

st. kpt. mgr inż. **Przemysław KUBICA**

Szkoła Główna Służby Pożarniczej

bryg. dr inż. **Waldemar WNEK**

Szkoła Główna Służby Pożarniczej

## **ANALIZA ROZKŁADU STĘŻEŃ TLENU PODCZAS GASZENIA POMIESZCZENIA AZOTEM, PRZY WYMUSZONYCH RUCHACH POWIETRZA**

### **Analysis of distribution of oxygen concentrations during fire extinction in the enclosure by nitrogen with forced air condition**

#### **Streszczenie:**

Technologia gaszenia pożarów gazami gaśniczymi stosowana jest do zabezpieczania mienia wysokiej wartości. Współcześnie jest to najczęściej spotykany sposób zabezpieczania serwerowni, archiwów lub magazynów muzealnych. Skuteczność gaszenia gazem zależy od utrzymania stężenia gazu gaśniczego przez wymagany czas. Zbyt wczesny wzrost stężenia tlenu może spowodować nawrót pożaru i zniszczenie zabezpieczanego mienia. Mieszanie gazów po wyładowaniu, za pomocą klimatyzatorów pracujących bez dostarczania świeżego powietrza, może wydłużyć czas retencji. W artykule przedstawiono wyniki badań czasu retencji azotu, przy wybranych wydajnościach klimatyzacji i powierzchniach szczelności w pomieszczeniu. Stwierdzono, że wzrost intensywności klimatyzacji do określonej wartości granicznej, wydłuża czas retencji. Powyżej tej wartości, czas retencji pozostaje bez zmian.

#### **Summary:**

Gas fire extinguishing technology is used to protect high value assets. Today it is the most common way of securing the server room, archives and museum stores. Gas extinguishing effectiveness depends on maintaining a fire-extinguishing gas concentration for the required time - retention time. Too early increase in oxygen concentration can cause a recurrence of fire and destruction of protected property. Mixing of gas after the discharge, using air conditioners operating without fresh air supply, may extend the retention time. The article presents the results of the retention time of nitrogen with selected air conditioning efficiency and selected areas of leakage in the room. It was found that the increase in the intensity of conditioning to a certain limit, increases the retention time. Above this value, the retention time remains unchanged. While too low intensity conditioning does not ensure uniform mixing of extinguishing gases in the protected space.

**Słowa kluczowe:** retencja, czas utrzymania stężenia, SUG gazowe, czyste środki gaśnicze;

**Keywords:** retention, hold time, fixed gas fire extinguishing systems, clean agent;

Gaszenie pożarów gazami znajduje szerokie zastosowanie w zabezpieczaniu mienia wysokiej wartości, wrażliwego na działanie innych środków gaśniczych. Gazy gaśnicze obecnie stosowane w stałych urządzeniach gaśniczych można podzielić na trzy grupy: dwutlenek węgla, chlorowcopochodne węglowodorów i gazy obojętne. Zgodnie z nomenklaturą wprowadzoną przez NFPA (*National Fire Protection Association*) chlorowcopochodne węglowodorów i gazy obojętne noszą nazwę „czyste środki gaśnicze”. *Dwutlenek węgla* jest gazem, którego historia zastosowań w ochronie przeciwpożarowej sięga, podobnie jak w przypadku halonów, początku XX wieku. Skuteczność gaśnicza urządzeń na dwutlenek węgla była wielokrotnie potwierdzona w rzeczywistych sytuacjach. Podstawową wadą dwutlenku węgla jest jego szkodliwy wpływ na organizm ludzki. *Chlorowcopochodne węglowodorów* nazywane są również zamiennikami halonów, ponieważ posiadają szereg cech wspólnych z halonami. Zbudowane są najczęściej na bazie metanu  $\text{CH}_4$  lub etanu  $\text{C}_2\text{H}_6$ , w których jeden lub wszystkie atomy wodoru zastąpione zostały atomami chloru, fluoru, jodu lub odpowiednimi kombinacjami. *Gazy obojętne* stosowane do celów gaśniczych to azot, argon ich mieszaniny, w jednym przypadku z niewielką domieszką  $\text{CO}_2$ . Gazy obojętne posiadają cechy zdecydowanie różniące je od halonów. Ich działanie gaśnicze polega na obniżeniu stężenia tlenu w zabezpieczanym pomieszczeniu. Główną zaletą gazów obojętnych jest brak szkodliwego oddziaływania na środowisko. Stanowi to istotną przewagę nad zamiennikami halonów, które wprawdzie nie niszczą warstwy ozonowej, ale przyczyniają się do intensyfikacji efektu cieplarnianego.

Gaz gaśniczy wyładowany do pomieszczenia, aby zapewnić skuteczne ugaszenie pożaru, musi być utrzymywany w kubaturze pomieszczenia przez wymagany czas, tzw. czas retencji. W związku z różnicą gęstości gazu gaśniczego i otaczającego powietrza, po wyładowaniu następuje wypływ gazu gaśniczego i obniżanie jego stężenia objętościowego a wzrost stężenia tlenu, spowodowany napływem powietrza z zewnątrz. Szybkość wzrostu stężenia tlenu w pomieszczeniu zależy od powierzchni nieszczelności w przegrodach pomieszczenia, gęstości gazu gaśniczego oraz ruchów wszystkich gazów wewnątrz pomieszczenia. Wśród gazów gaśniczych obecnie uznanych przez międzynarodowe normy, najdłuższy czas retencji pozwala uzyskać azot.

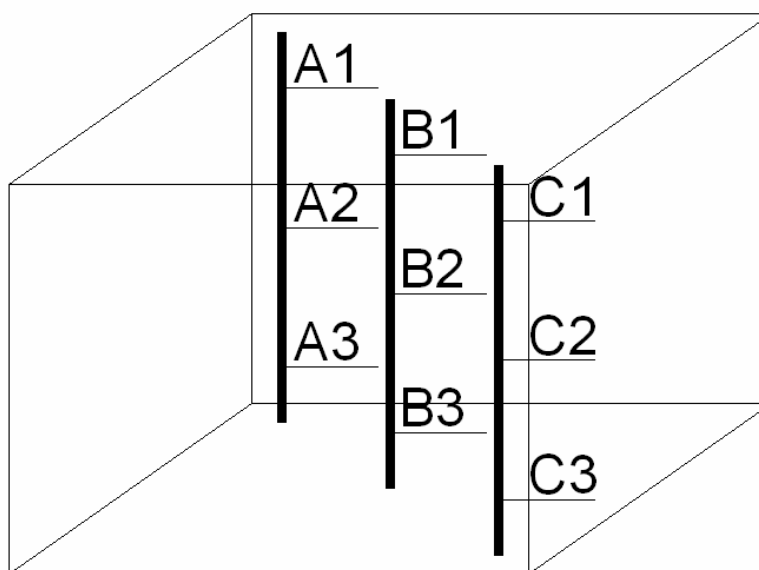
Celem artykułu jest analiza wpływu ruchów gazów wewnątrz chronionego pomieszczenia na długość czasu retencji. Aktualnie przyjmowane są dwa modele zachowania gazów po wyładowaniu: model bez mieszania gazów tzw. „no mixing during retention” i model z ciągłym mieszaniem gazów tzw. „mixing during retention”. Przy braku mieszania, jeżeli gaz gaśniczy jest cięższy od powietrza, to swobodnie opada i wypływa przez dolne nieszczelności w pomieszczeniu, a górnymi napływa świeże powietrze. Tworzą się trzy warstwy: warstwa gazu

gaśniczego na dole pomieszczenia, warstwa przejściowa i warstwa powietrza w górnej części pomieszczenia. Jeżeli gaz gaśniczy jest lżejszy od powietrza sytuacja odwraca się. Model z ciągłym mieszaniem gazów zakłada równomierne rozprowadzenie po całej kubaturze zabezpieczanego pomieszczenia. Powietrze napływające do pomieszczenia rozcieńcza mieszaninę gazu gaśniczego i powoduje równomierny spadek stężenia w chronionej przestrzeni. Model ten stosowany jest dla pomieszczeń, w których występują urządzenia wprawiające powietrze w ruch np. klimatyzacja pracująca w obiegu zamkniętym. Znane normy oraz źródła literaturowe nie określają intensywności, z jaką należy wprowadzać w ruch gaz wewnątrz pomieszczenia, aby zapewnić równomierny rozkład stężenia. Powyższe stanowiło przesłankę do przeprowadzenia badania czasu retencji wybranego gazu gaśniczego przy różnych wydajnościach klimatyzacji.

Zakres artykułu obejmuje analizę dla jednego gazu gaśniczego – azotu. Azot jest gazem obojętnym, bezpiecznym dla środowiska oraz pozwala uzyskać najdłuższe czasy retencji wśród gazów gaśniczych dopuszczonych do stosowania. Powyższe decyduje, że azot należy do coraz powszechniej stosowanych gazów gaśniczych w SUG-gazowych (SUG – stałe urządzenia gaśnicze, tj. urządzenia związane na stałe z obiektem, zawierające zapas środka gaśniczego i uruchamiane samoczynnie we wczesnej fazie rozwoju pożaru) oraz jest gazem wykorzystywanym w urządzeniach inertyzujących, działających na zasadzie ciągłej redukcji tlenu. Analizę dokonano na podstawie badań, przeprowadzonych w pracowni Technicznych Systemów Zabezpieczeń, w Szkole Głównej Służby Pożarniczej.

### **Stanowisko badawcze**

Badania wykonano w komorze laboratoryjnej o wymiarach 5 x 5 x 2,8 m wyposażonej system pomiaru stężeń tlenu. System pomiarowy tworzyły sondy, które przyłączono do central zasilająco-monitorujących. Centrale połączono w sieć i podłączono do komputera, który umożliwiał odczyt i rejestracje wskazań. W trakcie badania rejestrowano zmiany stężenia tlenu w 9 punktach pomiarowych. Sondy tlenu rozmieszczono na trzech słupkach pomiarowych: jeden na środku pomieszczenia (słupek B), dwa w przeciwległych narożnikach (słupki A i C). Na każdym słupku zamontowano 3 sondy pomiarowe, odpowiednio na 10 %, 50 % i 90 % wysokości pomieszczenia.



**Ryc. 1.** Schemat rozmieszczenie sond tlenu w komorze laboratoryjnej

**Fig. 1.** Schematic arrangement of oxygen probes in the test room

Do komory doprowadzano azot z urządzenia do inertyzacji OxyReduct firmy Wagner. Urządzenie pobierało powietrze atmosferyczne, na membranach następował rozdział azotu od tlenu. Azot wprowadzono do komory badawczej, tlen usuwany był do atmosfery.

W celu równomiernego rozprowadzania gazów załączano klimatyzatory. Wydatek powietrzny klimatyzatorów pracujących z pełną mocą, umożliwiał uzyskanie 14 wymian na godzinę. W zależności od wariantu badania klimatyzatory były wyłączane, lub zmieniano wydatek.

Badania prowadzono dla dwóch przypadków szczelności pomieszczenia:

- pomieszczenie z otwartymi otworami o łącznej powierzchni 650 cm<sup>2</sup>,
- pomieszczenie z otwartymi otworami o łącznej powierzchni 410 cm<sup>2</sup>.

Otwory rozmieszczano w sposób najbardziej niekorzystny dla utrzymywania stężenia gazu, tj. połowa ich powierzchni znajdowała się w najwyższej części pomieszczenia, a połowa w najniższej.

Procedura badania przebiegała w sposób przedstawiony poniżej.

1. Hermetyzacja komory badawczej, załączenie aparatury pomiarowej;
2. Ustawienie klimatyzatorów na zadaną wydajność;
3. Wprowadzenie azotu do komory, za pomocą urządzenia inertyzującego OxyReduct, aż do obniżenia stężenia tlenu do wartości 14%;

4. Uruchomienie programu rejestrująco – archiwizującego;
5. Otwarcie otworu o znanej powierzchni;
6. Rejestracja wyników przez czas 1800 sekund;
7. Przewietrzenie pomieszczenia;

### **Kryteria oceny**

Podstawowym kryterium poddawanych ocenie w poszczególnych wariantach był czas retencji, określany zgodnie z normą PN EN 15004-1: 2008. Czas retencji jest to czas, przez który utrzymywane jest stężenie gazu gaśniczego w chronionej kubaturze. Czas retencji mierzony jest do chwili, gdy stężenie gazu na 10%, 50% i 90% wysokości chronionej kubatury przekracza 85% stężenia projektowego. W celu zapewnienia skutecznego gaszenia, stawia się wymaganie aby czas retencji wynosił co najmniej 600 sekund (10 minut).

Wysokość komory badawczej wynosiła  $H = 2,8$  m. Na wysokości  $0,1 H = 0,28$  m, wysokości  $0,5 H = 1,4$  m oraz wysokości  $0,9 H = 2,52$  m umieszczono sondy stężenia tlenu. Na podstawie znanego stężenia tlenu obliczano stężenie gazów gaśniczych, zgodnie z równaniem:

$$c_{\text{gaz}} = (1 - c_{\text{tlen}}/21) * 100,$$

gdzie:

$c_{\text{gaz}}$  – stężenie objętościowe gazu gaśniczego [%],

$c_{\text{tlen}}$  – stężenie objętościowe tlenu [%],

21 – stężenie tlenu w warunkach normalnych [%].

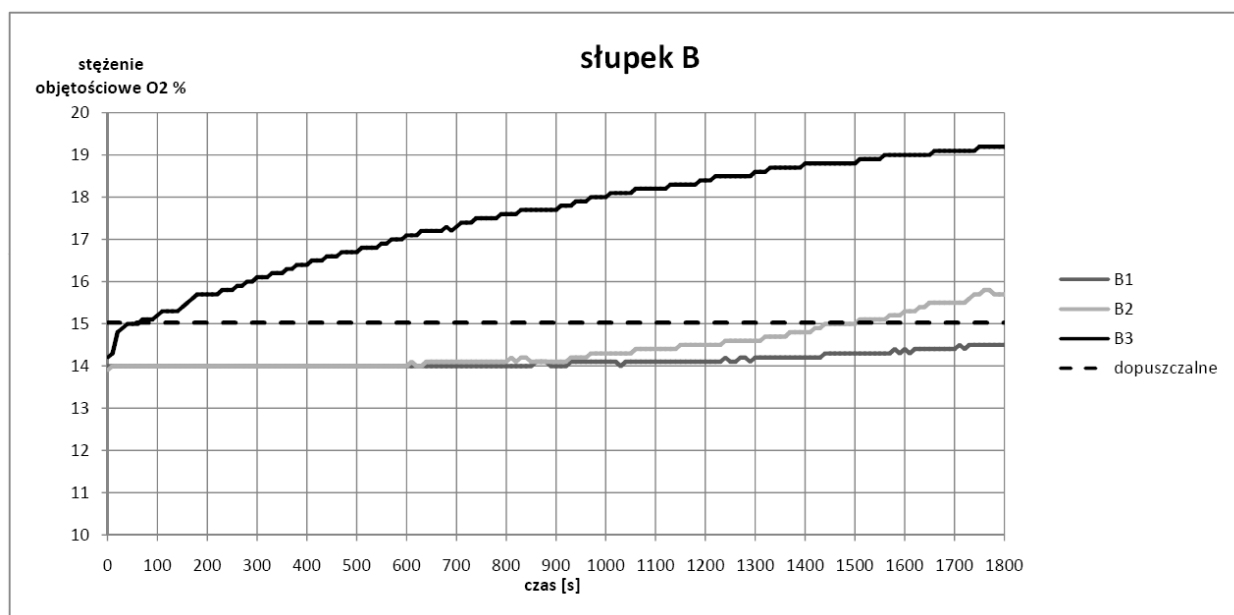
Zgodnie z powyższym równaniem, znając aktualną wartość stężenia tlenu, można wyznaczyć stężenie objętościowe gazu gaśniczego, który został wprowadzony do pomieszczenia. Przyjęto, że w warunkach normalnych, tj. przed wprowadzeniem gazu gaśniczego stężenie tlenu wynosi 21% objętości powietrza. Obniżenie stężenia tlenu o np. połowę czyli do wartości 10,5%, jest równoznaczne z tym, że z pomieszczenia wyparta została połowa objętości powietrza, a w to miejsce wprowadzono gaz gaśniczy. Stąd wniosek, że stężenie objętościowe gazu gaśniczego w tym przypadku wynosi 50%.

Za początek czasu retencji przyjmowano chwilę, gdy odłączano dopływ azotu i otwierano nieszczelności. Stężenie tlenu wynosiło wówczas 13 % do 14,5% objętościowych, w zależności od badania (z uwagi na ograniczenia sprzętowe, nie było możliwe uzyskanie każdorazowo jednakowego stężenia początkowego, przy czym pozostawało to bez istotnego wpływu na wartość badaną, tj. długość czasu retencji). Jako koniec czasu retencji uznawano chwilę, gdy przynajmniej na jednej wysokości stężenie tlenu wzrosło do wartości odpowiadającej 85% początkowej wartości stężenia gazu gaśniczego (14%-15,2% w zależności od badania).

## Wyniki badań - wybrane

Przedstawiając wyniki badań pominięto odczyty z słupków A i C, umieszczonych w narożnikach pomieszczenia. Różnice między poszczególnymi słupkami były znaczące. Dlatego, mając na celu przejrzystość prezentowanych wyników, przyjęto słupek B, zlokalizowany na środku pomieszczenia.

Komora z otworami o łącznej powierzchni 650 cm<sup>2</sup>: jeden o powierzchni 325 cm<sup>2</sup> u góry pomieszczenia, drugi o powierzchni 325 cm<sup>2</sup> na dole pomieszczenia. Gaz wypływa swobodnie, klimatyzacja wyłączona.

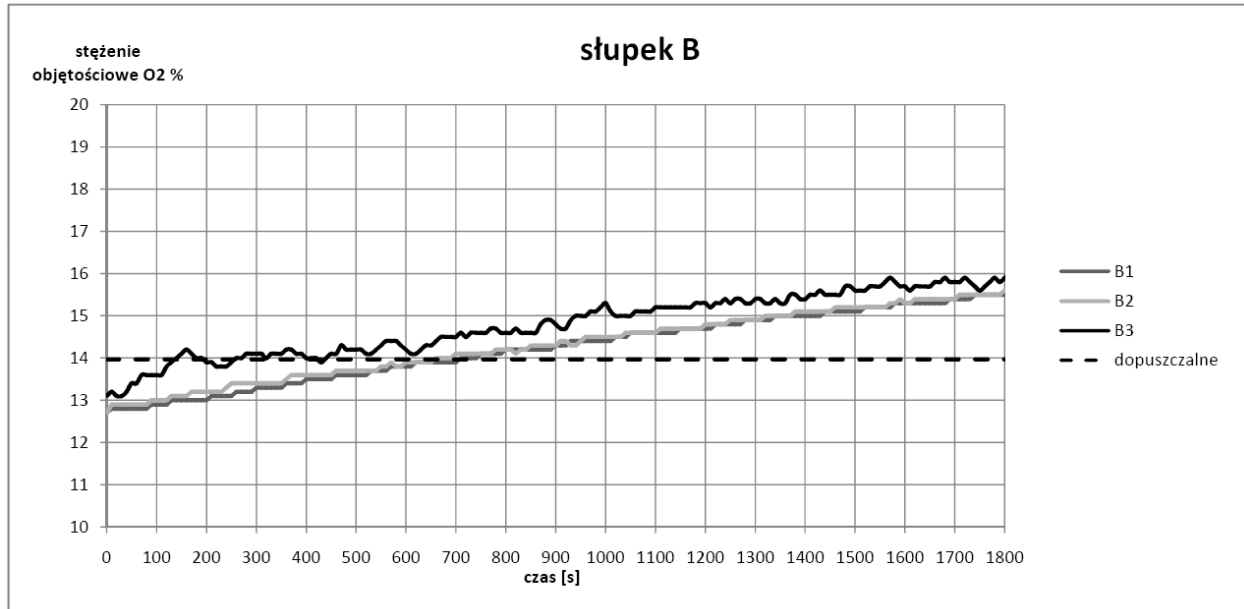


**Ryc. 2.** Wykres zmiany stężenia tlenu w czasie. Oznaczenia: słupek B – słupek w środku pomieszczenia; B1 – sonda na wysokości 2,52 m; B 2 – sonda na wys. 1,4 m; B 3 – sonda na wysokości 0,28 m.

**Fig. 2.** Graph changes in oxygen concentration over time. Designation: column B – column in the midst of room B1 – probe at a height 2,52 m B 2 – probe at a height 1,4 m; B 3 – probe at a height 0,28 m.

Źródło: opracowanie własne

Komora z otworami o łącznej powierzchni  $650 \text{ cm}^2$ : jeden o powierzchni  $325 \text{ cm}^2$  u góry pomieszczenia, drugi o powierzchni  $325 \text{ cm}^2$  na dole pomieszczenia. Praca klimatyzacji z wydatkiem **5 wymian** na godzinę.

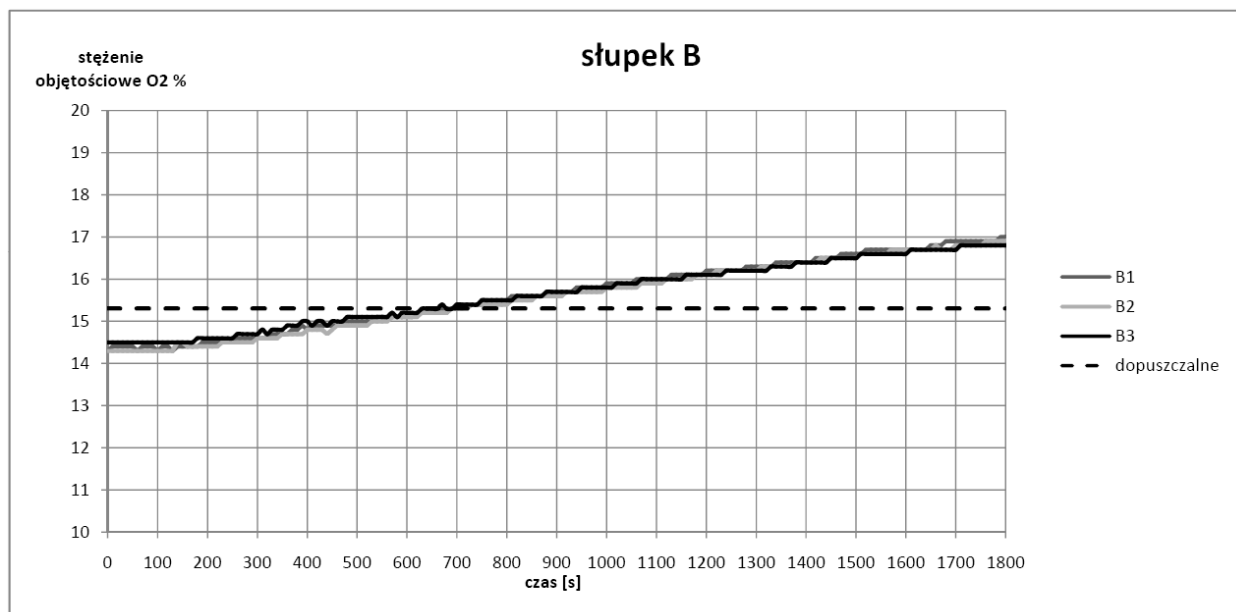


**Ryc. 3.** Wykres zmiany stężenia tlenu w czasie. Oznaczenia jak na rys. 2.

**Fig. 3.** Graph changes in oxygen concentration over time. Designation: see fig.2

Źródło: opracowanie własne

Komora z otworami o łącznej powierzchni  $650 \text{ cm}^2$ : jeden o powierzchni  $325 \text{ cm}^2$  u góry pomieszczenia, drugi o powierzchni  $325 \text{ cm}^2$  na dole pomieszczenia. Praca klimatyzacji z wydatkiem **14 wymian** na godzinę.



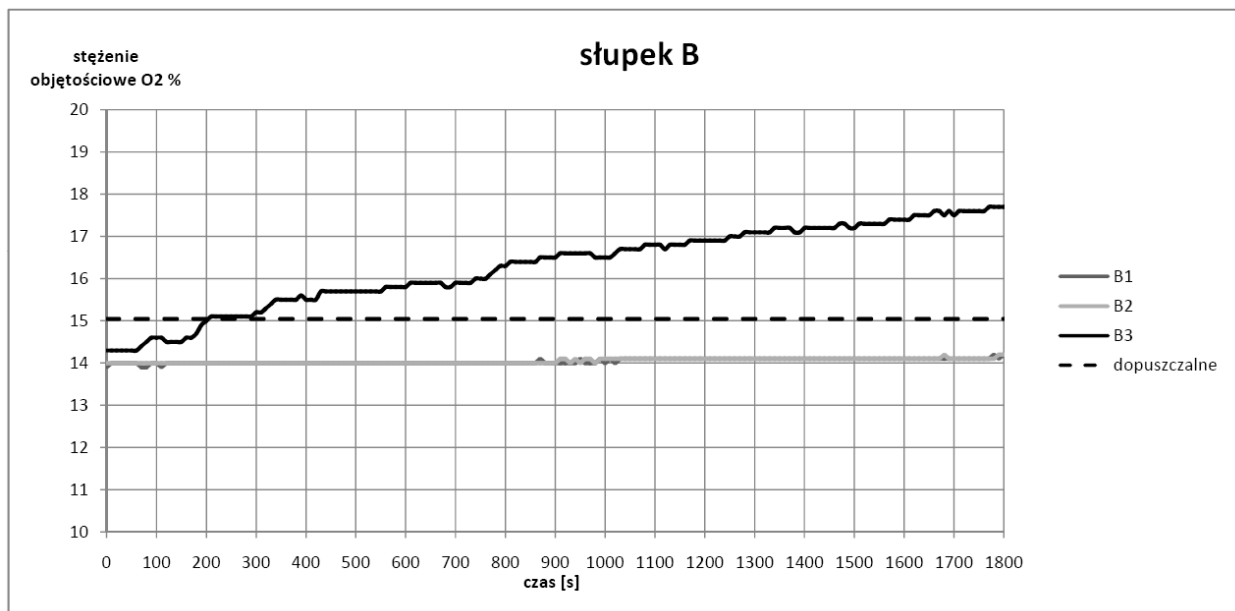
Ryc. 4. Wykres zmiany stężenia tlenu w czasie. Oznaczenia jak na rys. 2.

Fig. 4. Graph changes in oxygen concentration over time. Designation: see fig.2

Źródło: opracowanie własne



Komora z otworami o łącznej powierzchni 410 cm<sup>2</sup>: jeden o powierzchni 205 cm<sup>2</sup> u góry pomieszczenia, drugi o powierzchni 205 cm<sup>2</sup> na dole pomieszczenia. Gaz wyływa swobodnie, klimatyzacja wyłączona.

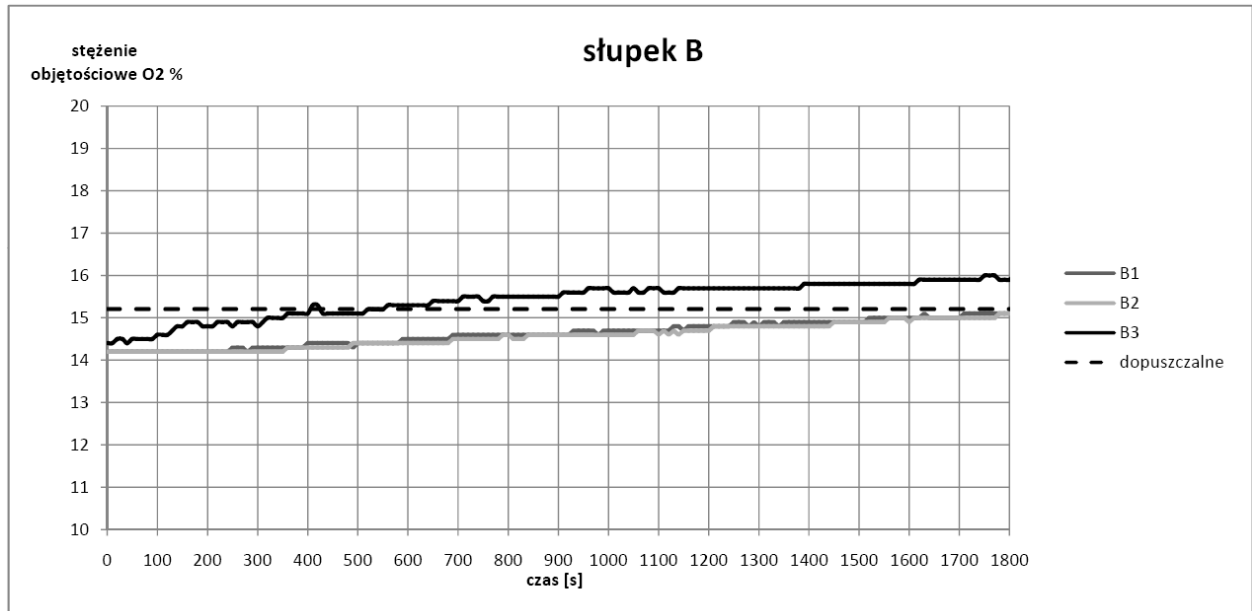


Ryc. 5. Wykres zmiany stężenia tlenu w czasie. Oznaczenia jak na rys. 2.

Fig. 5. Graph changes in oxygen concentration over time. Designation: see fig.2

Źródło: opracowanie własne

Komora z otworami o łącznej powierzchni 410 cm<sup>2</sup>: jeden o powierzchni 205 cm<sup>2</sup> u góry pomieszczenia, drugi o powierzchni 205 cm<sup>2</sup> na dole pomieszczenia. Praca klimatyzacji z wydatkiem **0,25 wymian** na godzinę.

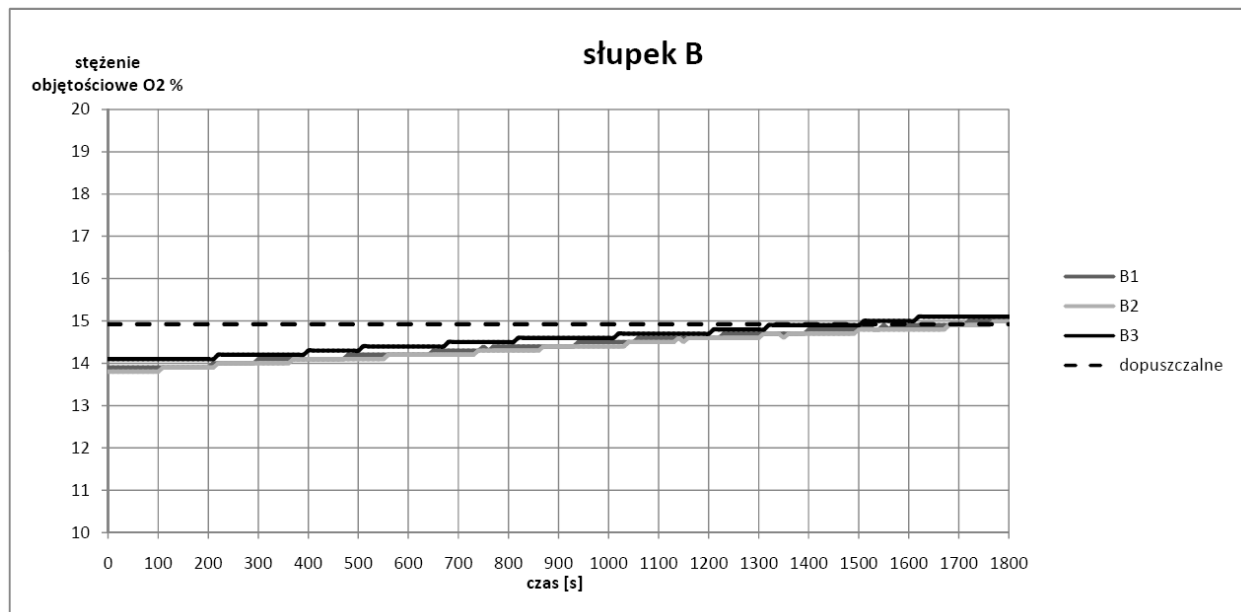


**Ryc. 6.** Wykres zmiany stężenia tlenu w czasie. Oznaczenia jak na rys. 2.

**Fig. 6.** Graph changes in oxygen concentration over time. Designation: see fig.2

Źródło: opracowanie własne

Komora z otworami o łącznej powierzchni 410 cm<sup>2</sup>: jeden o powierzchni 205 cm<sup>2</sup> u góry pomieszczenia, drugi o powierzchni 205 cm<sup>2</sup> na dole pomieszczenia. Praca klimatyzacji z wydatkiem **5 wymian** na godzinę.



**Ryc. 7.** Wykres zmiany stężenia tlenu w czasie. Oznaczenia jak na rys. 2.

**Fig. 7.** Graph changes in oxygen concentration over time. Designation: see fig.2

Źródło: opracowanie własne

## **Analiza wyników**

Czas retencji dla poszczególnych wariantów badań przedstawiono w Tabeli 1. Badanie dowiodły jednoznacznie, że praca klimatyzatorów po wyładowaniu powoduje wydłużenie czasu retencji, tym samym jest korzystna dla skutecznego działania gazowych urządzeń gaśniczych. Przy tych samych nieszczelnościach, swobodny wypływ gazu, bez ciągłego mieszania, nie zapewniał utrzymania minimalnego wymaganego czasu retencji 10 minut (600 sekund). W przypadku pracy klimatyzatorów z odpowiednim wydatkiem, czas retencji był dłuższy.

Tabela 1.

### **Czas retencji w sekundach**

Tabela 2.

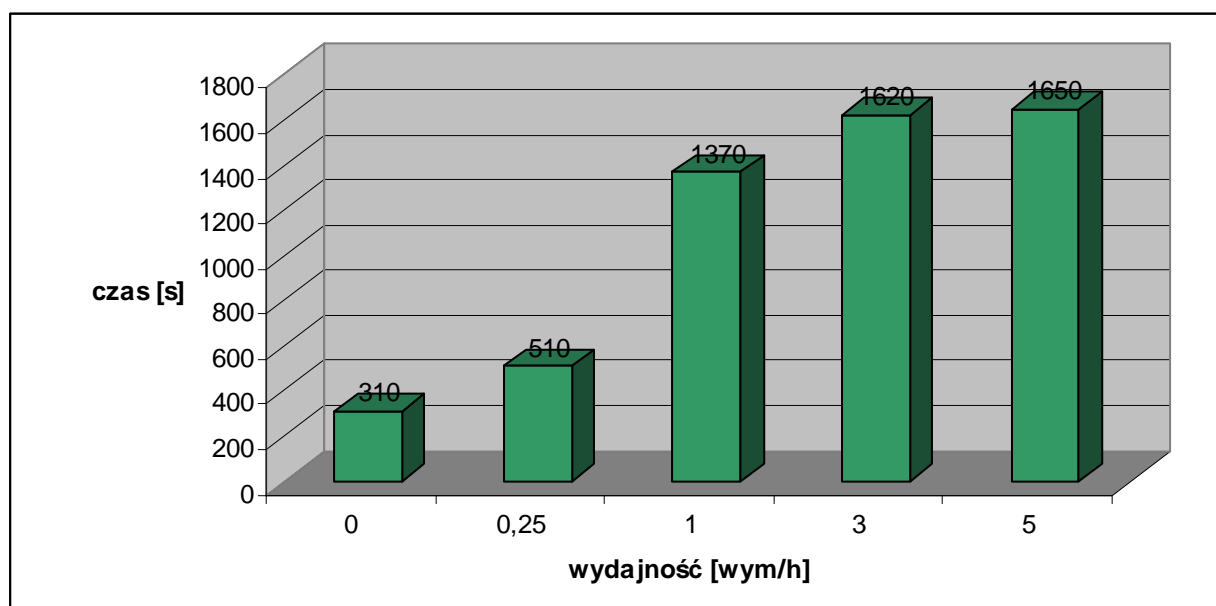
#### **Retention time (in seconds)**

<b>Powierzchnia dodatkowych otworów</b>	<b>wydajność klimatyzacji [wym/h]</b>					
	<b>14</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0,25</b>	<b>0</b>
<b>650 cm<sup>2</sup></b>	660	120	x	x	x	50
<b>410 cm<sup>2</sup></b>	x	1650	1620	1370	510	310

szare tło – czas retencji poniżej wymagań normy

x – nie robiono badania

Wraz ze wzrostem intensywności klimatyzacji obserwowano wzrost równomierności rozprzodzenia gazu po kubaturze pomieszczenia oraz wydłużenie czasu retencji. Po osiągnięciu granicznej wydajności, dalszy wzrost wydajności nie wpływał znacząco na wydłużenie czasu retencji. Dla przypadku 410 cm<sup>2</sup> wartością graniczną były 3 wymiany na godzinę (wykres 5).



**Ryc. 8.** Zależność czasu retencji od wydajność wentylacji przy powierzchni dodatkowych otworów wynoszącej 410 cm<sup>2</sup>

**Fig 8.** Dependence of the retention time of the performance of additional ventilation holes on the surface of 410 cm<sup>2</sup>

Wzrost nieszczelności w pomieszczeniu powodował skrócenie czasu retencji przy tej samej intensywności wentylacji. Dla przypadku 410 cm<sup>2</sup> wydajność 5 wym/h była wystarczająca do uzyskania równomiernego rozprowadzenia gazu po pomieszczeniu (Tabela 1). Natomiast dla nieszczelności 650 cm<sup>2</sup>, przy wydajności 5 wym/h, napływ powietrza do dolnej części pomieszczenia następował zbyt szybko i klimatyzator nie zapewniał równomiernego rozprowadzenia gazu.

## Podsumowanie i wnioski

W przypadku gaszenia gazami, czynnikiem decydującym o skuteczności jest czas utrzymywania stężenia gazu gaśniczego w zabezpieczanej kubaturze, tzw. czas retencji. W przypadku zbyt krótkiego czasu retencji istnieje prawdopodobieństwo nawrotu pożaru i konieczności użycia innych środków gaśniczych, co może spowodować zniszczenie chronionego mienia.

Na podstawie wykonanych badań stwierdzono:

- Praca klimatyzatorów po wyładowaniu gazu korzystnie wpływa na wydłużenie czasu retencji.
- Minimalny wydatek klimatyzacji, który zapewni równomierne rozprowadzenie gazów w pomieszczeniu, zależy jest nieszczelności, które występują

w pomieszczeniu. Wraz ze wzrostem nieuszczelności wymagany jest wzrost wydajności klimatyzacji.

- Zwiększanie intensywności klimatyzacji powyżej wartości granicznej, nie wpływa na dalsze wydłużanie czasu retencji.

Niezbędne jest prowadzenie dalszych prac badawczych, które pozwolą wypracować zależności, umożliwiające analityczne wyznaczania wydajności klimatyzacji, koniecznej do równomiernego rozprowadzenia gazu w chronionej kubaturze.

### Literatura

1. PN EN 15004-1:2008 „Stałe urządzenia gaśnicze -- Urządzenia gaśnicze gazowe - Część 1: Ogólne wymagania dotyczące projektowania i instalowania”;
2. NFPA 2001: “Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems”. Edition 2008;
3. Wnęk W., Kubica P., *Szczelność pomieszczeń chronionych stałymi urządzeniami gaśniczymi* Ochrona Przeciwpożarowa - wrzesień 1/2007;
4. Dewsbury J., Whiteley R.A., *Review of fan integrity testing and hold time standards*, Fire Technology 36 (4) (2000);
5. Dewsbury J., Whiteley R.A., *Extensions to standard hold time calculations* Fire Technology, Vol. 36, No. 4, 2000;
6. Hetrick T. M., *Analysis of Hold Time Models for Total Flooding Clean Extinguishing Agents* Fire Technology, 44, 2008;
7. Hetrick M., Rangwala S., *A modified hold time model for total flooding fire suppression*, Fire Safety Journal 45 (2010);

### Recenzenci

dr Ewa Pietraszek

dr inż. Stefan Wilczkowski

**brg.dr inż. Waldemar Wnęk** – adiunkt, kierownik Zakładu Technicznych Systemów Zabezpieczeń w Szkole Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie. Jest przewodniczącym Komitetu Technicznego nr 264 ds. systemów sygnalizacji pożarowej przy Polskim Komitecie Normalizacji. Autor wielu prac naukowo-badawczych, referatów na konferencjach i artykułów z zakresu technicznych systemów zabezpieczeń. Współorganizator różnych Konferencji z zakresu szeroko rozumianego Bezpieczeństwa Budowli.

**st. kpt. mgr inż. Przemysław Kubica** - absolwent dziennych studiów magisterskich w Szkole Głównej Służby Pożarniczej. Bezpośrednio po zakończeniu studiów objął stanowisko asystenta w Zakładzie Technicznych Systemów Zabezpieczeń. Specjalizacja - stałe urządzenia gaśnicze. W roku 2003 ukończył podyplomowe studia "Kontrola Działań Zapobiegających Poważnym Awariom Przemysłowym". W latach 2002-2004 roku pełnił funkcję członka Komisji Problemowej ds. Ochrony Dóbr Kultury Przed Nadzwyczajnymi Zagrożeniami. Od 2009 roku kierownik Pracowni Technicznych Systemów Zabezpieczeń. Od 2010 roku reprezentant SGSP w Polskim Komitecie Normalizacyjnym: Komitet Techniczny 244 ds. Sprzętu, Środków i Urządzeń Ratowniczo – Gaśniczych.