

ml. kpt. inż. Maciej Jabłoński<sup>1)</sup>st. kpt. dr inż. Sylwia Boroń<sup>1)\*</sup>

ORCID: 0000-0002-3886-0060

# Wpływ potencjalnych źródeł ciepła na proces zabezpieczania pomieszczeń gazami gaśniczymi

*Impact of potential heat sources on the process of protecting rooms with extinguishing gases*

DOI: 10.15199/33.2020.07.02

**Streszczenie.** W artykule przeprowadzono analizę wpływu potencjalnych źródeł ciepła występujących w pomieszczeniu, zabezpieczonym stałym urządzeniem gaśniczym gazowym, na rozkład stężenia gazu gaśniczego, a tym samym na skuteczność gaśniczą systemu. W badaniach wykorzystano komorę badawczą wyposażoną w stałe urządzenie gaśnicze na dwutlenek węgla oraz aparaturę umożliwiającą dokonywanie pomiarów zmian stężenia gazu gaśniczego w czasie. Badania zostały wykonane w trzech wariantach: przy braku obecności źródeł ciepła; z uwzględnieniem pożaru oraz z uwzględnieniem pożaru i stałego źródła ciepła, w postaci elektrycznej płyty grzewczej, umieszczonego w komorze badawczej. Na podstawie przeprowadzonych analiz stwierdzono znikomy wpływ źródeł ciepła na rozkład stężenia gazu gaśniczego w zaproponowanym układzie przestrzeni chronionej.

**Słowa kluczowe:** stałe urządzenia gaśnicze gazowe; źródło ciepła; pożar; dwutlenek węgla; obliczeniowa mechanika płynów CFD.

**Abstract.** This article undertakes to conduct an experimental analysis of the impact of potential heat sources occurring in the room protected by FES-gaseous on the distribution of extinguishing gas concentrations, and thus on the extinguishing efficiency of the system. The research used a test chamber equipped with a fixed gaseous extinguishing system on carbon dioxide and apparatus enabling measurements of changes of extinguishing gas concentration over time. The tests were carried out in three variants: in the absence of heat sources, with the presence of fire and taking into account the fire and a constant heat source in the form of an electric hobin the test chamber. Based on the analyzes carried out, a slight impact of the heat sources on the distribution of extinguishing gas concentrations in the proposed arrangement of protected space was found.

**Keywords:** fixed gaseous extinguishing systems; heat source; fire; carbon dioxide; computational fluid dynamics CFD.

W świetle obowiązujących regulacji prawnych zapewnienie warunków bezpieczeństwa pożarowego jest jednym z podstawowych kryteriów dopuszczenia obiektów budowlanych do użytkowania [9]. Pojęcie bezpieczeństwa pożarowego jest związane z zapobieganiem i zwalczaniem pożarów oraz dotyczy wszystkich działań mających na celu ochronę życia, zdrowia, mienia lub środowiska przed nagłym zajściem pożarowym.

Ryzyko wystąpienia strat materialnych, wymagania ciągłości pracy urządzeń oraz konieczność utrzymania odpowiedniego reżimu klimatycznego w pomieszczeniu stanowią przyczynę do zastosowania specjalistycznych in-

stalacji i systemów odpowiedzialnych za detekcję pożaru i jego skuteczne ugaszenie we wczesnej fazie rozwoju. Ponadto istnieją przestrzenie, w których użycie powszechnie stosowanych środków gaśniczych w postaci wody, piany czy proszku może spotęgować straty. W takich przypadkach zasadne jest **zastosowanie gazowych środków gaśniczych** uwalnianych do pomieszczenia za pomocą stałych urządzeń gaśniczych gazowych (SUG-gazowych).

Potencjalne źródła ciepła występujące w pomieszczeniach chronionych SUG-gazowym można podzielić na występujące w sposób stały oraz na takie, które mogą pojawić się incydentalnie. Stałe źródła ciepła, to: pracująca instalacja grzewcza; instalacja klimatyzacyjna oraz sprzęt i urządzenia elektroniczne wytwarzające ciepło. Jednorazowe, nagłe zmiany temperatury mogą być

wywołane awarią stałego źródła ciepła, co w konsekwencji może zapoczątkować proces spalania. W trakcie akcji gaśniczej nawet niewielkie ilości gorących produktów generowanych ze źródła pożaru lub ciepła, emitowanego z urządzeń elektrycznych, mogą tworzyć dodatkowe procesy konwekcyjne i prowadzić do wzrostu temperatury w pomieszczeniu, a w efekcie mieć wpływ na bezpieczeństwo pożarowe pomieszczeń chronionych SUG-gazowymi.

## Zakres stosowania i zasada działania SUG-gazowych

SUG-gazowe jest urządzeniem związanym w sposób stały z obiektem, zawierającym zapas środka gaśniczego, uruchamianym samoczynnie we wczesnej fazie rozwoju pożaru. Zakres stosowania SUG-gazowych określa § 27 Rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrz-

<sup>1)</sup> Szkoła Główna Służby Pożarniczej; Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa i Ochrony Ludności

\* Adres do korespondencji: sboron@sgsp.edu.pl

nych z 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów, w którym wskazane zostały następujące grupy obiektów do zabezpieczenia [8]:

- archiwa wyznaczone przez Naczelnego Dyrektora Archiwów Państwowych;

- muzea oraz zabytki budowlane wyznaczone przez Generalnego Konserwatora Zabytków w uzgodnieniu z Komendantem Głównym Państwowej Straży Pożarnej;

- ośrodki elektronicznego przetwarzania danych o znaczeniu krajowym.

Ponadto SUG-gazowe wykorzystywane są do zabezpieczenia pomieszczeń, w których znajduje się sprzęt elektroniczny, urządzenia pod napięciem bądź przechowywane jest mienie o dużej wartości materialnej.

Działanie SUG-gazowych rozpoczyna się od momentu wykrycia pożaru w chronionym pomieszczeniu przez pierwszą czujkę. Następnie uaktywnia się sygnalizacja akustyczna, zamontowana wewnątrz chronionego pomieszczenia, informująca o konieczności ewakuacji ludzi z zagrożonej strefy. Po wykryciu pożaru przez drugą czujkę rozpoczyna się procedura gaszenia. Na tym etapie pomieszczenie przygotowywane jest do wyładowania gazu, tzn. urządzenia mogą zostać wyłączone, kłapy pożarowe w kanałach wentylacyjnych ulegają zamknięciu, kłapa odciążająca zostaje otwarta, aby zapobiec niebezpiecznemu przyrostowi ciśnienia w pomieszczeniu chronionym w trakcie wyładowania gazu. Po zakończeniu odliczania czasu zwłoki, zawór na butli pilotowej zostaje otwarty za pomocą wyzwalacza elektromechanicznego. Następnie gaz z butli pilotowej otwiera zawory butli gaśniczych przez rurociąg sterujący i dostaje się do kolektora oraz rurociągów gaśniczych i dysz. Wypełnia przestrzeń chronioną i osiąga wymagane stężenie projektowe, które powinno zostać utrzymane w pomieszczeniu przez minimum 10 min [3, 6, 11].

## Procedura badawcza

Głównym celem przeprowadzonych badań była analiza wpływu potencjalnych źródeł ciepła występujących w pomieszczeniu zabezpieczanym SUG-ga-

zowymi na rozkład stężenia gazu gaśniczego, a tym samym na skuteczność gaśniczą tego systemu. Badania zostały przeprowadzone w trzech wariantach:

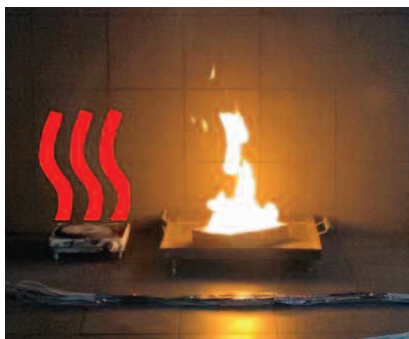
- **wariant I** jako punkt odniesienia, który zakładał brak występowania źródeł ciepła w komorze badawczej;

- **wariant II**, który uwzględniał występowanie pożaru stanowiącego jedyne źródło ciepła w komorze badawczej;

- **wariant III** uwzględniający występowanie pożaru oraz stałego źródła ciepła w postaci elektrycznej płyty grzewczej. Parametry płyty zostały tak dobrane, aby ilość generowanego ciepła była reprezentatywna dla małego serwera lub pracującego urządzenia komputerowego [4].

Badania doświadczalne przeprowadzono w komorze badawczej o wymiarach 5 x 5 x 2,8 m mieszczącej się w Pracowni Technicznych Systemów Zabezpieczeń w Szkole Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie. Pomieszczenie zostało wyposażone w stałe urządzenie gaśnicze na dwutlenek węgla oraz aparaturę pomiarową zamontowaną na dwóch słupkach pomiarowych. Pierwszy słupek pomiarowy umiejscowiono w centralnej części komory, a drugi zlokalizowano w rogu pomieszczenia. Na słupkach rozmieszczono sondy dwutlenku węgla oraz tlenu na wysokości: 0,28; 0,84; 1,4; 1,96 oraz 2,52 m, co odpowiadało 10, 30, 50, 70 oraz 90% wysokości pomieszczenia.

Aparatura pomiarowa składała się z: sensorów tlenu; transponderów tlenu oraz sensorów dwutlenku węgla. Ponadto, w komorze zostały umieszczone dwa źródła ciepła (fotografia). Stałym źródłem ciepła, imitującym serwer, była elektryczna płyta grzewcza średnicy 19 cm, zasilana prądem elektrycz-



Źródła ciepła wykorzystane w programie badawczym

Heat sources used in the research program

nym o napięciu 230 V. Po rozgrzaniu płyta utrzymywała stabilną temperaturę 270°C i generowała ciągły strumień ciepła o mocy 1,5 kW. Wartość tę można przyjąć jako odwzorowującą warunki cieplne panujące wokół serwera w pomieszczeniu chłodzonym systemem klimatyzacji [1, 5]. Drugim źródłem ciepła był pożar cieczy palnej. W badaniach wykorzystano płyn RRK-12 zawierający 96% skażonego alkoholu etylowego. Podczas badania ciecz palna znajdowała się w kuwecie o wymiarach 210 x 297 mm. Moc pożaru wytwarzaną po podpaleniu cieczy palnej można wyrazić wzorem:

$$\dot{Q} = \beta \cdot \dot{m}' \cdot A_s \cdot q_s$$

gdzie:

$\dot{Q}$  – szybkość wydzielania ciepła (moc pożaru) [kW];

$\beta$  – efektywność spalania [-];

$A_s$  – powierzchnia pożaru [m<sup>2</sup>];

$\dot{m}'$  – masowa szybkość spalania [kg/m<sup>2</sup> s];

$q_s$  – ciepło spalania [kJ/kg].

W rozpatrywanym przypadku efektywność spalania wynosi 1, powierzchnia pożaru 0,062 m<sup>2</sup> równa jest powierzchni kuwety, a masowa szybkość spalania 0,02 kg/m<sup>2</sup>s. Ciepło spalania alkoholu etylowego to 27 700 J/kg [13]. Obliczona moc pożaru wytworzonego w komorze, po podstawieniu danych do wzoru, wynosi 33,6 kW. Jest ona porównywalna do ilości ciepła, jakie może wygenerować pożar powstały w pomieszczeniu serwerowni.

Procedurę badawczą rozpoczęto od uruchomienia i skalibrowania aparatury pomiarowej. Następnie, po wstępnym przygotowaniu instalacji SUG-gazowego, przystąpiono do wyładowania dwutlenku węgla. Pomiary zmiany stężenia gazów przeprowadzono w sposób ciągły, a wyniki rejestrowano co 2 s. Całkowity czas pomiaru wynosił każdorazowo 400 s. W przypadku każdego wariantu badania wykonano jedną próbę badawczą. Badania zostały przeprowadzone w warunkach atmosferycznych przedstawionych w tabeli 1 [4].

## Wyniki badań

Wynikiem badań był rozkład stężenia dwutlenku węgla na wysokości pomieszczenia w zależności od występowania źródeł ciepła. Przebieg zmiany stężenia dwutlenku węgla po wyładow-

**Tabela 1. Warunki przeprowadzenia badań doświadczalnych**

Table 1. Conditions of experimental tests conducting

Wariant badania	Źródło ciepła	Temperatura początkowa w komorze [°C]	Temperatura na zewnątrz komory [°C]	Ciśnienie powietrza [Pa]	Wilgotność powietrza [%]
I	brak	20	20	100300	34,7
II	pożar	22	22	98300	35,7
III	pożar + płyta grzewcza	21	21	99100	33,7

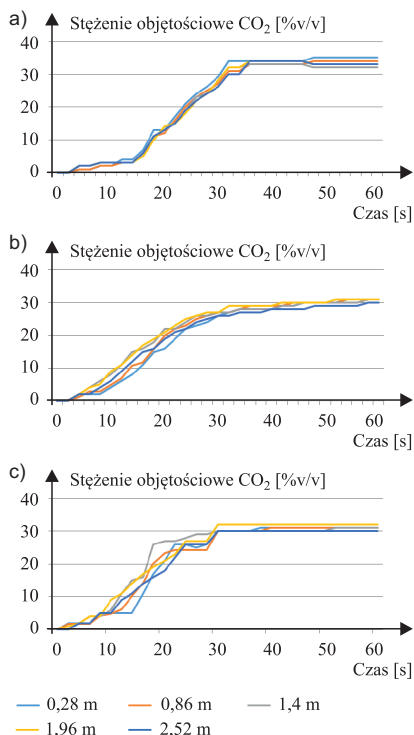
waniu do pomieszczenia został zobrazony na rysunkach 1 – 4. Prezentowane wyniki zróżnicowano w zależności od umiejscowienia słupków pomiarowych w komorze, rodzaju źródeł ciepła występujących w pomieszczeniu oraz prezentowanego kroku czasowego badania (60 oraz 400 s).

Przebieg zmiany stężenia dwutlenku węgla zarejestrowany przez sondy można podzielić na dwie fazy:

- pierwszą, w której następuje dynamiczny wzrost stężenia dwutlenku węgla w pomieszczeniu;
- drugą, podczas której jest znacznie wolniejszy przyrost stężenia, aż do osiągnięcia i utrzymania wartości ok. 30% v/v.

Po wyładowaniu gazu gaśniczego szybkość zmiany stężenia dwutlenku węgla w pomieszczeniu była praktycznie niezależna od usytuowania słupków pomiarowych. Z racji usytuowania centralnego słupka pomiarowego w bliskim otoczeniu dysz wylotowych zmiana stężenia gazu na różnej wysokości pomieszczenia była nieco bardziej równomierna względem wskazań sond umieszczonych w narożnej części komory.

Wyniki przedstawione na rysunku 1a wskazują, że w czasie wyładowania maksymalna różnica stężenia dwutlenku węgla w wariacie bez źródła ciepła wynosiła 3% v/v, natomiast w wariacie z obecnością pożaru 7% v/v (rysunek 1b). W tym przypadku pożar kończy się za sprawą wyładowania gazu i przestaje generować ciepło. Wyniki przedstawione na rysunku 1c wskazują, że maksymalna różnica stężenia dwutlenku węgla w wariacie z obecnością pożaru i grzałki elektrycznej wynosiła w tym samym kroku czasowym 10% v/v. Rysunek 2 obrazuje zmianę stężenia dwutlenku węgla w czasie 60 s w zależ-

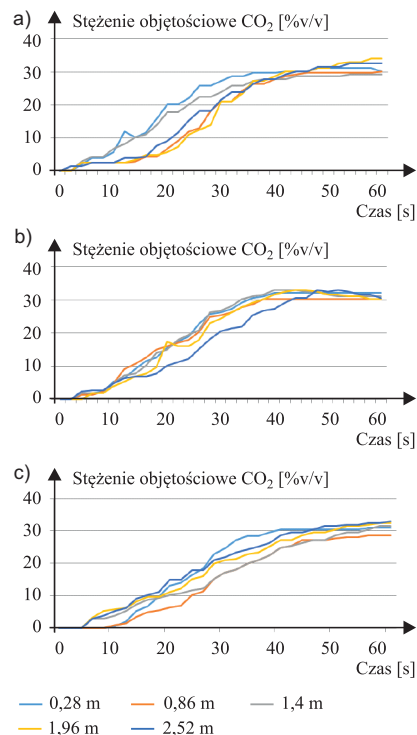


**Rys. 1. Rozkład stężenia CO<sub>2</sub> w centralnej części pomieszczenia w czasie 0-60 s w przypadku: a) braku źródeł ciepła; b) występowania pożaru; c) występowania pożaru oraz płyty grzewczej**

Fig. 1. Distribution of CO<sub>2</sub> concentration in the center of a room during 0-60 s in the case of: a) lack of heat sources; b) occurrence of fire; c) occurrence of fire and hob

ności od wysokości usytuowania sond dwutlenku węgla w narożnej części pomieszczenia. Otrzymane wyniki wskazują, że kierunek zmiany stężenia dwutlenku węgla był zbliżony, natomiast wartości uzyskiwane na różnej wysokości pomieszczenia – nieznacznie zróżnicowane. Może to być spowodowane umiejscowieniem słupka pomiarowego w większej odległości od dysz wylotowych oraz w bliskim sąsiedztwie przegród pomieszczenia i powodować bardziej chaotyczne rozprzestrzenianie się cząsteczek gazu. Niemniej, kierunek zmiany stężenia dwutlenku węgla w całym pomieszczeniu chronionym był bardzo zbliżony (rysunki 1 i 2). Niezależnie od obecności źródeł ciepła, we wszystkich przypadkach gaz osiągnął wymagane stężenie projektowe na poziomie 30% v/v po czasie wyładowania 40 s, w całej kubaturze pomieszczenia (tabela 2).

Po zakończeniu wyładowania gazu gaśniczego stężenie dwutlenku węgla utrzymywało się na wyrównanym po-



**Rys. 2. Rozkład stężenia CO<sub>2</sub> w narożu pomieszczenia w czasie 0-60 s w przypadku: a) braku źródeł ciepła; b) występowania pożaru; c) występowania pożaru oraz płyty grzewczej**

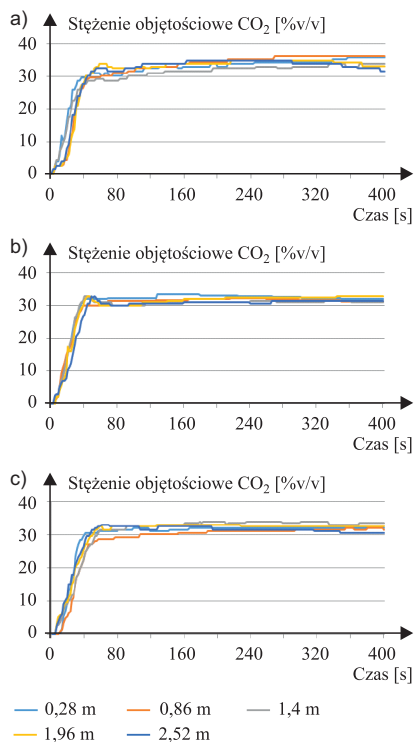
Fig. 2. Distribution of CO<sub>2</sub> concentration in the corner of a room during 0-60 s in the case of: a) lack of heat sources; b) occurrence of fire; c) occurrence of fire and hob

**Tabela 2. Maksymalna wartość stężenia dwutlenku węgla uzyskana w trakcie badań doświadczalnych**

Table 2. The maximum value of carbon dioxide concentration obtained during experimental tests

Badany parametr	Wariant:		
	I	II	III
Maksymalne stężenie dwutlenku węgla w narożu pomieszczenia w 40. sekundzie [%v/v]	31,6	32,9	31,5
Maksymalne stężenie dwutlenku węgla w centrum pomieszczenia w 40. sekundzie [%v/v]	35	31	32
Minimalne stężenie dwutlenku węgla w narożu pomieszczenia w 40. sekundzie [%v/v]	28,7	30,1	27,7
Minimalne stężenie dwutlenku węgla w centrum pomieszczenia w 40. sekundzie [%v/v]	32	29	30

ziomie przez większość analizowanego czasu badania (400 s). Przedstawiony przebieg rozkładu stężenia CO<sub>2</sub> był zbliżony niezależnie od wariantu przeprowadzanych badań (rysunki 3 i 4).



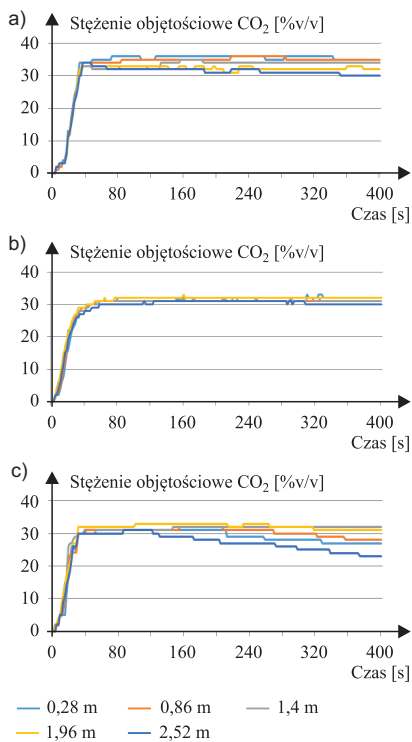
**Rys. 3. Rozkład stężenia CO<sub>2</sub> w narożu pomieszczenia w czasie 0-400 s w przypadku: a) braku źródeł ciepła; b) występowania pożaru; c) występowania pożaru oraz płyty grzewczej**

Fig. 3. Distribution of CO<sub>2</sub> concentration in the corner of a room during 0-400 s in the case of: a) lack of heat sources; b) occurrence of fire; c) occurrence of fire and hob

Z przedstawionych badań wynika, że gaz nieznacznie fluktuuje, utrzymując wymaganą wartość stężenia w zabezpieczanej przestrzeni. Rysunki 3 oraz 4a i 4b wskazują, że stężenie objętościowe dwutlenku węgla po wyładowaniu i ustabilizowaniu się nie uległo zmniejszeniu poniżej 30% v/v na żadnej badanej wysokości. Z racji większej gęstości dwutlenku węgla względem powietrza, wraz z upływem czasu widoczne jest powolne obniżenie stężenia gazu w górnej części pomieszczenia [7]. Największy spadek stężenia dwutlenku węgla zarejestrowano na wysokości 2,52 m i wynosił on 8% v/v w ciągu 300 s (rysunek 4c).

### Podsumowanie i wnioski

Na podstawie przeprowadzonych analiz stwierdzono brak istotnego wpływu źródeł ciepła, w postaci pożaru i urządzenia grzewczego, występujących w pomieszczeniu chronionym SUG-gazowymi, na rozkład stężenia gazu gaśniczego, jakim jest dwutle-



**Rys. 4. Rozkład stężenia CO<sub>2</sub> w centralnej części pomieszczenia w czasie 0-60 s w przypadku: a) braku źródeł ciepła; b) występowania pożaru; c) występowania pożaru oraz płyty grzewczej**

Fig. 4. Distribution of CO<sub>2</sub> concentration in the center of a room during 0-60 s in the case of: a) lack of heat sources; b) occurrence of fire; c) occurrence of fire and hob

nek węgla. Zarówno na etapie wyładowania, jak i w trakcie dalszego procesu zabezpieczania przestrzeni komory badawczej nie zaobserwowano istotnej różnicy w rozkładzie stężenia gazu w przypadku braku obecności, jak i z uwzględnieniem różnych konfiguracji źródeł ciepła występujących w pomieszczeniu. Może to wynikać z właściwości dwutlenku węgla, który w trakcie rozprężenia ochładza się, powodując znaczny spadek temperatury otoczenia, przez co niweluje wpływ źródeł ciepła wykorzystanych w przedstawionym programie badawczym [2, 12]. Należy zaznaczyć, że możliwości techniczne, jakimi dysponowano, pozwoliły na przeprowadzenie badań doświadczalnych z uwzględnieniem stosunkowo małych źródeł ciepła w postaci płyty grzewczej (o mocy reprezentatywnej dla komputera lub małego serwera) oraz pożaru testowego rozpalonego w kuwecie o formacie A4.

Niezbędne są dalsze badania, m.in. wpływu potencjalnych źródeł ciepła na rozkład stężenia w przypadku uwolnienia innych gazów gaśniczych, jak zamienniki halonów czy gazy obojętne (temperatura tych gazów nie ulega znacznemu obniżeniu w trakcie wyładowania do pomieszczenia, w przeciwieństwie do dwutlenku węgla), a także z zastosowaniem mocniejszych źródeł ciepła i przeprowadzenia większej liczby prób badawczych w celu oceny powtarzalności uzyskanych wyników.

### Literatura

- [1] Ahonen Antti, Matti Kokkala, Henry Weckman. 1984. *Burning Characteristic of potential ignition sources of room fires*. Technical Research Centre of Finland, Fire Technology Laboratory.
- [2] Boroń Sylwia. 2018. „Parametry charakteryzujące zagrożenia związane ze stosowaniem technologii gaszenia gazem”. *Zeszyty Naukowe SGSP*, nr 67.
- [3] Czarniecki Rafał. 2009. „Gaszenie gazem obojętnym”. *Zabezpieczenia*, nr 29.
- [4] Jabłoński Maciej. 2020. *Modelowanie numeryczne wpływu potencjalnych źródeł ciepła na proces zabezpieczenia pomieszczeń gazami gaśniczymi*. Praca dyplomowa inżynierska, Promotor pracy: st. kpt. dr inż. Sylwia Boroń, SGSP.
- [5] Parssinen Matti, Mikko Wahloos, Jukka Manner, Sanna Syri. 2019. „Waste heat from data centers: An investment analysis”. *Sustainable Cities and Society*, nr 44.
- [6] PN-EN 15004:2008 Stałe urządzenia gaśnicze – Urządzenia gaśnicze gazowe – Część 1- Ogólne wymagania dotyczące projektowania i instalowania.
- [7] PN-M-51250-01:1993 Zasady projektowania i instalowania urządzeń gaśniczych na CO<sub>2</sub>.
- [8] Rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych z 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz.U. nr 109 poz. 719).
- [9] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 z 9 marca 2011 r. ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylające dyrektywę Rady 89/106/EWG (Dz. Urz. UE L 88 z 04.04.2011).
- [10] Sowa Tomasz. 2010. „Analiza porównawcza stałych urządzeń gaśniczych – część I”. *Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza*, nr 1.
- [11] Tuzimek Zbigniew, Przemysław Kubica. 2009. *Stale urządzenia gaśnicze gazowe cz. 2 – wprowadzenie do projektowania*. <http://www.sgsp.edu.pl>, 2009.
- [12] Wnęk Waldemar, Przemysław Kubica. 2010. *Czy dwutlenek węgla jako środek gaśniczy powinien odejść do lamusa*. <http://www.sgsp.edu.pl/uczelnia/kbb/tsz/materiały/zalaczniki/co2.pdf>; 5.06.2010.
- [13] Wolanin Jerzy. 1986. *Podstawy rozwoju pożarów*. Warszawa. SGSP.

Przyjęto do druku: 22.06.2020 r.