

ml. bryg. mgr inż. Przemysław Kubica\*

# Kierunki rozwoju modeli wyznaczania czasu retencji gazów gaśniczych

## *The trends of models for determining the retention time of extinguishing gases*

**Streszczenie.** SUG-gazowe stosowane są powszechnie do zabezpieczenia pomieszczeń, w których znajduje się mienie wrażliwe na działanie innych środków gaśniczych (serwerownie, archiwa). O skuteczności gaszenia decyduje czas retencji gazu gaśniczego w pomieszczeniu. Wyznaczanie tego czasu odbywa się najczęściej analitycznie, wg wybranych modeli wypływu gazu z pomieszczenia. Weryfikacja obecnie stosowanych modeli wskazuje rozbieżności między wartościami mierzonymi a wyznaczanymi. Proponowane są nowe modele, umożliwiające wyznaczenie czasu retencji z większą niż dotychczas dokładnością. Założenia do stosowanych modeli nie sprawdzają się w przypadku gazów o gęstości bliskiej gęstości powietrza.

**Słowa kluczowe:** SUG-gazowe, czas retencji, gazy gaśnicze, modele wyznaczania czasu retencji.

**Abstract.** FES-gaseous are commonly used to protect the rooms, in which high value assets are located (server rooms, archives). The effectiveness of extinguishing the fire is determined by the retention time of the gas in protected room. Determination of retention time is generally accomplished analytically based on the selected model gas flow out of the room. Verification of currently used models indicate discrepancies between measured values and calculated values. The proposed new models, enabling determine the retention time, with greater accuracy than ever before. Assumptions for known models are not suited for gases with density close to density of air.

**Keywords:** FES-gaseous, retention time, extinguishing gases, models for determining the retention time.

Gaszenie pożarów za pomocą gazów gaśniczych charakteryzuje się najmniejszymi stratami związanymi z działaniem środka gaśniczego, spośród wszystkich współcześnie dostępnych. Z tego względu gazy gaśnicze stosowane są przede wszystkim tam, gdzie główną wartość stanowi przechowywane mienie – serwerownie, archiwa, muzea. Aby zapewnić skuteczność gaszenia, gaz powinien utrzymywać się w przestrzeni przez odpowiednio długi czas, tzw. czas retencji, niezbędny do ugaszenia ognia oraz podjęcia działań przez przeszkolony personel w warunkach uniemożliwiających powtórny zapłon. Wartość czasu retencji zależy przede wszystkim od gęstości gazu gaśniczego i szczelności pomieszczenia.

### Modele stosowane do obliczania czasu retencji

Czas retencji gazu w pomieszczeniu można określić na dwa sposoby:

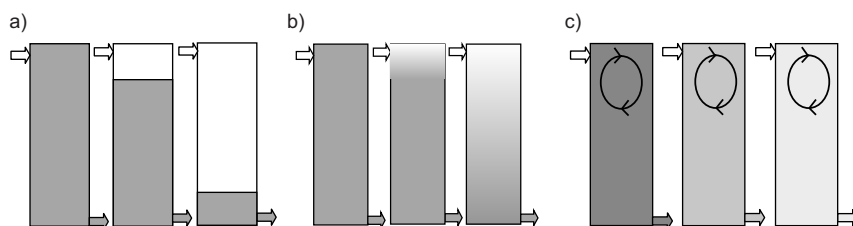
- wypuścić gaz gaśniczy do pomieszczenia chronionego i zmierzyć zmianę stężenia gazu w czasie na ustalonej wysokości;

- wykonać badanie szczelności pomieszczenia i stosując odpowiedni model wypływu gazu z pomieszczenia, analitycznie wyznaczyć zmianę stężenia gazu gaśniczego.

Pierwsza metoda jest kosztowna i dlatego nie jest zalecana. Stosując drugą metodę, należy posłużyć się odpowiednim modelem wypływu gazu z pomieszczenia. Każdy ze znanych modeli zakłada doskonałe wymieszanie gazu w trakcie jego wypuszczenia ze zbiorników. Otrzymywana jest mieszanina gaśnicza składająca się z gazu gaśniczego oraz powietrza, która wypływa dolnymi nieszczelnościami, a górnymi wpływa powietrze. Mechanizmem napędzającym wpływ jest różnica między gęstością mieszaniny gaśniczej  $\rho_m$  wewnątrz a gęstością powietrza  $\rho_0$  na zewnątrz chronionego pomieszczenia. Obecnie do wyznaczania czasu

retencji stosowane są następujące modele (rysunek 1):

- model z *ostrą granicą rozdziału* między mieszaniną gaśniczą a napływającym powietrzem – granica rozdziału obniża się w czasie, stężenie gazu zmienia się skokowo od stężenia projektowego w mieszaninie do zera ponad mieszaniną, model wg NFPA 2001:2012 [1];
- model z *szeroką granicą rozdziału* między mieszaniną gaśniczą a napływającym powietrzem – granica rozdziału rozszerza się w czasie, stężenie ponad mieszaniną zmienia się liniowo od stężenia początkowego w mieszaninie do zera przy suficie, model wg PN-EN 15004-1:2008 [2];
- model z *jednorodną mieszaniną gaśniczą* w całej przestrzeni chronionej – wraz z upływem czasu następuje równomierne rozcieńczanie mieszaniny gaśniczej przez napływające powietrze – model



Rys. 1. Schemat modeli wypływu gazu z pomieszczenia: a) z ostrą granicą rozdziału; b) z szeroką granicą rozdziału; c) z ciągłym mieszaniem [Źródło: opracowanie własne]

\* Szkoła Główna Służby Pożarniczej, Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego

wg PN-EN 15004-1:2008 oraz NFPA 2001:2012, pod warunkiem występowania wymuszonego mieszania gazów w chronionej kubaturze, np. praca klimatyzatorów w obiegu zamkniętym.

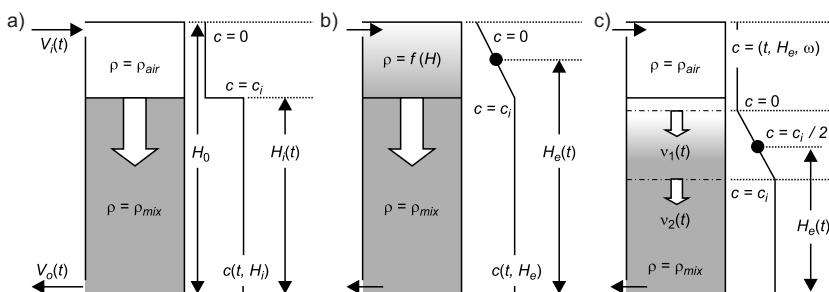
### Kierunki badań czasu retencji

Obecnie prowadzone badania ukierunkowane są na rozszerzenie oraz walidację modeli stosowanych do wyznaczania czasu retencji. Prace w tym zakresie podjęli: Mowrer [3], Dewsbury i Whiteley [4], Hetrick i Rangwala [5].

Frederick Mowrer dokonał oceny teoretycznej i eksperymentalnej zmiany stężenia wybranych gazów gaśniczych w przestrzeni chronionej, w wariantcie bez mieszania mechanicznego gazów (swobodne opadanie po wyładowaniu). Mowrer przeprowadził trzydzieści osiem doświadczeń z gazami gaśniczymi. Porównał wyznaczone analitycznie oraz zmierzone doświadczalnie stężenia gazów gaśniczych. Do analitycznego wyznaczenia zmian stężenia gazu w czasie stosował model z ostrą granicą rozdziału, za pomocą którego prognozował czas, po którym stężenie gazu gaśniczego na danej wysokości będzie niższe niż 85% stężenia początkowego. Stwierdził większą dokładność modelu przy wyznaczaniu czasu retencji w początkowym okresie po wyładowaniu gazu niż w późniejszych stadiach. Wartości czasu retencji wyznaczone za pomocą tego modelu przekraczały czas rzeczywisty, zmierzony w badaniu.

Ograniczoną dokładność stosowanych modeli potwierdził również Hetrick [5]. Prowadząc serię badań eksperymentalnych w Worcester Polytechnic Institute, wykazał, że czas retencji wyznaczony za pomocą modelu z ostrą granicą jest dłuższy od czasu rzeczywistego, co jest zgodne z wnioskami Morwera. Z kolei model z szeroką granicą daje mniejszą wartość czasu retencji od czasu rzeczywistego. Podjął też prace nad udoskonalaniem modeli do wyznaczania czasu retencji, w efekcie czego powstała propozycja nowego modelu z tzw. grubą granicą, co pokazano na rysunku 2 (ang. *thick interface*). Model ten stanowi wariant pośredni między modelami z ostrą i szeroką granicą rozdziału między mieszaniną gaśniczą a napływającym powietrzem.

Hetrick przeprowadził trzydzieści cztery doświadczenia, z siedmioma różnymi gazami gaśniczymi. Na podstawie wyników wyznaczono uogólniony profil stężeń mieszaniny gaśniczej cięższej od powietrza



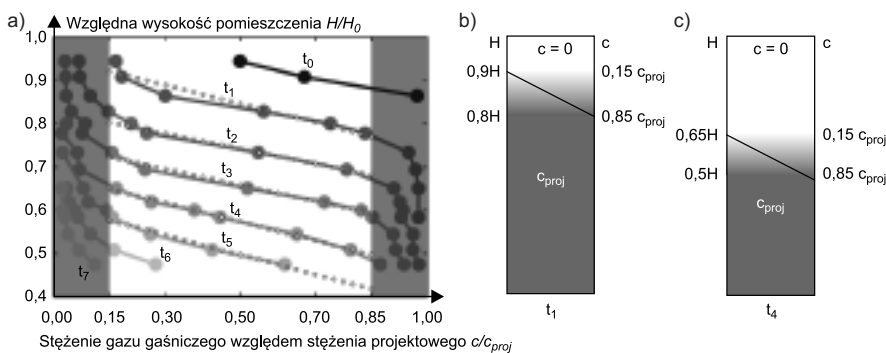
Rys. 2. Zestawienie porównawcze modelu z grubą granicą (c) z modelami: z „szeroką granicą” (b) oraz z ostrą granicą (a) [5]

w funkcji czasu i wysokości (rysunek 3). W obszarze środkowym wykresu, między wartościami  $c/c_{proj}$  wynoszącymi 0,15 i 0,85, stężenia zmieniają się wraz ze zmianą wysokości w sposób zbliżony do liniowego. Z upływem czasu linie te obniżają się, zachowując początkowe pochylenie. Pozwoliło to nam postawić wniosek, że nad mieszaniną gaśniczą tworzy się obszar przejściowy o stałej szerokości, w którym stężenie gazu gaśniczego zmienia się liniowo od  $c = 0\%$  do  $c = c_{proj}$ .

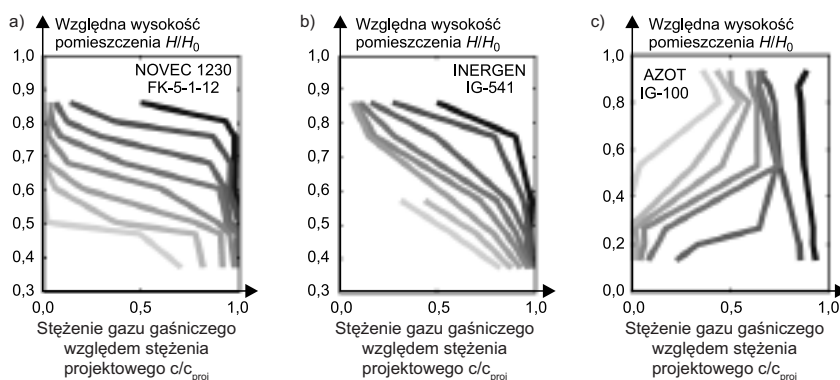
Wniosek o występowaniu stałego obszaru przejściowego jest słuszny w przypadku gazów gaśniczych o gęstości różniacej

się od gęstości powietrza. W miarę zmniejszania się różnicy gęstości gazu gaśniczego i gęstości powietrza obszar przejściowy ulega rozszerzeniu, co potwierdziły badania porównawcze, w których wykorzystano trzy gazy różnej gęstości, tj.:

- FK5-1-12, znany pod nazwą Novac 1230, w stężeniu projektowym tworzy mieszaninę z powietrzem o gęstości  $d_{mFK5-1-12} = 1,87 \text{ kg/m}^3$  (rysunek 4a);
- IG 541 (Inergen) będący mieszaniną azotu, argonu i dwutlenku węgla o  $d_{mIG 541} = 1,3 \text{ kg/m}^3$  (rysunek 4b);
- IG 100 (azot) o  $d_{mIG 100} = 1,19 \text{ kg/m}^3$  (rysunek 4c).



Rys. 3. Profil stężeń gazu gaśniczego cięższego od powietrza w funkcji czasu i wysokości (a) oraz graficzna interpretacja profilu stężeń w przekroju pomieszczenia w chwili: b)  $t_1$  oraz c)  $t_4$  [5]. Stopniem szarości oraz indeksami  $t_i$  rozróżniono kolejne chwile badania;  $t_0$  – profil stężeń gazu gaśniczego w pomieszczeniu po wyładowaniu gazu gaśniczego;  $t_1 - t_6$  profile stężeń w kolejnych chwilach pomiaru;  $t_7$  – koniec pomiaru



Rys. 4. Profile stężeń gazów gaśniczych o różnej gęstości: a)  $d_{mFK5-1-12} = 1,87 \text{ kg/m}^3$ ; b)  $d_{mIG 541} = 1,3 \text{ kg/m}^3$ ; c)  $d_{mIG 100} = 1,19 \text{ kg/m}^3$ ; kolory poszczególnych linii oznaczają profil stężeń w kolejnych chwilach badania [5]

W badaniu z IG 541, który ma gęstość bliższą gęstości powietrza niż FK5-1-12, linie profilu stężeń były pochylone pod większym kątem do poziomu (rysunek 4b), co oznacza szerszy obszar przejściowy. W przypadku IG 100 (N<sub>2</sub> 100% v/v), tj. gazu gaśniczego o gęstości nieco mniejszej od gęstości powietrza, profil stężeń zmienia kierunek nachylenia linii profilu stężeń. Wynika z tego, że w pierwszej chwili po wyładowaniu (najciemniejsza linia) na całej wysokości chronionego pomieszczenia stężenie gazu gaśniczego jest najbliższe stężeniu projektowemu  $c/c_{proj}$  bliskie 1. W kolejnych chwilach (jaśniejsze linie) stężenie gazu najszybciej obniża się w dolnej części pomieszczenia, ponieważ azot jako lżejszy od powietrza unosi się ku górze. Mając na uwadze nieregularny kształt poszczególnych linii można wnioskować, że coraz intensywniej zaczynają oddziaływać mechanizmy naturalnego mieszania gazów.

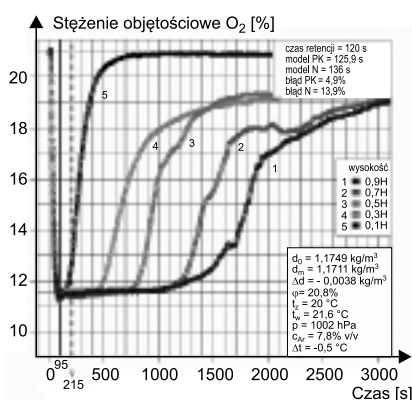
Hetrick z zespołem zweryfikował poszczególne modele, porównując zmierzony i obliczony spadek stężenia gazu gaśniczego do wartości 85% stężenia projektowego, na wysokości 40 ÷ 95% wysokości pomieszczenia. Model z ostrą granicą zawyżał prognozowaną wartość czasu retencji 0% ÷ 27% względem wartości zmierzonej. Stosowanie tego modelu wiąże się z ryzykiem dopuszczenia zbyt dużej nieszczelności w pomieszczeniu, a tym samym zbyt szybką utratą stężenia gazu gaśniczego i nawrotem spalania. Z kolei czas retencji wyznaczony modelami z szeroką granicą rozdziału oraz grubą granicą rozdziału jest krótszy o 3 ÷ 80% względem czasu zmierzonego. Jest to bezpieczne podejście, ale wiąże się z postawieniem zbyt dużych wymagań względem szczelności pomieszczenia, które często są trudne do zrealizowania.

**Gazy gaśnicze o gęstości bliskiej gęstości powietrza**

Z badań Hetricka i Mowrera można wnioskować, że w przypadkach powolnego wypływu gazu z pomieszczenia intensyfikują się mechanizmy naturalnego mieszania gazów. Skłoniło do nas do podjęcia badań w celu określenia rozkładu stężenia gazów o gęstości bliskiej gęstości powietrza. Wybrano azot i mieszaninę azot – argon w stosunku 91:9. Badania wykonano w Szkole Głównej Służby Pożarniczej w Pracowni Technicznych Systemów Zabezpieczeń. Do badań wykorzystano komorę o wysokości 2,0 m i powierzchni podłogi ok. 0,65 m<sup>2</sup>, w której wykonano nieuszczelności o łącznej powierzchni

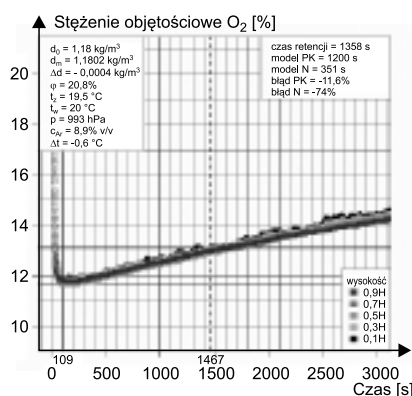
ok. 18 cm<sup>2</sup>, po 9 cm<sup>2</sup> w dolnej i górnej części. Wprowadzono do niej gaz gaśniczy i zmierzono jego stężenie w pięciu punktach. Po wprowadzeniu do komory azotu, nastąpiło jego wymieszanie z powietrzem, po czym powstała mieszanina zaczynała się unosić. „Świeże” powietrze napływało dolnymi nieszczelnościami, w wyniku czego wzrastało stężenie tlenu, począwszy od dolnej części komory (rysunek 5). Zmiany na pozostałych wysokościach przebiegały w sposób zależny od warunków atmosferycznych. W trakcie pomiaru, którego wynik pokazano na rysunku 5, temperatura wewnątrz była o 1,6 °C wyższa niż na zewnątrz, co wpłynęło na zmniejszenie gęstości gazów wewnątrz komory, w stosunku do gęstości otaczającego powietrza. W efekcie nastąpiło rozwarstwienie gazów, a stężenie tlenu wzrastało nierównomiernie na poszczególnych wysokościach.

Nieznacznie modyfikując skład gazu gaśniczego, przez domieszkę ok. 9% argonu, uzyskano gaz o gęstości bliskiej gęstości powietrza. Po wprowadzeniu go do pomieszczenia zanikł efekt rozwarstwienia



Rys. 5. Rozkład stężenia tlenu podczas badania z N<sub>2</sub> 100%

[Źródło: opracowanie własne]



Rys. 6. Rozkład stężenia tlenu podczas badania z N<sub>2</sub> 91,1% i Ar 8,9%

[Źródło: opracowanie własne]

między gazem gaśniczym a powietrzem napływającym z zewnątrz. Nastąpiła równomierna zmiana stężenia całej przestrzeni (rysunek 6).

**Podsumowanie i wnioski**

Czas retencji obliczany na podstawie obecnie stosowanych modeli obarczony jest błędem. Model z szeroką granicą zawarty w normach europejskich zaniża wartości czasu retencji względem czasu rzeczywistego, natomiast model z ostrą granicą, wg norm amerykańskich, zawyża wartości czasu retencji. Opracowany przez naukowców z Worcester Polytechnic Institute model z grubą granicą rozdziału potencjalnie pozwala na wyznaczenie czasu retencji z większą dokładnością, jednak dotąd nie został przyjęty przez żadną organizację normalizacyjną.

W przypadku gazów o gęstości zbliżonej do gęstości powietrza występują sytuacje, w których profil stężenia po wyładowaniu odbiega od założeń modelowych i następuje samoistne mieszanie gazów w chronionej kubaturze. Jeżeli gęstość mieszaniny gaśniczej wewnątrz chronionego pomieszczenia jest bliska gęstości powietrza, wówczas rozkład stężenia dąży do jednorodności w całej przestrzeni, przy czym należy uwzględnić wpływ warunków atmosferycznych oddziałujących na gęstość gazów. Są to sytuacje najbardziej korzystne z uwagi na bezpieczeństwo pożarowe, ponieważ im mniejsza różnica między gęstością gazu wewnątrz przestrzeni chronionej a gęstością powietrza otoczenia, tym dłuższy czas retencji. Wykorzystanie gazów gaśniczych o gęstości bliskiej gęstości powietrza wydaje się być podejściem o dużym potencjale w zakresie poprawy bezpieczeństwa pożarowego.

**Literatura**

[1] NFPA 2001: Standard On Clean Agent Fire Extinguishing Systems Edition: 2012.  
 [2] PN EN 15004-1:2008 Stałe urządzenia gaśnicze – Urządzenia gaśnicze gazowe – Część 1: Ogólne wymagania dotyczące projektowania i instalowania.  
 [3] Mowrer F., Analysis of vapor density effects on hold times for total flooding clean extinguishing agents, Halon Options Technical Working Conference, 16th Proceedings. HOTWC 2006. May 16 – 18, 2006, Albuquerque.  
 [4] Dewsbury J., Whiteley R., Hold Time Calculations for Non-Standard Enclosures, Fire Technology, Vol. 40, 2004.  
 [5] Hetrick T., Rangwala S., A modified hold time model for total flooding fire suppression. Fire Safety Journal 45 (2010, 12 – 20).