

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

## 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 raketowe, 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.

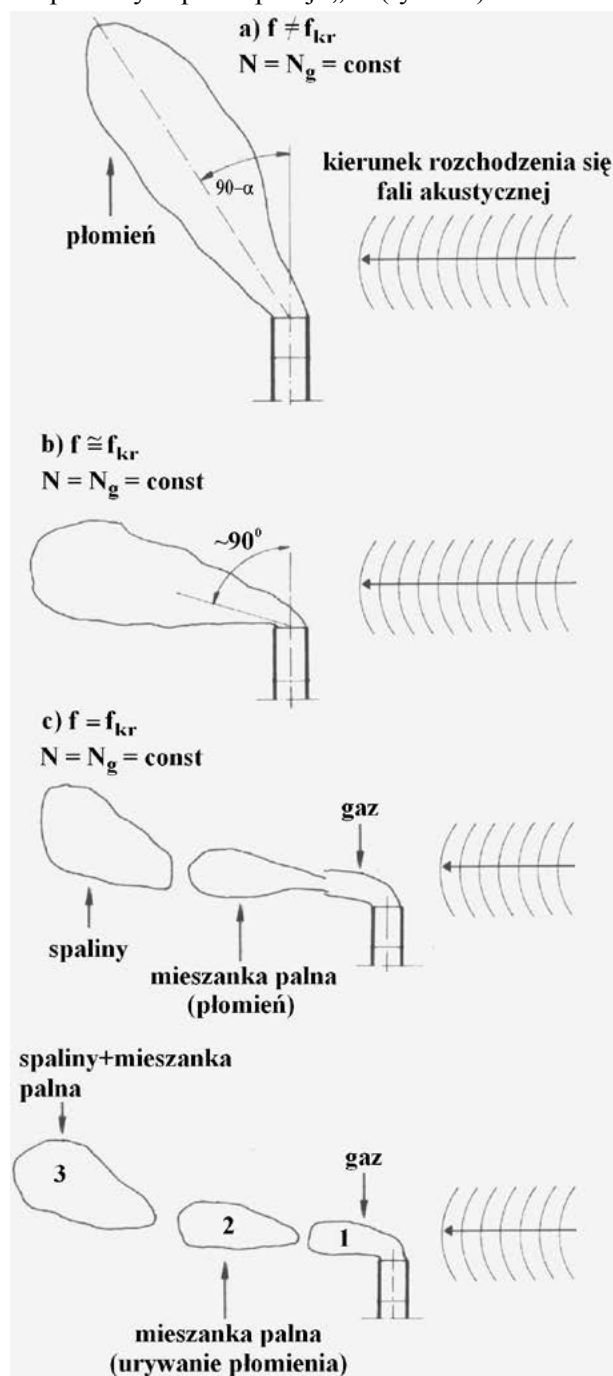
Wraz z falą akustyczną o częstotliwości  $f$  i mocy akustycznej  $N$  zostaje wysłana ze źródła drgań określona wartość energii. Tym samym istnieje możliwość wykonania pracy poprzez źródło dźwięku w określonym punkcie ośrodka albo też zmiany energii mechanicznej fali akustycznej w inny rodzaj energii.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

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

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

<sup>3</sup> 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.

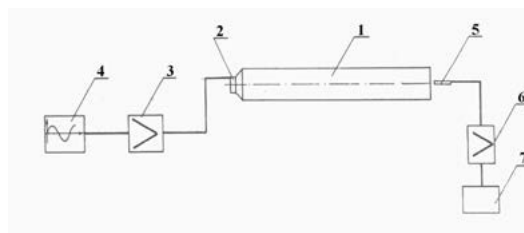
$f$  – częstotliwość fali,  $f_{kr}$  – częstotliwość krytyczna,  $N$  – moc akustyczna,  $N_g$  – graniczna moc akustyczna

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 of 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 zaopatrzone 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.

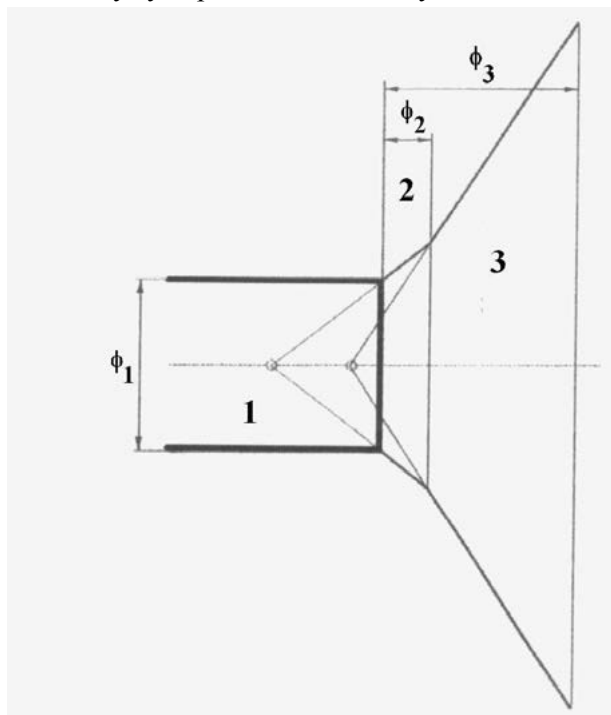
## 2. Wyniki i dyskusja

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 wylotem tunelu (ryc. 3).

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

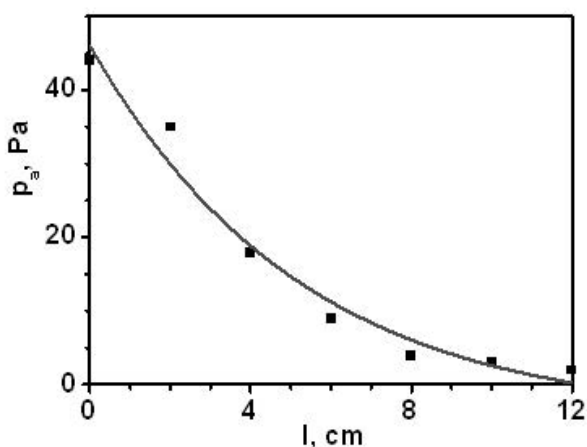
Tak więc przy projektowaniu urządzeń mających na celu gaszenie akustyczne pożaru warto wziąć ten parametr pod uwagę, kierując oraz modelując geometrię wiązki tak, by mogła jak najbardziej precyzyjnie trafić w przypuszczalne źródło pożaru. Technologia zatem może być przeznaczona do likwidacji zarzewi 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°

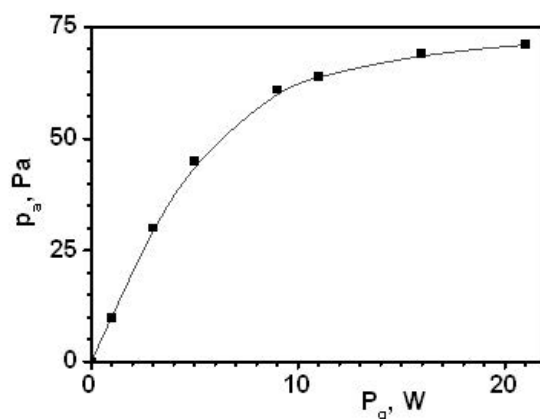


Ryc. 4. Zależność ciśnienia akustycznego w osi pasma od odległości od płaszczyzny wylotu.

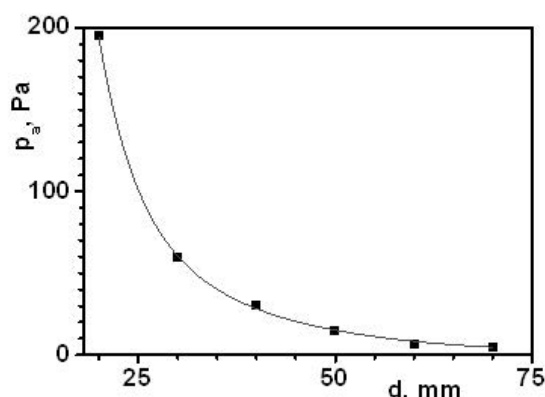
Tunel otwarty  $\phi = 70$  mm

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).

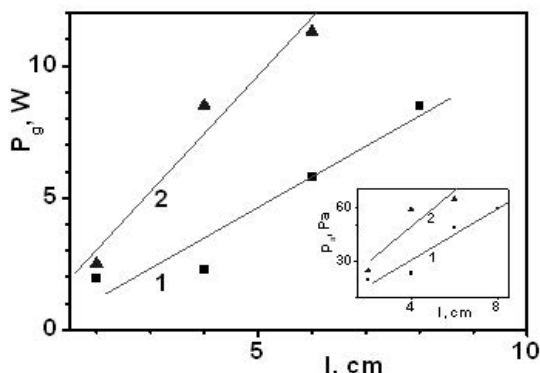
Tabela 1.

**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 <sup>-2</sup>
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 do extinguish flame as a function of the distance from extinction source. Insert: acoustic pressure necessary do 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 Wagnera<sup>29)</sup> podaną poniżej:

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

gdzie:

- $Q$  – natężenie przepływu paliwa, m<sup>3</sup>/s
- $W_d$  – wartość opałowa paliwa, kJ/m<sup>3</sup> (spalano gaz ziemny o wartości opałowej 35 · 10<sup>3</sup> kJ/m<sup>3</sup>)
- $V_{pl}$  – objętość płomienia, m<sup>3</sup> (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/m<sup>3</sup>**

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/m<sup>3</sup>**

Moc cieplna płomienia $P_p$ , W·m <sup>3</sup>	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  $k_{sr} = 3,77 \cdot 10^{-6}$  m<sup>3</sup>.

### 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 użytkownika 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. Przestanki 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 srodowiskowe 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., Szcówka L., Radomiak H., Mszoro K., *Urządzenie do gaszenia płomieni falami akustycznymi*, Patent krajowy Nr. 177478.
25. Wilczkowski S., Szcówka 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.

**mł. 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.