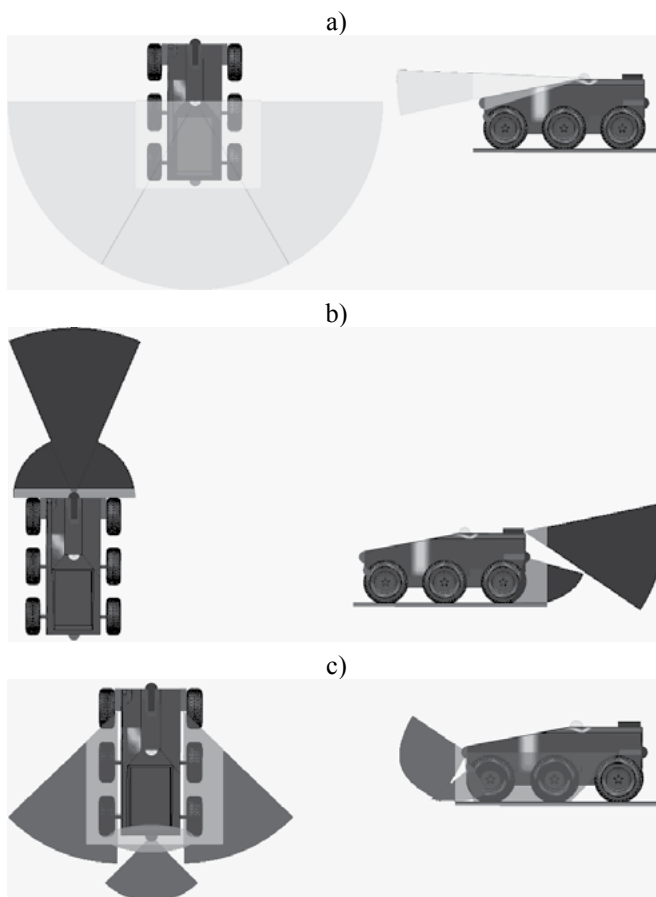
Kamery zostały pogrupowane zgodnie z realizowanymi zadaniami: jazda z dużymi prędkościami do przodu oraz nadzorowanie pracy urządzeń dodatkowych (Ryc. 15a), manewrowanie w trudnym terenie

(Ryc. 15b), jazda do tyłu oraz nadzorowanie pracy urządzeń dodatkowych (Ryc. 15c).



Ryc. 14. Schemat rozmieszczenia elementów systemu wizyjnego na demonstratorze technologii [9]

Fig. 14. Schematic layout of the elements of the vision system on technology demonstrator [9]



Ryc. 15. Grupy kamer wraz z zaznaczonymi ich obszarami obserwacji dla różnych zadań realizowanych przez system wizyjny: a) jazda z dużymi prędkościami do przodu oraz nadzorowanie pracy urządzeń dodatkowych; b) manewrowanie w trudnym terenie; c) jazda do tyłu oraz nadzorowanie pracy urządzeń dodatkowych [9]

Fig. 15. Camera group with marked their observation areas for different tasks carried out by the vision system: a) driving at high speeds forward and overseeing the work of additional devices; b) maneuvering in difficult terrain; c) move backward and overseeing the work of additional devices

W grupie kamer dedykowanych do jazdy z dużymi prędkościami są kamery wideo ustawione w taki sposób, aby ich obraz tworzył jak najdokładniejszą panoramę otoczenia pojazdu, o kącie obserwacji 180 stopni przed pojazdem. Dzięki takiemu rozmieszczeniu operator otrzymuje bardzo dokładną informację zarówno podczas kierowania pojazdem, jak i obsługi urządzeń dodatkowych zamontowanych z przodu pojazdu, bądź operujących w przestrzeni przed pojazdem.

Obraz z kamer dedykowanych do jazdy do tyłu tworzy panoramę o kącie obserwacji zbliżonym do 180 stopni, zapewniając dodatkowo wgląd w sposób funkcjonowania urządzeń dodatkowych znajdujących się lub pracujących z tyłu pojazdu. Natomiast do jazdy w trudnym terenie wykorzystywane są kamery, umożliwiające obserwację terenu możliwie najbliższej wymiarów obrysowych pojazdu.

4. Wnioski

Dla potrzeb realizacji zadań ratowniczych związanych z niekontrolowanym uwalnianiem substancji niebezpiecznych zakłada się użycie platformy średniej o masie do 3500 kg, której czas nieustannej pracy powinien wynosić nawet do 8 h (patrz BPL Strażak). Konieczność długotrwałej pracy, rozwijanie odpowiednich sił napędowych na kołach pojazdu, dysponowanie zapasem mocy dla potrzeb zabezpieczenia funkcjonowania dodatkowego wyposażenia, wymuszają zastosowanie jednostki napędowej robota w postaci silnika spalinowego.

Analiza możliwości zapewnienia wysokiej efektywności użycia średnich BPL oparta o doświadczenia wojskowych misji ratowniczych wskazała, że istotnymi cechami konstrukcji powinny być:

- masa rzędu 2500-3500 kg umożliwiająca rozwijanie sił uciągu niezbędnych do usuwania materiałów niebezpiecznych oraz niezbędny poziom stateczności podczas podnoszenia ładunków;
- osprzęt roboczy – niezbędny do torowania i spychania obiektów;
- szybkość wymiany narzędzi lub osprzętu;
- udźwąg manipulatora powyżej 200 kg – wskazane jest przy tym duże pole pracy;
- hydrostatyczny układ napędowy umożliwiający precyzyjną kontrolę rozwijanych
- prędkości i sił napędowych;
- układ skrętu zapewniający łatwość korygowania położenia;
- niskie naciski na podłoże – umożliwiające efektywną pracę poza terenem utwardzonym.

Wyposażenie BPL w manipulator zapewni rozszerzenie jego możliwości roboczych i poprawi efektywność użycia:

- dzięki odpowiedniemu zasięgowi i wyposażeniu w głowicę obserwacyjną umożliwi prowadzenie szczegółowego rozpoznania w miejscach słabo widocznych lub niedostępnych;
- może stanowić ruchomą platformę dla działka wodnego, umożliwiając podejmowanie akcji gaśniczych z góry lub z większego dystansu;

- może stanowić ruchomą platformę dla sensorów i detektorów rozpoznania zagrożeń i skażeń;
- dzięki sterowanemu zrywakowi może służyć do prac rozgrodzeniowych lub pobierania próbek.

W przedstawionych konstrukcjach, w większości rozwiązań nie zastosowano systemów zraszania powierzchni (zintegrowanego systemu samoobrony przed oddziaływaniem np. wysokiej temperatury) BPL. Takie propozycje rozwiązań przedstawione zostaną w kolejnych publikacjach związanych z tematyką, ponadto omówione zostaną rozwiązania pozostałych grup robotów.

Literatura

1. Łopatka M., Typiak A., *Koncepcja pojazdu transportowego o wysokiej mobilności*, [dok. na CD-ROM], „Logistyka”, 3 (2009).
2. Typiak A., Typiak R., Muszyński T., *Support robots for the polish armed forces*, 5th IARP.
3. RISE'2011 'Robotics for risky interventions and Environmental Surveillance-Maintenance' Brussels – Leuven, BELGIUM 20-22 June 2011.
4. Typiak A. i inni, *Sprawozdanie z realizacji projektu rozwojowego pn. „Bezzałogowy pojazd do wykonywania zadań specjalnych w strefach zagrożenia”*, Warszawa WAT 2011.
5. Bartnicki A., *Pojazdy specjalne stosowane w akcjach ratowniczych jednostek straży pożarnej*, „Logistyka”, 6 (2011), 111-118.
6. Bartnicki A., Typiak A., Zenowicz Z., *Zdalnie sterowana lekka platforma z hydrostatycznym układem napędowym*, „Szybkobieżne Pojazdy Gąsienicowe”, 23, 1(2008).
7. Typiak A., *Bezzałogowy pojazd do wykonania zadań specjalnych w strefach zagrożenia*, „Logistyka”, 6 (2011), 3847-3854.
8. *Sprawozdanie z realizacji projektu rozwojowego pn: „Technologia zmniejszenia zagrożenia wywołanego niekontrolowanym uwalnianiem substancji niebezpiecznych”* CNBOP-PIB 2012.
9. Tcarichenko S.G., *Extreme Robotics in the Russia's Ministry of Emergency Situations – challenges and perspectives*, „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza”, 4 (2012), 97-105.
10. *Sprawozdanie z realizacji projektu rozwojowego pn: „Technologia zmniejszenia zagrożenia wywołanego niekontrolowanym uwalnianiem substancji niebezpiecznych”*, WAT 2012.

st. bryg. mgr inż. Dariusz Czerwienko jest Kierownikiem Zespołu Laboratoriów Technicznego Wyposażenia Straży Pożarnej i Technicznych Zabezpieczeń Pożarowych CNBOP-PIB. Jest autorem i współautorem szeregu artykułów i monografii, wystąpienia na konferencjach krajowych i zagranicznych.

dr inż. Jacek Roguski jest adiunktem w Zespole Laboratoriów Technicznego Wyposażenia Straży Pożarnej i Technicznych Zabezpieczeń Pożarowych CNBOP-PIB. Zajmuje się naukowo i praktycznie aspektami związanymi z zagadnieniami ochron osobistych, instalacji gaśniczych oraz problemami eksploatacji urządzeń technicznych. Jest autorem i współautorem szeregu artykułów i monografii, wystąpienia na konferencjach krajowych i zagranicznych.

mgr inż. **Karolina LEMAŃSKA**^{1,2}
tech. Sylwester **GLÓWKA**¹

PRZEGLĄD, ZASTOSOWANIE I TENDENCJE ROZWOJOWE ARMATURY POŻARNICZEJ

Review, application and development trends of firefighting equipment

Streszczenie

W niniejszym artykule dokonano przeglądu oraz przedstawiono tendencje rozwojowe armatury pożarniczej. Opisano poszczególne grupy armatury pod względem jej zastosowania. Armatura pożarnicza stanowi jeden z najważniejszych działów technicznego wyposażenia straży pożarnej. Warunkiem koniecznym wymaganym podczas akcji gaśniczo-ratowniczych jest wyposażenie strażaka w sprzęt pożarniczy, do którego zalicza się: pożarnicze węże ssawne, pożarnicze węże tłoczne do hydrantów, pożarnicze węże tłoczne do pomp pożarniczych, łączniki, przełączniki, nasady, pokrywy nasad, rozdzielacze, zbieracze, smoki ssawne, prądownice wodne, prądownice pianowe, wytwornice pianowe, działka wodno-pianowe, stojak hydrantowy, urządzenie do wytwarzania zasłony wodnej, zasysacze liniowe. Przedstawiona w artykule armatura wodno-pianowa i zagadnienia techniczne ją określające spełniają wymagania i tendencje rozwojowe w pożarnictwie.

Summary

This article reviewed and introduced development trends of firefighting equipment. Individual groups of equipment were described from the viewpoint of application. Firefighting equipment is one of the most important components of the Fire Service technical arsenal. It is important that firefighters involved with firefighting and rescue operations are suitably equipped with such items as: suction fire hoses, delivery hoses for connection with fire hydrants and fire pumps, hose couplings, hose adapters, outlet couplings, blank couplings, triple head distributors, collecting breeches, suction strainers, water nozzles, foam nozzles, foam generators, hydrant standpipe water-foam monitors, water screen creation device, in-line inductors.

The water-foam equipment and associated technical issues presented in this article satisfy the needs and development trends in the Fire Service.

Słowa kluczowe: pożarniczy wąż tłoczny, pożarniczy wąż ssawny gumowy, smok ssawny, łącznik pożarniczy tłoczny, zbieracz 2×75/110, rozdzielacz kulowy, prądownica wodna, prądownica pianowa, wytwornica pianowa, działka wodno-pianowa, pokrywa nasad, nasada, przełącznik;

Keywords: delivery fire-hose, suction fire rubber hose, suction strainers, hose couplings, collecting breeching 2×75/110, triple head distributors, water nozzle, foam making nozzle, foam generator, water-foam monitor, blank couplings, outlet coupling, hose adapter;

Wprowadzenie

Armatura pożarnicza jest niezbędna podczas akcji ratowniczo-gaśniczych, a od jakości i trwałości jej wykonania zależy bezpieczeństwo ludzi. Z biegiem lat zaczęto wprowadzać zmiany, przejawiające się w zastosowaniu nowych materiałów oraz rozwiązań konstrukcyjnych. Taka sytuacja doprowadzi-

ła do szybkiego rozwoju techniki gaszenia pożarów oraz rozwoju sprzętu pożarniczego, co miało miejsce głównie w okresie powojennym. Poniżej przedstawiono zastosowanie oraz charakterystyczne cechy poszczególnych rodzajów armatury pożarniczej.

1. Pożarnicze węże tłoczne do pomp pożarniczych

Pożarnicze węże tłoczne do pomp pożarniczych [1] służą do tłoczenia wody oraz wodnych roztworów środków pianotwórczych pod odpowiednim ciśnieniem od motopomp i autopomp do miejsca działań ratowniczych.

W zależności od średnicy wewnętrznej rozróżnia się wielkości węży w mm: 25, 42, 52, 75 i 110.

¹ Zespół Laboratoriów Technicznego Wyposażenia Straży Pożarnej i Technicznych Zabezpieczeń Przeciwpożarowych, Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Nadwiślańska 213, 05-420 Józefów k. Otwocka, Polska; współautorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w powstanie artykułu (po 50%)

² klemanska@cnbop.pl

W zależności od wyposażenia w łączniki rozróżnia się odmiany węży:

- ŁA – z łącznikami ze stopów aluminium,
- ŁM – z łącznikami ze stopów miedzi,
- B – bez łączników

W zależności od konstrukcji taśmy węzowej rozróżnia się pożarnicze węże tłoczne z powłoką zewnętrzną lub bez powłoki.

Pożarnicze węże tłoczne wykonywane są w postaci dwuwarstwowej powłoki. Powłokę zewnętrzną stanowi taśma tkana w cylindrycznym obwodzie zamkniętym z jedwabiu poliestrowego (torlenu). Do wewnątrz tak utworzonego rękawa wkleja się wykładzinę uszczelniającą z poliuretanu, PCV oraz gumy. Zadaniem warstwy zewnętrznej jest przeniesienie naprężeń wywołanych działaniem ciśnienia i zabezpieczenie przed mechanicznymi uszkodzeniami, natomiast wkładka wewnętrzna zapewniać ma szczelność. Może być również zastosowana powłoka zewnętrzna wykonana z PCV, gumy lub z innych materiałów plastycznych i ich mieszanin.

Pożarniczy wąż tłoczny składa się z taśmy węzowej zakończonej łącznikami tłocznymi odpowiadającymi średnicy wewnętrznej węża.



Ryc. 1. Pożarniczy wąż tłoczny do pomp pożarniczych
Fig. 1. Delivery fire-hose for fire pumps

Jedną z istotniejszych własności hydraulicznych statycznych węży jest zmiana ich wymiarów pod wpływem ciśnienia wody. Węże pożarnicze podczas zwiększania ciśnienia zmieniają zarówno średnicę, jak i długość. Ich elastyczność charakteryzują dwie niżej zdefiniowane wielkości:

a) względny przyrost średnicy ε_D w % określony wzorem:

$$\varepsilon_D = \frac{D_2 - D_1}{D_1} \cdot 100\%$$

gdzie: D_1 – średnica przed obciążeniem,
 D_2 – średnica po obciążeniu węża.

b) wydłużenie względne ε_L w % określone wzorem:

$$\varepsilon_L = \frac{L_2 - L_1}{L_1} \cdot 100\%$$

gdzie: L_1 – długość węża przed obciążeniem,
 L_2 – długość węża po obciążeniu.

Dokładne określenie strat ciśnienia w wężu pożarniczym jest praktycznie niemożliwe. Dlatego też stosuje się najczęściej wzór przybliżony o postaci ogólnej:

$$\Delta H_{str} = S_0 \cdot L \cdot Q^2$$

gdzie: Q – wydatek [dm^3/s],

L – długość węża [m],

S_0 – współczynnik oporności węża [s^2/dm^6]

Wzór określa charakterystykę przewodu składającego się z pojedynczego węża, którego początek i koniec znajduje się na tym samym poziomie.

2. Węże ssawne

Węże ssawne [2] umożliwiają zassanie wody lub innych płynów z miejsca ich magazynowania do nasady ssawnej pompy.

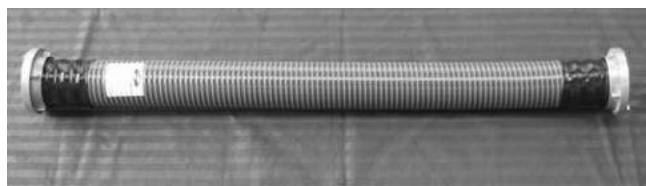
W zależności od średnicy wewnętrznej rozróżniamy węże: 52, 75, 110, odmiana Ł – z łącznikami, B – bez łączników. Można również spotkać węże ssawne wielkości: 125, 150 używane do agregatów pompowych o dużych wydajnościach.

Pożarnicze węże ssawne gumowe składają się z warstwy wewnętrznej i zewnętrznej wykonanej z gumy, wewnętrznej spirali wzmacniającej z drutu stalowego, wzmocnienia tekstylnego.



Ryc. 2. Pożarniczy wąż ssawny gumowy
Fig. 2. Suctions fire rubber hose

Pożarnicze węże ssawne PCV: taśma węzowa wykonana z miękkiego PCV, która zbrojona jest spiralą z twardego PCV. Niektóre węże mogą posiadać osłony termoizolacyjne zabezpieczające taśmowanie.



Ryc. 3. Pożarniczy wąż ssawny z PCV
Fig. 3. Suctions fire PCV hose

Jednym z istotniejszych własności pożarniczych węży ssawnych jest oznaczenie wytrzymałości na miejscowe obciążenie. Dwa odcinki węża poddaje się obciążeniu ciężarkami o określonej masie i wyznaczeniu stopnia odkształcenia w stosunku do pierwotnej średnicy zewnętrznej węża.

Odkształcenie węża po obciążeniu (E) należy obliczyć w % według poniższego wzoru:

$$E = \frac{d_0 - d_1}{d_0} \cdot 100\%$$

gdzie: d_0 – średnica zewnętrzna węża przed obciążeniem [mm],
 d_1 – średnica zewnętrzna po obciążeniu węża [mm]

3. Łączniki

Łączniki [3] przeznaczone są do połączeń szybkołącznych odcinków węży tłocznych i ssawnych ze sobą, lub łączenia ich z nasadami pomp, rozdzielaczy, prądownic oraz wszelkiego rodzaju sprzętu pożarniczego zakończonego złączem „Storz” odpowiedniej wielkości. Ich wielkość i oznaczenia są znormalizowane i dopasowane do współpracy węży z pozostałą armaturą wodną i sprzętem do podawania piany.

Wyróżniamy łączniki tłoczne przeznaczone do węży tłocznych oznaczone literą T: 25, 42, 52, 75, 110 oraz łączniki ssawne: 52, 75, 110. W łącznikach ssawnych pojawiają się również wielkości 125 i 150.

W budowie łącznika wyróżniamy: koronę, tuleję, pierścień i uszczelkę, której kształt różni się w zależności od tego, czy jest to łącznik tłoczny, czy ssawny. Łączniki mogą być wykonane ze stopów aluminium lub mosiądzu.



Ryc. 4. Łącznik pożarniczy tłoczny
 Fig. 4. Coupling of fire hoses

Różnice, jakie można wyróżnić między łącznikiem tłocznym a ssawnym, to odmienny kształt tulei. Tuleja do łączników ssawnych jest dłuższa i posiada większą ilość żeber. Zwiększona liczba żeber na tulei wynika z faktu, iż w przypadku pożarniczych węży ssawnych połączenie końca węża z łącznikiem ssawnym dokonuje się przez otąśmowanie trzema sekcjami drutu, a nie dwoma jak przy wężach tłocznych. W łącznikach ssawnych stosuje się gumowe uszczelki ssawno-tłoczne o innym kształcie i odmiennym zasadzie działania niż uszczelki w łącznikach tłocznych. Pozostałe elementy, czyli korona i pierścień oporowy, są jednakowe w obu konstrukcjach.

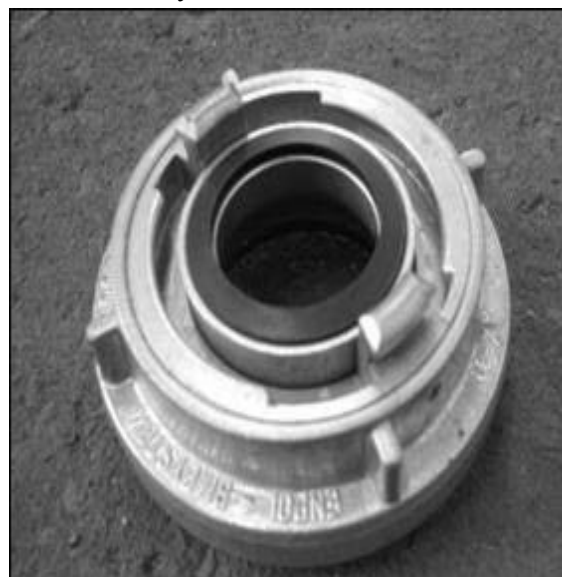
Wskaźnikiem decydującym o szczepności łączników jest wyznaczenie momentu obrotowego (M), przy łączeniu łącznika badanego z łącznikiem kontrolnym. Oblicza się go według wzoru:

$$M = P \cdot l$$

gdzie: P – siła odczytana na siłomierzu [N],
 l – odległość punktu przyłączenia siłomierza od osi obrotu łącznika kontrolnego [m]

4. Przełączniki

Przełączniki [4] służą do łączenia łączników węży o różnych wielkościach oraz łączników węży z nasadami sprzętu pożarniczego o różnych wielkościach. W zależności od średnic wewnętrznych węży tłocznych rozróżnia się trzy wielkości przełączników: 52/25, 75/52, 110/75. Przełącznik zbudowany jest z oprawy zewnętrznej, oprawy wewnętrznej, wstawki redukcyjnej, wkrętu dociskowego, dwóch uszczelk tłocznych.



Ryc. 5. Przełącznik
 Fig. 5. Hose adapter

Moment obrotowy (M) oblicza się, łącząc badany przełącznik z łącznikiem kontrolnym (tej samej wielkości), zgodnie ze wzorem podanym przy omawianiu łączników.

5. Nasady

Nasady [5] stosowane są do połączeń szybkozłącznych pożarniczych węży tłocznych lub ssawnych ze sprzętem pożarniczym zakończonym gwintem zewnętrznym. Stosuje się je jako stałe wyposażenie wylotów urządzeń pożarniczych takich jak pompy pożarnicze, stojaki hydrantowe, rozdzielacze, prądownice, zasysacze liniowe, kurtyny wodne, suche piony itp. Wykonywane są jako nasady ssawne lub tłoczne. Wyróżniamy nasady tłoczne (oznaczone literą T) oraz nasady ssawne (bez oznaczenia). W zależności od średnicy podłączanych węży wyróżniamy nasady 25, 52, 75 i 110. Mogą być wykonane ze stopów aluminium lub mosiądzu. Nasada składa się z korpusu, podkładki i uszczelki tłocznej dla nasad tłocznych i ssawnej dla nasad ssawnych.



Ryc. 6. Nasady: mosiężna (po lewej),
alumiuniowa (po prawej)
Fig. 6. Outlet couplings

Moment obrotowy (M) oblicza się, łącząc badaną nasadę z łącznikiem kontrolnym (tej samej wielkości, typem i materiałem), zgodnie z podanym wzorem, jak przy omawianiu łączników.

6. Pokrywy nasad

Pokrywy nasad [6] przeznaczone są do zaślepienia linii pożarniczych i króćców urządzeń gaśniczych zakończonych nasadami o odpowiednich wielkościach. Są również stosowane do zabezpieczania hydrantów naziemnych przed zanieczyszczeniem oraz zatykaniem przez niepożądane osoby.

W zależności od wielkości nasad rozróżniamy wielkości pokryw 25, 52, 75, 110. Mogą być wykonane ze stopów aluminium lub mosiądzu.

Pokrywy nasad składają się z korony, denka, pierścienia oporowego i uszczelki. Do denka pokrywy przymocowany jest łańcuszek, mocowany do stałego urządzenia zapobiegającego zgubieniu pokrywy.



Ryc. 7. Pokrywa nasad
Fig. 7. Blank couplings

7. Rozdzielacz

Rozdzielacz [7] umożliwia rozdzielenie wody dostarczonej pojedynczą linią główną na dwie lub trzy linie gaśnicze.

W zależności od typu zastosowanych zaworów wyróżniamy rozdzielacze kulowe i grzybkowe, w dwóch wielkościach zależności od zastosowanych nasad 52, 52/25-52-25 i 75, 75/52-75-52.

Rozdzielacze zbudowane są z nasady wejściowej, korpusu, zaworów, trzech nasad wyjściowych. Na korpusie powinny znajdować się nóżki umożliwiające stabilną pracę rozdzielacza, uchwyt do przenoszenia oraz widocznie oznaczony kierunek przepływu.



Ryc. 8. Rozdzielacz kulowy
Fig. 8. Triple head distributors

W rozdzielaczu (kulowym i grzybkowym) wielkością decydującą o przepływie jest określenie współczynnika oporów przepływu (ζ), który należy obliczyć według poniższego wzoru:

$$\zeta = 2 \cdot 10^6 \cdot g \frac{\Delta p}{\gamma \cdot V^2}$$

gdzie: g – przyspieszenie ziemskie, $9,81 \text{ m/s}^2$,
 Δp – spadek ciśnienia, [MPa]

γ – ciężar właściwy cieczy manometrycznej, [N/m³]

V – średnia prędkość przepływu wody w najmniejszym przekroju rozdzielacza, [m/s]

Średnią prędkość przepływu wody (V) dla rozdzielacza (kulowego i grzybkowego) oblicza się według wzoru:

$$V = 4 \frac{Q}{\pi \cdot d^2}$$

gdzie: Q – natężenie przepływu wody, [m³/s]

d – średnica przelotu zaworu kulowego, [m]

Pomiary i obliczenia wykonuje się przy pełnym otwarciu zaworów.

8. Zbieracze 2×75/110

Zbieracze 2×75/110 [8] są stosowane do zbierania wody z dwóch pożarniczych węży tłocznych 75 w jeden wąż tłoczny 110. Zbudowane są z korpusu, dwóch nasad wejściowych, nasady wyjściowej i kłapy zwrotnej. Kłapa zwrotna w zbieraczu spełnia rolę samoczynnego zaworu zwrotnego dla niepracującego wlotu. Korpus zbieracza jest tak uformowany, iż umożliwia zbieżny napływ wody. Na zewnątrz korpusu znajdują się strzałki wskazujące kierunek napływu wody.



Ryc. 9. Zbieracz 2×75/110

Fig. 9. Collecting breeching 2×75/110

9. Smoki ssawne

Smoki ssawne [9] są stosowane w celu utrzymania słupa wody w linii ssawnej w czasie przerwy w pracy pompy, spełniają również funkcję ochrony przed wciąganiem wraz z zasysaną wodą grubszych zanieczyszczeń o średnicy większej niż średnica oczek w siatce zabezpieczającej.

W zależności od konstrukcji wyróżniamy smoki ssawne proste i skośne wyposażone w nasady 52, 75, 110.

W korpusie smoka ssawnego wbudowany jest zawór zwrotny działający na zasadzie siły ciężenia w smokach prostych wyposażony w dźwignię umożliwiającą otwarcie zaworu z zewnątrz poprzez pociągnięcie linki. W smokach skośnych nie ma wymogu montowania urządzenia umożliwiającego otwarcie zaworu zwrotnego z zewnątrz. Smok ssawny prosty powinien być wyposażony w stałe ucho o średnicy wewnętrznej 15 mm stosowane do połączenia z pływakiem. Pływak jest elementem umożliwiającym utrzymanie smoka prostego na odpowiedniej głębokości, zabezpieczając tym samym przed jego swobodnym opadaniem na dno zbiornika wodnego i wciąganiem przez smok ssawny mułu z dna.



Ryc. 10. Smok ssawny

Fig. 10. Suction strainer

W smoku ssawnym (prostym i skośnym) wielkością decydującą o przepływie jest określenie współczynnika oporu przepływu (ζ), który należy obliczyć według poniższego wzoru:

$$\zeta = 2g \frac{\Delta p}{V^2} - \alpha$$

gdzie: g – przyspieszenie ziemskie, 9,81 m/s²,

Δp – spadek ciśnienia, [MPa]

V – prędkość przepływu wody w najmniejszym przekroju smoka, [m/s]

α – współczynnik określający stosunek energii kinetycznej rzeczywistej do energii kinetycznej określonej na podstawie prędkości średniej, według wzoru: $\frac{V^2}{2g}$, dla przepływu turbulentnego $\alpha = 1,06$.

W smoku ssawnym (prostym i skośnym) prędkość przepływu (V) określa się w [m/s] według wzoru:

$$V = \frac{Q}{A_N}$$

gdzie: Q – natężenie przepływu, [m³/s]

A_N – najmniejszy przekrój przepływu smoka, [m²]

10. Prądownice wodne

Prądownice wodne [10] służą do wytwarzania odpowiedniego strumienia wody i stanowią zakończenie linii węzowych. W zależności od nasad wyróżnia się wielkości prądownic: 25, 52, 75.

W zależności od konstrukcji rozróżnia się typy prądownic:

- proste PW – przeznaczone są do wytwarzania prądów wodnych zwartych lub rozproszonych. Do przestawiania prądownicy na wymagany rodzaj prądu wodnego lub do zamykania wypływu służy zawór kulowy będący integralną częścią prądownicy.



Ryc. 11. Prądownica wodna prosta

Fig. 11. Water nozzle

- pistoletowe PWS – przeznaczone są do wytwarzania prądów wodnych zwartych lub rozproszonych o regulowanym stopniu rozproszenia. Do przestawiania prądownicy na wymagany rodzaj prądu wodnego zwartego lub rozproszonego służy rękojeść obrotowa. Do zamykania wypływu służy zawór kulowy z dźwignią zaworu. W prądownicy znajduje się również pokrętna dysza wypływowa. Przez zmianę dyszy można regulować zasięg. Ze względu na niewygodną obsługę i przestarzałą konstrukcję, są wypierane przez prądownice wodne typu TURBO.



Ryc. 12. Prądownica pistoletowa PWS do pomp pożarniczych

Fig. 12. Water nozzles for fire pumps

- prądownice wodne typu TURBO – przeznaczone są do pracy na zakończeniu linii węzowej samochodów pożarniczych oraz wszelkiego rodzaju motopomp. Służą do wytwarzania wodnych strumieni zwartych i rozproszonych oraz zapewniają płynną regulację kąta bryłowego strumienia rozproszonego. Mają bardziej skomplikowaną budowę, u wylotu prądownicy posiadają grzybek usytuowany w osi prądownicy oraz ruchomą turbinę poruszającą się dzięki energii strumienia wody. Wyposażone są w zawór kulowy i najczęściej w nasady obrotowe. Posiadają możliwość płynnej regulacji wydajności wody, a także funkcję oczyszczania (płukania). Niektóre z prądownic typu TURBO mają możliwość dołączenia przystawki pianowej do wytwarzania piany ciężkiej.



Ryc. 13. Prądownica wodna typu TURBO

Fig. 13. Water nozzles type TURBO

- prądownice wodne wysokociśnieniowe – stosowane są do linii szybkiego natarcia w samochodach wodno-pianowych lub agregatach wysokociśnieniowych.



Ryc. 14. Prądownica wysokociśnieniowa

Fig. 14. Water nozzles

Obecnie wszystkie prądownice wodne (proste, pistoletowe oraz typu TURBO) wykonuje się ze stopów metali kolorowych. Elementy służące do obsługi takie jak uchwyty, wykonuje się z tworzyw sztucznych. Uszczelnienia wszystkich podzespołów wykonuje się z teflonu.

11. Prądownice pianowe

Prądownice pianowe [11] przeznaczone są do wytwarzania i podawania piany ciężkiej na zakończeniu linii węzowych stosowanych w samochodach ratowniczo-gaśniczych i motopompach. W zależności od natężenia przepływu dzielimy je na:

- PP2 o wydajności 200 dm³/min
- PP4 o wydajności 400 dm³/min
- PP8 o wydajności 800 dm³/min

Prądownica w swej konstrukcji posiada nasadę wielkości 52 lub 75, zawór kulowy, rurę oraz uchwyt do jej przenoszenia. Otwarcie prądownicy następuje przez przesunięcie dźwigni zaworu kulowego do siebie. Prądownica nie posiada regulacji wydajności.



Ryc. 15. Prądownica pianowa
Fig. 15. Foam making nozzle

Parametrami decydującymi o jakości piany są określenie liczby spienienia (L_s) i szybkości wykrapłania piany (wartości połówkowej), wyrażone wzorami:

- liczby spienienia (L_s)

$$L_s = \frac{V_p \cdot d}{G_p}$$

gdzie: V_p – pojemność pojemnika pomiarowego piany wynosząca 50 dm³,
 G_p – masa piany [kg],
 d – gęstość roztworu środka pianotwórczego [kg/dm³]

- szybkości wykrapłania piany (wartości połówkowej) określona poprzez pomiar czasu w min, w którym wykropli się 50% objętości roztworu X , obliczone w dm³, według wzoru:

$$X = \frac{V_p}{2L_s}$$

gdzie: V_p – pojemność pojemnika pomiarowego piany [dm³],
 L_s – liczba spienienia

12. Wytwornice pianowe

Wytwornice pianowe [12] przeznaczone są do wytwarzania i podawania piany średniej na zakończeniu linii węzowych stosowanych w samochodach ratowniczo-gaśniczych i motopompach. W zależności od natężenia przepływu wytwornice dzielimy na:

- WP2 o wydajności 200 dm³/min
- WP4 o wydajności 400 dm³/min

W zależności od liczby spienienia dzielimy na 75 i 150 dostępne kombinacje to WP2-75, WP2-150, WP4-75.

Wytwornica składa się z rury stalowej z dwoma uchwytami, do której przymocowany jest zawór kulowy z manometrem. Na wlocie wytwornicy umieszczono dwa sita o różnej wielkości oczek. Do podłączenia wytwornicy z węzem zastosowano nasadę wielkości 52 lub 75. Otwarcie wytwornicy następuje przez przesunięcie dźwigni zaworu kulowego do siebie.



Ryc. 16. Wytwornica pianowa
Fig. 16. Foam generator

W wytwornicach pianowych liczbę spienienia (L_s) i szybkość wykrapłania piany (wartości połówkowej) oblicza się według wzorów zastosowanych przy prądownicach pianowych.

13. Zasysacze liniowe

Zasysacze liniowe [13] służą do zasysania pianotwórczego środka gaśniczego do wody płynącej w układzie linii węzowej.

W zależności od wartości zmianowego przepływu roztworu wodnego pianotwórczego środka gaśniczego, wynoszącej 200 dm³/min, 400 dm³/min, 800 dm³/min, rozróżniamy trzy podstawowe wielkości zasysaczy Z-2, Z-4, Z-8.

Zasysacz zbudowany jest z korpusu, nasady wlotowej, nasady ssawnej, nasady wylotowej, łącznika rurowego oraz zaworu dozującego.



Ryc. 17. Zasysacz liniowy
Fig. 17. In-line inductor

Istotnym parametrem określanym podczas pracy zasysacza są straty ciśnienia (ΔP). Po ustaleniu warunków natężenia przepływu, w zależności od wielkości zasysacza:

- 200±10 dm³/min dla Z-2,
- 400±20 dm³/min dla Z-4,
- 800±40 dm³/min dla Z-8,

straty ciśnienia (ΔP) wyraża się poniższym wzorem:

$$\Delta P = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \cdot 100\%$$

gdzie: P_1 – ciśnienie odczytane na manometrze przed zasysaczem [MPa],

P_2 – ciśnienie odczytane na manometrze za zasysaczem [MPa]

Kolejnym ważnym parametrem decydującym o właściwej pracy zasysacza jest określenie stężenia roztworu wodnego środka pianotwórczego (C), które należy wykonać dla nastaw pokrętki zaworu dozującego od 1-6% oraz obliczyć według wzoru:

$$C = \frac{Q_s}{Q_r} \cdot 100\%$$

gdzie: Q_s – natężenie przepływu środka pianotwórczego odczytane na przepływomierzu [dm^3/min],

Q_r – natężenie przepływu roztworu wodnego środka pianotwórczego odczytane na drugim przepływomierzu [dm^3/min]

14. Urządzenie do wytwarzania zasłony wodnej

Urządzenia do wytwarzania zasłony wodnej [14] służą do wytwarzania zasłon wodnych ograniczających rozprzestrzenianie się ognia oraz promieniowanie cieplne na obiekty zagrożone lub działających ratowników. Zbudowane są z korpusu w kształcie rury wyposażonego w podpórki do ustawiania oraz uchwyt do przenoszenia na wejściu korpusu zamontowana jest nasada umożliwiająca podłączenie kurtyny do węży. Prostopadle do wyjścia korpusu zamontowano metalową płytę (zazwyczaj w kształcie półkola lub trapezu).

Obecnie na polskim rynku funkcjonują – w zależności od wielkości nasady – dwie wielkości urządzenia ZW 52 i ZW 75.



Ryc. 18. Urządzenie do wytwarzania zasłony wodnej

Fig. 18. Device for producing water curtains

15. Działka wodno-pianowe

Działka wodno-pianowe [15] służą do wytwarzania i podawania prądów wody i piany o dużej wydajności oraz umożliwiają podawanie ich na dal-
sze odległości. Działka dzieli się na wodno-piano-

we, wodne oraz pianowe, a ze względu na konstrukcję na:

- przenośne
- przewożne
- do stałej zabudowy

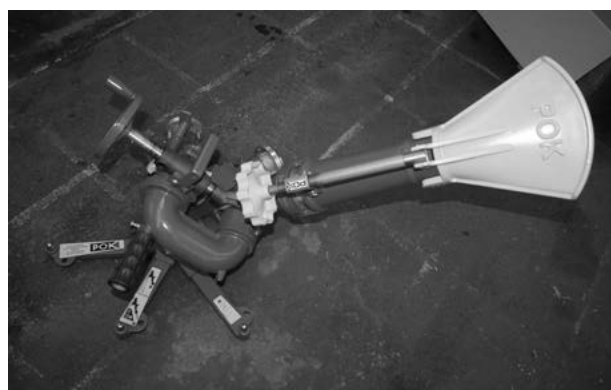
Działka umożliwiającą osiągnięcie natężenia przepływu wody przy ciśnieniu 8 bar w zakresie od 1600 do $6000 \pm 10\% \text{ dm}^3/\text{min}$.

Działko wodno-pianowe w swej budowie powinno posiadać: prądownicę wodną lub pianową (może być wymiennie), korpus, blokadę prądownicy, kierownicę, blokadę obrotu działka w płaszczyźnie pionowej i poziomej, ciśnieniomierz. Dopuszcza się stosowanie deflektorów do kształtowania strumienia piany. Działko powinno mieć możliwość płynnej zmiany położenia kąтового w płaszczyźnie poziomej w zakresie 360° oraz w płaszczyźnie pionowej od -30° do $+80^\circ$ (dla działek w wersji przenośnej co najmniej od 30° do 80°). Działko powinno mieć możliwość skutecznego zablokowania w każdym położeniu kątowym w podanych zakresach. Zmiany kąтового położenia działka powinny odbywać się za pomocą ukształtowanej kierownicy lub za pomocą siłowników.



Ryc. 19. Działka wodno-pianowe z prądownicą wodną

Fig. 19. Water-foam monitor with water nozzles



Ryc. 20. Działko wodno-pianowe z prądownicą pianową

Fig. 20. Water-foam monitor with foam making nozzle

Parametrami decydującymi o jakości piany w działku wodno-pianowym i pianowym są: określenie liczby spienienia (L) i szybkości wykraplania piany (wartości połówkowej), wyrażone wzorami:

- liczby spienienia (L_s)

$$L_s = \frac{V_p \cdot d}{G_p}$$

gdzie: V_p – pojemność pojemnika pomiarowego piany wynosząca 50 dm³,
 G_p – masa piany [kg],
 d – gęstość roztworu środka pianotwórczego [kg/dm³]

- szybkości wykrapłania piany (wartości połówkowej) określona poprzez pomiar czasu w minutach, w którym wykopli się 50% objętości roztworu X , obliczone w dm³, według wzoru:

$$X = \frac{V_p}{2L_s}$$

gdzie: V_p – pojemność pojemnika pomiarowego piany [dm³],
 L_s – liczba spienienia

16. Stojak hydrantowy 80

Stojak hydrantowy 80 [16] do hydrantów podziemnych stosowany do czerpania wody z sieci hydrantowej o średnicy nominalnej 80 mm.

W zależności od zastosowanego materiału możemy wyróżnić stojaki z rurą aluminiową lub stalową. Stojak został wyposażony w dwie nasady wyjściowe wielkości 75. Zbudowany jest z korpusu w kształcie rozwidlającej się rury, dwóch zaworów grzybkowych zakończonych nasadami. W dolnej części rury znajduje się stopka z nakrętką mocującą pasującą do końcówki hydrantu podziemnego.

Obecnie na rynku pojawiają się również stojaki hydrantowe z jedną nasadą wyjściową wielkości 52 i 75. Występują także stojaki hydrantowe z możliwością podłączenia się do rurociągu DN 100 posiadającą jedną lub dwie nasady wyjściowe.



Ryc. 21. Stojak hydrantowy
 Fig. 21. Standpipe

17. Podsumowanie

W związku z kwestią zwiększania bezpieczeństwa strażaków podczas akcji ratowniczo-gaśniczych od producentów armatury pożarniczej oczekuje się ciągłego doskonalenia i unowocześniania wyrobów. Armatura pożarnicza musi spełniać wysokie wymagania co do niezawodności, szczelności i wytrzymałości. Materiały, z których wykona-

ne są wyroby opisane w artykule i stosowane w nich uszczelnienia, muszą zachowywać najwyższe standardy związane z użytkowaniem w strefach zagrożenia pożarem.

Rozwój omawianej armatury pożarniczej podąża w kierunku zwiększania jej jakości, bezawaryjności oraz efektywności działania w niebezpiecznym środowisku pracy strażaka.

Literatura

1. PN-87/M-51151 Sprzęt pożarniczy. Pożarnicze węże tłoczne.
2. PN-76/C-94250/15 Węże gumowe. Oznaczanie wytrzymałości na miejscowe obciążenie.
3. PN-91/M-51031 Sprzęt pożarniczy. Łączniki.
4. PN-91/M-51042 Sprzęt pożarniczy. Przełączniki.
5. PN-91/M-51038 Sprzęt pożarniczy. Nasady.
6. PN-91/M-51024 Sprzęt pożarniczy. Pokrywy nasad.
7. PN-91/M-51048 Sprzęt pożarniczy. Rozdzielacze.
8. PN-79/M-51153 Sprzęt pożarniczy. Zbieracz 2 × 75/110.
9. PN-86/M-51152 Sprzęt pożarniczy. Smoki ssawne.
10. PN-89/M-51028 Sprzęt pożarniczy. Prądownice wodne do pomp pożarniczych.
11. PN-93/M-51068 Sprzęt pożarniczy. Prądownice pianowe.
12. PN-93/M-51078 Sprzęt pożarniczy. Wytwornice pianowe.
13. PN-96/M-51069 Sprzęt pożarniczy. Zasysacze liniowe.
14. Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 27 kwietnia 2010 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie wykazu wyrobów służących zapewnieniu bezpieczeństwa publicznego lub ochronie zdrowia i życia oraz mienia, a także zasad wydawania dopuszczenia tych wyrobów do użytkowania (Dz. U. Nr 85 z 2010 r., poz. 553).
15. PN-91/M-51270 Sprzęt pożarniczy. Działka wodno-pianowe
16. PN-73/M-51154 Sprzęt pożarniczy. Stojak hydrantowy 80

mgr inż. Karolina Lemańska – absolwentka kierunku Technologia Chemiczna na Wydziale Chemicznym Politechniki Warszawskiej. Obecnie pracuje w Zespole Laboratoriów Technicznego Wyposażenia Straży Pożarnej i Technicznych Zabezpieczeń Przeciwpowozowych w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpowozowej-PIB.

tech. Sylwester Główka – wieloletni pracownik na stanowisku technik laboratoryjny w Zespole Laboratoriów Technicznego Wyposażenia Straży Pożarnej i Technicznych Zabezpieczeń Przeciwpowozowych w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpowozowej – PIB.

st. kpt. lek. Mariusz **CHOMONCIK**¹

RATOWNICTWO MEDYCZNE W KRAJOWYM SYSTEMIE RATOWNICZO-GAŚNICZYM. CZĘŚĆ II

Emergency medical services in the National Fire-Fighting and Rescue System. Part II

Streszczenie

Jeżeli u poszkodowanego istnieje podejrzenie obrażenia głowy i/lub kręgosłupa przy podejściu do poszkodowanego należy zachować zasady stabilizacji odcinka szyjnego kręgosłupa. W związku z tym w przypadku poszkodowanych wymienionych powyżej oraz w każdej sytuacji, kiedy nie możemy z całą pewnością wykluczyć możliwości obrażenia kręgosłupa kierujący działaniami z zakresu kwalifikowanej pierwszej pomocy powinien podejść do poszkodowanego z przodu (twarzą w twarz, aby poszkodowany nie odwrócił głowy w celu zobaczenia ratownika). Podchodząc do poszkodowanego, który jest przytomny, należy się przedstawić z imienia, funkcji i powiedzieć poszkodowanemu, aby się nie ruszał, a po dotarciu do niego ręcznie ustabilizować odcinek szyjny kręgosłupa. Po przekazaniu stabilizacji drugiemu ratownikowi, ratownik kierujący działaniami z zakresu kwalifikowanej pierwszej pomocy powinien wdrożyć sekwencje medycznych działań ratowniczych.

W przypadku, gdy poszkodowany leży i nie porusza się, najpierw należy ręcznie ustabilizować odcinek szyjny kręgosłupa, a następnie wdrożyć sekwencje medycznych działań ratowniczych.

Jeżeli poszkodowany z krwawiącą raną głowy ma objawy wstrząsu hipowolemicznego, to należy kontynuować ocenę poszkodowanego pod kątem obecności krwawienia z innego miejsca (u poszkodowanego dorosłego rzadko dochodzi do utraty dużej ilości krwi tylko z rany skóry głowy).

Poszkodowanego z obrażeniem i podejrzeniem obrażenia kręgosłupa w przypadku braku wskazań do ewakuacji należy stabilizować w pozycji zastanej. Ewakuacja będzie wskazana w następujących sytuacjach: bezpośredniego lub przewidywanego w krótkim czasie zagrożenia dla życia ratownika i ratowanego, braku możliwości oceny funkcji życiowych w miejscu, w którym znajduje się poszkodowany, w przypadku ciężkiego stanu poszkodowanego wymagającego podjęcia czynności z zakresu kwalifikowanej pierwszej pomocy w ciągu 1–2 minut, aby zapobiec śmierci (najczęściej wstrząs). W przypadku wskazań do ewakuacji należy poszkodowanego w miarę możliwości unieruchomić na noszach typu deska i po unieruchomieniu ponownie ocenić jego stan.

W przypadku zauważenia intensywnego krwotoku należy go natychmiast uwidocznić i zatamować, stosując w miejscu krwawienia ucisk bezpośredni lub opatrunek uciskowy albo powyżej miejsca krwawienia (na udzie lub ramieniu w zależności od miejsca krwawienia) w ostateczności opaskę zaciskową.

Ciała obcego wbitego w poszkodowanego nie należy usuwać poza dwoma wyjątkami: ciało obce, które powoduje niedrożność dróg oddechowych, ciało obce w mostku w sytuacji konieczności wykonywania zewnętrznego masażu serca.

Summary

If there's a suspicion that a casualty suffers from a head and/or spine injury, while approaching the casualty one should follow the rules for stabilization of the cervical vertebrae. Therefore, in the fore mentioned situations and also every time one can't exclude a suspected spinal injury, the casualty should be approached face on by the first aid Rescue Coordinator (to avoid the casualty moving his head in order to see the paramedic). While approaching an injured but responsive person, one should introduce oneself by name and function and tell the casualty not to move. When the casualty is reached, his cervical vertebrae should be immobilized manually. After the stabilization process is passed on to the second paramedic the first aid Rescue Coordinator should apply the medical rescue action sequence.

If a casualty with a bleeding head wound shows symptoms of hypovolemic shock, one should continue the casualty assessment because bleeding can occur in a different parts of the body (an adult casualty rarely suffers from vast blood loss solely because of a skin wound to the head).

Where evacuation is not required, the person with a spinal cord injury or suspected spinal cord injury should be immobilized in a position in which he was found. Evacuation will be required under following circumstances: where immediate or probable danger exists in the short term and threatens the life of a casualty or paramedic, when it is not possible to assess the condition of a casualty on the spot, when a casualty in a critical condition requires immediate first

¹ Szkoła Aspirantów Państwowej Straży Pożarnej, os. Zgody 18, 31-951 Kraków, Polska; m1chomoncik@wp.pl;

aid within a timescale of 1-2 minutes to avoid death (most frequently after-shock). If evacuation is needed, the casualty should be immobilized on a long spine board, after which his condition should be re-assessed.

In case of a heavy haemorrhage, the bleeding should be exposed and stopped by direct pressure or with a pressure dressing on the wound. As a last resort a tourniquet should be applied above the wound (on the thigh or arm, depending on the source of bleeding).

If a casualty's body is punctured by a foreign body, it shouldn't be removed, except in two instances; in situations where a foreign object is causing an airway obstruction, and when a foreign object lodged in a sternum inhibits the administration of CPR.

Słowa kluczowe: ewakuacja, obrażenie, krwotok, ciało obce, opatrunek uciskowy, opaska zaciskowa;

Keywords: evacuation, injury, haemorrhage, pressure dressing, tourniquet;

1. Obrażenia i podejrzenia obrażeń głowy



Ryc. 1. Obrażenia i podejrzenia obrażeń głowy

Fig. 1. Injuries and suspected head injuries

1.1. Rozpoznanie miejsca zdarzenia

- zabezpieczenie ratowników
- identyfikacja zagrożeń
- liczba poszkodowanych
- potrzebne dodatkowe siły i środki
- mechanizm zdarzenia

Uwaga! W przypadku zauważenia intensywnego krwotoku należy go natychmiast uwidocznic i zatać przez zastosowanie w miejscu krwawienia ucisku bezpośredniego lub opatrunku uciskowego albo powyżej miejsca krwawienia (na udzie lub ramieniu w zależności od miejsca krwawienia) opaski zaciskowej.

1.2. Stabilizacja odcinka szyjnego kręgosłupa

Ratownik kierujący działaniami z zakresu kwalifikowanej pierwszej pomocy powinien podejść do poszkodowanego z przodu (twarzą w twarz, aby poszkodowany nie odwrócił głowy w celu zobaczenia ratownika). Podchodząc do poszkodowanego, któ-

ry jest przytomny, należy się przedstawić z imienia, funkcji i powiedzieć poszkodowanemu, aby się nie ruszał, a po dotarciu do niego ręcznie ustabilizować odcinek szyjny kręgosłupa. Po przekazaniu stabilizacji drugiemu ratownikowi, ratownik kierujący działaniami z zakresu kwalifikowanej pierwszej pomocy powinien wdrożyć sekwencję medycznych działań ratowniczych.

W przypadku, gdy poszkodowany leży i nie porusza się, najpierw należy ręcznie ustabilizować odcinek szyjny kręgosłupa, a następnie wdrożyć sekwencję medycznych działań ratowniczych.

Uwaga! Wszystkich poszkodowanych z obrażeniami głowy i szyi należy traktować jak poszkodowanych z obrażeniami kręgosłupa.

1.3. Sekwencja medycznych działań ratowniczych

- Ocena stanu przytomności: zaburzenia świadomości różnego stopnia (skala AVPU) najczęściej nieprawidłowa (nieprzytomny, senny, pobudzony, agresywny, zaburzenia mowy)
- Ocena drożności dróg oddechowych (A):
 - sprawdzenie, czy w jamie ustnej nie ma ciała obcego: ewentualnie usunięcie
 - w przypadku zaburzeń i/lub braku drożności: udrożnienie dróg oddechowych przez wysunięcie żuchwy
- Ocena oddechu (B): częstotliwość oddechu: różna, zwykle zwolniona
- Oddech obecny: utrzymanie drożności dróg oddechowych (u osoby głęboko nieprzytomnej rozważyć założenie odpowiedniego rozmiaru rurki ustno-gardłowej)
- Tlenoterapia: zastosowanie maski z workiem rezerwuarowym i przepływem tlenu 15 l/minutę

Uwaga! W przypadku braku prawidłowego oddechu → RKO (procedura nr 3 lub 4).

- Ocena krążenia (C): częstotliwość tętna – zwykle zwolniona

Uwaga! W przypadku zauważenia intensywnego krwotoku należy go natychmiast uwidocznic i zatać przez zastosowanie w miejscu krwawienia ucisku bezpośredniego lub opatrunku uciskowego

albo powyżej miejsca krwawienia (na udzie lub ramieniu w zależności od miejsca krwawienia) opaski zaciskowej.

- Wywiad ratowniczy: ból głowy, zawroty głowy, dzwonienie w uszach, nudności, wymioty, może występować niepełna pamięć wsteczna (co się stało), zaburzenia orientacji (co do miejsca, czasu)
- Ocena poszkodowanego pod kątem istniejących obrażeń i dolegliwości

Objawy, które mogą występować w przypadku obrażenia głowy:

- prężenia
- drgawki
- ułożenie ciała: kończyny górne zgięte, dolne wyprostowane → pozycja odkorowania
- kończyny górne i dolne wyprostowane → pozycja odmóżdzeniowa
- w obrębie głowy: siniaki, rany, krwawienie, zniekształcenie, wypływ krwi i/lub płynu mózgowo-rdzeniowego z uszu i/lub nosa, zasinienie wokół oczodołów („krwiaki okularowe”), obrzęk i/lub przebarwienie za uchem („objaw Battle’a”),
- dotykem: bolesność, niestabilność, obrzęk
- źrenice: poszerzone, nie reagują na światło → prawdopodobnie uszkodzenie pnia mózgu
- poszerzone, reagują na światło → uszkodzenie często ma charakter odwracalny
- jednostronnie poszerzona, reaguje na światło → objaw wzrostu ciśnienia śródczaszkowego

Uwaga! Poszkodowani z obrażeniami głowy często wymiotują, dlatego należy mieć przygotowany ssak lub być przygotowanym do odwrócenia poszkodowanego na bok z utrzymaniem stabilizacji kręgosłupa w sytuacji wystąpienia wymiotów. Po zakończeniu wymiotów należy zawsze ocenić zawartość jamy ustnej i obecność oddechu.

- Wdrożenie postępowania adekwatnego do dolegliwości i obrażeń stwierdzonych u poszkodowanego
 - rana: opatrunek osłaniający (najlepiej gaza jałowa mocowana codofixem)

Uwaga! W przypadku intensywnego krwotoku z rany, należy zatamować go opatrunkiem, który zatamuje krwawienie.

- w razie konieczności ewakuacji unieruchomienie poszkodowanego na noszach typu deska (uniesienie deski od strony głowy)

Uwaga! Ciało obcego w białego w poszkodowanego nie należy usuwać poza dwoma wyjątkami:

1. ciało obce, które powoduje niedrożność dróg oddechowych

2. ciało obce w mostku w sytuacji konieczności wykonywania zewnętrznego masażu serca

Uwaga! W przypadku występowania objawów wstrząsu hipowolemicznego (poszkodowany błądy, spocony, zaburzenia świadomości, oddech przyspieszony, tętno przyspieszone, słabo wyczuwalne na tętnicy promieniowej, nawrót kapilarny > 2 sekund) należy wdrożyć wstępne postępowanie przeciwwstrząsowe.

- Termoizolacja
- Regularna ocena funkcji życiowych i postępowanie adekwatne do stanu poszkodowanego
- Wsparcie psychiczne: w przypadku osób przytomnych

1.4. Przegląd najczęstszych obrażeń głowy (kości czaszki i mózgu)

- rany skóry głowy: skóra głowy jest dobrze unaczyniona i przy zranieniu może dojść do dużego krwawienia. U osoby dorosłej krwawienie ze skóry głowy bardzo rzadko może doprowadzić do wstrząsu. U dzieci (które mają większą powierzchnię głowy w stosunku do całego ciała, mniejszą ilość krwi, a utrata jest taka sama jak u dorosłych) krwawienie ze skóry głowy może doprowadzić do wstrząsu.
- złamania kości czaszki: należy pamiętać, że uraz który doprowadził do złamania kości czaszki, prawdopodobnie wywołał również obrażenia mózgu. O złamaniu czaszki świadczy niestabilność kości podczas oceny poszkodowanego. Ponadto należy podejrzewać złamanie czaszki, jeżeli podczas oceny poszkodowanego stwierdzimy obecność dużego krwiaka lub obrzęku skóry głowy.
- obrażenia mózgu:
 - wstrząśnienie mózgu: najczęściej występuje utrata przytomności lub splątanie o różnym czasie trwania po którym następuje powrót do pełnej świadomości u poszkodowanego, może wystąpić niepełna pamięć wsteczna (co się stało), zaburzenia orientacji (co do miejsca, czasu). Poszkodowany może zgłaszać zawroty i ból głowy, nudności, dzwonienie w uszach.
 - stłuczenie mózgu: najczęściej poszkodowany będzie nieprzytomny lub będą występowały zaburzenia świadomości (splątanie, niepełna pamięć, nieadekwatne zachowanie). W zależności od miejsca stłuczenia w mózgu u poszkodowanego mogą wystąpić: osłabienie, zaburzenia mowy, zaburzenia motoryki, zmiany osobowości (np. nadmierna agresja).
 - krwawienie podpajęczynówkowe: krew, która gromadzi się w przestrzeni podpajęczynówkowej, drażni tkanki, w wyniku czego dochodzi do przesiąkania płynu z przestrzeni wewnętrznej

naczyniowej do mózgu i narastania obrzęku. U poszkodowanego częstymi objawami są: ból głowy, wymioty, śpiączka.

- krwawienie wewnątrzczaszkowe: w zależności od miejsca zbierania się krwi można wyróżnić:
 1. krwiak nadwardówkowy (krew gromadzi się między kośćmi czaszki a oponą twardą), najczęściej po urazie głowy dochodzi do utraty przytomności. Następnie poszkodowany odzyskuje przytomność. Po upływie kilku minut do kilku godzin u poszkodowanego mogą wystąpić wymioty, bóle głowy, zaburzenia psychiczne, narastające zaburzenia przytomności, porażenie połowicze (po stronie przeciwnej do krwiaka), często wy-

stępuje poszerzenie źrenicy po stronie obrażenia i brak jej reakcji na światło.

2. krwiak podwardówkowy (krew gromadzi się między oponą twardą a pajęczką. Do typowych objawów należą bóle głowy, zaburzenia przytomności, objawy ogniskowe (np. niewyraźna mowa, osłabienie siły mięśniowej jednej kończyny lub jednej połowy ciała).
3. krwiak wewnątrzmożgowy: (krew gromadzi się wewnątrz mózgu). Objawy zależą od miejsca lokalizacji krwiaka i jego wielkości. Często występują zaburzenia przytomności. U przytomnych mogą występować zaburzenia mowy, osłabienie siły mięśniowej, wymioty, ból głowy.

Tabela 1.
Objawy obrażenia głowy i postępowanie – skrót
Table 1.

**Symptoms of head injuries and treatment
– summary**

Ocena stanu przytomności skala AVPU	zaburzenia świadomości różnego stopnia, najczęściej nieprawidłowa (nieprzytomny, senny, pobudzony, agresywny, zaburzenia mowy)
Sposób udrożnienia dróg oddechowych (A)	przez wysunięcie żuchwy
Ocena oddechu (B)	częstotliwość oddechu: różna, zwykle zwolniona
Ocena krążenia (C)	częstotliwość tętna: zwykle zwolniona
Objawy	ból głowy, zawroty głowy, dzwonienie w uszach, nudności, wymioty, może występować niepamięć wsteczna (co się stało), zaburzenia orientacji (co do miejsca, czasu), prężenia, drgawki, ułożenie ciała (kończyny górne zgięte, dolne wyprostowane → pozycja odkorowania; kończyny górne i dolne wyprostowane → pozycja odmóżdzeniowa), siniaki, rany, krwawienie, zniekształcenie, wypływ krwi i/lub płynu mózgowo-rdzeniowego z uszu i/lub nosa, zasinienie wokół oczodołów („krwiaki okularowe”), obrzęk i/lub przebarwienie za uchem („objaw Battle’a”), źrenice (poszerzone, nie reagują na światło → prawdopodobnie uszkodzenie pnia mózgu; poszerzone, reagują na światło → uszkodzenie często ma charakter odwracalny; jednostronnie poszerzona, reaguje na światło → objaw wzrostu ciśnienia śródczaszkowego)

Uwaga! Jeżeli poszkodowany z krwawiącą raną głowy ma objawy wstrząsu hipowolemicznego, to należy kontynuować ocenę poszkodowanego pod kątem obecności krwawienia z innego miejsca (u poszkodowanego dorosłego rzadko dochodzi do utraty dużej ilości krwi tylko z rany skóry głowy).

2. Obrażenia i podejrzenie obrażeń kręgosłupa



Ryc. 2. Obrażenia i podejrzenie obrażeń kręgosłupa
Fig. 2. Injuries and suspected spine injuries

2.1. Rozpoznanie miejsca zdarzenia

- zabezpieczenie ratowników
- identyfikacja zagrożeń
- liczba poszkodowanych
- potrzebne dodatkowe siły i środki
- mechanizm zdarzenia

Uwaga! W przypadku zauważenia intensywnego krwotoku należy go natychmiast uwidocznić i zatać przez zastosowanie w miejscu krwawienia ucisku bezpośredniego lub opatrunku uciskowego albo powyżej miejsca krwawienia (na udzie lub ramieniu w zależności od miejsca krwawienia) opaski zaciskowej.

2.2. Stabilizacja odcinka szyjnego kręgosłupa

Ratownik kierujący działaniami z zakresu kwalifikowanej pierwszej pomocy powinien podejść do poszkodowanego z przodu (twarzą w twarz, aby poszkodowany nie odwrócił głowy w celu zobaczenia ratownika). Podchodząc do poszkodowanego, który jest przytomny, należy się przedstawić z imienia, funkcji i powiedzieć poszkodowanemu, aby się nie ruszał, a po dotarciu do niego ręcznie ustabilizować odcinek szyjny kręgosłupa. Po przekazaniu stabilizacji drugiemu ratownikowi, ratownik kierujący działaniami z zakresu kwalifikowanej pierwszej pomocy powinien wdrożyć sekwencję medycznych działań ratowniczych.

W przypadku, gdy poszkodowany leży i nie porusza się, najpierw należy ręcznie ustabilizować odcinek szyjny kręgosłupa, a następnie wdrożyć sekwencję medycznych działań ratowniczych.

Uwaga! Wszystkich poszkodowanych z obrażeniami głowy i szyi należy traktować jak poszkodowanych z obrażeniami kręgosłupa.

2.3. Sekwencja medycznych działań ratowniczych

- Ocena stanu przytomności: przytomny lub zaburzenia świadomości różnego stopnia (skala AVPU)
 - Ocena drożności dróg oddechowych (A):
 - sprawdzenie, czy w jamie ustnej nie ma ciała obcego: ewentualnie usunięcie
- w przypadku zaburzeń i/lub braku drożności: udrożnienie dróg oddechowych przez: wysunięcie żuchwy
- Ocena oddechu (B): częstotliwość oddechu: różna
- Oddech obecny: utrzymanie drożności dróg oddechowych (u osoby głęboko nieprzytomnej rozważyć założenie odpowiedniego rozmiaru rurki ustno-gardłowej)
- Tlenoterapia: zastosowanie maski z workiem rezerwuarowym i przepływem tlenu 15 l/minutę

Uwaga! W przypadku braku prawidłowego oddechu → RKO (procedura nr 3 lub 4).

- Ocena krążenia (C): częstotliwość tętna – prawidłowa może być zwolniona

Uwaga! W przypadku zauważenia intensywnego krwotoku należy go natychmiast uwidocznić i zata-

ć przez zastosowanie w miejscu krwawienia ucisku bezpośredniego lub opatrunku uciskowego albo powyżej miejsca krwawienia (na udzie lub ramieniu w zależności od miejsca krwawienia) opaski zaciskowej.

- Wywiad ratowniczy: wypadek komunikacyjny, upadek z wysokości, skok do wody, siła działająca osiowo, urazy przenikające w okolicy kręgosłupa lub jego pobliżu, uszkodzony nieprzytomny po urazie
- Ocena uszkodzonego pod kątem istniejących obrażeń i dolegliwości

Objawy, które mogą występować w przypadku obrażenia kręgosłupa i/lub rdzenia kręgowego

- ból szyi i pleców,
 - zniekształcenie obrysów kręgosłupa,
 - napięcie mięśni wzdłuż kręgosłupa,
 - zaburzenia czucia (dętwienie, mrowienie),
 - ubytki/utrata czucia,
 - zaburzenia ruchowe (osłabienie lub brak możliwości wykonania samodzielnie ruchów kończynami),
 - niedowład lub obniżenie napięcia mięśniowego,
 - utrata kontroli nad zwieraczami (możliwość mimowolnego oddania moczu lub stolca),
 - wstrząs rdzeniowy.
- Wdrożenie postępowania adekwatnego do dolegliwości i obrażeń stwierdzonych u poszkodowanego
- w razie konieczności ewakuacji unieruchomienie poszkodowanego na noszach typu deska

Wskazania do ewakuacji:

- bezpośrednie lub przewidywane w krótkim czasie zagrożenie dla życia ratownika i ratowanego,
- brak możliwości oceny funkcji życiowych w miejscu, w którym znajduje się poszkodowany,
- ciężki stan poszkodowanego wymagający podjęcia czynności z zakresu kwalifikowanej pierwszej pomocy w ciągu 1-2 minut, aby zapobiec śmierci (najczęściej wstrząs).

Uwaga! Ciało obcego białego w poszkodowanego nie należy usuwać poza dwoma wyjątkami:

1. ciało obce, które powoduje niedrożność dróg oddechowych,
2. ciało obce w mostku w sytuacji konieczności wykonywania zewnętrznego masażu serca.

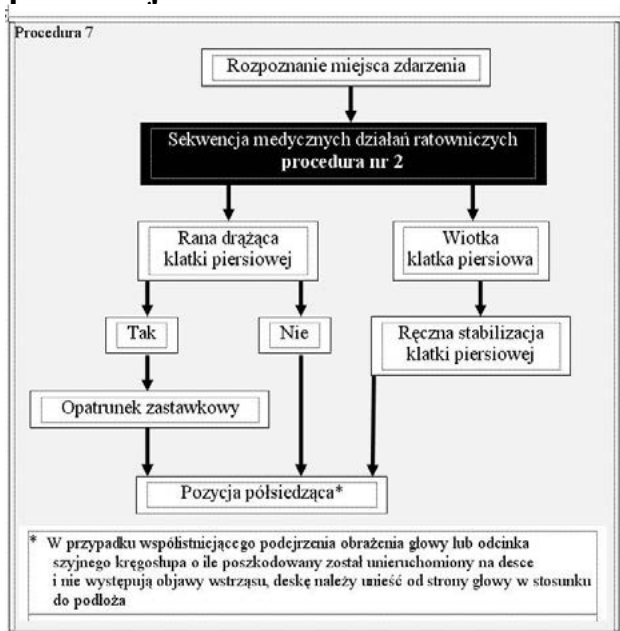
- Termoizolacja
- Regularna ocena funkcji życiowych i postępowanie adekwatne do stanu poszkodowanego
- Wsparcie psychiczne: w przypadku osób przytomnych

Tabela 2.
Objawy obrażenia kręgosłupa i postępowanie
– skrót

Table 2.
Symptoms of the spine injuries and treatment
– summary

Ocena stanu przytomności skala AVPU	przytomny lub zaburzenia świadomości różnego stopnia
Sposób udrożnienia dróg oddechowych (A)	wysunięcie żuchwy
Ocena oddechu (B)	częstotliwość oddechu: różna
Ocena krążenia (C)	częstotliwość tętna: prawidłowa może być zwolniona
Objawy	ból szyi i pleców, zniekształcenie obrysów kręgosłupa, napięcie mięśni wzdłuż kręgosłupa, zaburzenia czucia (dętwienie, mrowienie), ubytki/ utrata czucia, zaburzenia ruchowe (osłabienie lub brak możliwości wykonania samodzielnie ruchów kończynami), niedowład lub obniżenie napięcia mięśniowego, utrata kontroli nad zwieraczami (możliwość mimowolnego oddania moczu lub stolca), wstrząs rdzeniowy.

3. Obrażenia i podejrzenie obrażeń klatki piersiowej



Ryc. 3. Obrażenia i podejrzenia obrażeń klatki piersiowej

Fig. 3. Injuries and suspected chest injuries

3.1. Rozpoznanie miejsca zdarzenia

- zabezpieczenie ratowników

- identyfikacja zagrożeń
- liczba poszkodowanych
- potrzebne dodatkowe siły i środki
- mechanizm zdarzenia

Uwaga! Jeżeli istnieje podejrzenie obrażenia głowy i/lub kręgosłupa przy podejściu do poszkodowanego należy ustabilizować odcinek szyjny kręgosłupa.

Uwaga! W przypadku zauważenia intensywnego krwotoku należy go natychmiast uwidocznic i zata-
mować przez zastosowanie w miejscu krwawienia ucisku bezpośredniego lub opatrunku uciskowego albo powyżej miejsca krwawienia (na udzie lub ramieniu w zależności od miejsca krwawienia) opaski zaciskowej.

3.2. Sekwencja medycznych działań ratowniczych

- Ocena stanu przytomności: przytomny lub zaburzenia świadomości różnego stopnia (skala AVPU)
- Ocena drożności dróg oddechowych (A):
 - sprawdzenie, czy w jamie ustnej nie ma ciała obcego: ewentualnie usunięcie
 - w przypadku zaburzeń i/lub braku drożności: udrożnienie dróg oddechowych:
 1. poszkodowany nieprzytomny bez podejrzenia obrażenia kręgosłupa: odgięcie głowy i uniesienie żuchwy
 2. poszkodowany nieprzytomny z podejrzeniem obrażenia kręgosłupa: wysunięcie żuchwy
- Ocena oddechu (B): częstotliwość oddechu: różna, zwykle przyspieszona
- Oddech obecny: utrzymanie drożności dróg oddechowych (u osoby głęboko nieprzytomnej rozważyć założenie odpowiedniego rozmiaru rurki ustno-gardłowej)
- Tlenoterapia: zastosowanie maski z workiem rezerwuarowym i przepływem tlenu 15 l/minutę

Uwaga! W przypadku braku prawidłowego oddechu → RKO (procedura nr 3 lub 4).

- Ocena krążenia (C): częstotliwość tętna – różna, zwykle przyspieszona

Uwaga! W przypadku zauważenia intensywnego krwotoku należy go natychmiast uwidocznic i zata-
mować przez zastosowanie w miejscu krwawienia ucisku bezpośredniego lub opatrunku uciskowego albo powyżej miejsca krwawienia (na udzie lub ramieniu w zależności od miejsca krwawienia) opaski zaciskowej.

- Wywiad ratowniczy: duszność, ból, (nasilający się podczas oddychania), odkrztuszanie krwi

- Ocena poszkodowanego pod kątem istniejących obrażeń i dolegliwości

Objawy, które mogą występować w przypadku obrażenia klatki piersiowej:

- w obrębie szyi: poszerzenie żył szyjnych, przesunięcie tchawicy z linii pośrodkowej ciała
- w obrębie klatki piersiowej: siniaki, rany, odgłos syczenia podczas wchodzenia powietrza przez ranę do środka klatki piersiowej, widoczne bąbelki podczas wydostawania się powietrza na zewnątrz klatki piersiowej, zniekształcenia, niesymetryczne unoszenie się klatki piersiowej podczas oddychania, wiotka klatka piersiowa (zapadanie się części klatki piersiowej podczas wdechu i unoszenie się podczas wydechu),
- dotykiem: bolesność, niestabilność, obrzęk, odma podskórna
- możliwe objawy wstrząsu
- Wdrożenie postępowania adekwatnego do dolegliwości i obrażeń stwierdzonych u poszkodowanego
 - rana drążąca: opatrunek zastawkowy
 - wiotka klatka piersiowa: ręczna stabilizacja klatki piersiowej
 - pozycja półsiedząca

Uwaga! W przypadku współistniejącego podejrzenia obrażenia głowy lub odcinka szyjnego kręgosłupa, o ile poszkodowany został unieruchomiony na desce i nie występują objawy wstrząsu, deskę należy unieść od strony głowy w stosunku do podłoża.

Uwaga! Ciało obcego wbitego w poszkodowanego nie należy usuwać poza dwoma wyjątkami:

1. ciało obce, które powoduje niedrożność dróg oddechowych,
2. ciało obce w mostku w sytuacji konieczności wykonywania zewnętrznego masażu serca.

Uwaga! W przypadku występowania objawów wstrząsu hipowolemicznego (poszkodowany błądy, spocony, zaburzenia świadomości, oddech przyspieszony, tętno przyspieszone, słabo wyczuwalne na tętnicy promieniowej, nawrót kapilarny > 2 sekund) należy wdrożyć wstępne postępowanie przeciwwstrząsowe.

- Termoizolacja
- Regularna ocena funkcji życiowych i postępowanie adekwatne do stanu poszkodowanego
- Wsparcie psychiczne: w przypadku osób przytomnych

3.3. Przegląd najczęstszych obrażeń klatki piersiowej

- złamanie żeber: u poszkodowanego może wystąpić silny, kłujący ból w klatce piersiowej, nasila-

jący się podczas ruchów oddechowych lub kaszlu, z różnym stopniem utrudnienia oddychania;

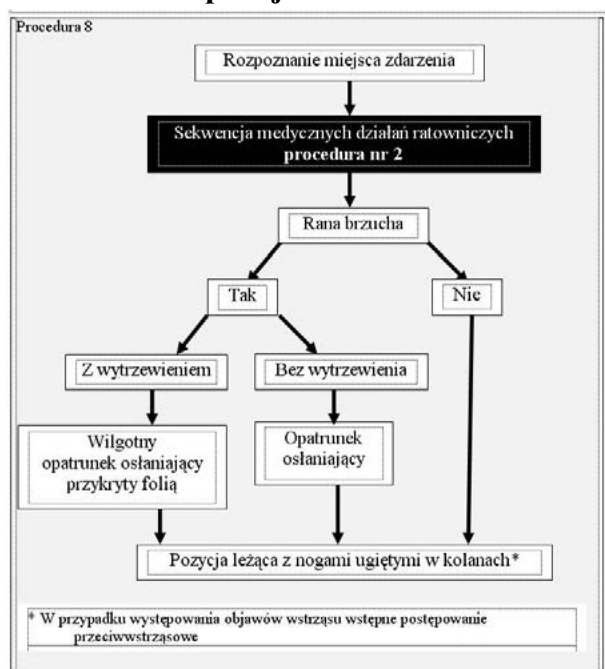
- otwarta odma opłucnowa: powstaje w wyniku uszkodzenia ściany klatki piersiowej. Podczas wdechu powietrze przez ranę wchodzi do jamy opłucnej (słychać odgłosy ssania). Przy wydechu powietrze wydostaje się przez ranę na zewnątrz (widać bąbelki). Powietrze, które dostaje się do jamy opłucnowej, nie wchodzi do płuc poszkodowanego (nie uczestniczy w wymianie gazowej). Przy ocenie poszkodowanego widać ssącą ranę klatki piersiowej;
- przeżna odma opłucnowa: powstaje w wyniku obrażenia tępego lub przenikającego, które powoduje powstanie mechanizmu zastawkowego (powietrze dostaje się do jamy opłucnej, ale nie może się stamtąd wydostać). Powoduje to zapadanie się płuca po stronie odmy. W miarę wzrostu ciśnienia w jamie opłucnej może dojść do przesunięcia tchawicy i śródpiersia na stronę przeciwną do odmy (poszerzone żyły szyjne, przesunięcie tchawicy), co powoduje zaburzenia wentylacji oraz krążenia w obszarze klatki piersiowej. Natomiast zagięcie się żyły głównej górnej i dolnej zmniejsza napływ krwi do serca;
- wiotka klatka piersiowa: powstaje w wyniku złamania co najmniej trzech sąsiednich żeber w co najmniej dwóch miejscach. Wyłamane „okienko” podczas oddychania porusza się odwrotnie w stosunku do reszty klatki piersiowej (w czasie wdechu zapada się, w czasie wydechu unosi się do góry). Powoduje to zaburzenia wentylacji;
- masywne krwawienie do jamy opłucnej: powstaje w wyniku obrażenia, które powoduje uszkodzenie naczyń krwionośnych. W miarę zwiększania się ilości krwi w opłucnej, płuco po stronie krwawienia jest uciskane (zaburzenia wentylacji);
- tamponada serca: powstaje najczęściej w wyniku obrażenia penetrującego. Krew, która gromadzi się między sercem a osierdziem, uciska na komory i powoduje zmniejszenie rzutu serca;
- stłuczenie serca: powstaje w wyniku obrażenia tępego. Objawy podobne są do objawów zawału mięśnia sercowego: ból w klatce piersiowej, wstrząs;
- urazowe pęknięcie aorty: w wyniku szybkiej utraty krwi dochodzi do śmierci;
- obrażenia tchawicy i/lub drzewa oskrzelowego: u poszkodowanego występować może odma podskórna na klatce piersiowej, szyi i twarzy;
- rozdarcie przepony: przerwanie ciągłości przepony może spowodować przemieszczenie się narządów jamy brzusznej do klatki piersiowej, co może doprowadzić do wystąpienia zaburzeń wentylacji;
- obrażenia przelyku: mogą spowodować zapalenie śródpiersia;
- stłuczenie płuca: może doprowadzić do niedotlenienia.

Tabela 3.
**Objawy obrażenia klatki piersiowej
i postępowanie – skrót**

Table 3.
**Symptoms of chest injuries and treatment
– summary**

Ocena stanu przytomności skala AVPU	przytomny lub zaburzenia świadomości różnego stopnia
Sposób udrożnienia dróg oddechowych (A)	1) poszkodowany nieprzytomny bez podejrzenia obrażenia kręgosłupa: odgięcie głowy i uniesienie żuchwy 2) poszkodowany nieprzytomny z podejrzeniem obrażenia kręgosłupa: wysunięcie żuchwy
Ocena oddechu (B)	częstotliwość oddechu: różna, zwykle przyspieszona
Ocena krążenia (C)	częstotliwość tętna: różna, zwykle przyspieszona
Objawy	dusznosc, ból, (nasilający się podczas oddychania), odkrztuszanie krwi w obrębie szyi: poszerzenie żył szyjnych, przesunięcie tchawicy z linii pośrodkowej ciała w obrębie klatki piersiowej: siniaki, rany, odgłos ssania podczas wchodzenia powietrza przez ranę do środka klatki piersiowej, widoczne bąbelki podczas wydostawania się powietrza na zewnątrz klatki piersiowej, zniekształcenia, niesymetryczne unoszenie się klatki piersiowej podczas oddychania, wiotka klatka piersiowa (zapadanie się części klatki piersiowej podczas wdechu i unoszenie się podczas wydechu), dotykiem: bolesność, niestabilność, obrzęk, odma podskórna możliwe objawy wstrząsu

4. Obrażenia i podejrzenie obrażeń brzucha



Ryc. 4. Obrażenia i podejrzenia obrażeń brzucha
Fig. 4. Injuries and suspected abdominal injuries

4.1. Rozpoznanie miejsca zdarzenia:

- zabezpieczenie ratowników
- identyfikacja zagrożeń
- liczba poszkodowanych
- potrzebne dodatkowe siły i środki
- mechanizm zdarzenia

Uwaga! Jeżeli istnieje podejrzenie obrażenia głowy i/lub kręgosłupa, przy podejściu do poszkodowanego należy zachować zasady stabilizacji odcinka szyjnego kręgosłupa.

Uwaga! W przypadku zauważenia intensywnego krwotoku należy go natychmiast uwidocznic i zatamować przez zastosowanie w miejscu krwawienia ucisku bezpośredniego lub opatrunku uciskowego albo powyżej miejsca krwawienia (na udzie lub ramieniu w zależności od miejsca krwawienia) opaski zaciskowej.

4.2. Sekwencja medycznych działań ratowniczych

- Ocena stanu przytomności: przytomny lub zaburzenia świadomości różnego stopnia (skala AVPU)
- Ocena drożności dróg oddechowych (A):
 - sprawdzenie, czy w jamie ustnej nie ma ciała obcego: ewentualnie usunięcie
 - w przypadku zaburzeń i/lub braku drożności – udrożnienie dróg oddechowych:
 1. poszkodowany nieprzytomny bez podejrzenia obrażenia kręgosłupa: odgięcie głowy i uniesienie żuchwy
 2. poszkodowany nieprzytomny z podejrzeniem obrażenia kręgosłupa: wysunięcie żuchwy
- Ocena oddechu (B): częstotliwość oddechu – różna, może być przyspieszona
- Oddech obecny: utrzymanie drożności dróg oddechowych (u osoby głęboko nieprzytomnej rozważyć założenie odpowiedniego rozmiaru rurki ustno-gardłowej)
- Tlenoterapia: zastosowanie maski z workiem rezerwuarowym i przepływem tlenu 15 l/minutę

Uwaga! W przypadku braku prawidłowego oddechu → RKO (procedura nr 3 lub 4).

- Ocena krążenia (C): częstotliwość tętna – różna, może być przyspieszona

Uwaga! W przypadku zauważenia intensywnego krwotoku należy go natychmiast uwidocznic i zatamować przez zastosowanie w miejscu krwawienia ucisku bezpośredniego lub opatrunku uciskowego albo powyżej miejsca krwawienia (na udzie lub ramieniu w zależności od miejsca krwawienia) opaski zaciskowej.

- Wywiad ratowniczy: ból
- Ocena poszkodowanego pod kątem istniejących obrażeń i dolegliwości

Objawy, które mogą występować w przypadku obrażenia brzucha:

- w obrębie brzucha: siniaki, rany, krwawienie, wytrzewienie (jelita wydostają się przez ranę w powłokach brzucha na zewnątrz), zwiększenie obwodu brzucha
- dotykem: brzuch bolesny, napięty, twardy
- możliwe objawy wstrząsu
- Wdrożenie postępowania adekwatnego do dolegliwości i obrażeń stwierdzonych u poszkodowanego
 - rana z wytrzewieniem: wilgotny opatrunek osłaniający, przykryty folią
 - rana bez wytrzewienia: opatrunek osłaniający
 - pozycja leżąca z nogami ugiętymi w kolanach

Uwaga! Ciało obcego wbitego w poszkodowanego nie należy usuwać poza dwoma wyjątkami:

1. ciało obce, które powoduje niedrożność dróg oddechowych,
2. ciało obce w mostku w sytuacji konieczności wykonywania zewnętrznego masażu serca.

Uwaga! W przypadku występowania objawów wstrząsu hipowolemicznego (poszkodowany błydy, spocony, zaburzenia świadomości, oddech przyspieszony, tętno przyspieszone, słabo wyczuwalne na tętnicy promieniowej, nawrót kapilarny > 2 sekund) należy wdrożyć wstępne postępowanie przeciwwstrząsowe.

- Termoizolacja
- Regularna ocena funkcji życiowych i postępowanie adekwatne do stanu poszkodowanego
- Wsparcie psychiczne: w przypadku osób przytomnych

4.3. Przegląd najczęstszych obrażeń brzucha:

- Obrażenia narządów miękkich (wątroba, śledziona, nerki): duże ryzyko krwawienia.
- Obrażenia narządów jamistych (żołądek, jelita): duże ryzyko zapalenia otrzewnej.

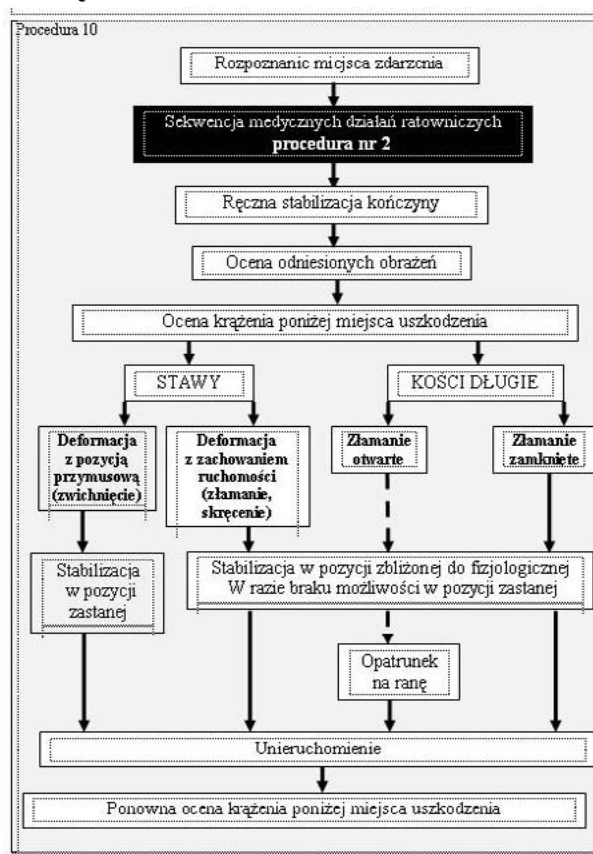
Uwaga! Złamanie dolnych żeber wiąże się z dużym ryzykiem obrażeń wątroby lub śledziony.

Tabela 4.
Objawy obrażenia brzucha i postępowanie – skrót

Table 4.
Symptoms of abdominal injuries and treatment – summary

Ocena stanu przytomności skala AVPU	przytomny lub zaburzenia świadomości różnego stopnia
Sposób udrożnienia dróg oddechowych (A)	1) poszkodowany nieprzytomny bez podejrzenia obrażenia kręgosłupa: odgięcie głowy i uniesienie żuchwy 2) poszkodowany nieprzytomny z podejrzeniem obrażenia kręgosłupa: wysunięcie żuchwy
Ocena oddechu (B)	częstotliwość oddechu: różna, może być przyspieszona
Ocena krążenia (C)	częstotliwość tętna: różna, może być przyspieszona
Objawy	ból, w obrębie brzucha: siniaki, rany, krwawienie, wytrzewienie (jelita wydostają się przez ranę w powłokach brzucha na zewnątrz), zwiększenie obwodu brzucha dotykem: brzuch bolesny, napięty, twardy możliwe objawy wstrząsu

5. Obrażenia i podejrzenie obrażeń narządu ruchu



Ryc. 5. Obrażenia i podejrzenia obrażeń narządu ruchu
Fig. 5. Injuries and suspected locomotor injuries

5.1. Rozpoznanie miejsca zdarzenia

- zabezpieczenie ratowników
- identyfikacja zagrożeń
- liczba poszkodowanych
- potrzebne dodatkowe siły i środki
- mechanizm zdarzenia

Uwaga! Jeżeli istnieje podejrzenie obrażenia głowy i/lub kręgosłupa, przy podejściu do poszkodowanego należy zachować zasady stabilizacji odcinka szyjnego kręgosłupa.

Uwaga! W przypadku zauważenia intensywnego krwotoku należy go natychmiast uwidocznić i zatamować przez zastosowanie w miejscu krwawienia ucisku bezpośredniego lub opatrunku uciskowego albo powyżej miejsca krwawienia (na udzie lub ramieniu w zależności od miejsca krwawienia) opaski zaciskowej.

5.2. Sekwencja medycznych działań ratowniczych

- Ocena stanu przytomności: przytomny lub zaburzenia świadomości różnego stopnia (skala AVPU)
- Ocena drożności dróg oddechowych (A):
 - sprawdzenie, czy w jamie ustnej nie ma ciała obcego: ewentualnie usunięcie
 - w przypadku zaburzeń i/lub braku drożności – udrożnienie dróg oddechowych:
 1. poszkodowany nieprzytomny bez podejrzenia obrażenia kręgosłupa: odgięcie głowy i uniesienie żuchwy
 2. poszkodowany nieprzytomny z podejrzeniem obrażenia kręgosłupa: wysunięcie żuchwy
- Ocena oddechu (B): częstotliwość oddechu: różna, może być przyspieszona
- Oddech obecny: utrzymanie drożności dróg oddechowych (u osoby głęboko nieprzytomnej rozważyć założenie odpowiedniego rozmiaru rurki ustno-gardłowej)
- Tlenoterapia: zastosowanie maski z workiem rezerwuarowym i przepływem tlenu 15 l/minutę

Uwaga! W przypadku braku prawidłowego oddechu → RKO (procedura nr 3 lub 4).

- Ocena krążenia (C): częstotliwość tętna – różna, może być przyspieszona

Uwaga! W przypadku zauważenia intensywnego krwotoku należy go natychmiast uwidocznić i zatamować przez zastosowanie w miejscu krwawienia ucisku bezpośredniego lub opatrunku uciskowego albo powyżej miejsca krwawienia (na udzie lub ramieniu w zależności od miejsca krwawienia) opaski zaciskowej.

- Wywiad ratowniczy: ból
- Ocena poszkodowanego pod kątem istniejących obrażeń i dolegliwości

Objawy, które mogą występować w przypadku obrażenia narządu ruchu

- w obrębie kończyn: siniaki, rany, krwawienie, zniekształcenie
- dotykem: bolesność, niestabilność, obrzęk, zaburzenia ukrwienia i czucia poniżej miejsca uszkodzenia
- możliwe objawy wstrząsu
- Wdrożenie postępowania adekwatnego do dolegliwości i obrażeń stwierdzonych u poszkodowanego
 - ręczna stabilizacja kończyny
 - ocena krążenia poniżej miejsca uszkodzenia (ocena ucieplenia i zabarwienia skóry)
 - stabilizacja:
 1. zwichnięcie: stabilizacja w pozycji zastanej,
 2. skręcenie: stabilizacja w pozycji zbliżonej do fizjologicznej w razie braku możliwości w pozycji zastanej,
 3. złamanie otwarte: stabilizacja w pozycji zbliżonej do fizjologicznej w razie braku możliwości w pozycji zastanej, opatrunek na ranę,
 4. złamanie zamknięte: stabilizacja w pozycji zbliżonej do fizjologicznej w razie braku możliwości w pozycji zastanej.
 - unieruchomienie
 - ponowna ocena krążenia poniżej uszkodzenia

Uwaga! W przypadku współistniejącego podejrzenia obrażenia głowy lub odcinka szyjnego kręgosłupa poszkodowanego należy unieruchomić na noszach typu deska.

Uwaga! W przypadku występowania objawów wstrząsu hipowolemicznego (poszkodowany błądy, spocony, zaburzenia świadomości, oddech przyspieszony, tętno przyspieszone, słabo wyczuwalne na tętnicy promieniowej, nawrót kapilarny > 2 sekund) należy wdrożyć wstępne postępowanie przeciwwstrząsowe.

5.3. Ogólne zasady unieruchomienia

- należy uwidocznić miejsce obrażenia
- przed przystąpieniem do unieruchamiania kończyny, niezależnie od rodzaju zastosowanego sprzętu, należy usunąć wszystkie elementy, które mogą w miarę narastania obrzęku ograniczyć krążenie w kończynie (buty, odzież, biżuteria itp.)
- zasada Potta:
 - w przypadku złamań unieruchamiamy uszkodzoną kończynę + co najmniej dwa sąsiednie stawy

- w przypadku skręceń, zwichnięć unieruchamiamy uszkodzony staw + co najmniej kości tworzące ten staw
- unieruchomienie złamań, skręceń (nie zwichnięć!) powinno być poprzedzone próbą przywrócenia fizjologicznego ustawienia kończyny

Fizjologiczne ustawienie kończyny:

- górna: palce zgięte, w nadgarstku zgięcie grzbietowe ok. 30°, przedramię odwrócone, łokieć pod kątem prostym
- dolna: stopa pod kątem prostym w stosunku do podudzia, lekko zgięte kolano i staw biodrowy
- należy zastosować jedynie delikatny wyciąg (nie stosować siły większej niż 5 kg)
- jeśli napotyka się opór, należy unieruchomić kończynę w pozycji zastanej

5.4. Rodzaje unieruchomień:

- szyny Kramera: uniwersalny stabilizator kończyn górnych i dolnych, wykonany z materiału, który może być dowolnie profilowany
- chusta trójkątna
- deska ortopedyczna

Zapamiętaj! W bardzo nagłych przypadkach, jako unieruchomienie różnych towarzyszących obrażeń kończyn, może wystarczyć unieruchomienie na noszach typu deska.

- szyny (materac) podciśnieniowe: składają się z powietrzoszczelnych, przepuszczalnych dla promieni RTG plastikowych lub gumowych powłok. Są one wypełnione niemal w $\frac{2}{3}$ gąbczastymi kuleczkami z tworzywa sztucznego. Po dopasowaniu materaca (szyny) do kształtu ciała (kończyny) i odessaniu z niego powietrza za pomocą pompki próżniowej powstaje szynowanie, które z jednej strony dokładnie przylega, zapobiegając powstawaniu miejsc ucisku, z drugiej zaś staje się tak mocne, że nie jest możliwe żadne znaczniejsze przesunięcie się odłamów, pacjenta zaś można wyjąć z materaca (kończynę z szyny) tylko po usunięciu próżni. Takie unieruchomienie jest szczególnie przydatne w wypadku złamania kręgosłupa, miednicy i kości udowej.
- szyny wyciągowe: zastosowanie szyn wyciągowych poddaje odłamy działaniu pociągania wzdłuż długiej osi. Szyny wyciągowe przeznaczone są do stosowania w złamaniach zamkniętych kości udowej. Powinny być zdejmowane w warunkach bloku operacyjnego.
- jako ostateczność, w przypadku braku odpowiedniego sprzętu: noga do nogi/patyka itp.

Zasady unieruchamiania szynami typu Kramer:

- staw barkowy, obojczyk, łopatka, kość ramienna, staw łokciowy: szynę należy założyć od zdrowej łopatki, przez górną część pleców do palców uszkodzonej kończyny,
- przedramię, ręka: szynę należy założyć od górnej połowy ramienia poza palec poszkodowanego. Staw łokciowy w miarę możliwości należy unieruchomić pod kątem zbliżonym do kąta prostego. Palce w miarę możliwości należy unieruchomić w położeniu lekkiego zgięcia (np. podłożyć pod dłoń rolkę bandaża),
- staw biodrowy, udo: najdłuższą szynę po wymodelowaniu i wygięciu końcowym o 180° należy ułożyć po stronie wewnętrznej tak, aby sięgała od pachwiny do stopy (szynę należy zgiąć pod podeszwą), drugą szynę po wymodelowaniu należy ułożyć po stronie zewnętrznej kończyny tak, aby sięgała od pachy aż do stopy,
- staw kolanowy: szynę należy po wymodelowaniu założyć tak, aby sięgała przynajmniej do połowy długości uda,
- podudzie, staw skokowy: jedną szynę po wymodelowaniu należy umieścić od tylnej strony, zgiętą pod stopą tak, aby sięgała od połowy uda poza palec, drugą szynę po przymocowaniu pierwszej należy przyłożyć po stronie zewnętrznej kończyny,
- stopa: szynę po wymodelowaniu należy ułożyć na tylnej powierzchni podudzia i podeszwie tak, aby sięgała od połowy podudzia poza palec.

Uwaga! Ciała obce w białego w poszkodowanego nie należy usuwać poza dwoma wyjątkami:

1. ciało obce, które powoduje niedrożność dróg oddechowych,
2. ciało obce w mostku w sytuacji konieczności wykonywania zewnętrznego masażu serca.

- Termoizolacja
- Regularna ocena funkcji życiowych i postępowanie adekwatne do stanu poszkodowanego
- Wsparcie psychiczne: w przypadku osób przytomnych

5.5. Przegląd najczęstszych obrażeń narządu ruchu

- złamanie zamknięte,
- złamanie otwarte,
- skręcenie: polega na naciągnięciu lub naderwaniu aparatu więzadłowo-torebkowego stawu, zwykle występuje zniekształcenie okolicy stawu z zachowaną ruchomością,
- zwichnięcie: polega na trwałym przemieszczeniu powierzchni stawowych z naderwaniem lub rozrywaniem aparatu stabilizującego, zwykle wystę-

puje widoczna deformacja okolicy stawu z przyjęciem ułożenia przymusowego.

Uwaga! Na miejscu zdarzenia trudne może być różnicowanie między skręceniem i zwichnięciem a złamaniem.

5.6. Powikłania w następstwie obrażeń narządu ruchu:

- obrażenia nerwów
- obrażenia naczyń krwionośnych
 - objawy niedokrwienia kończyny po urazie: ból, bladość, drętwienie, brak tętna, porażenie
 - możliwa utrata krwi przy złamaniach:

1 żebro	200 ml
1 krąg	100 ml
miednica	4000 ml
bark i ramię	750 ml
przedramię	400 ml
udo	1500 ml
podudzie	750 ml

- zakażenia
- ciało obce
 - nie należy usuwać ciał obcych, unieruchomić dużą ilością materiału opatrunkowego tak, aby utrzymać przedmiot tkwiący w ranie w miarę możliwości nieruchomo
- zespół ciasnoty przedziału powięziowego
 - objawy wczesne: ból, zaburzenia czucia
 - objawy późne: ból, bladość, brak tętna, zaburzenia czucia, porażenia

Tabela 5.

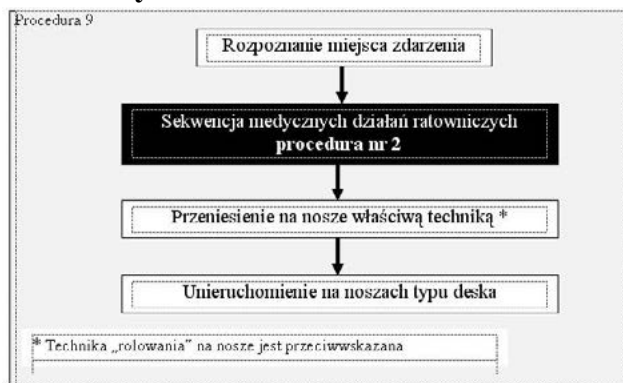
Objawy obrażenia narządu ruchu i postępowanie – skrót

Table 5.

Symptoms of locomotor injuries and treatment – summary

Ocena stanu przytomności skala AVPU	przytomny lub zaburzenia świadomości różnego stopnia
Sposób udrożnienia dróg oddechowych (A)	1) poszkodowany nieprzytomny bez podejrzenia obrażenia kręgosłupa: odgięcie głowy i uniesienie żuchwy 2) poszkodowany nieprzytomny z podejrzeniem obrażenia kręgosłupa: wysunięcie żuchwy
Ocena oddechu (B)	częstotliwość oddechu: różna, może być przyspieszona
Ocena krążenia (C)	częstotliwość tętna: różna, może być przyspieszona
Objawy	ból w obrębie kończyn: siniaki, rany, krwawienie, zniekształcenie dotykem: bolesność, niestabilność, obrzęk, zaburzenia ukrwienia i czucia poniżej miejsca uszkodzenia możliwe objawy wstrząsu

6. Obrażenia i podejrzenie obrażeń miednicy



Ryc. 6. Obrażenia i podejrzenia obrażeń miednicy

Fig. 6. Injuries and suspected pelvic injuries

6.1. Rozpoznanie miejsca zdarzenia:

- zabezpieczenie ratowników
- identyfikacja zagrożeń
- liczba poszkodowanych
- potrzebne dodatkowe siły i środki
- mechanizm zdarzenia

Uwaga! Jeżeli istnieje podejrzenie obrażenia głowy i/lub kręgosłupa, przy podejściu do poszkodowanego należy zachować zasady stabilizacji odcinka szyjnego kręgosłupa.

Uwaga! W przypadku zauważenia intensywnego krwotoku należy go natychmiast uwidocznic i zatamować przez zastosowanie w miejscu krwawienia ucisku bezpośredniego lub opatrunku uciskowego albo powyżej miejsca krwawienia (na udzie lub ramieniu w zależności od miejsca krwawienia) opaski zaciskowej.

6.2. Sekwencja medycznych działań ratowniczych

- Ocena stanu przytomności: przytomny lub zaburzenia świadomości różnego stopnia (skala AVPU)
- Ocena drożności dróg oddechowych (A):
 - sprawdzenie, czy w jamie ustnej nie ma ciała obcego: ewentualnie usunięcie
 - w przypadku zaburzeń i/lub braku drożności – udrożnienie dróg oddechowych:
 1. poszkodowany nieprzytomny bez podejrzenia obrażenia kręgosłupa: odgięcie głowy i uniesienie żuchwy
 2. poszkodowany nieprzytomny z podejrzeniem obrażenia kręgosłupa: wysunięcie żuchwy
- Ocena oddechu (B): częstotliwość oddechu – różna, może być przyspieszona
- Oddech obecny: utrzymanie drożności dróg oddechowych (u osoby głęboko nieprzytomnej rozwa-

żyć założenie odpowiedniego rozmiaru rurki ustno-gardłowej)

- Tlenoterapia: zastosowanie maski z workiem rezerwuarowym i przepływem tlenu 15 l/minutę

Uwaga! W przypadku braku prawidłowego oddechu → RKO (procedura nr 3 lub 4).

- Ocena krążenia (C): częstotliwość tętna – różna, może być przyspieszona

Uwaga! W przypadku zauważenia intensywnego krwotoku należy go natychmiast uwidocznić i zatamować przez zastosowanie w miejscu krwawienia ucisku bezpośredniego lub opatrunku uciskowego albo powyżej miejsca krwawienia (na udzie lub ramieniu w zależności od miejsca krwawienia) opaski zaciskowej.

- Wywiad ratowniczy: ból
- Ocena poszkodowanego pod kątem istniejących obrażeń i dolegliwości

Objawy, które mogą występować w przypadku obrażenia miednicy:

- w obrębie miednicy: siniaki, rany, krwawienie, zniekształcenie
- dotykiem: bolesność, niestabilność, trzeszczenie.
- możliwe objawy wstrząsu

Uwaga! Jeżeli poszkodowany jest przytomny i zgłasza dolegliwości bólowe w okolicy miednicy lub oglądaniem stwierdzi się zniekształcenie – nie należy badać miednicy.

Uwaga! Jeżeli stwierdzi się niestabilność miednicy, nie należy jej badać повторно, a przy ewakuowaniu poszkodowanego na deskę nie należy go rolować [ewakuacja na deskę przez 5 ratowników (minimum 4) lub z zastosowaniem noszy podbierakowych].

- Wdrożenie postępowania adekwatnego do dolegliwości i obrażeń stwierdzonych u poszkodowanego
 - przeniesienie na nosze właściwą techniką: technika wielu rąk lub nosze podbierakowe („grabie”)
 - unieruchomienie na noszach typu deska

Uwaga! W przypadku występowania objawów wstrząsu hipowolemicznego (poszkodowany błądy, spocony, zaburzenia świadomości, oddech przyspieszony, tętno przyspieszone, słabo wyczuwalne na tętnicy promieniowej, nawrót kapilarny > 2 sekund) należy wdrożyć wstępne postępowanie przeciwwstrząsowe.

Zapamiętaj! Obrażenia miednicy stanowią bezpośrednie zagrożenie życia (możliwość utraty nawet do 4 litrów krwi).

- Termoizolacja
- Regularna ocena funkcji życiowych i postępowanie adekwatne do stanu poszkodowanego
- Wsparcie psychiczne: w przypadku osób przytomnych

Tabela 6.

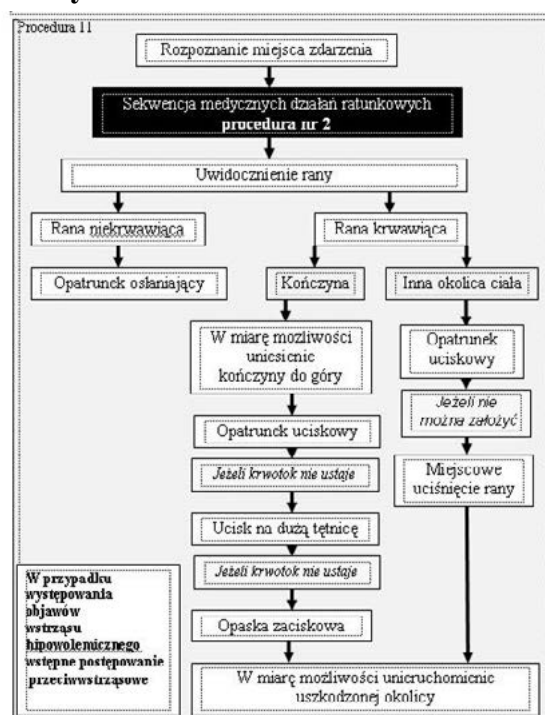
Objawy obrażenia miednicy i postępowanie – skrót

Table 6.

Symptoms of pelvic injuries and treatment – summary

Ocena stanu przytomności skala AVPU	przytomny lub zaburzenia świadomości różnego stopnia
Sposób udrożnienia dróg oddechowych (A)	1) poszkodowany nieprzytomny bez podejrzenia obrażenia kręgosłupa: odgięcie głowy i uniesienie żuchwy 2) poszkodowany nieprzytomny z podejrzeniem obrażenia kręgosłupa: wysunięcie żuchwy
Ocena oddechu (B)	częstotliwość oddechu: różna, może być przyspieszona
Ocena krążenia (C)	częstotliwość tętna: różna, może być przyspieszona
Objawy	ból w obrębie miednicy: siniaki, rany, krwawienie, zniekształcenie dotykiem: bolesność, niestabilność, trzeszczenie. możliwe objawy wstrząsu

7. Rany



Ryc. 7. Rany
Fig. 7. Wounds

Rana – to uszkodzenie skóry lub śluzówek oraz tkanek leżących głębiej wskutek urazu mechanicznego, wysokiej lub niskiej temperatury, substancji chemicznej.

7.1. Rozpoznanie miejsca zdarzenia

- zabezpieczenie ratowników
- identyfikacja zagrożeń
- liczba poszkodowanych
- potrzebne dodatkowe siły i środki
- mechanizm zdarzenia

Uwaga! Jeżeli istnieje podejrzenie obrażenia głowy i/lub kręgosłupa przy podejściu do poszkodowanego należy zachować zasady stabilizacji odcinka szyjnego kręgosłupa.

Uwaga! W przypadku zauważenia intensywnego krwotoku należy go natychmiast uwidocznić i zatamować przez zastosowanie w miejscu krwawienia ucisku bezpośredniego lub opatrunku uciskowego albo powyżej miejsca krwawienia (na udzie lub ramieniu w zależności od miejsca krwawienia) opaski zaciskowej.

7.2. Sekwencja medycznych działań ratowniczych

- Ocena stanu przytomności: przytomny lub zaburzenia świadomości różnego stopnia (skala AVPU)
 - Ocena drożności dróg oddechowych (A):
 - sprawdzenie, czy w jamie ustnej nie ma ciała obcego: ewentualnie usunięcie
 - w przypadku zaburzeń i/lub braku drożności: udrożnienie dróg oddechowych:
 1. poszkodowany nieprzytomny bez podejrzenia obrażenia kręgosłupa: odgięcie głowy i uniesienie żuchwy
 2. poszkodowany nieprzytomny z podejrzeniem obrażenia kręgosłupa: wysunięcie żuchwy
 - Ocena oddechu (B): częstotliwość oddechu: różna, może być przyspieszona
 - Oddech obecny: utrzymanie drożności dróg oddechowych (u osoby głęboko nieprzytomnej rozważyć założenie odpowiedniego rozmiaru rurki ustno-gardłowej)
 - Tlenoterapia: zastosowanie maski z workiem rezerwuarowym i przepływem tlenu 15 l/minutę
- Uwaga!** W przypadku braku prawidłowego oddechu → RKO (procedura nr 3 lub 4).
- Ocena krążenia (C): częstotliwość tętna – różna, może być przyspieszona

Uwaga! W przypadku zauważenia intensywnego krwotoku należy go natychmiast uwidocznić i zatamować przez zastosowanie w miejscu krwawienia

ucisku bezpośredniego lub opatrunku uciskowego albo powyżej miejsca krwawienia (na udzie lub ramieniu w zależności od miejsca krwawienia) opaski zaciskowej.

- Wywiad ratowniczy: duszność, ból, uczucie pragnienia
- Ocena poszkodowanego pod kątem istniejących obrażeń i dolegliwości

Objawy, które mogą występować w przypadku ran:

- w obrębie głowy i szyi: siniaki, rany, krwawienia, nierówne źrenice, zapadnięte żyły szyjne;
 - w obrębie klatki piersiowej: siniaki, rany, krwawienia, zniekształcenie;
 - dotykem: bolesność, niestabilność, obrzęk, odma podskórna;
 - w obrębie brzucha: siniaki, rany, krwawienia, wytrzewienie, zwiększenie obwodu brzucha;
 - dotykem: bolesność, napięcie, twardość;
 - w obrębie miednicy: siniaki, rany, krwawienie, zniekształcenie;
 - dotykem: bolesność, niestabilność, trzeszczenie;
 - w obrębie kończyn: siniaki, rany, krwawienie, zniekształcenie;
 - dotykem: bolesność, niestabilność, obrzęk;
 - w obrębie pleców i pośladków: siniaki, rany, krwawienie, zniekształcenie;
 - dotykem: bolesność, niestabilność, obrzęk;
 - możliwe objawy wstrząsu.
- Wdrożenie postępowania adekwatnego do dolegliwości i obrażeń stwierdzonych u poszkodowanego
 - rana niekrwawiąca: opatrunek osłaniający
 - rana krwawiąca kończyny:
 - w miarę możliwości uniesienie kończyny do góry,
 - opatrunek uciskowy, zakłada się go w miejscu krwawienia, używając jałowej gazy oraz bandaża dzianego, ucisk na ranę powoduje zmniejszenie krwawienia wskutek zamknięcia uszkodzonych naczyń krwionośnych, jako usztywniacza można użyć zrolowanego bandaża
 - ucisk na dużą tętnicę
 1. ucisk na tętnicę ramienną: uciska się czterema palcami w połowie długości ramienia na jego przedniej stronie (przestrzeń pomiędzy mięśniem dwugłowym a mięśniem trójgłowym)
 2. ucisk na tętnicę udową: uciska się obydwoma kciukami mniej więcej w połowie pachwiny
 - opaska zaciskowa, zakłada się ją na kończynę powyżej miejsca krwawienia, na kość ramienną lub udową, po założeniu nie luzuje się opa-

ski, należy zaznaczyć czas założenia, opaska powinna mieć szerokość co najmniej 4 cm.

- w miarę możliwości unieruchomienie uszkodzonej okolicy – unieruchomienie powoduje zmniejszone zapotrzebowanie na tlen a co się z tym wiąże na dopływ krwi
- rana krwawiąca innej okolicy ciała:
 - opatrunek uciskowy;
 - miejscowe uciśnięcie rany;
 - w miarę możliwości unieruchomienie uszkodzonej okolicy;

Uwaga! W przypadku współistniejącego podejrzenia obrażenia głowy lub odcinka szyjnego kręgosłupa poszkodowanego należy unieruchomić na noszach typu deska.

Uwaga! W przypadku występowania objawów wstrząsu hipowolemicznego (poszkodowany błądy, spocony, zaburzenia świadomości, oddech przyspieszony, tętno przyspieszone, słabo wyczuwalne na tętnicy promieniowej, nawrót kapilarny > 2 sekund) należy wdrożyć wstępne postępowanie przeciwwstrząsowe.

Uwaga! Ciało obcego wbitego w poszkodowanego nie należy usuwać poza dwoma wyjątkami:

1. ciało obce, które powoduje niedrożność dróg oddechowych,
2. ciało obce w mostku w sytuacji konieczności wykonywania zewnętrznego masażu serca.

- Termoizolacja
- Regularna ocena funkcji życiowych i postępowanie adekwatne do stanu poszkodowanego
- Wsparcie psychiczne: w przypadku osób przytomnych

7.3. Podział ran

- zamknięte: uszkodzenie głębokich warstw skóry i elementów leżących pod nią, z zachowaniem ciągłości skóry:
 - głęboko w skórze z uszkodzonych naczyń wydostaje się krew i powstaje podbiegnięcie krwawe – „siniak”;
 - jeżeli uszkodzeniu ulegnie duże naczynie, to dochodzi do znacznego krwawienia w obrębie tkanek, a krew zbierającą się w tym miejscu nazywamy krwiakiem;
- otwarte: dochodzi do przerwania ciągłości powłok zewnętrznych, dlatego istnieje niebezpieczeństwo: krwawienia, zanieczyszczenia i/lub zainfekowania rany.

7.4. Rodzaje ran

- otarcie naskórka: uszkodzeniu ulega powierzchniowa warstwa skóry;

- rana cięta: powstaje w następstwie działania ostrego tnącego narzędzia np. noża, krwawienie z tego typu rany jest duże;
- rana kłuta: powstaje w następstwie działania długiego, ostrego, wąskiego narzędzia np. drutu, może dojść do uszkodzenia narządów wewnętrznych i naczyń krwionośnych (możliwość krwawienia wewnętrznego i/lub zapalenia otrzewnej);
- rana tłuczona: powstaje w wyniku uderzenia tępym narzędziem (np. młotek, drzewo), krwawienie jest skąpe, bo naczynia ulegają zgnieceniu. Stłuczone tkanki obumierają i powstaje martwica;
- rana miażdżona: powstaje w wyniku działania dużej siły, w następstwie czego dochodzi do rozległego i głębokiego zgniecenia tkanek. Jeżeli powierzchnia uszkodzenia jest duża, może powstać zespół zmiążdżenia. Zespół zmiążdżenia jest swoistą reakcją wstrząsową, rozwijającą się w następstwie zmiążdżenia tkanek miękkich, a szczególnie dużych mas mięśniowych kończyn z następstwą rhabdomyolizą (uszkodzenie mięśni połączone z uwalnianiem ich zawartości do krążenia w następstwie czego może dojść do spadku ciśnienia, niewydolności nerek, zaburzeń rytmu serca);
- rana postrzałowa: może być wlotowa i wylotowa, wylotowa jest większa;
- rana rąbana: powstaje w wyniku działania silnego, ciężkiego ostrego narzędzia (np. siekiery, piły). Może dojść do całkowitej amputacji części ciała (Procedura 12);
- rana kłusana: zadana przez zwierzę, istnieje duże ryzyko zakażenia, zwłaszcza w przypadku rany zadanej przez podejrzane zachowujące się zwierzę, dlatego zawsze konieczny będzie kontakt z lekarzem;
- rana będąca następstwem oparzenia chemicznego;
- rana będąca następstwem oparzenia termicznego;
- rana będąca następstwem działania niskiej temperatury.

7.5. Następstwa ran

- ból (spowodowany uszkodzeniem zakończeń nerwowych),
- obrzęk,
- krwawienie (w wyniku uszkodzenia naczyń krwionośnych),
- zakażenie,
- wychłodzenie,
- utrata płynów,
- wstrząs.

Krwawienie: wydostanie się krwi poza obręb uszkodzonego naczynia krwionośnego.

Krwotok: gwałtowna utrata krwi z organizmu będąca następstwem uszkodzenia naczyń krwionośnych w wyniku urazu lub choroby. Według ATLS

(Advanced Trauma Life Support) krwotoki dzieli się na 4 stopnie w zależności od ilości utraconej krwi.

Tabela 7.

Podział krwotoków według ATLS w zależności od ilości utraconej krwi

Table 7.

Division of bleedings by ATLS, depending on the amount of blood lost

Stopień	Opis
I°	Utrata do 15% krwi krążącej. Zazwyczaj nie obserwuje się zmian w funkcjonowaniu organizmu. Niepotrzebne jest uzupełnianie utraconej krwi płynami.
II°	Utrata od 15 do 30 % krwi krążącej. U poszkodowanego można zaobserwować przyspieszone tętno (tachykardię) oraz niewielką różnicę między wartościami ciśnienia skurczowego i rozkurczowego krwi. Mechanizmem obronnym przed niedokrwieniem głównych narządów jest skurcz naczyń na obwodzie (centralizacja krążenia), co objawia się spadkiem temperatury i blednością powłok skórnych. Mogą się pojawić niewielkie zmiany w zachowaniu pacjenta. Utraconą krew uzupełnia się krystaloidami.
III°	Utrata od 30 do 40% krwi krążącej. Obserwuje się spadek ciśnienia krwi, przyspieszone tętno (tachykardię), wydłużenie > 2 sekund nawrotu kapilarnego, pogorszenie się stanu psychicznego pacjenta. Utraconą krew uzupełnia się krystaloidami, koloidami oraz toczy się krew i preparaty krwiopochodne.
IV°	Utrata krwi krążącej powyżej 40%. Przy tak dużej utracie krwi, organizm jest na skraju wydolności, jeśli nie zostaną szybko podjęte środki zapobiegające dalszej utracie krwi oraz natychmiastowe uzupełnienie objętości krwi krążącej, może dojść w krótkim czasie do śmierci pacjenta.

7.6. Reakcja organizmu na krwawienie

- uszkodzenie naczyń tętniczych prowadzi do obkurczenia ich uszkodzonych końców, zapobiega to znacznej utracie krwi;
- krew wypływająca z uszkodzonych naczyń zaczyna krzepnąć. Krzepnięcie jest procesem złożonym, w którym bierze udział kilka czynników i w przypadku braku któregośkolwiek z nich, jak na przykład w hemofilii, krzepnięcie krwi może być opóźnione;

Uwaga! Znaczne wychłodzenie organizmu może doprowadzić do opóźnienia procesu krzepnięcia, dlatego działania mające na celu zapobieganie wychłodzeniu i opanowanie go są integralną częścią postępowania ratowniczego i muszą być podjęte na miejscu zdarzenia.

7.7. Możliwe objawy krwawienia wewnętrznego

- uczucie pragnienia,
- duszność,
- zaburzenia świadomości,
- objawy wstrząsu,
- zniekształcenie tkanek (ból brzucha, napięcie, niestabilność kości czaszki, ścian klatki piersiowej, miednicy, kończyn).

Tabela 8.

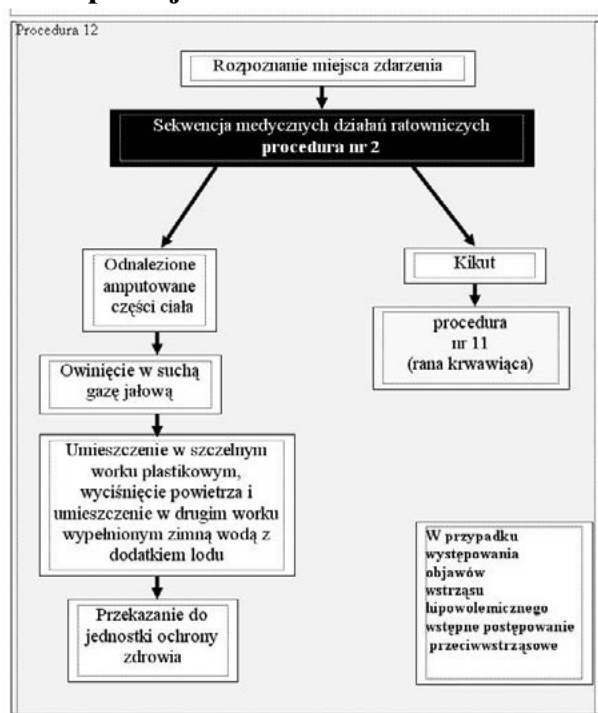
Objawy w przypadku ran i postępowanie – skrót

Table 8.

Symptoms in the case of wounds and treatment – summary

Ocena stanu przytomności skala AVPU	przytomny lub zaburzenia świadomości różnego stopnia
Sposób udrożnienia dróg oddechowych (A)	1) poszkodowany nieprzytomny bez podejrzenia obrażenia kręgosłupa: odgięcie głowy i uniesienie żuchwy 2) poszkodowany nieprzytomny z podejrzeniem obrażenia kręgosłupa: wysunięcie żuchwy
Ocena oddechu (B)	częstotliwość oddechu: różna, może być przyspieszona
Ocena krążenia (C)	częstotliwość tętna: różna, może być przyspieszona
Objawy	duszność, ból, uczucie pragnienia w obrębie głowy i szyi: siniaki, rany, krwawienia, nierówne źrenice, zapadnięte żyły szyjne, w obrębie klatki piersiowej: siniaki, rany, krwawienia, zniekształcenie, dotykem: bolesność, niestabilność, obrzęk, odma podskórna. w obrębie brzucha: siniaki, rany, krwawienia, wytrzewienie, zwiększenie obwodu brzucha, dotykem: bolesność, napięcie, twardość. w obrębie miednicy: siniaki, rany, krwawienie, zniekształcenie, dotykem: bolesność, niestabilność, trzeszczenie. w obrębie kończyn: siniaki, rany, krwawienie, zniekształcenie, dotykem: bolesność, niestabilność, obrzęk. w obrębie pleców i pośladków: siniaki, rany, krwawienie, zniekształcenie, dotykem: bolesność, niestabilność, obrzęk. możliwe objawy wstrząsu

8. Amputacja urazowa



Ryc. 8. Amputacja urazowa
Fig. 8. Traumatic amputation

8.1. Amputacja urazowa:

- jest obrażeniem okaleczającym i może stanowić zagrożenie dla życia,
- może być źródłem masywnego krwawienia,
- amputowane części ciała należy zabezpieczyć również wtedy, gdy przysycie (replantacja) wydaje się niemożliwa,
- prawidłowe zabezpieczenie amputowanej części ciała zwalnia procesy metaboliczne i przedłuża żywotność amputowanej części z 4 do 18 godzin:
 - amputowaną część owinać suchą jałową gazą, umieścić w szczelnym worku plastikowym i po wyciśnięciu z niego powietrza umieścić w drugim worku wypełnionym zimną wodą z dodatkiem lodu,
 - amputowaną niecałkowicie część pozostawioną w opatunku, obłożyć szczelnie workami z zimną wodą z dodatkiem kostek lodu tak, aby płyn chłodzący miał temperaturę ok. +4°C.

Uwaga! Nie można stosować samego lodu.

8.2. Ogólnie przyjęte wskazania do replantacji amputowanych części kończyn

- odcięcie kilku palców,
- amputacja kciuka,
- odcięcie ręki na poziomie śródręcza lub nadgarstka,
- amputacja u dzieci.

8.3. Dyskusyjne wskazania do replantacji

- utrata jednego palca, z wyjątkiem kciuka,
- odcięcie palca połączone ze ściągnięciem skóry.

8.4. Przeciwwskazania do replantacji

- utrata kończyny górnej na poziomie powyżej połowy ramienia, jeśli niedokrwienie trwa ponad 6 godzin,
- towarzyszące obrażenia zagrażające życiu,
- uszkodzenia kończyny na wielu poziomach (wielopoziomowe),
- znaczne zmiażdżenie i utrata skóry,
- bardzo znaczne zabrudzenia i skażenia,
- poważne choroby układowe,
- samouszkodzenia w przebiegu psychozy.

8.5. O czym należy pamiętać

- ratowanie życia jest ważniejsze od ratowania utraconej części ciała,
- mniej widoczne obrażenia mogą zagrażać życiu,
- nie stosuj wody utlenionej ani leków antyseptycznych,
- nie próbuj umieszczać odciętego fragmentu w jego miejscu,
- nie decyduj sam, czy odcięty fragment jest za mały do przysycia,
- replantację wykonuje się jedynie w wyjątkowych sytuacjach, nie należy więc sugerować poszkodowanemu takiej możliwości.

Literatura

1. *Pierwsza pomoc i resuscytacja krążeniowo-oddechowa*, J. Andres (red.), Polska Rada Resuscytacji, Kraków 2011.
2. *Mnogie i wielonarządowe obrażenia ciała*, L. Brongiel, K. Duda (red.), PZWL, Warszawa 2001.
3. *Złota godzina*, L. Brongiel (red.), Wydawnictwo Medyczne, Kraków 2007.
4. Campbell J. E., *International Trauma Life Support. Ratownictwo przedszpitalne w urazach*, Wydawnictwo Medycyna Praktyczna, Kraków 2009.
5. Ciećkiewicz J., *Medycyna ratunkowa. Rażenie piorunem*, „Medycyna Praktyczna”, 2008, 6, s. 132-136.
6. Domanasiewicz A., *Wytyczne postępowania okołourazowego w ciężkich urazach kończyn ze szczególnym uwzględnieniem amputacji*, www.szpital-trzebnica.pl/chir/wytyczne.htm.
7. *Ratownik Medyczny*, J. Jakubaszko (red.), Górnicki Wydawnictwo Medyczne, Wrocław 2003.
8. Jastrzębski J., *Zaburzenia oddechowe w oparzeniach*, „Postępy Nauk Medycznych”, 2009, 8, s. 590-596.
9. Gaszyński W., *Intensywna terapia i wybrane zagadnienia medycyny ratunkowej. Repetytorium*, PZWL, Warszawa 2008.
10. *Poradnik dyżuranta*, M. Maciejewska, A. Torbicki (red.), wyd. PZWL, Warszawa 2007.
11. Mejza F., *Gazometria i pulsoksymetria*, <http://www.pochp.mp.pl>

12. *Klinika ostrych zatruc dla ratowników medycznych*, J. Pach (red.), wyd. Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Nowym Sączu, Nowy Sącz 2011.
13. Mayzner-Zawadzka E., *Anestezjologia kliniczna z elementami intensywnej terapii i leczenia bólu*, t. 2, wyd. PZWL, Warszawa 2009.
14. Rasmus A., Balcerzyk-Bardzo E., Sikorski T., Piotrowski D., *Zasady postępowania z kobietą ciężarną po urazie*, „Anestezjologia Intensywna Terapie”, 2005, 4, 274-276.
15. Skoczylas J. J., *Prawo ratownicze*, LexisNexis, Warszawa 2007.
16. Styka L., *Evakuacja i transport poszkodowanego*, wyd. Górnicki, Wrocław 2008.
17. Szuldrzyński K., Jankowski M., *Techniki zabiegów. Technika leczenia tlenem*, „Medycyna Praktyczna”, 2010, 4, 106-114.
18. Sylwanowicz W., Michalik A., Ramotowski W., *Anatomia i fizjologia człowieka*, wyd. PZWL, Warszawa 1985.
19. *Intensywna terapia dzieci*, T. Szreter (red.), wyd. PZWL, Warszawa 2002.
20. Szreter T., *Tlenoterapia bierna*, „Medycyna Praktyczna Pediatria”, 2000, 2, s. 172-178.
21. *Medycyna ratunkowa i katastrof*, A. Zawadzki (red.), PZWL, Warszawa 2008.
22. Wytyczne RKO 2010, Kraków 2010.
23. *Zaawansowane zabiegi resuscytacyjne u dzieci*, Polska Rada Resuscytacji, Kraków 2005.
24. Ciećkiewicz J., *Medycyna ratunkowa. Amputacja urazowa*, „Medycyna Praktyczna”, 2008, 4, s. 171-174.
25. *Hipotermia u pacjentów z obrażeniami ciała*, „Medycyna Praktyczna – Chirurgia”, 2000, 3.
26. *Stosowanie tlenu w stanach nagłych u osób dorosłych – wytyczne British Thoracic Society*, „Medycyna Praktyczna”, 2010, 4, s. 58-71.
27. *Praktyczne wskazówki dotyczące oceny stanu dziecka po urazie i wstępnego postępowania*, „Medycyna Praktyczna Chirurgia”, 2004, 1, s. 7.
28. *Europejskie wytyczne udzielania pierwszej pomocy*, „Medycyna Praktyczna”, 2008, 3.
29. *Ratownictwo medyczne w Straży Pożarnej*, Medline, Zielona Góra 2003.
30. Ustawa z dnia 8 września 2006 r. o Państwowym Ratownictwie Medycznym (Dz.U.06.191.1410).
31. Ustawa z dnia 24 sierpnia 1991 r. o Państwowej Straży Pożarnej.
32. Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji dnia 18 lutego 2011 r. w sprawie szczegółowych zasad organizacji krajowego systemu ratowniczo-gaśniczego (Dz.U.11.46.239).
33. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 4 lipca 1992 r. w sprawie zakresu i trybu korzystania z praw przez kierującego działaniem ratowniczym (Dz. U. Nr 54, poz. 259).
34. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 27 czerwca 2003 r. w sprawie szczegółowych zadań zespołów ratownictwa medycznego (Dz. U. z dnia 24 lipca 2003 r.).
35. Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 31 lipca 2009 r. w sprawie organizacji i funkcjonowania centrów powiadamiania ratunkowego i wojewódzkich centrów powiadamiania ratunkowego (Dz. U. z dnia 18 sierpnia 2009 r.).
36. *Zasady organizacji ratownictwa medycznego w KSRG*, Warszawa 2013 r.
37. *Zasady udzielania wsparcia psychicznego osobom uczestniczącym w działaniach ratowniczych*, KG PSP, Warszawa 2012 r.
38. www.nfz.gov.pl.

st. kpt. lek. Mariusz Chomonicik, jest koordynatorem ratownictwa medycznego w SA PSP w Krakowie, specjalistą anestezjologii i intensywnej terapii.

inż. Iza BELLA¹

SCENARIUSZ ROZWOJU ZDARZEŃ NA WYPADEK POŻARU. WPROWADZENIE

Scenario of developments during fire incidents. Introduction

Streszczenie

W warunkach pożarowych poprawna współpraca wszystkich urządzeń, systemów i instalacji ma strategiczne znaczenie dla ochrony i obrony budynku przed pożarem. Formalnym dokumentem, mającym rozwiązywać problem doboru i współdziałania systemów występujących w obiekcie jest „scenariusz rozwoju zdarzeń w czasie pożaru”, wymagany zapisem rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 16 czerwca 2003 w sprawie uzgadniania projektu budowlanego pod względem ochrony przeciwpożarowej. Autor rozporządzenia nie zawarł w nim żadnych wytycznych do opracowania tego dokumentu, pozostawiając ogromne pole do dyskusji na ten temat.

W artykule dokonano interpretacji zapisu rozporządzenia o uzgadnianiu projektu budowlanego pod względem ochrony przeciwpożarowej. Następnie zdefiniowano, czym jest scenariusz rozwoju zdarzeń na wypadek pożaru – element projektu systemu sygnalizacji pożarowej.

Summary

During fire incidents, appropriate co-operation between mechanisms, systems and installations (fire fighting and utility) is of strategic significance in the safeguarding of buildings and defence against fires. The problem of choice and correct interaction of systems found in premises is to be addressed by the production of a formal document ‘Scenario of developments during fire incidents’ with due regard to fire protection, at the approval stage of building projects. This regulatory requirement was introduced by the Minister of Internal Affairs and Administration on 16 June 2003. The author of the regulation avoided being specific about who should produce the document and its content, leaving much scope for discussion of these topics.

This article provides an interpretation of the regulatory requirements dealing with building project approval in context of protection against fires. Furthermore, it defines the terms of ‘Scenario of developments during fire incidents’ – the project element concerned with alarm systems.

Słowa kluczowe: scenariusz, matryca sterowań, scenariusz pożarowy, urządzenia przeciwpożarowe, integracja systemów bezpieczeństwa;

Keywords: scenario, controls matrix, fire scenario, fire protection systems, security systems integration;

Wprowadzenie

Zapewnienie bezpieczeństwa budynków wiąże się z kosztami i utrudnieniami, w związku z czym uzyskiwanie wymaganego poziomu bezpieczeństwa jest możliwe poprzez stosowanie określonych procedur prawnych. W momencie wstąpienia Polski do Unii Europejskiej, celem ujednolicenia regulacji prawnych w krajach członkowskich, przyjęto tzw. Dyrektywę Budowlaną [1]. Załącznik I do tego dokumentu określił wymagania podstawowe obiektów budowlanych – wymieniono wśród nich:

1. nośność i stateczność,
2. bezpieczeństwo pożarowe,

3. bezpieczeństwo użytkowania,
4. ochronę przed hałasem,
5. oszczędność energii i izolację cieplną.

Implementacją Dyrektywy Budowlanej w Polsce jest Ustawa Prawo Budowlane, która postanowienia dotyczące wymagań podstawowych stawianych obiektom budowlanym wprowadza w następującej formie:

„Art. 5. 1. Obiekt budowlany wraz ze związanymi z nim urządzeniami budowlanymi należy, biorąc pod uwagę przewidywany okres użytkowania, projektować i budować w sposób określony w przepisach, w tym techniczno-budowlanych, oraz zgodnie z zasadami wiedzy technicznej, zapewniając:

1. spełnienie wymagań podstawowych dotyczących:
 - a) bezpieczeństwa konstrukcji,
 - b) bezpieczeństwa pożarowego,
 - c) bezpieczeństwa użytkowania,

¹ Zespół Laboratoriów Technicznego Wyposażenia Straży Pożarnej i Technicznych Zabezpieczeń Przeciwpożarowych Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej – PIB, ul. Nadwiślańska 213, 05-420 Józefów k. Otwocka, Polska; ibella@cnbop.pl;

- d) odpowiednich warunków higienicznych i zdrowotnych oraz ochrony środowiska,
- e) ochrony przed hałasem i drganiami,
- f) oszczędności energii i odpowiedniej izolacyjności cieplnej przegród” [2].

Powyższy zapis mówi o tym, że najważniejszym kryterium brany pod uwagę podczas projektowania i użytkowania obiektu powinno być zachowanie nośności jego konstrukcji – niedopuszczenie do stworzenia zagrożenia zawaleniem podczas normalnego użytkowania. Kryterium bezpieczeństwa pożarowego zajmuje drugie miejsce wśród wymienionych i jest drugim z kolei pod względem istotności.

Wymaganie dotyczące bezpieczeństwa pożarowego określa, że obiekty budowlane powinny zapewniać:

- a) odpowiednią nośność konstrukcji w przypadku pożaru,
- b) ograniczenie powstawania i rozprzestrzeniania się ognia i dymu,
- c) możliwość opuszczenia obiektu przez mieszkańców lub ich uratowanie w inny sposób,
- d) bezpieczeństwo ekip ratowniczych.

Na zapewnienie nośności konstrukcji w przypadku pożaru wpływ mają stałe urządzenia gaśnicze, systemy oddymiania i oddzielenia przeciwpożarowe.

Ograniczenie powstawania i rozprzestrzeniania się ognia i dymu zapewniają systemy sygnalizacji pożarowej, stałe i półstałe urządzenia gaśnicze, systemy oddymiania i zapobiegania zadymieniu, systemy transmisji alarmu pożarowego i sygnałów uszkodzeniowych oraz oddzielenia przeciwpożarowe.

Możliwość opuszczenia obiektu przez mieszkańców lub ich uratowanie w inny sposób – ten warunek spełniają zastosowane drogi ewakuacyjne, systemy oświetlenia ewakuacyjnego, dźwiękowe systemy ostrzegawcze, urządzenia alarmujące, systemy oddymiania, oddzielenia przeciwpożarowe, dźwigi osobowe dla straży pożarnych, systemy kontroli dostępu i inne systemy techniczne obiektu niebędące urządzeniami przeciwpożarowymi.

Bezpieczeństwo ekip ratowniczych poprawiają zainstalowane systemy oddymiania, dźwiękowe systemy ostrzegawcze, dźwigi dla straży pożarnych, a także systemy nadzoru technicznego obiektu zintegrowane tak, aby umożliwić działanie odpowiednich instalacji na żądanie ekip ratowniczych.

W warunkach pożarowych poprawna współpraca wszystkich urządzeń, systemów i instalacji (przeciwpożarowych oraz użytkowych) ma strategiczne znaczenie dla ochrony i obrony budynku przed pożarem. Formalnym dokumentem, mającym rozwiązywać problem doboru i współdziałania systemów występujących w obiekcie jest „scenariusz rozwoju zdarzeń w czasie pożaru”, wymagany zapisem roz-

porządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 16 czerwca 2003 w sprawie uzgadniania projektu budowlanego pod względem ochrony przeciwpożarowej. Jednak nie sprecyzowano tam, kto ma wykonać takie opracowanie oraz jaki zakres ma on obejmować. Autor rozporządzenia nie zawarł w nim żadnych wytycznych do opracowania scenariusza rozwoju zdarzeń w czasie pożaru, a tym samym pozostawił ogromne pole do interpretacji i dyskusji na ten temat. Taka sytuacja sprzyja powstawaniu wielu, czasem skrajnych, poglądów na problematykę tego opracowania. W istocie bowiem, podstawa prawna nakazująca wykonywanie tego dokumentu jest niedopracowanym, oderwanym od pragmatycznej rzeczywistości wybiegiem w przyszłość, a trochę zmodyfikowane określenie „scenariusz rozwoju zdarzeń na wypadek pożaru” kojarzone jest najczęściej z zawartością jednego z rozdziałów projektu systemu sygnalizacji pożarowej, determinującego zasady sterowania urządzeniami po wykryciu pożaru.

1. „Scenariusz rozwoju zdarzeń w czasie pożaru” w przepisach polskich

W literaturze oraz wszelkiego typu opracowaniach, artykułach i referatach poruszających zagadnienia bezpieczeństwa pożarowego budynków spotkać można wiele podobnie brzmiących pojęć, zawierających słowo „scenariusz”. Są to sformułowania takie, jak: „scenariusz pożarowy”, „scenariusz rozwoju pożaru”, „scenariusz rozwoju zdarzeń w czasie pożaru”, „scenariusz rozwoju zdarzeń na wypadek pożaru”. Pojęcia te są często używane zamiennie, choć nie zawsze oznaczają to samo.

Z wyżej wymienionych pojęć, w prawie znaleźć można tylko zapis odnoszący się do „scenariusza rozwoju zdarzeń w czasie pożaru” – znajdujący się w rozporządzeniu ministra spraw wewnętrznych i administracji w sprawie uzgadniania projektu budowlanego pod względem ochrony przeciwpożarowej. Brzmi on następująco:

„§ 5. 1. Podstawę uzgodnienia stanowią dane zawarte w projekcie budowlanym określone i przedstawione przez projektanta, dotyczące warunków ochrony przeciwpożarowej obiektu budowlanego, obejmujące w szczególności:

- 1) powierzchnię, wysokość i liczbę kondygnacji;
- 2) odległość od obiektów sąsiadujących;
- 3) parametry pożarowe występujących substancji palnych;
- 4) przewidywaną gęstość obciążenia ogniowego;
- 5) kategorię zagrożenia ludzi, przewidywaną liczbę osób na każdej kondygnacji i w poszczególnych pomieszczeniach;
- 6) ocenę zagrożenia wybuchem pomieszczeń oraz przestrzeni zewnętrznych;
- 7) podział obiektu na strefy pożarowe;

- 8) klasę odporności pożarowej budynku oraz klasę odporności ogniowej i stopień rozprzestrzeniania ognia elementów budowlanych;
 - 9) warunki ewakuacji, oświetlenie awaryjne (ewakuacyjne i zapasowe) oraz przeszkodowe;
 - 10) sposób zabezpieczenia przeciwpożarowego instalacji użytkowych, a w szczególności: wentylacyjnej, ogrzewczej, gazowej, elektroenergetycznej, odgromowej;
 - 11) dobór urządzeń przeciwpożarowych w obiekcie budowlanym, dostosowany do wymagań wynikających z przepisów dotyczących ochrony przeciwpożarowej i przyjętego scenariusza rozwoju zdarzeń w czasie pożaru, a w szczególności: stałych urządzeń gaśniczych, systemu sygnalizacji pożarowej, dźwiękowego systemu ostrzegawczego, instalacji wodociągowej przeciwpożarowej, urządzeń oddymiających, dźwigów przystosowanych do potrzeb ekip ratowniczych;
 - 12) wyposażenie w gaśnice;
 - 13) zaopatrzenie w wodę do zewnętrznego gaszenia pożaru;
 - 14) drogi pożarowe.
2. Dane, o których mowa w ust. 1, niezbędne do stwierdzenia zgodności rozwiązań projektu z wymaganiami ochrony przeciwpożarowej, przedstawia się w całości lub w części, w zależności od zakresu ich występowania w obiekcie budowlanym” [3].

W rozporządzeniu [3] próżno jednak szukać wymagań co do formy czy treści scenariusza, a nawet brak jest jego definicji. Czym jest zatem „scenariusz rozwoju zdarzeń w czasie pożaru”? Z kontekstu zapisu wynika, że jest on krokiem naprzód w kierunku nowej formuły warunków technicznych, ułatwiających innowacyjne projektowanie obiektów budowlanych poprzez stosowanie elastycznych przepisów. Nowa formuła warunków technicznych dla budynków, opracowana przez Instytut Techniki Budowlanej, zmierza do zbioru przepisów funkcjonalnych, a odchodzi od nakazowych. Przykładem może być zapis stanowiący, że „stosując rozwiązania inne niż określone (w rozporządzeniu) należy za pomocą obliczeń, przy użyciu metod inżynierii bezpieczeństwa pożarowego, wykazać, że w czasie potrzebnym do ewakuacji ludzi, na przejściach i drogach będą zachowane warunki, umożliwiające bezpieczną ewakuację (...)” [5]. Projekt nowego rozporządzenia zakłada dużą swobodę w projektowaniu i stosowaniu różnych konfiguracji systemów zabezpieczeń przeciwpożarowych, pod warunkiem udowodnienia ich skuteczności metodami inżynierii bezpieczeństwa pożarowego. Wynikiem tych obliczeń ma być właśnie scenariusz rozwoju zdarzeń w czasie pożaru – zbiór informacji o doborze urządzeń przeciwpożarowych w obiekcie, gwarantujący odpowiedni poziom bezpieczeństwa i współpracy tychże urządzeń. Ze scenariusza rozwoju zdarzeń w czasie pożaru

wynikać ma natomiast operat pożarowy – opis warunków ochrony przeciwpożarowej obiektu, zapewniających stan bezpieczeństwa pożarowego.

Do metod inżynierii bezpieczeństwa pożarowego zaliczają się z pewnością scenariusze pożarowe. Scenariusz pożarowy, zgodnie z PN-EN 1991-1-2:2006 EUROKOD 1, to „jakościowy opis przebiegu pożaru w czasie, podający kluczowe zdarzenia, które go charakteryzują i odróżniają od innych możliwych pożarów. Typowy scenariusz opisuje proces zapalenia i rozwoju pożaru, fazę pełnego rozwoju, fazę zaniku oraz charakteryzuje środowisko budowlane i systemy, które wpływają na przebieg pożaru” [4]. Upraszczając, norma ta definiuje scenariusze pożarowe jako krzywe zmian temperatury w czasie (krzywe nagrzewania, krzywe nominalne) lub model rozwoju pożaru w pomieszczeniu. Podsumowując: „scenariusz pożarowy” to opracowanie odnoszące się do dynamiki pożaru oraz jego oddziaływań na konstrukcję i warunki ewakuacji, zawierające wyniki przeprowadzonych symulacji komputerowych pokazujących prawdopodobny rozwój pożaru przy danych warunkach. W Polsce na chwilę obecną scenariusz pożarowy wykonywany jest sporadycznie, na przykład jako załącznik do wniosku o odstąpienie lub o wydanie warunków zamiennych lub do negocjacji z ubezpieczycielem. Po wprowadzeniu nowej formuły warunków technicznych symulacje komputerowe rozprzestrzeniania się ognia i dymu z pewnością staną się powszechniejsze, a wnioski sformułowane po wykonaniu tego rodzaju symulacji będą prowadzić do wspomnianego w rozporządzeniu [3] scenariusza rozwoju zdarzeń w czasie pożaru.

Na chwilę obecną dobór urządzeń przeciwpożarowych w obiekcie budowlanym dostosowuje się tylko do wymagań wynikających z przepisów dotyczących ochrony przeciwpożarowej. Jako aksjomat (pewnik) przyjmuje się, że spełnienie obowiązujących przepisów – wymagań ochrony przeciwpożarowej – gwarantuje zapewnienie odpowiedniej nośności konstrukcji w przypadku pożaru, ograniczenie powstawania i rozprzestrzeniania się ognia i dymu, możliwość opuszczenia obiektu przez mieszkańców lub ich uratowanie w inny sposób oraz bezpieczeństwo ekip ratowniczych. Wprawdzie zapis o doborze urządzeń przeciwpożarowych wynikających z przyjętego scenariusza rozwoju zdarzeń w czasie pożaru daje możliwość uwzględnienia w obiekcie systemów niewymaganych obligatoryjnie, jednak w praktyce nie jest to wykorzystywane. Wynika to z faktu, że każde kolejne wdrażane rozwiązanie zwiększa koszty inwestycji, a jeżeli inwestor decyduje się na zastosowanie dodatkowego systemu, to zastosuje je również bez uwzględniania w projekcie budowlanym.

Zatem w obecnych realiach scenariuszem rozwoju zdarzeń w czasie pożaru można nazwać to, co (zgodnie z intencją propozycji nowej formuły wa-

runków technicznych) powinno z niego wynikać – część operatu pożarowego obiektu opisującą zastosowane urządzenia przeciwpożarowe. Zgodnie z tą tezą, wykonanie scenariusza rozwoju zdarzeń w czasie pożaru jest wymagane dla wszystkich obiektów wymagających uzgodnienia projektu budowlanego pod względem ochrony przeciwpożarowej, czyli:

„§ 4. 1. Uzgodnienia wymagają następujące projekty budowlane:

- 1) budynku zawierającego strefę pożarową zakwalifikowaną do kategorii zagrożenia ludzi ZL I, ZL II lub ZL V;
- 2) budynku należącego do grupy wysokości: średniowysokie, wysokie lub wysokościowe, zawierającego strefę pożarową zakwalifikowaną do kategorii zagrożenia ludzi ZL III lub ZL IV;
- 3) budynku niskiego zawierającego strefę pożarową o powierzchni przekraczającej 1.000 m², zakwalifikowaną do kategorii zagrożenia ludzi ZL III, obejmującą kondygnację nadziemną inną niż pierwsza;
- 4) obiektu budowlanego innego niż budynek, przeznaczony do użyteczności publicznej lub zamieszkania zbiorowego, w którym przewiduje się możliwość jednoczesnego przebywania w strefie pożarowej ponad 50 osób na powierzchni do 2.000 m²;
- 5) budynku zawierającego strefę pożarową produkcyjną lub magazynową, wolno stojącego urządzenia technologicznego lub zbiornika poza budynkami oraz placu składowego albo wiaty, jeżeli zachodzi co najmniej jeden z następujących warunków:

- a) strefa pożarowa produkcyjna lub magazynowa wymienionych obiektów budowlanych ma powierzchnię przekraczającą 1.000 m² oraz gęstość obciążenia ogniowego przekraczającą 500 MJ/ m²,
- b) występuje zagrożenie wybuchem,
- c) strefa pożarowa produkcyjna lub magazynowa wymienionych obiektów budowlanych ma powierzchnię przekraczającą 5.000 m² i gęstość obciążenia ogniowego mniejszą niż 500 MJ/ m²;
- 6) garażu wielopoziomowego oraz garażu zamkniętego o więcej niż 10 stanowiskach postojowych;
- 7) obiektu budowlanego objętego obowiązkiem wykonania systemu sygnalizacji pożarowej, stałych urządzeń gaśniczych lub dźwiękowego systemu ostrzegawczego;
- 8) parkingu przeznaczonego dla pojazdów przewożących towary niebezpieczne;
- 9) sieci wodociągowej przeciwpożarowej z hydrantami zewnętrznymi przeciwpożarowymi, przeciwpożarowego zbiornika wodnego oraz stanowiska czerpania wody do celów przeciwpożarowych;
- 10) tunelu o długości ponad 100 m.

2. W przypadku odbudowy, rozbudowy, nadbudowy, przebudowy obiektu budowlanego oraz zmiany związanej z koniecznością zapewnienia drogi pożarowej, a także zmiany sposobu użytkowania obiektu budowlanego, o którym mowa w ust. 1, uzgodnie-

nie jest wymagane, gdy ze względu na charakter lub rozmiar robót niezbędne jest sporządzenie projektu budowlanego, którego rozwiązania projektowe dotyczą warunków ochrony przeciwpożarowej obiektu budowlanego” [3].

Biorąc pod uwagę stan obecny, uzasadnione jest porównanie scenariusza rozwoju zdarzeń w czasie pożaru do fragmentu operatu pożarowego obiektu, wymieniającego zaprojektowane w nim systemy i zabezpieczenia przeciwpożarowe. Dlatego też oczywistym staje się stwierdzenie, w zakresie których obowiązków znajduje się jego wykonanie. Zgodnie z prawem budowlanym [1] projekt budowlany może wykonać wyłącznie osoba z uprawnieniami budowlanymi do projektowania, która jest wpisana na listę członków okręgowej izby samorządu zawodowego.

Skoro autor rozporządzenia wybiegł o krok naprzód w stosunku do aktualnego stanu prawnego, warto zastanowić się, jaka formuła scenariusza rozwoju zdarzeń w czasie pożaru mogłaby na dzień dzisiejszy wnosić jakąś wartość do projektu budowlanego. Skoro nie ma praktycznej szansy na ingerencję w dobór urządzeń, to może zasadne byłoby wykorzystanie wymaganego rozporządzeniem scenariusza do zapisania w nim wymagań co do funkcjonalności poszczególnych systemów przeciwpożarowych? Taki scenariusz, nie dodając do obiektu kolejnych zabezpieczeń przeciwpożarowych, mógłby być zbiorem wskazówek dla projektantów, instalatorów, programistów poszczególnych systemów. Wystarczyłoby zawrzeć w nim główne zasady sterowania urządzeniami, wymagane do niektórych sterowań opóźnienia czasowe, zależności między wybranymi urządzeniami. Temu dokumentowi należałoby podporządkować wszystkie projekty branżowe obiektu tak, aby możliwe było zrealizowanie przewidywanego zadziałania urządzeń przeciwpożarowych i użytkowych na wypadek pożaru. Z takich zapisów wynikałyby możliwości techniczne, jakich na etapie realizacji będzie się wymagać od poszczególnych systemów, aby poprawnie zrealizować wszystkie sterowania. Tak wykonany opis funkcjonalności projektowanych systemów znajdujący się w prawie wymaganym scenariuszu rozwoju zdarzeń w czasie pożaru byłby wprowadzeniem do scenariusza rozwoju zdarzeń na wypadek pożaru i matrycy sterowań pożarowych.

2. „Scenariusz rozwoju zdarzeń na wypadek pożaru i matryca sterowań pożarowych” – realizacja wstępnych założeń zdefiniowanych na etapie projektu budowlanego

Za definicję scenariusza rozwoju zdarzeń na wypadek pożaru (zwanego dalej w skrócie „scenariuszem”), determinującego zasady sterowania

urządzeniami po wykryciu pożaru, można przyjąć stwierdzenie, że jest to ciąg zdarzeń, jaki powinien zaistnieć, jeżeli w obiekcie wykryte zostanie zagrożenie pożarowe [5]. Według J. Sawickiego celem scenariusza rozwoju zdarzeń na wypadek pożaru jest „określenie takich procedur postępowania, aby każde zdarzenie noszące znamiona pożaru zaistniałe w budynku, wykryte przez system sygnalizacji pożaru lub przez jakąkolwiek osobę przebywającą w budynku (za pomocą czujek automatycznych lub ROP), skutkowało automatycznym lub ręcznym uruchomieniem odpowiednich procedur zadziałania i współdziałania systemów oraz urządzeń przeciwpożarowych, umożliwiających uzyskanie najwyższego, możliwego do uzyskania w zaistniałej sytuacji, stanu bezpieczeństwa pożarowego budynku oraz przebywających w nim ludzi i spełnienie wymagań podstawowych związanych z bezpieczeństwem pożarowym” [6]. N. Bartkowiak podaje za cel scenariusza nieco zmodyfikowaną formę przytoczonego stwierdzenia, brzmiącą: „opis takich zasad (procedur) postępowania, aby każde zaistniałe w budynku zdarzenie noszące znamiona pożaru wykryte przez system sygnalizacji pożaru lub zgłoszone do wyznaczonej osoby dyżurnej skutkowało automatycznym lub ręcznym uruchomieniem odpowiednich procedur zadziałania i współdziałania systemów i urządzeń służących uzyskaniu wymaganego poziomu ochrony przeciwpożarowej obiektu” [7]. W celu jak najpełniejszego określenia intencji scenariusza do powyższych stwierdzeń należy jednak wprowadzić następujące korekty:

1. Każde zdarzenie noszące znamiona pożaru zaistniałe w budynku, wykryte przez system sygnalizacji pożarowej lub przez jakąkolwiek osobę przebywającą w budynku (za pomocą czujek automatycznych lub ROP), skutkować powinno wyłącznie automatycznym uruchomieniem odpowiednich procedur zadziałania i współdziałania systemów. J. Sawicki nie doprecyzował, jakie dokładnie *ręczne uruchomienie* miał na myśli. Domyślać się jedynie można, że chodzi o uruchomienie odpowiednich procedur przez osobę obsługującą centralę sygnalizacji pożarowej, w przypadku zauważenia oznak pożaru i braku ich wykrycia przez SSP – tak jak to zostało doprecyzowane w przytoczonym fragmencie artykułu N. Bartkowiaka. Tylko jak w praktyce miałyby to wyglądać? W pomieszczeniu ochrony musiałby zostać zainstalowane ręczne ostrzegacze pożarowe w liczbie odpowiadającej liczbie stref pożarowych budynku. Każdy ROP musiałby zostać dokładnie zaprogramowany i opisany – jaką strefę uruchamia. Wtedy, jeżeli pożar z jakichś powodów nie zostałby wykryty przez czujkę automatyczną i nie został zgłoszony przez ROP, a na przykład zostałby zauważony na obrazie z kamery przez pracownika ochrony – poprzez wciśnie-

cie odpowiedniego ręcznego ostrzegacza pożarowego osoba ta mogłaby wszcząć alarm pożarowy ze wszystkimi jego konsekwencjami. Praktyka jednak jest taka, że przeciętny pracownik ochrony unika jakiegokolwiek kontaktu z centralą sygnalizacji pożarowej. Świadczy o tym chociażby ilość wyjazdów jednostek ratowniczo-gaśniczych PSP do wezwań z monitoringu pożarowego, będących nieskasowanymi przez ochronę alarmami pierwszego stopnia. W związku z tym, że „standardowa obsługa” centrali sprawia taki kłopot, to czy jest sens wymagać jeszcze więcej? Poza tym – czy pracownicy ochrony wzięliby na siebie odpowiedzialność za wywołanie alarmu pożarowego (nawet w dobrej wierze) na przykład w centrum handlowym? Odpowiedź na powyższe pytania brzmi: nie. Autorom zapewne mocno zapadło w pamięć powiedzenie: „wszystko, co może się nie udać, nie uda się na pewno”, i dla pewności proponują dodanie ochroniarzom kilku (a może nawet kilkunastu, kilkudziesięciu?) przycisków. Takie działanie miałyoby skutek odwrotny. Należy pogodzić się z pewnym poziomem ryzyka, że czujka nie zadziała, ale jednocześnie dbać, aby poziom ten był jak najniższy. Nie ulega jednak wątpliwości, że najpewniejsza reakcja na alarm to automatyczna reakcja, której nie towarzyszy stres, zawodna pamięć, ani gorsza danego dnia percepcja.

2. W podanym przez J. Sawickiego zakresie oddziaływania scenariusza nie podkreślono konieczności uruchomienia odpowiednich procedur zadziałania/współdziałania systemów innych niż przeciwpożarowe. Przewidziane algorytmy sterować mają nie tylko systemami przeciwpożarowymi, ale również użytkowymi zastosowanymi w obiekcie. Dlaczego? Trudno bowiem wyobrazić sobie ewakuację z budynku biurowego, którego scenariusz rozwoju zdarzeń na wypadek pożaru nie przewiduje zwolnienia kontroli dostępu drzwi na drogach ewakuacyjnych lub nie uwzględnia wyłączenia bytowej wentylacji mechanicznej – choć zarówno system kontroli dostępu, jak i wentylacja bytowa nie są urządzeniami przeciwpożarowymi, to mają wpływ na warunki bezpiecznej ewakuacji. Niemożliwym byłoby „uzyskanie najwyższego, możliwego do uzyskania w zaistniałej sytuacji, stanu bezpieczeństwa pożarowego budynku oraz przebywających w nim ludzi i spełnienie wymagań podstawowych związanych z bezpieczeństwem pożarowym” [6], bez uwzględnienia sterowania elementami instalacji użytkowych.

W jakich obiektach wymagane jest sporządzanie scenariusza rozwoju zdarzeń na wypadek pożaru? Podążając za przyjętą definicją stanowiącą, że jest to ciąg zdarzeń, jaki powinien zaistnieć, jeżeli w obiekcie, poprzez system sygnalizacji pożaru (automatycznie lub ręcznie), wykryte zostanie zagro-

żenie pożarowe – oczywistym wydaje się, że opracowanie scenariusza rozwoju zdarzeń na wypadek pożaru konieczne jest w obiektach wyposażonych w SSP. Nie ma natomiast znaczenia, czy obiekt został wyposażony w system sygnalizacji pożarowej na podstawie obligatoryjnego wymogu rozporządzenia o ochronie przeciwpożarowej budynków [8], czy system zastosowano jako rozwiązanie zastępcze [9], lub też wykonano go dobrowolnie.

Miejsce scenariusza wraz z matrycą sterowań pożarowych, teoretycznie, znajduje się w projekcie systemu sygnalizacji pożarowej. Czasem znaleźć można jego cząstkowe ślady w rozdziałach zatytułowanych „Współpraca systemu sygnalizacji pożarowej z innymi instalacjami” lub „Opis współdziałania SSP z innymi instalacjami przeciwpożarowymi i użytkowymi”. Przykład takiego prostego opisu, który znalazł się w projekcie systemu sygnalizacji pożarowej, przytoczono w Tabeli 1.

Autorzy projektów SSP często dodają pod taką tabelą stwierdzenie: „Uwaga, szczegółowe przypisanie elementów sterowanych zostanie zrealizowane przy pomocy matrycy sterowań »Scenariusza

rozwoju zdarzeń na wypadek pożaru«, który będzie stanowił oddzielne opracowanie.” Tym samym zrzekają się odpowiedzialności za wykonanie scenariusza i matrycy.

Właściwy scenariusz rozwoju zdarzeń na wypadek pożaru wraz z matrycą sterowań powinien zintegrować działanie następujących systemów/urządzeń (jeśli będą występować w obiekcie):

- wentylatory nawiewne
- wentylatory wywiewne
- drzwi, bramy przeciwpożarowe i inne zamknięcia przeciwpożarowe
- przeciwpożarowe klapy odcinające i zawory przeciwpożarowe
- klapy przeciwpożarowe oddymiające
- kurtyny dymowe
- kurtyny przeciwpożarowe
- wentylatory napowietrzające klatki schodowe
- wentylatory napowietrzające przedsionki przeciwpożarowe
- wentylatory napowietrzające szyby windowe
- okna i drzwi napowietrzające
- drzwi przesuwne (ewakuacyjne)
- pompy instalacji przeciwpożarowych

Tabela 1.

Współpraca systemu sygnalizacji pożarowej z innymi instalacjami
– opis mogący znaleźć się w projekcie SSP; źródło: opracowanie własne

Table 1.

Cooperation fire alarm system with other installations
– description in fire alarm design; source: own elaboration

Lp.	Adres elementu kontrolno-sterującego	Realizowana funkcja	Kryterium wystereowania
1	Wyjście przekaźnikowe PK1, PK2	Transmisja alarmu do PSP	Alarm II stopnia ogólny
2	EKS 1/84	Sterowanie rozsuwanymi drzwiami wyjściowymi w holu głównym na parterze budynku – po wykryciu pożaru drzwi wyjściowe zostaną otwarte i pozostaną w tej pozycji	Alarm II stopnia ogólny
3	EKS 5/40 EKS 5/68	Sterowanie dźwigami osobowymi po wykryciu pożaru – dźwigi osobowe zajmują pozycję na parterze i tam pozostają	Alarm II stopnia ogólny
4	EKS 2/42, EKS 2/28, EKS 3/43, EKS 3/28, EKS 4/42, EKS 4/28, EKS 5/45, EKS 5/28	Zamknięcie drzwi dymoszczelnych normalnie otwartych w korytarzach	Alarm I stopnia ogólny
5	EKS 1/4	Wyłączenie wentylacji bytowej	Alarm II stopnia ogólny
6	EKS 1/5	Zamknięcie przeciwpożarowych klap odcinających	Alarm II stopnia ogólny
7	LS	Uruchomienie sygnalizatorów optyczno-akustycznych	Alarm II stopnia ogólny
8	EKS 5/52, EKS 5/41	Otwarcie klap dymowych na klatkach schodowych	Alarm I stopnia od czujek na danej klatce schodowej

- stałe urządzenia gaśnicze (wodne, gazowe, aerolowe, pianowe)
- półstałe urządzenia gaśnicze
- urządzenia zabezpieczające
- urządzenia inertyzujące
- sygnalizatory optyczno-akustyczne
- urządzenia transmisji alarmów pożarowych (UTA)
- instalacje oświetlenia ewakuacyjnego
- dźwiękowe systemy ostrzegawcze
- dźwigi osobowe, towarowe
- dźwigi dla ekip ratowniczych
- schody i pochylnie ruchome
- instalacje wentylacji mechanicznej bytowej
- elektroztrzymacze drzwi przeciwpożarowych
- siłowniki odcinające wodę na przyłączy wodociągowym
- szlabany na drogach pożarowych i dojazdowych do budynku
- sygnalizatory ostrzegawcze – na przykład informujące o zakazie wjeżdżania na parking, czy sygnalizatory przy wejściu do budynku
- kontrola dostępu drzwi znajdujących się na drogach ewakuacyjnych
- nagłośnienie lokalne
- systemy aktywnego oznakowania ewakuacyjnego²

Powyższa dość rozbudowana lista systemów, których współpracę należy zorganizować w scenariuszu rozwoju zdarzeń na wypadek pożaru, jest z pewnością głównym powodem, dla którego projektanci systemów sygnalizacji pożarowej nie podejmują się opracowania scenariusza. Trudno się dziwić – na osobach odpowiedzialnych za opracowanie scenariusza rozwoju zdarzeń na wypadek pożaru spoczywa ogromna odpowiedzialność. To właśnie od ich interdyscyplinarnej wiedzy o sterowanych urządzeniach i możliwych interakcjach między nimi zależy sprawne poprowadzenie ewakuacji ludzi z obiektu w razie wystąpienia alarmu pożarowego. Projektanci SSP nie muszą posiadać wykształcenia w zakresie inżynierii bezpieczeństwa pożarowego i znać tajników ochrony przeciwpożarowej. Osoby te najczęściej posiadają wykształcenie obejmujące takie dziedziny jak automatyka, elektronika i telekomunikacja. Praktyka pokazuje, że scenariusze rozwoju zdarzeń na wypadek pożaru oraz matryce sterowań zleca się jako oddzielne opracowanie rzeczoznawcom do spraw zabezpieczeń przeciwpożarowych, rzadziej – specjalistom ochrony przeciwpożarowej, z obowiązkowym uzgodnieniem rzeczoznawcy. Uzgodnienie scenariusza z matrycą przez rzeczoznawcę do spraw zabezpieczeń przeciwpożarowych, mimo iż nie jest wymagane żadnym zapisem rozporządzenia w sprawie uzgadnia-

nia projektu budowlanego pod względem ochrony przeciwpożarowej [3], daje gwarancję poprawności przyjętych zasad ewakuacji ludzi i ochrony budynku przed pożarem.

3. Podsumowanie

W nomenklaturze rozporządzeń, norm oraz w branżowej mowie brak jest jednoznaczności. „Scenariusz rozwoju zdarzeń na wypadek pożaru” w powszechnym rozumieniu nie przystaje do tego wymienionego w rozporządzeniu; a określenie „scenariusz pożarowy”, będące często używanym skrótem „scenariusza rozwoju zdarzeń na wypadek pożaru” w istocie oznacza coś zupełnie innego.

Koniecznym jest prawne zdefiniowanie scenariusza rozwoju zdarzeń na wypadek pożaru oraz wszystkich zagadnień z nim powiązanych, czyli wskazanie osób odpowiedzialnych za jego wykonanie, miejsca tego opracowania, zakresu zagadnień, jaki obejmuje, i wytycznych do jego opracowywania.

Literatura

1. Dyrektywa Rady 89/106/EWG z dnia 21 grudnia 1988 w sprawie zbliżenia przepisów prawnych i administracyjnych państw członkowskich dotyczących wyrobów budowlanych.
2. Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane (Dz. U. 1994 nr 89 poz. 414 ze zmianami).
3. Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 16 czerwca 2003 r. w sprawie uzgadniania projektu budowlanego pod względem ochrony przeciwpożarowej (Dz. U. 2003 nr 121 poz. 1137 ze zmianami).
4. PN-EN 1991-1-2:2006 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje – Część 1-2: Oddziaływania ogólne – Oddziaływania na konstrukcje w warunkach pożaru Propozycja nowych warunków technicznych dla budynków.
5. Marciniak A., *Scenariusz rozwoju zdarzeń w czasie pożaru jako podstawowy element skuteczności zabezpieczenia budynku*, Materiały VII Konferencji „Bezpieczeństwo Pożarowe Obiektów Budowlanych” – Warszawa 2012.
6. Sawicki J., *Integracja systemów bezpieczeństwa w obiektach budowlanych*, Konferencja Ogólnopolskie Dni Zintegrowanych Systemów Bezpieczeństwa Pożarowego – Schrack Seconet i Partnerzy 2012.
7. Bartkowiak N., *Scenariusze pożarowe*, „Ochrona Przeciwpożarowa”, 1/2012 (39), 2-7.
8. Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz.U.2010 nr 109 poz. 719).
9. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki

² Aktywne oznakowanie ewakuacyjne, system inteligentnej ewakuacji, Dynamic Escape Routing System (D.E.R.) – system opracowany z zintegrowaną matrycą LED (firmy INOTEC Sicherheitstechnik GmbH)

i ich usytuowanie (Dz. U. 2002 nr 75 poz. 690 ze zmianami).

inż. Iza Bella – absolwentka Wydziału Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego Szkoły Głównej Służby Pożarniczej, pracownik Zespołu Laboratoriów Technicznego Wyposażenia Straży Pożarnej i Technicznych Zabezpieczeń Przeciwpowodziowych w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpowodziowej im. Józefa Tuliszkowskiego – Państwowym Instytucie Badawczym.

prof. **Jesús Ignacio MARTÍNEZ PARICIO**¹

LOS TÚNELES DE LA CALLE M-30 DE MADRID. CARACTERÍSTICAS²

Street tunnel Madrid M-30: characteristics

Sumario

La *Calle M-30* es una calle peculiar en la ciudad de Madrid. La M-30 se trata de una vía de circunvalación de la ciudad. Una parte de su trazado, la *Calle M-30*, se encuentra soterrada, en el subsuelo. La *Calle M-30* es un túnel. Desde el primer momento su construcción fue polémica. Exigió encontrar soluciones de construcción nada fáciles. En la actualidad se ha convertido en una vía de alta densidad de tráfico. Por su trazado, diferente en cada uno de sus tramos, y la densidad de tráfico exigieron el diseño de un sistema de seguridad muy riguroso. Se da cuenta de las características de esta calle.

Summary

The Street M-30 is a "unique" street in the city of Madrid. The M-30 is a ring road of the city. A part of its layout, the Street M-30 is buried in the basement. The Street M-30 is a tunnel. The construction was controversial. Construction demanded solutions are not easy. At present is in a pathway of high traffic density. By its design, different in each of its sections, traffic density and the design demanded a very rigorous security system. In this article realizes the characteristics of this street.

Palabras clave: túnel, características técnicas, sistemas de seguridad;

Keywords: tunnel, technical characteristics, security systems;

Introducción

Un río siempre termina por dividir la ciudad que la cruza. Ocurre lo mismo cuando se trata del trazado del ferrocarril. Los ferrocarriles siempre se diseñaron, en sus comienzos, de manera que llegaran hasta el centro de la ciudad. El nuevo estilo de vida, el propio de las sociedades que han llegado tarde al desarrollo y a la modernización social, exige contar con una alta densidad de transporte público de superficie al que se acompaña un parque móvil creciente.

Ante la imposibilidad de alterar la trama urbana histórica para mantener la movilidad propia de la sociedad moderna se necesita contar con vías de comunicación que eviten cruzar la ciudad y, al tiempo, soporten altas densidades de tráfico donde puedan desarrollarse velocidades de cruce significativas. La solución se ha encontrado en los anillos de circunvalación que se van trazando conforme surgen nuevas necesidades en la gestión del tráfico, y la ciudad crece.

Cada una a su manera tanto los ríos, como las vías de comunicación son otras tantas barreras que rompen la continuidad de la trama urbana. Los puentes tratan de resolver el problema de la comunicación entre las partes separadas de la ciudad. En estos casos no resulta fácil diseñar un plan de comunicaciones que permitan recuperar la fluidez del tránsito entre los espacios segregados. En algunos casos el diseño de ese plan se aproxima a un objetivo imposible. En términos matemáticos quedó demostrada esta dificultad por Leonhard Euler en el *problema de los puentes de Königsberg*. Una circulación fluida, sin interferencias, ni cruces en los trayectos de las personas y de los vehículos en una ciudad con un número determinado de puentes resulta imposible.

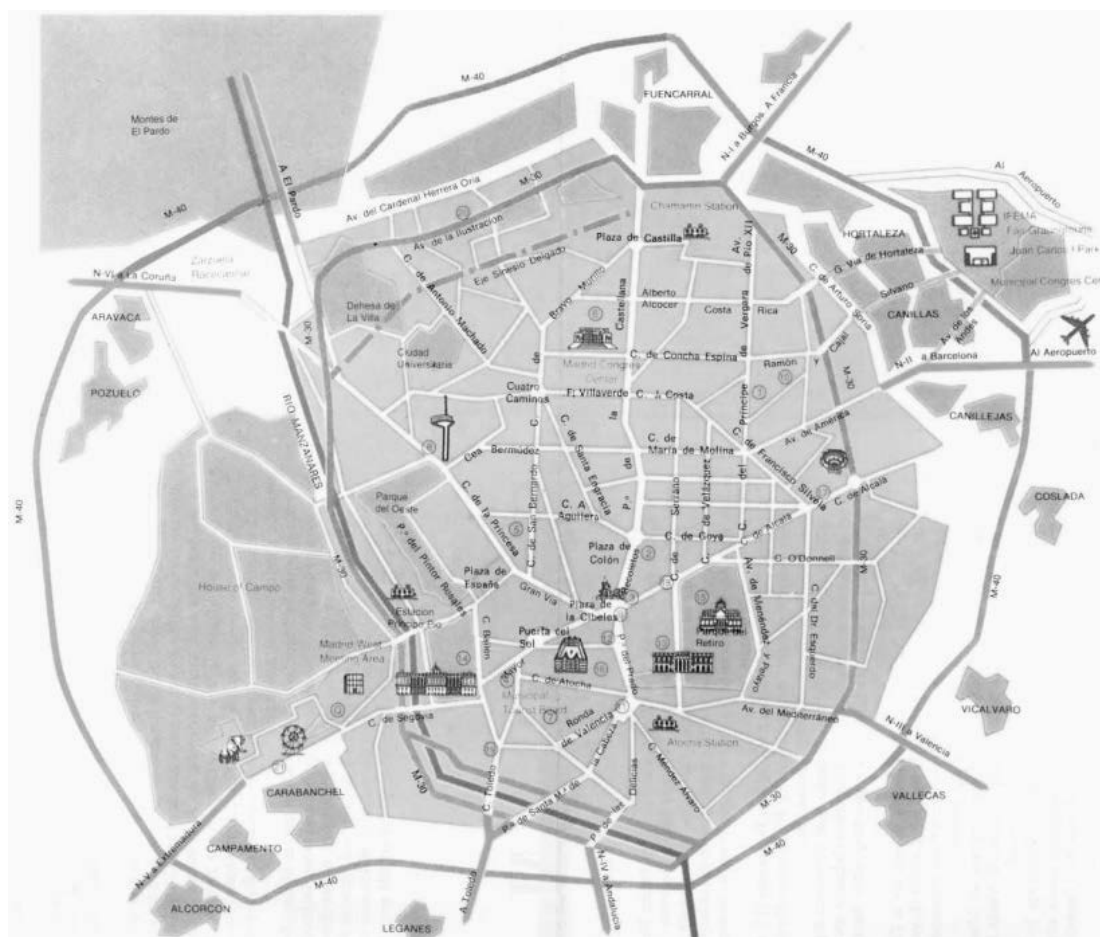
1. La solución

La solución que se ha encontrado para vertebrar de nuevo el espacio urbano, siempre costosa, ha sido la de soterrar las vías de ferrocarril, o las vías de comunicación de alta densidad de tráfico. Los espacios ganados, liberados de la circulación de coches y trenes se convierten en zonas ajardinadas y vías peatonales.

En Madrid, el río Manzanares, de acuerdo con datos históricos siempre se ha caracterizado por soportar un caudal de agua reducido y a pesar de esta

¹ Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Políticas y Sociología, Campus de Somosaguas, 28223 Madrid, España; jeimarti@cps.ucm.es;

² Agradezco al Cuerpo de Bomberos del Ayuntamiento de Madrid y a un antiguo alumno de la Facultad, bombero de profesión, las facilidades que me han dado para redactar estas páginas.



Gráf. 1. El mapa de Madrid con los tres anillos

Fig. 1. The map of Madrid with three rings

carencia fue el límite que dividió el núcleo central de la ciudad y el suroeste de la ciudad de Madrid. Desde siempre allí se localizaron las actividades industriales pesadas y contaminantes. La justificación medioambiental se justifica por el régimen de vientos y la dirección de las aguas del río. Se trataba de evitar la contaminación de los espacios residenciales. Más tarde fue uno de los espacios donde se crearon barrios para los inmigrantes que llegaron a la ciudad a partir de los años cincuenta.

El crecimiento de la vida urbana de Madrid exigió diseñar una nueva vía de circunvalación conocida como la M-30. La M-30 era el tercer cinturón de circulación de la ciudad. Los cinturones uno y dos se encuentran en el interior de la ciudad³. El primer se

corresponde con el límite histórico de lo que fue la ciudad antigua de Madrid. El segundo cinturón supuso el desplazamiento del límite de la ciudad tras realizarse el ensanche a finales del siglo XIX. Se planteó siguiendo el modelo urbanístico de París. Barcelona y Madrid sirvieron de modelos a otras ciudades españolas en el comienzo de la industrialización.

Después de la M-30 se han trazado otros tres más: M-40, M-45 y M-50. El objetivo siempre fue y ha sido el de evitar en lo posible que los vehículos privados y el transporte pesado tuvieran que entrar y cruzar la ciudad de Madrid. Hay que considerar que el trazado de las vías de comunicación en España se diseñó siguiendo el modelo radial donde Madrid es el centro, el punto kilométrico cero que se sitúa en la Puerta del Sol.

El primer esbozo de un tercer anillo de circunvalación se remonta a final de los años veinte del siglo pasado. Hasta 1970 no comenzó la obra que terminó siendo la M-30 y se concluyó en 1974. La titularidad administrativa de esta vía, tanto su construcción, como su mantenimiento era del Estado y se gestionada por el Ministerio de Obras Públicas.

³ El primer cinturón, M-10 en la terminología moderna, corresponde a la *cerca de Felipe IV*. Se construyó en 1625 y se derribó en 1868. Su finalidad no era defensiva. Se trataba de forzar el paso por puertas y *portillos* tanto a las personas como a los productos que se consumían en la ciudad. La finalidad de la cerca no era otra que hacer pagar el tributo correspondiente para entrar en la ciudad. El segundo cinturón, M-20, corresponde a los límites del *ensanche de Madrid* siguiendo el modelo de París. Su trazado corresponde a finales del siglo XIX y principios del XX. En el mapa que se adjunta no se percibe con claridad

el primer anillo pues se corresponde con el trazado urbano histórico.

Ante las fuertes inversiones que se estimaron para la realización del proyecto se constituyó una empresa mixta para la promoción, construcción y gestión del mantenimiento futuro de la *Calle M-30*. Lo de *calle* no deja de ser un uso peculiar de la expresión. No es una calle en el sentido estricto de término: es un túnel donde los peatones no pueden circular ya que está prohibido y tampoco hay espacio para andar en condiciones normales.

De nuevo surgió la polémica y el proyecto se debatió con intensidad entre todos los grupos políticos y en todos los medios de comunicación. Como en otras ocasiones las cuestiones técnicas quedaron relegadas a un segundo plano politizándose la pro-

La nueva *Calle M-30* de la ciudad de Madrid fue planteada en dos acciones igual de ambiciosas las dos. Por un lado se trataba de ocultar, soterrar, una vía de intensa circulación que se encontraba a pocos metros de las viviendas. Sus habitantes, además de quedar segregados del resto de la ciudad, se veían afectados por la fuerte contaminación acústica y atmosférica. La segunda actuación del proyecto de soterramiento de la Calle M-30 se planteó como *Parque Madrid Río*. En este caso se planteaba convertir las vías de superficie ganadas a la circulación para transformarlas en zonas peatonales, para uso lúdico y deportivo, y todas ellas ajardinadas.



Gráf. 2. Planos de la recuperación de la zona
Fig. 2. Recovery plans of the zone

El análisis de una obra tan importante se puede plantear desde enfoques diferentes. Por un lado la confrontación entre la autoridad municipal que la propuso y la respuesta, lógica en unos casos e interesada en otros, de los grupos políticos de muy diferente origen y razón de ser. Disputas que en ningún caso trataban de los efectos probables, deseables o no de la obra, como de utilizar la obra como punto de partida para el desgaste político del gobierno de la ciudad. Por supuesto, el equipo de gobierno utilizaba la obra en el sentido contrario. Reafirmaban su condición de equipo eficiente frente a la oposición. Otra consideración en el análisis de la nueva calle podría ser la consideración de los procesos judiciales que se siguieron hasta llegar a la situación paradójica de concluir con la sentencia firme de que la obra debía ser paralizada cuando toda la obra ya había sido inaugurada.

No estaría de más analizar el impacto de la obra sobre la revalorización de las viviendas y las actividades mercantiles de la zona tras la inauguración del *Parque Madrid Río*. En la candidatura de Madrid para ser la sede de los Juegos Olímpicos siempre se ha presentado este lugar como un aval más de la calidad de la candidatura.

La remodelación del espacio por el que discurre el trazado la *Calle M-30* y el parque que se ha creado en su superficie se está convirtiendo en una atracción importante de los ciudadanos residentes en otras zonas de Madrid. Se están creando nuevas formas del uso de este suelo desconocido para la mayoría y degradado hasta no hace tanto tiempo. Están surgiendo actividades deportivas, de paseo o de encuentro para grupos de inmigrantes.

También habrá que considerar cómo están cambiando los comportamientos de los ciudadanos de la zona. En algún momento se han llegado a considerar liberados por fin de las barreras físicas que se interponían entre ellos y la circulación.

No todo son alabanzas a la obra. Se mantienen algunas quejas sobre los problemas que plantea la salida de humos y aire contaminado por los vehículos que circulan por el soterramiento.

3. El coste económico

Por supuesto, proyecto tan ambicioso exige realizar otros análisis con enfoques diferentes. Por un lado todo lo que se refiere a los costes económicos

directos que ha supuesto la obra, así como la carga financiera que supone a los futuros presupuestos municipales para hacer frente a los compromisos adquiridos y a los que, razonablemente, tendrán que seguir haciendo frente las generaciones futuras. En este apartado económico deberá tener un capítulo especial el análisis de las desviaciones presupuestarias tanto para concluir el proyecto, como para su mantenimiento y amortización de la deuda contraída. Por lo pronto, el Ayuntamiento ha tenido que reconocer una desviación del 19% en el presupuesto inicial de la obra. Una exigencia básica para poder realizar este análisis es la de contar con la disponibilidad total y la total transparencia de las cantidades que supone el proyecto y el mantenimiento posterior de la obra ya realizada. Algunas cifras existen, pero se admite por todos que no son las cifras totales. Hasta este momento no resulta fácil disponer de esta información.

La *Calle M-30* ha sido el resultado de cuatro grandes actuaciones en cada uno de los cuatro sectores en los que se dividieron el tramo Suroeste de la vía de circunvalación M-30. Cada una de estas cuatro actuaciones dio paso a 19 subproyectos. Las cifras oficiales de costes, cifras presupuestadas y conocidas para llevar a cabo la totalidad de lo programado fueron importantes. Las cifras que se presentan a continuación, cantidades conocidas hay que insistir en ello, corresponden a miles de euros.

No es menos importante el estudio de los modos que se siguieron para la gestión del proyecto, la construcción y su mantenimiento posterior. La concesión al consorcio de empresas que se formó para construir y mantener la obra ha sido de 35 años.

En el caso de la *Calle M-30* se decidió actuar bajo principios administrativos de carácter mixto creando una nueva empresa y con objetivo específico de capital público-privado. En términos teóricos el modelo de empresa que se creó era además de adecuado, así quedó justificado en la redacción del proyecto, el único que permitía hacer frente a tamaño empresa. Permitía a la administración municipal, por gestión indirecta, hacer frente a la construcción, mantenimiento y uso de una infraestructura cuyos costes se situaban muy por encima de las posibilidades presupuestarias del municipio de Madrid. El Ayuntamiento reconocía así que por sí mismo no podía hacer frente a la obra, ni tampoco se podía so-

Tabla 1.

El coste de la construcción

Table 1.

The cost of construction

Proyectos	Asistencia Técnica			TOTAL
	Redacción de proyectos	Inspección y vigilancia	Control de calidad	
3.833.646,02	15.990,49	76.672,92	38.336,46	3.964.645,89

* Fuente: *Elaboración propia a partir de la información suministrada en los Plenos del Ayuntamiento de Madrid/*
Source: *Compilation based on information supplied by the Madrid Assembly.*

licitar la participación del Estado, en este caso del Ministerio de Fomento, antiguo Ministerio de Obras Públicas.

Como paso previo al planteamiento de esta iniciativa se había producido, años antes, la cesión del viario de la M-30 por parte del Estado al Ayuntamiento de Madrid. Mediante la constitución de la empresa mixta el Ayuntamiento compraba los servicios de una infraestructura viaria que iba a realizar una empresa privada. El tamaño de la obra era tan importante que en realidad se tuvo que crear un consorcio con las dos empresas más poderosas del sector de la construcción en España. Este consorcio se comprometía a construir un bien considerado necesario, con unas calidades determinadas y en un plazo establecido. La empresa aportaba su experiencia y conocimientos sobre la manera de llevar a cabo la obra y corría con los riesgos inherentes de toda actividad productiva. El Ayuntamiento abonaría el coste de la obra. De esta manera se actuaba, en principio, de acuerdo con las normas propias que rigen las leyes del mercado.

Los críticos al proyecto siguen insistiendo que la opacidad ha sido una de las características que se ha mantenido desde el primer momento en el que se propuso el proyecto de la *Calle M-30*. Las diferentes fases de la construcción no fueron capaces de aumentar la transparencia. La situación se ha mantenido hasta el último momento de su inauguración. Esa opacidad, se dice, sigue manteniéndose en la actualidad una vez que se da por concluida la obra.

Para hacer frente a los costes se planteó una estructura financiera típica en este tipo de actuaciones caracterizada por dos porcentajes: 80% - 20%. La financiación se realizó con un 80% de endeudamiento y un 20% con recursos propios. Los recursos propios se obtuvieron en un 80% por aportación de los socios y un 20% con un préstamo subordinado. El accionariado del consorcio se constituyó con el 80% del accionariado representando al Ayuntamiento de Madrid y el 20% con presencia de accionistas privados.

Este tipo de distribución ha caracterizado la estructura financiera de las principales y más costosas infraestructuras que se han llevado a cabo en España. El sistema es arriesgado pues si las expectativas de beneficios, en el caso de las autopistas de peaje por ejemplo, no se alcanzan y las pérdidas se mantienen a lo largo del tiempo que dura la concesión, las pérdidas se socializan y se terminan pagando con cargo al endeudamiento público sea de los ayuntamientos, de las comunidades autónomas, o del propio Estado.

Se podría seguir con otros enfoques de la obra. En este caso habría que considerar los aspectos técnicos de los distintos procesos de construcción, perforación, anclajes, encofrados, o la instalación de redes de diferentes servicios. Se tienen en cuenta, en esta ocasión y en este lugar por razones obvias los

aspectos técnicos que condicionan el plan de intervención ante un posible siniestro.

4. Los rasgos principales

Por supuesto, la razón de ser y el interés de estas páginas se centran en todo lo que tiene que ver con los elementos de seguridad que la garantizan y en los planes de actuación en los casos de que se produzca un siniestro.

El diseño del plan pasivo de seguridad parte de una evidencia. La *Calle M-30* en realidad es una red de túneles cuya longitud total es de 42 kilómetros. Cifra que corresponde a los 12 kilómetros de ida y otros tantos de retorno, a los que hay que sumar los 18 kilómetros de ramales y nudos que facilitan la interconexión de las trayectorias de circulación, así como las salidas y entradas del túnel. La longitud total de carreteras es de 383 kilómetros/carril.

La *Calle M-30* queda dividida en tres tramos diferenciados por las condiciones topográficas y las exigencias de su trazado y construcción. La primera corresponde a la Zona del Río (Manzanares); la segunda al Paseo de Extremadura (conecta con la autovía de Extremadura), y la tercera y más compleja, el By-Pass Sur (conecta con las autovías de Toledo, Andalucía, y Valencia, y con la prolongación de la M-30).

En la construcción de los túneles de la *Calle M-30* se emplearon dos procedimientos. El de mayor trazado fue a cielo abierto, con falso techo y paneles laterales. El más complejo, si es que el anterior no lo fue, se realizó con excavación mediante dos tuneladoras del tipo TBM (Tunnel Boring Machine) construidas ex profeso para esta labor. Una se fabricó en Japón (Mitsubishi), y la segunda en Alemania (Harrenknecht). El montaje final se realizó en España. Como datos más significativos de cada una de ellas se pueden citar que superaban las 4.000 toneladas; con más de 12.000 Kw. de potencia; con un diámetro de 15,2 metros, y un coste próximo a 45 millones de euros.



Gráf. 3. Vista del interior
Fig. 3. Interior view

Se señalan algunos datos que caracterizan la construcción de cada uno de los tramos de la peculiar *Calle M-30*.

- Zona Río. Discurre paralela al río Manzanares. Los dos tubos del túnel bordean, por debajo, el cauce del río. Tiene una longitud de 24,9 kilómetros. 360 metros se construyeron con tuneladora y 24,6 kilómetros con falso techo. Este tramo tiene, según las zonas, entre 4 y 6 carriles. La profundidad del trazado es de 8 a 9 metros.
- Zona del Paseo de Extremadura. Se trata de un tubo de falso techo de 1,3 kilómetros. Cuatro carriles por sentido. La peculiaridad de este tramo es que sobre los túneles se ha construido un aparcamiento de uso público.
- Zona By-Pass Sur. Se considera como la actuación más compleja. Trazado de tres tubos, en algunas zonas se superponen dos de ellos. Su longitud es de algo más de cuatro kilómetros construidos con tuneladora, y poco más de seis kilómetros de construcción de falso techo. Con tres o cuatro carriles por sentido. La profundidad de algunos tramos llega a los 70 metros.

5. Los sistemas de seguridad y de protección contra los incendios

La *Calle M-30* no deja de ser una calle peculiar de la ciudad de Madrid: está soterrada. Se trata de un túnel con alta densidad de tráfico y de manera significativa en las *horas punta*, las de entrada y salida al trabajo. La velocidad está limitada en la mayor parte de su longitud a 70 Km. / hora, y a 50 Km. / hora en determinados giros, incorporaciones y salidas del túnel. El plan de seguridad trata de reducir el riesgo probable de accidente entre y de vehículos. Hay que añadir a los riesgos inherentes a la circulación en la *Calle M-30*, el mal funcionamiento por causas diversas de alguno de los elementos que forman sus mecanismos de producción y distribución de las diferentes fuentes de energía. También se contemplan los riesgos indirectos por accidentes o averías fuera del túnel (inundaciones, interrupciones en las salidas) que terminan incidiendo en su funcionamiento normal. No se debe olvidar el riesgo de posibles atentados terroristas contra el túnel, sus servicios y servidumbres, o contra el tránsito, así como contra algunos de los servicios de distribución sensibles que tienen que ver con los distintos medios de la comunicación que existen en el túnel. Otro posible riesgo indirecto a la *Calle M-30* es el que se puede producir en el aparcamiento público que se ha localizado encima de uno de sus túneles.

De todos los riesgos posibles, el incendio es uno sobre los que se trabaja con mayor insistencia. En cualquier caso siempre se tiene en cuenta evitar y reducir los efectos de los siniestros de evolución y, por

supuesto, actuando sobre las personas, al tiempo que se actúa sobre las infraestructuras.

Los protocolos en caso de siniestro son los básicos: actuar con medios específicos; reaccionar en el menor tiempo posible, y actuar de manera rápida, segura y eficaz. Estos protocolos genéricos se han adaptado a las peculiaridades de cada uno de los tramos de la *Calle M-30*.

- Zona Río. Son dos túneles paralelos al río Manzanares que queda en el centro. Su construcción fue realizada a cielo abierto. De perfil rectangular y con pantallas laterales. No hay comunicación posible entre los dos túneles. Cuenta con cuatro carriles de rodadura a los que se añaden uno o dos en determinadas entradas y salidas del túnel. En algunos tramos se superponen los túneles. Las salidas de emergencia se sitúan cada 100 metros y terminan en la zona ajardinada que se ha creado. Las salidas de emergencia de los carriles de circulación se realizan a vestíbulos presurizados que dan paso a las escaleras de evacuación que conducen al exterior. Las trampillas que conectan las escaleras con el exterior se pueden abrir desde el centro de control, o mediante pulsadores en algunos de los tramos de las escaleras. En el exterior existen unas arquetas que permiten la apertura de las trampillas de salida mediante llaves que se encuentran en posesión de los servicios de auxilio.



Gráf. 4. El plano de la Zona Río
Fig. 4. The plane of the Area Río

- Zona Paseo de Extremadura. El tramo corresponde a dos túneles paralelos, uno por sentido de circulación, de sección rectangular, falso techo y pantallas laterales. La particularidad de este trazado es que por encima de los túneles se ha construido un aparcamiento público. Entre los dos túneles existen portones que permiten la comunicación y evacuación. Los portones separan los dos sentidos de circulación. Para evitar los riesgos de atropello los portones se abren desde el centro de control, o por los servicios de emergencia. Las

salidas de emergencia son semejantes a las de la Zona Río aunque más profundas.



Gráf. 5. El plano de la Zona Paseo de Extremadura
Fig. 5. The plane of the Area Paseo de Extremadura

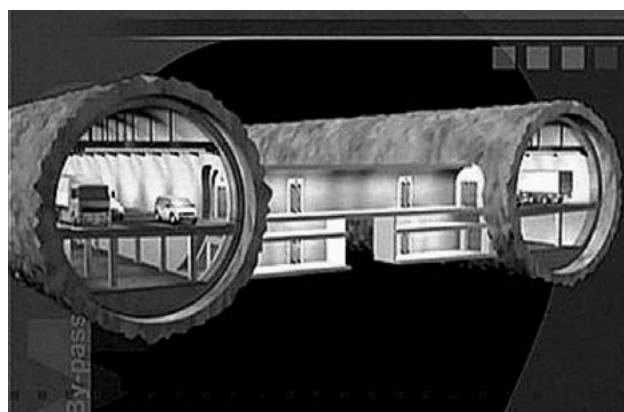
- Zona By-Pass Sur. El trazado se realizó con tune-ladoras. Su perfil es circular. Discurre, como me-dia, a 70 metros de profundidad. Dispone de siete salidas de emergencia a la superficie. La sección circular facilitó la construcción de un carril infe-rior al carril de la circulación viaria que está des-tinado exclusivamente para uso de los vehículos de ayuda y los servicios de emergencia. Están con-nectados entre sí por galerías que sirven de eva-cuación.



Gráf. 6. El plano de la Zona By-Pass
Fig. 6. The plane of the Area Zona By-Pass

Dada la profundidad del trazado, además de las salidas a la superficie, cada 600 metros existen sali-das de emergencia al carril inferior conectado a su vez con los carriles de circulación en el sentido con-trario. Una de cada tres de estas salidas de emergen-cia permite la circulación de vehículos de emergen-cia que de esta manera se pueden desplazar de un tú-nel al otro de manera que se puede actuar en el senti-do contrario al de la circulación del túnel. Cada 100

metros existen salidas de emergencia para el perso-nal de ayuda comunicando el nivel de emergencia con el de rodadura.



Gráf. 7. Tuneles de la M-30 con las salidas de emergencia

Fig. 7. Tunnels of the M-30 with emergency exits

La información y control de esta red viaria pre-senta los siguientes recursos.

Tabla 2.

Datos de los recursos de seguridad

Table 2.

Data security resources

Cifras que tienen que ver con la seguridad de la Calle M-30	
Señales del Código de Circulación	2.586
Pórticos de señalización	440
Barreras flexibles de seguridad	130 kilómetros
Barreras rígidas de seguridad	101 kilómetros.
Paneles de mensajes variables	92
Paneles gráficos de carril	440
Salidas de emergencia	203
Ventiladores extractores de humos	938
Cámaras de vigilancia	972

* Fuente: *Información elaborada a partir de las conver-saciones con responsables del Cuerpo de Bomberos del Ayuntamiento de Madrid/ Source: Elaborated by the au-thor using from conversations with officials of the Fire Department of the City of Madrid.*

Una obra compleja usada por una alta densidad de vehículos exige contar con un no menos comple-jo sistema de diferentes tipos de instalaciones que minimicen los riesgos y faciliten la ayuda y eva-cuación.

El control de la Calle M-30 se realiza con video-cámaras direccionales que se controlan desde el cen-tro de control. Están situadas cada 200 metros. Los túneles disponen de opacímetros con el fin de con-trolar las partículas en suspensión. Anenómetros con los que mide la velocidad del viento. El control de partículas y la velocidad del viento permiten vigilar

tanto la calidad del aire, como la ventilación en los túneles. También se dispone de un sistema de detección automática de imágenes (DAI) que procesa de forma digital las imágenes que aparecen en los túneles. De esta manera se tiene información inmediata sobre vehículos parados, presencia de peatones, atascos, o cualquier tipo de incidente que se produce en los túneles.

A lo largo de todos los túneles existen paneles de información fija y variable. Cuenta con puntos de megafonía y postes SOS, así como en cada salida de emergencia. En todos los túneles existe la posibilidad de usar tanto la telefonía móvil, como la radio. Por supuesto esta facilidad puede convertirse en riesgo potencial. Desde el centro de control se puede anular la posibilidad de uso de la telefonía móvil personal.

La instalación principal y prioritaria de la *Calle M-30* tiene que ver con todo lo que se refiere a la protección y lucha contra el fuego. Cada 50 metros, a cada lado del túnel e intercaladas entre sí (por lo tanto, cada 25 metros a un lado y otro del túnel) existen bocas de incendio equipadas (BIES). En los ramales de entrada y salida del túnel la situación del los BIES se localizan nada más que en uno de los lados del túnel. Esas salidas y entradas por lo general tienen un único carril. Los BIES disponen de mangueras semirrígidas de 25 mm., que permiten la conexión. Tienen una presión variable entre 4,5 y 8 bares. Se dispone también de hidrantes de dos tomas y, en la misma posición longitudinal y a una altura próxima a los hidrantes hay columnas secas que se pueden conectar con los vehículos de ayuda.

En los vestíbulos de las salidas de emergencia existen armarios con diverso material. Conos de señalización, tres mangueras de 25 mm., espumógenos, y absorbentes para derrames.

En determinados tramos de los túneles y en los cuartos de sus instalaciones existen mecanismos de extinción automática de incendios. Se reconoce que estos mecanismos no tienen capacidad suficiente para apagar un incendio, pero sí para controlarlo o aminorarlo hasta que se actúa de manera contundente. Se asume que el sistema reduce la visibilidad y, según el tipo de ventilación, puede llegar a producir vapor que añade nuevas dificultades a los servicios de extinción.

Se cuenta con instalación de señalización y alumbrado de emergencia. Facilita la señalización de salidas cada 25 metros indicando la distancia a la salida en los dos sentidos. La distancia en metros a la salida más próxima se indica con números de mayor tamaño. Con el mismo objetivo existe un *Hilo de Ariadna* en cada una de las paredes cuyos dispositivos luminosos permanecen apagados en condiciones de normalidad. Ante una emergencia se encienden indicando la dirección de evacuación más ventajosa con un color verde, con color rojo la más problemática.

Ante la posibilidad de falta de visibilidad por la acumulación de humo, el acabado de las aceras se ha realizado de forma diferente para facilitar la orientación al tacto. La circulación por las aceras en sentido de la derecha se realiza sobre baldosas rugosas, el de la izquierda en una superficie lisa.

La electricidad general del túnel procede de una central propia que recibe la energía eléctrica de dos compañías diferentes que la suministran de dos centrales distintas. Cada uno de los tres tramos de la *Calle M-30* dispone de generadores propios para situaciones de emergencia. Estos generadores permiten mantener el 20% de la iluminación considerada como normal. Puede mantenerse en funcionamiento durante un máximo de dos horas. Al cabo de ese tiempo se pone en marcha la iluminación de emergencia situada en los laterales de los túneles y los de las salidas y entradas. Es una iluminación autónoma que permite su funcionamiento durante media hora. Todo el sistema de iluminación de emergencia se sitúa a 40 centímetros del suelo para evitar ser ocultado por el colchón de humo.

Ante un posible incendio se ha prestado también una atención especial al control de la ventilación de los túneles. Este control es diferente según el tramo de que se trate. La entrada de aire y la salida siempre se realiza por cantones independientes, uno de entrada de aire fresco y otro que expulsa el aire de los túneles. La presión de entrada y salida se puede modificar en función de las necesidades de gestión de las condiciones del túnel.

En la Zona del Río los cantones de entrada y salida están situados cada 600 metros. Ya en el túnel, el aire de entrada es impulsado por ventiladores que siguen el sentido de la circulación y se extrae por el cantón de salida. Entre cada cantón existen seis exutorios cerrados en condiciones de normalidad que se abren desde el centro de control ante una emergencia. En caso de incendio se reduce el aire de entrada y se abren los exutorios de la zona donde se ha producido el accidente. El objetivo es evacuar la mayor cantidad posible de humo aumentando la potencia del cantón de extracción. Los ventiladores contiguos a la zona del incendio invierten su giro para inyectar aire y controlar así el colchón de humo evitando que se expanda a lo largo del túnel.

En la Zona del Paseo de Extremadura la distancia entre los cantones se reduce a 200 metros debido a la existencia del aparcamiento que existe sobre los túneles de circulación. El procedimiento en caso de incendio es el mismo que lo ya explicado.

En la Zona del By-Pass Sur se sigue el mismo procedimiento anterior. La distancia entre cantones es de 600 metros. En este caso y debido a la existencia de un falso techo encima de las vías de circulación y el carril inferior de emergencia, la circulación de aire aumenta. El objetivo siempre es el mismo: controlar y evitar que se expanda el colchón de humo.



Gráf. 8. La salida de emergencia
Fig. 8. The emergency exit

Para conocer el punto exacto de una incidencia, además de las cámaras de control, se ha diseñado un código de localización con números y letras, bien visibles que pueden ser fácilmente identificadas y señaladas por cualquier persona que se encuentre en su proximidad. Los dos primeros números indican el punto kilométrico del túnel, las dos letras señalan el punto concreto del trazado del túnel, así como el sentido de la circulación y los dos números siguientes señalan el decámetro donde se produce la incidencia.

Con esos datos el centro de control decide el plan y el método de actuación de los que se darán cuenta en una nueva entrega.

Bibliografía:

1. Euler, L. *Solutio problematis ad geometriam situs pertinentis*, in: *Comment. Acad. Sci. U. Petrop.* 8, 1736, 128-140, Reprinted in *Opera Omnia Series Prima*, Vol. 7. 1766, pp. 1-10.
2. www.mc30.es, consultado el 13 de mayo de 2013.
3. <http://www.esmadrid.com/madridrio/html/madrid-rio-home-es.html>, consultado el 13 de mayo de 2013.
4. <http://www.urbanscraper.com/>, consultado el 13 de mayo de 2013.

profesor Jesús Ignacio Martínez Paricio es el Doctor en Economía. Catedrático de Sociología en la Universidad Complutense de Madrid (UCM) especializado en materias de seguridad y defensa. Director del Departamento de Sociología II de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociología. Coordinador del *Master Gestión de Desastres* de la Universidad Complutense Madrid y de la Universidad Politécnica de Madrid.

Wytyczne dla Autorów

Maszynopis

Artykuły prosimy przysyłać w wersji elektronicznej w formacie Word. Redakcja przyjmuje do druku oryginalne artykuły naukowe, artykuły przeglądowe oraz studia przypadków. Maszynopis w języku ojczystym autora nie powinien przekraczać 20 stron (format A4, Times New Roman 12 pkt., interlinia 1,5), pisany bez podziału na kolumny (łącznie 40 000 znaków razem ze spacjami).

A. Struktura oryginalnego artykułu naukowego:

1. Tytuł – w jęz. polskim lub w jęz. narodowym autora (Times New Roman 16 pkt., WERSALIKI) oraz w języku angielskim (Times New Roman 14 pkt., kapitaliki)
2. Streszczenie ustrukturyzowane – cztery akapity z nagłówkami zapisanymi pogrubioną czcionką, min. 200 słów w jęz. polskim lub w jęz. narodowym autora oraz min. 200 słów w jęz. angielskim; Times New Roman 10 pkt. – Streszczenie powinno zawierać następujące elementy: **Cel**, **Metody**, **Wyniki**, **Wnioski**. **Cel** powinien jasno przedstawiać hipotezę postawioną w artykule; **Metody** – narzędzia i metody użyte w badaniach; **Wyniki** – rezultaty badań; **Wnioski** – w odniesieniu do hipotezy oraz możliwe kierunki przyszłych badań.
3. Słowa kluczowe – w jęz. polskim i angielskim lub w jęz. narodowym autora i jęz. angielskim, łącznie do 10 wyrazów; Times New Roman 10 pkt.
4. Wprowadzenie
5. Metody
6. Wyniki
7. Dyskusja nad metodami i wynikami
8. Podsumowanie/Wnioski
9. Literatura
10. Nota biograficzna o autorze/autorach

B. Struktura artykułu przeglądowego i studium przypadku

1. Tytuł – w jęz. polskim lub w jęz. narodowym autora (Times New Roman 16 pkt., WERSALIKI) oraz w języku angielskim (Times New Roman 14 pkt., kapitaliki)
2. Streszczenie – min. 200 słów w jęz. polskim lub w jęz. narodowym autora oraz min. 200 słów w jęz. angielskim; Times New Roman 10 pkt.
3. Słowa kluczowe – w jęz. polskim i angielskim lub w jęz. narodowym autora i jęz. angielskim, łącznie do 10 wyrazów; Times New Roman 10 pkt.
4. Wprowadzenie
5. Rozdziały zatytułowane przez autora
6. Podsumowanie
7. Wnioski
8. Literatura
9. Nota biograficzna o autorach

Autor

W przypisie do nazwiska autora należy podać pełną nazwę instytucji, a w przypadku autora wiodącego także adres korespondencyjny (adres e-mailowy). Autorzy proszeni są o załączenie krótkiej noty biograficznej (ok. 50 słów). Jeśli artykuł ma więcej niż jednego autora, należy podać udział procentowy poszczególnych osób w powstaniu artykułu.

Redakcja zobowiązuje się do zachowania poufności informacji dotyczących szczegółowych danych osobowych autorów i recenzentów.

Literatura

Odwołania do literatury umieszcza się na końcu artykułu w kolejności pojawiania się w tekście. Przypisy bibliograficzne należy podawać w jednolitej wersji. Nazwiska i tytuły pisane cyrylicą powinny być podane w transliteracji zgodnie z normą GOST 52535.1-2006. Zalecane jest odwoływanie się głównie do publikacji recenzowanych. W przypadku dokładnego cytowania w tekście obok numeru przyporządkowanego publikacji zamieszczonej w spisie Literatury podaje się również numer strony, z której pochodzi cytat – np. [2, s. 234]. Cytaty polskojęzyczne należy umieszczać w cudzysłowach, cytaty obcojęzyczne należy pisać kursywą.

Przykłady tworzenia odsyłaczy bibliograficznych w spisie literatury (oparte o system cytowania Chicago):

Cytowanie książek:

Szczerba K., *Bezpieczny dom*, Wydawnictwo CNBOP-PIB, Józefów, 2012.

Rozdział pracy zbiorowej

Suchorab P., *Wpływ produktów pochodzenia naftowego na cechy fizyczno-mechaniczne betonu*, w: *Usuwanie substancji ropopochodnych z dróg i gruntów*, J. Rakowska (red.), Wydawnictwo CNBOP-PIB, Józefów, 2012, 37–44.

Cytowanie czasopism

Mizerski A., *Piany jako nośniki chemicznych środków neutralizacji skażeń*, „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza”, 1 (2013), 87–93.

Cytowanie publikacji ze źródeł cyfrowych:

Ciekanowski Z., *Motywacja a system ocen*, „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza”, 1 (2013), 29–33 [dok. elektr.] <http://czytelnia.cnbop.pl/czytelnia/31/348> [dostęp 2 maja 2013].

Cytowanie materiałów pokonferencyjnych:

Adamiec P., *Problemy przy spawaniu i napawaniu części maszyn*, w: *Technologia maszyn. Zbiór referatów: III Naukowe Warsztaty Profesorskie – TM ,97, II Forum Prac Badawczych ,96 - Kształtowanie części maszyn przez usuwanie materiału*, T. Karpiński (red.), Wydaw. Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin, 1997, 23–31.

Cytowanie komunikatów z badań

Centrum Badania Opinii Społecznej, Komunikat z badań: Aktualne problemy i wydarzenia, [dok. elektr.]

<http://badanie.cbos.pl/details.asp?q=a1&id=4809>, [dostęp 06.05.2013].

Cytowanie ustaw, norm, dyrektyw unijnych:

- 1) Ustawa z dnia 24 sierpnia 1991 r. o Państwowej Straży Pożarnej (Dz. U. 2009 r. Nr 12 poz. 68).
- 2) PN-EN 54-4:2001 Systemy sygnalizacji pożarowej – Część 4: Zasilacze.
- 3) Dyrektywa Komisji 2009/149/WE z dnia 27 listopada 2009 r. dotycząca dyrektywy 2004/49/WE Parlamentu Europejskiego i Rady w odniesieniu do wspólnych wskaźników bezpieczeństwa oraz wspólnych metod obliczania kosztów wypadków.

Tabele, ryciny, ilustracje

Podpisy do tabel, rycin i ilustracji oraz treść w tabelach, rycinach i ilustracjach należy podawać w języku, w którym został napisany artykuł oraz w języku angielskim. Tabele należy dodatkowo przygotować w oddzielnym załączniku. Rysunki, zasadniczo czarno-białe, należy nadsyłać w formie gotowej do druku jako oddzielne pliki w formacie jpg lub tiff (min. 300 dpi).

Zapora ghostwriting i guest autorship

Mając na uwadze prawdziwość publikowanych danych o wkładzie autorskim w powstanie zgłaszanych do druku artykułów i by uniknąć zjawisk typu *ghostwriting* i *guest autorship*, Redakcja kwartalnika „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza” zobowiązuje autorów do rzetelnego wykazywania udziału osób trzecich w procesie powstawania artykułu.

1) *Ghostwriting* ma miejsce wtedy, gdy wkład w powstanie artykułu wniosła osoba niewymieniona w wykazie autorów lub w podziękowaniach.

2) *Guest autorship* zachodzi wtedy, gdy artykuł powstał bez udziału osoby wymienionej w wykazie autorów lub wniosła ona znikomy wkład w powstanie danej publikacji.

Zgodnie z wytycznymi Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego Redakcja prosi autorów o ujawnianie wkładu poszczególnych osób w powstanie artykułu przez podawanie udziału procentowego w przypisie do tytułu artykułu.

W przypadku stwierdzenia zjawisk typu *ghostwriting* lub *guest autorship* Redakcja będzie informowała o tym jednostkę naukową zatrudniającą autora, inne stowarzyszenia, których jest on członkiem, inne ośrodki naukowe i redakcje czasopism.

Współautorstwo artykułu

Zgodnie z definicją współautorstwa zawartą w publikacji Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego pt. „Rzetelność w badaniach naukowych oraz poszanowanie własności intelektualnej” to pojęcie należy rozumieć w następujący sposób:

Współautor to każdy, kto napisał niewielki nawet jego fragment, wniósł twórczy wkład w jego koncepcję lub układ, brał udział w projektowaniu badań naukowych, których wynikiem jest dany utwór. Współautorem nie jest osoba, która wykonywała czynności administracyjne związane z pracą nad stworzeniem dzieła naukowego (np. szef placówki naukowej, osoba pozyskująca środki do badań, osoba zbierająca dane lub wykonująca obliczenia statystyczne). Prawa do współautorstwa nie nabywa również konsultant, dzielący się swą wiedzą. W związku z powyższym Redakcja zobowiązuje autorów do:

- do podawania w artykułach przeglądowych oraz studiach przypadku wkładu procentowego w powstanie artykułu;

- w oryginalnych artykułach naukowych do podawania faktycznego wkładu poszczególnych współautorów w powstanie artykułu, czyli tzw. atrybucji (autor koncepcji, założeń, metod) – tę informację należy umieścić w przypisie do tytułu artykułu.

Redakcja zobowiązuje również autora/autorów do podania informacji o źródle finansowania badań. Odpowiedzialność za prawdziwość powyższych danych ponosi osoba przedkładająca artykuł do druku.

Copyright

Po naniesieniu korekty recenzenckiej autor przesyła do Wydawcy wraz z artykułem oświadczenie, w którym przekazuje zbywalne prawa autorskie na rzecz CNBOP-PIB oraz poświadcza, że praca nie była wcześniej publikowana, a także nie narusza ona praw autorskich innych osób. Oświadczenie do pobrania na stronie <http://czytelnia.cnbop.pl/wytyczne-dla-autorow>

Etyka

Dane opublikowane w kwartalniku „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza” powinny być oryginalne. Nie należy przysyłać tekstów, które zostały wcześniej opublikowane w innym czasopiśmie lub monografii. Podawanie fałszywych danych, plagiaty oraz inne działania, które mogą prowadzić do fałszywych wniosków, są nieetyczne.

Zapraszamy Autorów, niezależnie od afiliacji, do nadsyłania swoich prac.

Artykuły należy przysyłać na adres:

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

ul. Nadwiślańska 213

05-420 Józefów k/Otwocka

Kwartalnik CNBOP-BIP

e-mail: kwartalnik@cnbop.pl; jpinkiewicz@cnbop.pl

Guide for Authors

Typescript

Articles should be submitted electronically in word format. Editors will accept for publication original research material, review articles and incident case studies. The script should be in the authors language and not exceed 20 sides (A4 format, Times New Roman 12 pts., 1.5 interspaced), written without a division into columns (Total 40,000 symbols, including spaces).

A. Structure of an original scientific research article:

1. Title – in Polish or authors' national language (Times New Roman 16 pts., upper-case CAPITALS) and in English (Times New Roman 14 pts., lower-case)
2. Structured Abstract (four paragraphs with headings in boldface type, minimum 200 words in Polish or authors' national language and minimum 200 words in English; Times New Roman 10 pts.) – The abstract should consist of: **Objective, Methods, Results, and Conclusions**. The **Objective** should clearly state the hypothesis; **Methods**, tools and methods using in research; **Results**, the outcome of the study; and **Conclusions**, the outcome in relation to the hypothesis and possible directions of future study.
3. Key words (in Polish and in English or authors' national language and English, a total of 10 phrases; Times New Roman 10 pts.)
4. Introduction
5. Method
6. Results
7. Discussion about methods and results
8. Summing-up/Conclusions
9. Literature
10. Biographical note about the author(s)

B. Structure of a review article and incident case study:

1. Title – in Polish or authors' national language (Times New Roman 16 pts., upper-case CAPITALS) and in English (Times New Roman 14 pts., lower-case)
2. Abstract (minimum 200 words in Polish or authors' national language and minimum 200 words in English; Times New Roman 10 pts.)
3. Key words (in Polish and in English or authors' national language and English, a total of 10 phrases; Times New Roman 10 pts.)
4. Introduction
5. Chapters titled by the author
6. Summing-up
7. Conclusions
8. Literature
9. Biographical note about the author(s)

Author

The authors name should be accompanied by a note reflecting the full name of the institution, and in the

case of lead author also the address for correspondence (e-mail address). Authors are requested to enclose a short biographical note (about 50 words). If an article has more than one author, it is necessary to indicate the percentage contribution of each individual to the creation of the article.

Editors are committed to preserve the confidentiality of personal information about authors and reviewers.

Literature

Literature references are identified at the end of the article in a sequence as they appear in the text. Bibliographic commentary should be in a uniform version. Names and titles, written in Cyrillic should appear in the transliteration in accordance with the standard GOST 52535.1-2006. It is recommended that, in the main, referenced material should be publications, which have been reviewed. In the case of precise quotations in the text against the number of an assigned publication located in the literature index, one should also include the page number, of the quotation source e.g. (12, p. 234). Polish quotations should be inserted within quotation marks. Quotations in other languages should be written in italics.

Examples of bibliographic references in the literature index (based on the Chicago Citation Style):

Book references

Szczerba K., *Safe Home*, Publisher CNBOP-PIB, Józefów, 2012

Chapter from joint sources

Suchorab P., *The impact of crude oil based products on the physical and mechanical properties of concrete*, in: *Removal of oil derived substances from roads and the soil*. J. Rakowska (Ed.), Publisher CNBOP-PIB, Józefów, 2012, 37-44.

Journal article

Mizerski A., *Foams as carriers of chemicals for neutralizing contamination*, BiTP, Vol. 29 Issue 1, 2013, 87-93.

Article in an online journal

Ciekanowski Z., *Motivation and system of periodic assessment*, BiTP, Vol. 29 Issue 1, 2013, 29-33 [dok. elektr.] <http://czytelnia.cnbop.pl/czytelnia/31/348> [accessed May 2 2013].

Material from conferences

Adamiec P. Problems encountered during welding and repair of machinery, in: *Machine Technology. Collection of papers: III Professorial Scientific Workshops – TM '97, II Research Work Forum '96 – Shaping of machine parts by the removal of substances*, T Karpiński (ed), Publisher Politechnika Koszalińska, Koszalin, 1997, 23-31.

Research communications

Centre for Research of Public Opinion, Research communication: Actual problems and incidents, [dok. elektr] <http://badanie.cbos.pl/details.asp?q=a1&id=4809>, [access 06.05.2013].

Statute, standards and EU Directives

- 1) Statute dated 24 August 1991 concerning The Polish State Fire Service (Dz. U. [Journal of Laws] 2009 No. 12 item 68)
- 2) PN-EN 54-4:2001 Fire alarm systems – Part 4: Power supply.
- 3) Commission Directive 2009/149/WE dated 27 November 2009 concerning directive 2004/49/WE of the European Parliament dealing with community safety indicators and community methods of calculating costs of incidents.

Tables, figures and illustrations

Captions for tables, figures and illustrations as well as texts in tables, figures and illustrations should be in the language, in which the article was written and in English. Tables should be incorporated in the text and, additionally, produced in a separate file and submitted as an enclosure to the article. As a rule, figures should be produced in black-white and be submitted in a form ready for printing, in individual files (jpg or tiff format – minimum 300 dpi).

Ghost-writing and guest authorship boundaries

In scientific research articles, ghost-writing and guest authorship is considered a misconduct.

- 1) Ghost-writing occurs when the input to an article is by a person who is not named in the list of authors or excluded from acknowledgements.
- 2) Guest authorship describes a situation where an article is created without participation or with a negligible contribution of a person named in the list of authors.

In accordance with directions from the Minister of Science and Higher Education, the Editorial Board requires authors to disclose individual contributions to articles in percentage terms, by an annotation to the title of an article.

With due regard to the need for integrity of information concerning authors and to avoid situations known as ghost-writing and guest authorship, the BiTP Editorial Board requires authors to disclose honest information about third parties who participate in the creation of submitted articles. Where ghost-writing or guest authorship is identified, the Editorial Board will inform the author's Research Establishment, associations of which the author is a member, other Research Centres and Editorial Boards of different publications about the incident.

Co-authorship

Co-authorship, as defined by the Polish Ministry of Science and Higher Education in the publication 'Reliability in research and respect for intellectual property rights' should be understood in the following way:

A co-author is a person who has: written even a small fragment, made a creative contribution to the concept or format, participated in the design of a research project, from which a given piece of work represents the outcome. A co-author is not a person who performs administrative tasks related to a research project (e.g. head of a research establishment, a person raising research funding, a person engaged with data collection or someone performing statistical calculations). The right to co-authorship is not acquired by a consultant who shares his/her knowledge.

Accordingly, authors are obliged to:

- identify, in percentage terms, co-author contributions in review articles and incident case studies.
- reveal the actual input by an individual co-author, to original scientific papers, i.e. attribution (author of the concept, assumptions, methods). Such information should be included as an annotation to the title of the article.

Authors are also requested to provide information about funding sources supporting the work described in an article. Responsibility for veracity of the above mentioned information rests with the person submitting the script for publication.

Copyright

After incorporating post review corrections, the author should submit his/her article to the Publisher, accompanied by a declaration confirming: that the work was not published previously, that the article does not infringe other persons copyright and that the authors' copyright is transferred to CNBOP-PIB. A suitable declaration can be accessed through the internet on: <http://czytelnia.cnobp.pl/wytyczne-dla-autorow>.

Ethics

Material published in BiTP should be original. Articles reproduced previously in other journals and specialist study publications should not be submitted. Falsified data, plagiarism and any other inappropriate act, which could lead to false conclusions, is unethical.

We invite Authors, regardless of their affiliation, to submit their papers.

The papers should be sent to:

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

Nadwiślańska Street 213

05-420 Józefów near Otwock

Poland

CNBOP-PIB's Quarterly

e-mail: kwartalnik@cnbop.pl; jpinkiewicz@cnbop.pl

III MIĘDZYNARODOWA KONFERENCJA NAUKOWA
„Bezpieczeństwo portów lotniczych i ochrona lotnictwa przed aktami bezprawnej
ingerencji. Bezpieczeństwo operacji morskich i ochrona portów morskich”
11 – 12 września 2013 roku



Organizowana przez Wyższą Szkołę Oficerską Sił Powietrznych w Dęblinie oraz Akademię Marynarki Wojennej w Gdyni przy współudziale:
Przedsiębiorstwa Państwowego „Porty Lotnicze”;
Polskiej Agencji Żeglugi Powietrznej;
Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych;
Centrum Naukowo-Badawczego Ochrony Przeciwpożarowej – Państwowego Instytutu Badawczego.

CEL KONFERENCJI

Celem konferencji jest wymiana wiedzy i doświadczeń z zakresu bezpieczeństwa i ochrony portów lotniczych i morskich.

GLÓWNE OBSZARY TEMATYCZNE:

- Systemy zarządzania bezpieczeństwem w lotnictwie i na morzu.
- Ochrona infrastruktury krytycznej portów lotniczych i morskich.
- Ratownictwo lotnicze, lotniskowe i morskie.
- Bezpieczeństwo w ruchu lotniczym i morskim.
- Systemy monitorowania i nadzoru ruchu statków powietrznych i morskich.
- Urządzenia i systemy wykorzystywane w ochronie portów lotniczych i morskich.
- Zarządzanie kryzysowe w porcie lotniczym.

Ważne terminy:

30.06.2013 r. zgłoszenie udziału w konferencji wraz z krótkim streszczeniem referatu;
15.07.2013 r. przesłanie pełnych tekstów referatów;
15.08.2013r. informacja o wstępnej kwalifikacji referatów.

Zgłoszeniem uczestnictwa w konferencji jest przesłanie karty zgłoszenia oraz przekazanie opłaty konferencyjnej w wysokości 500 złotych na konto:

48 1020 3219 0000 9102 0058 4334

Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych w Dęblinie
08-521 Dęblin
ul. Dywizjonu 303 nr 35,
z dopiskiem „konferencja BN”

Obrady prowadzone będą w formie referatów, dyskusji oraz komunikatów. Czas wystąpień będzie limitowany: referat plenarny do 20 minut, referat panelowy do 10 minut, komunikat do 5 minut.

SEKRETARIAT KONFERENCJI

Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych
Wydział Bezpieczeństwa Narodowego i Logistyki
ul. Dywizjonu 303 Nr 35, 08-521 Dęblin

e-mail sekretariat_wbnil@wsosp.deblin.pl
telefon (81) 551 82 71 lub (81) 551 82 68
fax (81) 551 82 72



WISE
WARSAW
**BE WISE.
BE SECURED.**



Międzynarodowe Targi Technik Zabezpieczeń, Ochrony Pracy i Pożarnictwa w Warszawie

SPOTKAJMY SIĘ

Formularze zgłoszeniowe oraz dodatkowe informacje dostępne są na stronie internetowej: **wise-warsaw.pl**

19 - 21
listopada
2013
EXPO XXI

W PROGRAMIE:

SEMINARIUM OCHRONY PRZECIWOPOŻAROWEJ 20 LISTOPADA 2013

WSPÓŁORGANIZATORZY:



- Ocena i certyfikacja wyrobów ppoż. w świetle Rozporządzenia 305/2012 z dn. 09.03.2011r. - filozofia rozporządzenia, wprowadzenie wyrobów do obrotu, wymagane dokumenty
- Krajowe procesy oceny i weryfikacji stałości właściwości użytkowych wyrobów budowlanych stosowanych w ochronie przeciwpożarowej
- Systemy integrujące zarządzanie budynkiem oraz ochroną przeciwpożarową
- Systemy transmisji alarmów - monitoring pożarowy - wymagania i kierunki rozwoju
- Badanie reakcji na ogień kabli oraz materiałów i wyrobów budowlanych

**Osiągnięcia Centrum Naukowo-Badawczego Ochrony Przeciwpowarowej
im. Józefa Tuliszkowskiego
Państwowego Instytutu Badawczego na targach, wystawach i konkursach
krajowych i międzynarodowych w 2012 roku**

SREBRNY MEDAL NA BRUSSELS INNOVA 2012



Centrum Naukowo-Badawczego Ochrony Przeciwpowarowej Państwowego Instytutu Badawczego otrzymało srebrny medal za „Stanowisko badawcze do określania parametrów wybuchowości pyłów palnych” na **61. Międzynarodowych Targach Wynalazczości, Badań Naukowych i Nowych Technik Brussels Innova 2012**. Bruksela, listopad 2012.

**ZŁOTY MEDAL DLA CNBOP-PIB NA MIĘDZYNARODOWYCH TARGACH WYNA-
LAZCZOŚCI I INNOWACJI INPEX® 2012 W PITTSBURGU**



Złoty medal przyznany CNBOP-PIB i PPU ANKO za „Stanowisko badawcze do określania parametrów wybuchowości pyłów palnych”. Projekt zaprezentowany został w kategorii Bezpieczeństwo i Zabezpieczenia oraz Ekologia.

**GODŁO „TERAZ POLSKA” PRYZNANE CNBOP-PIB ZA ŚRODEK ZWILŻAJĄCY
DO GASZENIA POŻARÓW LASÓW I TORFOWISK**



W gronie nagrodzonych Godłem „Teraz Polska” w V edycji Konkursu „Teraz Polska” dla Przedsięwzięć Innowacyjnych znalazło się Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpowarowej *im. Józefa Tuliszkowskiego* – Państwowy Instytut Badawczy za opracowanie innowacyjnego „Środka zwilżającego do gaszenia pożarów lasów i torfowisk”.

**BRAZOWY MEDAL DLA CNBOP-PIB NA MIĘDZYNARODOWYCH TARGACH
WYNALAZCZOŚCI CONCOURS LÉPINE W PARYŻU**



Podczas 111. Międzynarodowych Targów Wynalazczości CONCOURS LÉPINE 2012 jury odznaczyło brązowym medalem CNBOP-PIB za „Dwu-funkcyjne urządzenie gaśnicze mgłowe – GAM”.

**ZŁOTY MEDAL PRYZNANY CNBOP-PIB NA MIĘDZYNARODOWYCH TARGACH
OCHRONY PRACY, POŻARNICTWA I RATOWNICTWA – SAWO**



Złoty medal SAWO przyznany CNBOP-PIB przez Ministra Pracy i Polityki Społecznej w kategorii „Edukacja i prewencja” za „Szkolenie dla projektantów, instalatorów i konserwatorów Systemów Sygnalizacji Pożaru”, podczas XXI edycji Międzynarodowych Targów Ochrony Pracy, Pożarnictwa i Ratownictwa SAWO.

GRAND PRIX DLA CNBOP-PIB NA MIĘDZYNARODOWYCH TARGACH OCHRONY PRACY, POŻARNICTWA I RATOWNICTWA – SAWO



Grand Prix SAWO przyznane CNBOP-PIB przez Ministra Pracy i Polityki Społecznej w kategorii „Inne wyroby i rozwiązania związane z tematyką Targów SAWO” dla **Kwartalnika *Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza***, podczas XXI edycji Międzynarodowych Targów Ochrony Pracy, Pożarnictwa i Ratownictwa SAWO.

MEDAL PREZESA ZARZĄDU GŁÓWNEGO ZWIĄZKU OCHOTNICZYCH STRAŻY POŻARNYCH RP



CNBOP-PIB nagrodzone medalem Prezesa Zarządu Głównego Związku Ochotniczych Straży Pożarnych RP, podczas XXI edycji Międzynarodowych Targów Ochrony Pracy, Pożarnictwa i Ratownictwa SAWO za **Szkolenie dla projektantów, instalatorów i konserwatorów Stałych Urządzeń Gaśniczych Tryskaczowych**.

STATUETKA MINISTERSTWA NAUKI I SZKOLNICTWA WYŻSZEGO ZA MIĘDZYNARODOWE OSIĄGNIĘCIA WYNAŁAZCZE



Podczas XIX Giełdy Wynalazków projekt badawczy CNBOP-PIB „**Środek zwilżający do gaszenia pożarów lasów i torfowisk**” został nagrodzony statuetką Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego za międzynarodowe osiągnięcia wynalazcze. Wyróżnione dyplomami zostały następujące rozwiązania innowacyjne CNBOP-PIB: „**Dwufunkcyjne urządzenie gaśnicze GAM (Gaśnica Automatyczna Mgłowa)**”, „**Multimedialne i teleinformatyczne narzędzia wspomagające edukację lokalnych społeczności w zakresie zwiększenia ich odporności na zagrożenia związane z klęskami żywiołowymi i katastrofami**” oraz „**Regionalne zarządzanie bezpieczeństwem – narzędzie wspomagające zarządzanie – PomRisc**”.

Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpowazarowej
im. Józefa Tuliszkowskiego
Państwowy Instytut Badawczy
Najważniejsze wydarzenia – Calendarium

1972

Utworzenie Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Ochrony Przeciwpowazarowej (OBROP) w Józefowie-Dębince na podstawie zarządzenia Nr 81 Ministra Spraw Wewnętrznych z dnia 14 sierpnia 1972 r. (Dz. Urz. MSW Nr 7 poz. 24).

Dyrektor OBROP w latach 31.08.1972–31.12.1974 **mgr inż. Zygmunt STANOWSKI**

Pierwsze Świadectwo dopuszczenia nr (1/72) wyrobu do produkcji dla agregatu proszkowego AP50 wydane przez OBROP i KG PSP na podstawie zarządzenia nr 25 MPC z dnia 04.02.1965. Świadectwa dopuszczenia na tej podstawie były wydawane w okresie 1972-1982.

1974

Ustanowienie OBROP jako ośrodka normalizacyjnego w resorcie spraw wewnętrznych na podstawie zarządzenia Nr 66/67 Ministra Spraw Wewnętrznych.

1975

Dyrektor OBROP w latach 01.03.1975–31.12.1976 **plk poż. Włodzimierz STRUŚ**

1977

Dyrektor OBROP w latach 01.01.1977–31.07.1980 **plk poż. mgr inż. Zbigniew GRYNCEL**

1980

Dyrektor OBROP w latach 01.08.1980–31.10.1982 **prof. dr hab. inż. Wiktor BABUL**

1982

Dyrektor OBROP/CNBOP w latach 11.11.1982–31.08.1987 **plk poż. prof. dr inż. Mirosław ZDANOWSKI**
Zmiana podstaw oceny wyrobów. W latach 1982-1992 dla wyrobów wydawano atesty na podstawie zarządzenia nr 9/82 Komendanta Głównego Straży Pożarnej z dnia 30 maja 1982 roku w sprawie wymagań technicznych, jakim powinny odpowiadać sprzęt i urządzenia pożarnicze oraz chemiczne środki gaśnicze.

1984

Przekształcenie OBROP w Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpowazarowej (CNBOP), na podstawie zarządzenia Nr 9/84 Ministra Spraw Wewnętrznych z dnia 28 stycznia 1984 r. (Dz. ZiR KG SP Nr 1-2, poz.3).

1987

Dyrektor CNBOP w latach 01.11.1987–14.06.1992 **plk poż. dr inż. Henryk JAWORSKI**

1990

Początki upowszechniania wiedzy przez Instytut: uczestnictwo w krajowych i zagranicznych wystawach, konferencjach i sympozjach, wprowadzenie Seminariów CNBOP.

1992

Włączenie CNBOP w poczet jednostek organizacyjnych Państwowej Straży Pożarnej w rozumieniu ustawy z dnia 24 sierpnia 1991 r. o Państwowej Straży Pożarnej.

Dyrektor CNBOP w latach 15.06.1992–30.09.1996 **st. bryg. dr inż. Eugeniusz W. ROGUSKI**

Zmiana podstaw oceny wyrobów. W latach 1992-1998 dla wyrobów wydawano świadectwa dopuszczenia na podstawie delegacji ustawy z dnia 24 sierpnia 1991 roku o ochronie przeciwpowazarowej (Dz. U. 1991, Nr 81, poz. 351 z późn. zm.) i na podstawie rozporządzenia MSW z dnia 22.04.1992 r.

1995

Ustanowienie nowego logo CNBOP.

1996

Uzyskanie akredytacji Polskiego Centrum Badań i Certyfikacji przez:

Laboratorium Badań Właściwości Pożarowych Materiałów, numer certyfikatu L 60/1/96 (następnie Zakład Laboratorium Badań Właściwości Pożarowych Materiałów, certyfikat akredytacji Nr **AB 060** wydany przez Polskie Centrum Akredytacji),

Laboratorium Pomp i Armatury Wodno-Pianowej, numer certyfikatu L 59/1/96 (następnie Zakład Laboratorium Technicznego Wyposażenia Straży Pożarnej, certyfikat akredytacji Nr **AB 059** wydany przez Polskie Centrum Akredytacji).

Dyrektor CNBOP w latach 01.10.1996–27.02.2005 **st. bryg. dr inż. Ryszard SZCZYGIEL**

1997

Nadanie CNBOP imienia Józefa Tuliszkowskiego na podstawie zarządzenia Nr 4 Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 23 stycznia 1997 r. (Dz. Urz. MSWiA Nr 2, poz. 22).

1998

Utworzenie w CNBOP **Jednostki Certyfikującej** w celu prowadzenia oceny zgodności wyrobów wprowadzanych do obrotu i stosowanych w ochronie przeciwpożarowej.

Uzyskanie akredytacji Polskiego Centrum Badań i Certyfikacji przez **Zakład-Laboratorium Sygnalizacji Alarmu Pożaru i Automatyki Pożarniczej**, numer certyfikatu L 207/1/98 (obecnie **certyfikat akredytacji Nr AB 207** wydany przez Polskie Centrum Akredytacji).

Zmiana podstaw oceny wyrobów. W latach 1998-2007 prowadzono certyfikację wyrobów na podstawie delegacji znowelizowanego art. 7 ustawy o ochronie przeciwpożarowej i rozporządzenie MSWiA z dnia 22 kwietnia 1998 r. w sprawie wyrobów służących do ochrony przeciwpożarowej, które mogą być wprowadzane do obrotu i stosowane wyłącznie na podstawie certyfikatu zgodności (Dz. U. 1998 Nr 55, poz. 362)

1999

Uzyskanie akredytacji Polskiego Centrum Badań i Certyfikacji przez **Jednostkę Certyfikującą**, numer certyfikatu 63/Cw-69/99 (obecnie **certyfikat akredytacji Nr AC 063** wydany przez Polskie Centrum Akredytacji).

2001

Uzyskanie akredytacji Polskiego Centrum Badań i Certyfikacji przez kolejne 3 laboratoria badawcze:

Zakład-Laboratorium Technicznych Zabezpieczeń Przeciwpowozarowych otrzymuje certyfikat akredytacji Nr L 305/1/2000 (następnie certyfikat akredytacji Nr **AB 305** wydany przez Polskie Centrum Akredytacji), **Laboratorium Środków Gaśniczych i Sprzętu Podręcznego**, Nr certyfikatu L 306/1/2000 (następnie Zakład-Laboratorium Technicznych Zabezpieczeń Przeciwpowozarowych, certyfikat akredytacji Nr **AB 305** wydany przez Polskie Centrum Akredytacji),

Laboratorium Pojazdów i Wyposażenia otrzymuje certyfikat akredytacji Nr L 307/1/2000 (następnie Zakład-Laboratorium Technicznego Wyposażenia Straży Pożarnej, certyfikat akredytacji Nr **AB 059; AB060** wydany przez Polskie Centrum Akredytacji).

2002

Rozszerzenie zakresu działania CNBOP o tematykę ochrony ludności na podstawie rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji.

2003

Przekształcenie CNBOP z państwowej jednostki budżetowej w **jednostkę badawczo-rozwojową**, w rozumieniu ustawy z dnia 25 lipca 1985 r. o jednostkach badawczo-rozwojowych. Wpisanie CNBOP do Krajowego Rejestru Sądowego. Uzyskanie przez CNBOP **autoryzacji Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej** w zakresie dyrektywy 89/686/EWG z dnia 21 grudnia 1989 r. w sprawie ujednolicenia przepisów prawnych Państw Członkowskich dotyczących środków ochrony indywidualnej.

2004

Uzyskanie przez CNBOP **autoryzacji Ministra Infrastruktury** w zakresie dyrektywy 89/106/EWG z dnia 21 grudnia 1988 r. w sprawie zbliżenia ustaw i aktów wykonawczych Państw Członkowskich dotyczących wyrobów budowlanych.

Uzyskanie przez CNBOP **notyfikacji Komisji Europejskiej (numer identyfikacji 1438)** w zakresie dyrektyw: 89/686/EWG z dnia 21 grudnia 1989 r. w sprawie ujednolicenia przepisów prawnych Państw Członkowskich dotyczących środków ochrony indywidualnej, 89/106/EWG z dnia 21 grudnia 1988 r. w sprawie zbliżenia ustaw i aktów wykonawczych Państw Członkowskich dotyczących wyrobów budowlanych.

Utworzenie **Zakładu Aprobat Technicznych**, realizującego zadania CNBOP w zakresie regulacji rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 8 listopada 2004 r. w sprawie aprobat technicznych oraz jednostek organizacyjnych upoważnionych do ich wydawania (Dz. U. Nr 249, poz. 2497).

Rozpoczęcie przez CNBOP prowadzenia oceny zgodności wyrobów budowlanych – w europejskim systemie oceny zgodności – oznakowanie CE, i w krajowym systemie oceny zgodności – znak budowlany B.

2005

p.o. Dyrektor CNBOP od 28.02.2005 do 31.05.2005 **st. bryg. dr inż. Władysław WĘGRZYN**

Z dniem 01 czerwca 2005 r. na podstawie art. 21 ust. 2 ustawy z dnia 25 lipca 1985 r. o jednostkach badawczo-rozwojowych (tj. Dz. U. z 2001 r. Nr 33, poz. 388 z późn. zm.) Minister Spraw Wewnętrznych i Administracji powołał na stanowisko Dyrektora Centrum Naukowo-Badawczego Ochrony Przeciwpowodziowej **st. bryg. dr inż. Eugeniusza W. ROGUSKIEGO** wyłonionego w drodze konkursu zgodnie z rozporządzeniem MNiSW z dnia 10 września 2001 r. (Dz. U. Nr 101, poz. 1101).

2007

Zmiana podstaw oceny wyrobów. Od 2007 roku świadectwa dopuszczenia wydawane są na podstawie delegacji art. 7 ustawy o ochronie przeciwpożarowej i rozporządzenia MSWiA z dnia 20.06.2007 r. zmienionego rozporządzeniem MSWiA z dnia 27.04.2010 r.

2009

Wpisanie przez Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego (Komunikat Nr 8 z dnia 31 marca 2009 r.), wydawanego od 2006 r. kwartalnika CNBOP „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza” na listę **czasopism punktowanych** (za artykuły naukowe opublikowane na łamach czasopisma przyznawane były 4 punkty do dorobku naukowego, od 2010 r. przyznawanych jest 6 punktów, a od 2012 r. 7 punktów).

p.o. Dyrektor CNBOP od 01.02.2009 do 30.04.2009 **ml. bryg. dr inż. Dariusz WRÓBLEWSKI**

Z dniem 01 maja 2009 r. na podstawie art. 21 ust. 2 ustawy z dnia 25 lipca 1985 r. o jednostkach badawczo-rozwojowych (tj. Dz. U. z 2008 r. Nr 159, poz. 993) Minister Spraw Wewnętrznych i Administracji powołał na stanowisko Dyrektora Centrum Naukowo-Badawczego Ochrony Przeciwpowodziowej **ml. bryg. dr inż. Dariusza WRÓBLEWSKIEGO** wyłonionego w drodze konkursu zgodnie z rozporządzeniem MNiSW z dnia 21 września 2007 r. (Dz. U. Nr 182, poz. 1303).

2010

Nadanie przez Radę Ministrów Centrum Naukowo-Badawczemu Ochrony Przeciwpowodziowej im. Józefa Tułuszkowskiego w Józefowie **statusu państwowego instytutu badawczego** (Dz. U. Nr 181, poz. 1219), a tym samym wejście CNBOP do prestiżowego grona kilkunastu państwowych instytutów badawczych.

Odzyskanie przez CNBOP-PIB **II kategorii** w ocenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ocenie parametrycznej (według obecnej klasyfikacji – **kategoria B**).

2011

Uzyskanie akredytacji Polskiego Centrum Akredytacji przez **Zespół Laboratoriów Procesów Spalania i Wybuchowości**, certyfikat akredytacji **Nr AB 1280**.

Ustanowienie nowego logo CNBOP-PIB.

Uzyskanie nominacji do **Polskiego Godła Promocyjnego „Teraz Polska”** w IV Edycji Konkursu dla Przedsięwzięć Innowacyjnych za projekt edukacyjny „Multimedialne i teleinformatyczne narzędzia wspomagające edukację lokalnych społeczności w zakresie zwiększenia ich odporności na zagrożenia związane z klęskami żywiołowymi i katastrofami”.

2012

Uzyskanie Godła „Teraz Polska” w V edycji Konkursu „Teraz Polska” dla Przedsięwzięć Innowacyjnych za opracowanie innowacyjnego „Środka zwilżającego do gaszenia pożarów lasów i torfowisk”.

2013

Uzyskanie nominacji do **Polskiego Godła Promocyjnego „Teraz Polska”** w VI Edycji Konkursu dla Przedsięwzięć Innowacyjnych dla kwartalnika CNBOP „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza”.