

st. bryg. dr inż. Waldemar Wnęk

Katedra Bezpieczeństwa Budowli i Rozpoznawania Zagrożeń
Szkoła Główna Służby Pożarniczej

mgr inż. Janusz Dubicki

Szkoła Główna Służby Pożarniczej, dyplomant

mgr inż. Natalia Mostowik

Politechnika Koszalińska

Wpływ prędkości przepływu powietrza na czas zadziałania czujek zasysających dymu

Streszczenie

W artykule podjęto się analizy wpływu przepływu powietrza na czas zadziałania czujek zasysających dymu. Omówiono stanowisko pomiarowe wykonane na podstawie norm do badania czujek pożarowych dymu. Zbadano wpływ prędkości przepływu mieszaniny powietrzno-dymowej na rozkład cząstek dymu. Dokonano porównania wpływu prędkości przepływu na czas zadziałania czujek jonizacyjnych, optycznych rozpraszających do czujek zasysających. Badania wykonano dla spalania płomieniowego i bezpłomieniowego. Sformułowano wnioski mające wpływ na proces projektowania systemów zabezpieczeń.

Słowa kluczowe: system sygnalizacji pożarowej, czujki działające z wykorzystaniem światła rozproszonego, światła przechodzącego lub jonizacji, czujki zasysające, cząstki dymu

Impact of Air Flow Velocity on Response Time of Smoke Detectors

Abstract

The paper contains an analysis of impact of air flow velocity on response time of aspirating smoke detectors. A measurement appliance, constructed on the basis of standards for fire smoke sensors testing, has been described. The impact of flow

velocity of air and smoke mixture on the smoke particles distribution was tested. A comparison of impact of flow velocity on the response time of dispersion optical, ionization detectors and aspirating smoke detectors was performed. The research was performed for flame and flameless combustion. The conclusions, having impact on the protection systems design, were formulated.

Keywords: fire detection and fire alarm system, detectors using scattered light, transmitted light or ionization, aspirating smoke detectors, smoke particles

WPROWADZENIE

W dobie rozwoju systemów zabezpieczeń przeciwpożarowych, poszukuje się rozwiązania detektora pożaru odpornego na działanie wentylacji w pomieszczeniu zabezpieczonym. Coraz częściej ten problem występuje w pomieszczeniach serwerowni, gdzie wentylacja, a może częściej klimatyzacja, spełnia dwa zadania dostarczania powietrza o określonych parametrach użytkowych, ale także chłodzenia urządzeń. Badania wykonywane od kilkunastu lat [1÷7], wykazywały rozróżnianie nie tylko wpływu rodzaju spalania na czas zadziałania systemów zabezpieczeń, ale także wpływu prędkości przepływającej mieszaniny powietrzno-dymowej. W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu prędkości przepływu powietrza, ale także rozkładu cząstek dymu w zestawieniu z wynikami pomiaru czujek punktowych dymu jonizacyjnych (dla spalania płomieniowego) i optycznych (dla spalania bezpłomieniowego – rozkładu termicznego).

Wg PN-EN 54-1:2013 [7] czujka dymu zasysająca, to *czujka dymu, w której za pomocą zintegrowanego urządzenia zasysającego (np. wentylatora lub pompy) powietrze i aerozole są wciągane przez układ zasysania i dostarczane do jednego elementu wykrywającego dym lub większej liczby takich elementów*. W uwadze do punktu 3.1.3 normy czytamy: „*Każdy element wykrywający dym może zawierać więcej niż jeden czujnik wystawiony na działanie tej samej próbki dymu*”.

Badania mają także na celu pokazanie większej przydatności czujek zasysających w stosunku do czujek punktowych dymu przy narażeniu ich na działanie duże prędkości przepływu powietrza.

1. STANOWISKO POMIAROWE

W badaniach wykorzystano stanowisko badawcze wykonane dla potrzeb określenia czasu zadziałania czujek dymu przy określonej prędkości przepływu mieszaniny powietrzno-dymowej (dla spalania i rozkładu termicznego różnych materiałów palnych). Jest to alternatywa do badań normowych, gdzie spala się olej parafinowy, podczas którego otrzymujemy dym o określonym rozkładzie cząstek. Układ komory pozwala na spalanie materiałów nieokreślonych w normach. Są to różnego rodzaju materiały drewniane (np. dąb kanadyjski, kempas), tworzywa sztuczne, kable, papier, różne ciecze palne. Pozwala to na określanie przydatności czujek pożarowych dymu do wykrywania pożaru w pomieszczeniach, gdzie składowane są określone materiały palne tak różne od materiałów normowych.

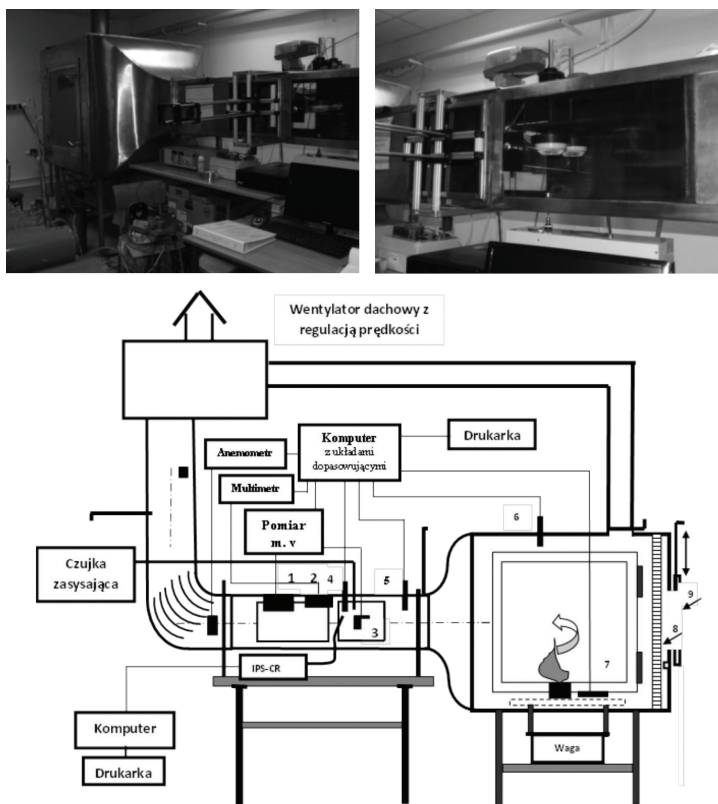
W komorze spalania o wymiarach $1,2\text{ m} \times 1,2\text{ m} \times 1,2\text{ m}$ spalany jest płomieniowo (zapalane przez podpalenie określonej ilości spirytusu) lub bezpłomieniowo (rozkład termiczny na płycie grzejnej rozgrzanej do ok. 400°C , regulowana moc grzejna do 2 kW) materiał palny, a lotne produkty spalania są zasysane do tunelu przez przepływające powietrze. Układ wentylacyjny pozwala na regulację prędkości przepływu powietrza od 0,1 m/s do 7 m/s.

Powietrze do komory spalania wpływa przez otwór zasysający /9/ umieszczony na wysokości wlotu do tunelu pomiarowego. Takie umiejscowienie wlotu wraz z prostownicą strumienia /8/ ma przeciwdziałać wpływowi przepływu powietrza na spalanie się próbek. Powietrze przepływając, porywa cząstki dymu i płynie przez kanał pomiarowy o wymiarach $0,4\text{ m} \times 0,4\text{ m}$, gdzie umieszczone są czujki dymu wraz z układem pomiarowym.

Układ pomiarowy składa się z densytometru zapewniającego pomiar gęstości optycznej dymu m , D1, komory jonizacyjnej, przy pomocy której dokonywany jest pomiar względnej zmiany prądu jonizacji y oraz miernika IPS do pomiaru ilości i wielkości cząstek. Dla zapewnienia m.in. bezpieczeństwa elementów pomiarowych, w różnych punktach tunelu dokonywany jest pomiar temperatury powietrza. Wszystkie pomiary są zapamiętywane przez systemy komputerowe dokonujące zapisu wszystkich mierzonych parametrów z częstotliwością zapisu równą 1 Hz (co 1 s).

Pomiar gęstości optycznej dymu m [dB/m] dokonywany jest bezinwazyjnie poprzez umieszczony zestaw nadajnika podczerwieni wraz z lustrem

na zewnątrz tunelu pomiarowego. Pomiar dokonywany jest przez układ szyb, a oś pomiarowa przyrządu, dla zmniejszenia wpływu efektu odbicia promienia od szyby, ustawiona jest pod kątem 10° . Przed pomiarami dokonywana jest każdorazowo kalibracja przyrządu. Dla koncentracji aerozolu lub dymu nie większych niż 2 [dB/m], błąd pomiaru miernika nie powinien przekraczać 0,02 [dB/m] lub +5% zmierzonej koncentracji aerozolu lub dymu [8].



Rys. 1. Szkic układu pomiarowego do badania czułości czujek pożarowych dymu [1, 4]
 1 – głowica pomiarowa γ (komora jonizacyjna), 2 – badane punktowe czujki pożarowe (jonizacyjna, optyczna rozproszeniowa na podczerwień), 3 – głowica pomiarowa densytometru – m.(pomiar zewnętrzny), 4-7 termopary, 8 – prostownica strumienia, 9 – regulowany otwór zasysania powietrza, IPS-CR – pomiar parametrów cząstek dymu, pomiar γ , m [dB/m], Anemometr – pomiar prędkości przepływu powietrza [m/s], Multimetr – pomiar napięcia zasilania czujek

Źródło: rys., fot. W. Wnęk

Pomiar względnej zmiany prądu jonizacji y dokonywany jest przy pomocy komory jonizacyjnej. Komora zawiera przestrzeń pomiarową i odpowiednie wyposażenie, za pomocą którego próbkowane powietrze jest zasysane i przechodzi przez przestrzeń pomiarową w taki sposób, że cząstki aerozolu/dymu dyfundują do tej przestrzeni.

Układ ssawny powinien wciągać powietrze do urządzenia przy ciągłym, stałym przepływie $30 \text{ l/min} \pm 10\%$ przy ciśnieniu atmosferycznym.

Analizator IPS-CR jest narzędziem laboratoryjnym do automatycznego pomiaru wymiarów cząstek stałych i ciekłych w powietrzu, niezależnie od ich właściwości fizycznych i chemicznych.

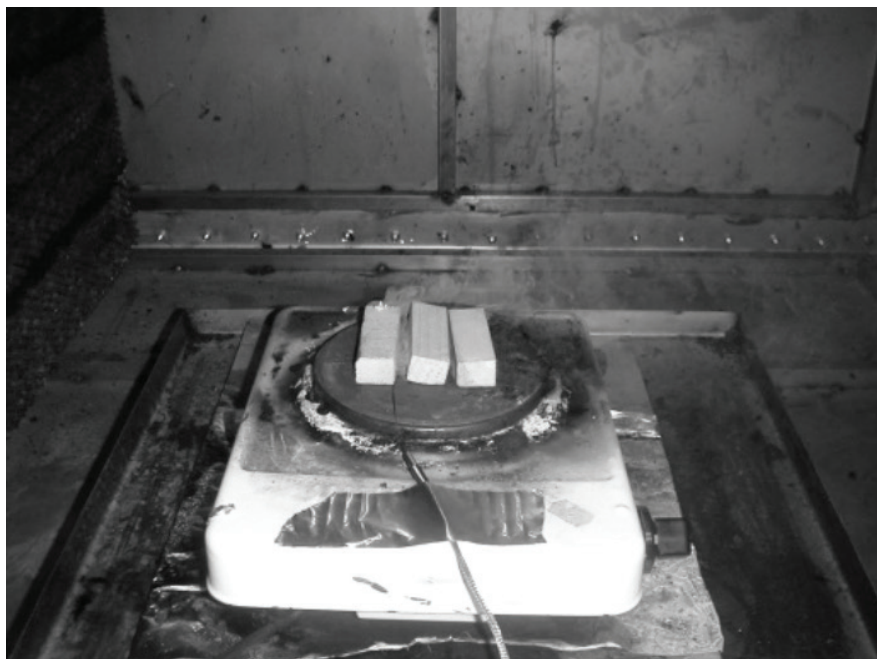
Zasada działania analizatora IPS polega na pomiarze zmian strumienia promieniowania podczerwonego, który jest rozpraszany przez poruszające się w strefie pomiaru cząstki. Zmiany strumienia promieniowania, po obróbce elektronicznej, rejestrowane są przez komputer. Po zakończeniu pomiaru danej próbki wyniki przedstawiane są za pomocą statystycznych parametrów zbioru, jak również rozkładów różnych właściwości cząstek.

Zakres pomiarowy systemu IPS od $0,5 \mu\text{m}$ do $200 \mu\text{m}$, indywidualnie dopasowany do potrzeb użytkownika, przełączany w czterech zakresach ($2,3 \mu\text{m} - 33 \mu\text{m}$, $1,7 \mu\text{m} - 28 \mu\text{m}$, $1 \mu\text{m} - 4 \mu\text{m}$, $0,7 \mu\text{m} - 1 \mu\text{m}$). Nierównomierność czułości powierzchni pomiarowej $2,5\%$. Prędkość zliczania cząstek powyżej $10\,000$ cząstek na sekundę. Pomiary zestawiane są automatycznie w tabelę, przedstawiane są zależności między parametrami w postaci wykresów.

Pomiar prędkości przepływu powietrza dokonywany jest przy pomocy anemometru skrzydełkowego AV6 o zakresie pomiarowym $0,15 - 30 \text{ m/s}$. Dokładność pomiaru $\pm 1\%$ wartości odczytanej. Pomiary poniżej dolnej wartości zakresu pomiarowego mierzono anemometrem

Pomiar ubytku masy spalanych próbek zmierzono przy pomocy wagi elektronicznej WLT 6/12/X/2 o zakresie pomiarowym $6 \text{ kg} / 12 \text{ kg}$, dokładność pomiaru $\pm 0,1 \text{ g}$. Wyniki pomiaru masy zapamiętywane są automatycznie w pamięci komputera.

Spalanie bezpłomieniowe (rys. 2) realizowane jest poprzez zastosowanie płyty grzewczej o średnicy 200 mm , na której umieszczana jest odpowiednia ilość palnego materiału. Płyta grzewcza ma moc znamionową około 2 kW z sześciostopniową regulacją. W trakcie badań zmierzono strumień mocy promieniowania płyty grzewczej, który wynosi 30 kW/m^2 .



Rys. 2. Płyta grzejna z pomiarem temperatury przy spalaniu bezpłomieniowym
Źródło: fot. W. Wnęk

Spalanie płomieniowe materiału palnego wspomagane jest niewielką ilością spirytusu skażonego (10 ml) z uwagi na trudność w zapoczątkowaniu spalania. Spirytus był umieszczany w pojemniczku o średnicy 5 cm i ustawiany kolejno w tym samym miejscu pod próbkami spalanych materiałów, następnie podpalany. Odległość pojemnika od materiału ok. 25 mm. Czas pomiaru 180 s. Dla każdej z prędkości przepływu powietrza (0,2 m/s, 0,5 m/s, 1 m/s, 2 m/s, 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s, 6 m/s, 7 m/s) wykonywano trzy próby ze spalonym materiałem. Wszystkie wyniki pomiarów są automatycznie rejestrowane przez komputery zastosowane w układzie pomiarowym. Na rys. 4 przedstawiono wnętrze tunelu pomiarowego dla przykładowego spalania bez i z dymem.

Na zdjęciach widoczne są umiejscowione obok siebie czujki punktowe dymu jonizacyjna i optyczna rozproszeniowa wraz z kapilarą systemu zasysającego.



Rys. 3. Ułożenie próbek drewna w komorze przy spalaniu płomieniowym.

Źródło: fot. J. Dubicki



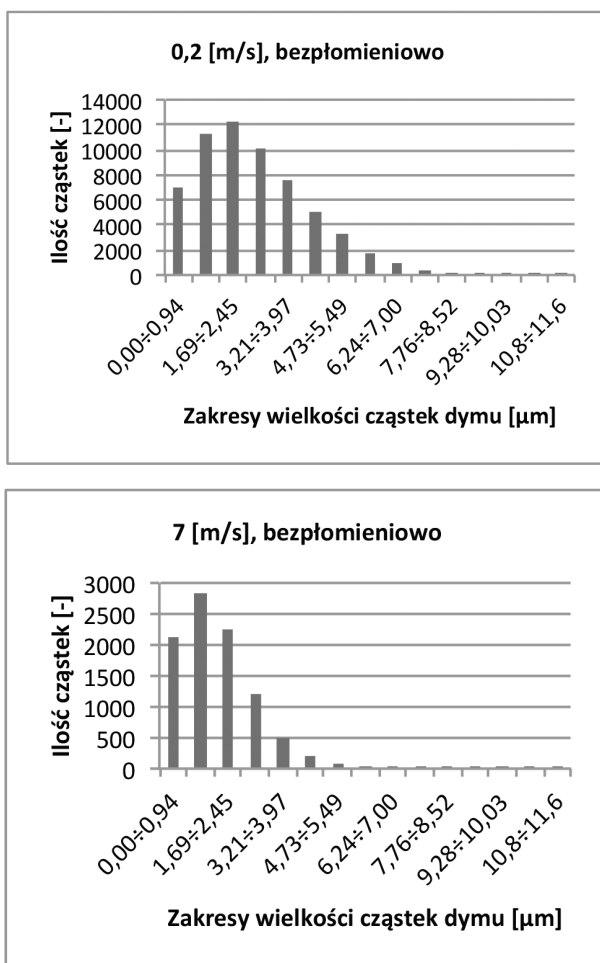
Rys. 4. Fotografia wyglądu wnętrza tunelu pomiarowego wraz elementami pomiarowymi (nie zadymiony i zadymiony) [4]

Źródło: fot. W. Wnęć

2. WYNIKI BADAŃ

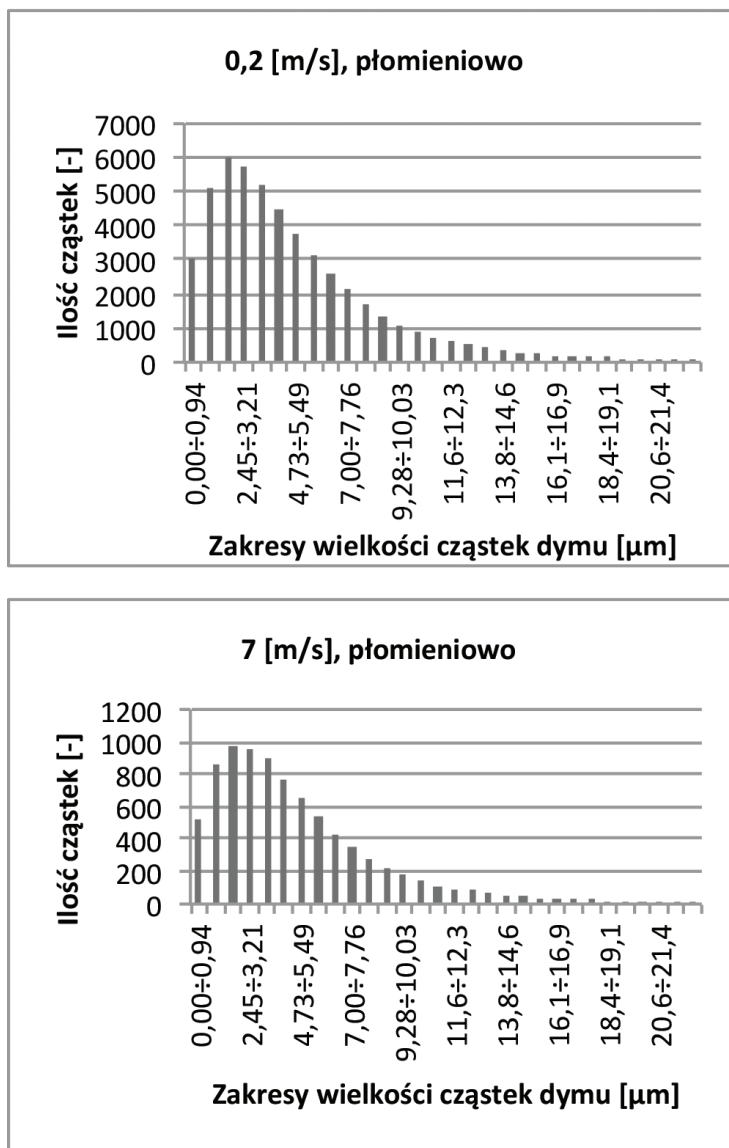
2.1. Wpływ rozkładu cząstek na czas zadziałania czujek zasysających przy założonych prędkościach przepływu

Dokonano pomiaru rozkładów wielkości cząstek dymu dla spalania bezpłomieniowego (rys. 5) i płomieniowego (rys. 6). Dla przedstawienia wyników zestawiono tylko po dwa badania przy stosunku ilości cząstek 59.628/45 350



Rys. 5. Rozkład wielkości cząstek dymu dla spalania bezpłomieniowego (czas zadziałania czujki zasysającej przy 0,2 s/m – 43 s, 7 m/s – 4 s)

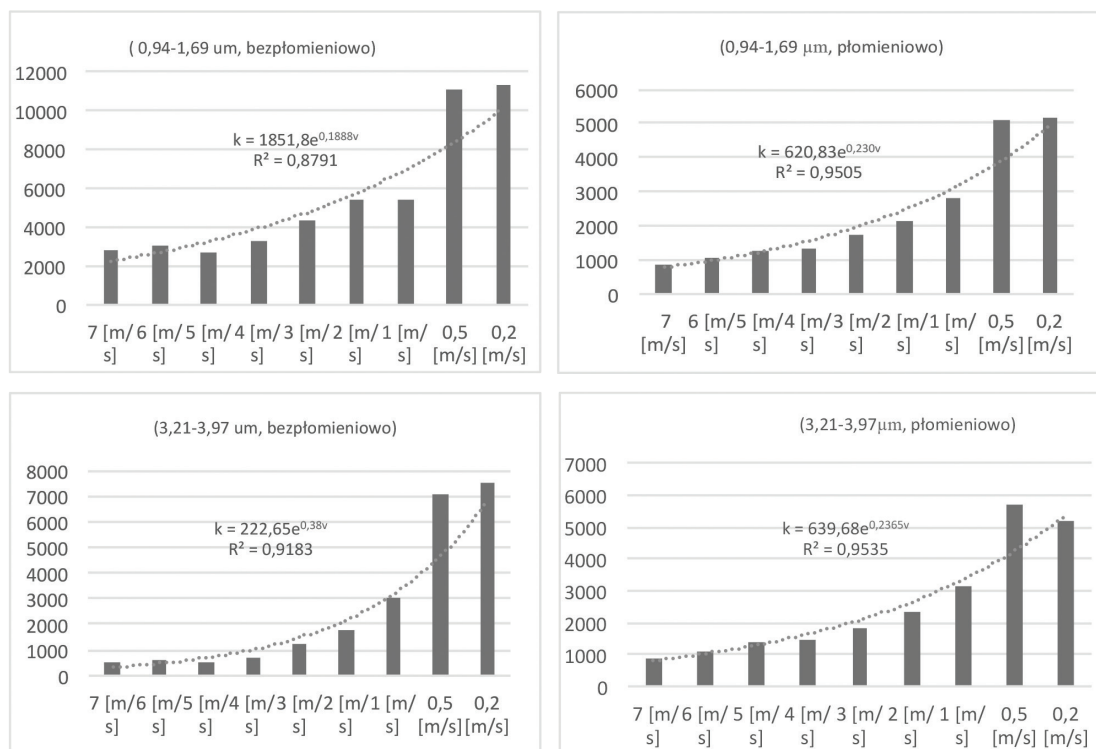
Źródło: opracowanie własne



Rys. 6. Rozkład wielkości cząstek dymu dla spalania płomieniowego (czas zadziałania czujki zasysającej przy 0,2 s/m – 70 s, 7 m/s – 99 s)

Źródło: opracowanie własne

przy prędkości 0,2 m/s czas jest w stosunku, jak 43 s / 70 s, porównując spalanie bezpłomieniowe do płomieniowego. Dla prędkości 7 m/s mamy 9 028/7 663 przy stosunku czasów 44 s / 199 s.



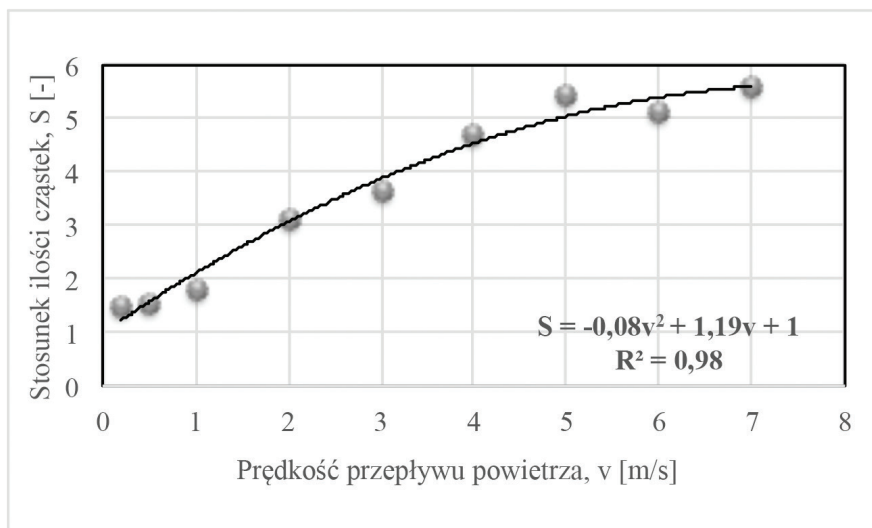
Rys. 7. Wpływ prędkości przepływu powietrza na rozkład cząstek w założonym przedziale wielkości cząstek dymu

Źródło: opracowanie własne

Analizując rozkłady cząstek, poniżej przedstawiono wpływ prędkości przepływu mieszaniny powietrzno-dymowej w wybranym zakresie wielkości cząstek tak, aby można było zbadać wpływ prędkości na ilość cząstek dymu w zadanym zakresie średnic. Wyniki zestawiono na rys. 7 dla dwóch zakresów średnic cząstek 0,94÷1,69 μm i 3,21÷3,97 μm.

Analizując powstałe zależności, można stwierdzić, że charakter zmian ilości cząstek w przypadku spalania bezpłomieniowego i oddzielnie rozpatrując spalanie płomieniowe, wykazują podobne zmiany ilości. To może oznaczać, że rodzaj spalania w rozpatrywanych zakresach ma ten sam charakter zmian. Dla sprawdzenia relacji pomiędzy wykresami dokonano zestawienia (rys. 8) stosunku ilości cząstek przy zakresie 0,94÷1,69 μm do ilości cząstek przy zakresie 3,21÷3,97 μm dla postrzegalnych prędkości przepływu od 0,2 do 7 m/s.

Zależność S od prędkości przepływu powietrza v opisana została równością kwadratową przy zachowaniu współczynnika korelacji $R = 0,98$. Dla opisania wykresu przy pomocy zależności liniowej otrzymano współczynnik korelacji $R = 0,94$.



Rys. 8. Stosunek ilości cząstek z zakresu $0,94 \div 1,69 \mu\text{m}$ do ilości cząstek z zakresu $3,21 \div 3,97 \mu\text{m}$ przy określonej prędkości przepływu od $0,2$ do 7 m/s

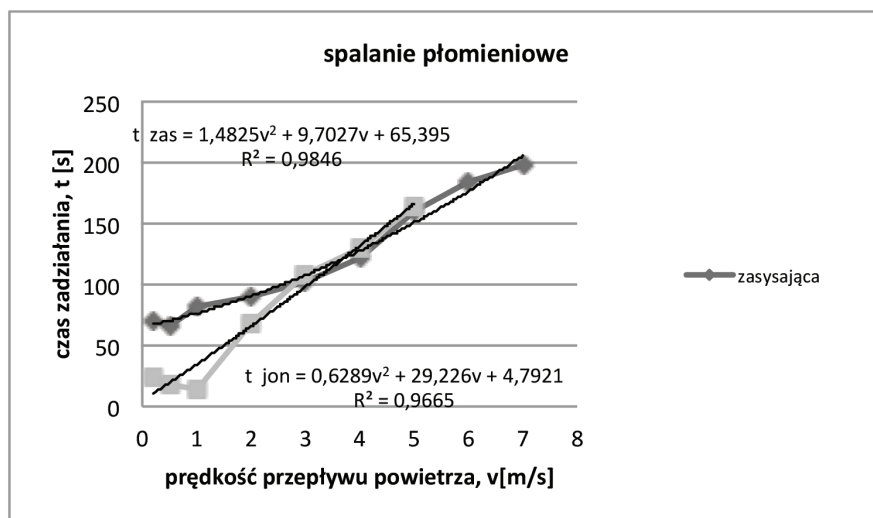
Źródło: opracowanie własne

Z rys. 8 wynika, że zależność nie jest zależnością liniową, widać nieliniowość charakterystyki dla małych i dużych prędkości. Otrzymane zależności dają możliwość dalszych analiz wpływu ilości cząstek na czas zadziałania czujek z zastosowaniem analiz statystycznych rozkładów.

2.2. Porównanie czasu zadziałania czujek punktowych i zasysających dymu

Na wykresach (rys. 9, 10) przedstawiono zależność czasu zadziałania czujek zasysających i punktowych dymu w funkcji prędkości przepływu powietrza. Zestawiono czasy zadziałania czujki zasysającej dla spalania płomieniowego z czujką jonizacyjną, ze względu na większą czułość czujki jonizacyjnej w stosunku do czujki optycznej, a dla spalania bezpłomieniowego z czujką optyczną rozproszeniową.

Na rys. 9 w przedziale prędkości przepływu powietrza od 0,2 m/s do 1 m/s czujka jonizacyjna uzyskała podobny czas zadziałania. Przy prędkościach przepływu powietrza większych niż 4 m/s stwierdzono brak detekcji pożaru testowego przez czujkę jonizacyjną. Natomiast czas zadziałania czujki zasysającej dymu wzrastał z prędkością przepływu powietrza w sposób zbliżony do liniowego. W przypadku czujki zasysającej powyżej 6 m/s został przekroczony czas 180 s przeznaczony na wykrycie pożaru, co dla określonych parametrów badania świadczy o jej nieprzydatności powyżej tej prędkości dla założonego w badaniach źródła pożaru. Czujka jonizacyjna nieprzydatna była powyżej 4 m/s.



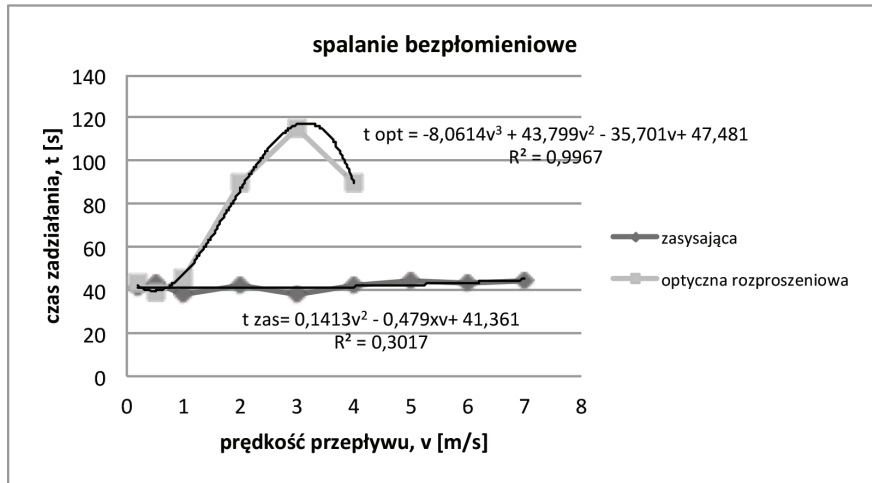
Rys. 9. Rozkład czasu zadziałania czujek zasysających i jonizacyjnej dymu w funkcji prędkości przepływu powietrza – spalanie płomieniowe

Źródło: opracowanie własne

Czujki z zastosowaniem detekcji polegającej na rozpraszaniu promieniowania gorzej wykrywają pożary płomieniowe.

Na wykresie (rys. 10) porównano czujkę zasysającą z rozproseniową optyczną czujką dymu. Tu także w całym przedziale prędkości przepływu powietrza czujka zasysająca zadziałała szybciej od czujki optycznej. Przy prędkościach przepływu powietrza większych niż 4 m/s także stwierdzono brak detekcji pożaru testowego. Natomiast czujka zasysająca dymu uzyskała podobny czas zadziałania dla wszystkich prędkości przepływu powietrza.

Należy zauważyć, że czas zadziałania czujki zasysającej nie zależy od prędkości przepływu powietrza. Ten efekt jest zjawiskiem



Rys. 10. Rozkład czasu zadziałania czujek zasysających i optycznej rozproszeniowej dymu w funkcji prędkości przepływu powietrza – spalanie bezpłomieniowe
Źródło: opracowanie własne

bardzo przydatnym przy wykrywaniu pożarów bezpłomieniowych (zastosowania przy detekcji pożaru w serwerowniach).

WNIOSKI

Po przeprowadzeniu wszystkich badań i analizie wyników, można sformułować następujące wnioski:

- rodzaj spalania ma wpływ na czas zadziałania systemów zabezpieczeń,
- ze wzrostem ilości cząstek dymu w powietrzu, zmniejsza się czas detekcji zjawisk pożarowych przez zasysające czujki dymu,
- czujki zasysające w całym zakresie prędkości wykrywały dym w przeciwieństwie do czujek punktowych dymu,
- rozkład wielkości cząstek dymu ma wpływ na czas zadziałania czujek zasysających, jak i punktowych, charakter zmian zachowany jest, porównując w poszczególnych klasach wielkości cząstek,
- ze względu na ilość dymu, czas zadziałania czujek zasysających w niektórych przypadkach przekroczył zakładany czas 180 s, co ma wpływ

- na przydatność czujek do wykrycia pożaru, czujki punktowe w tych momentach czasowych jednak nie weszły w ogóle w stan alarmowania,
- porównując czasy zadziałania czujek, można stwierdzić, że największą czułość zasysająca czujka dymu posiada podczas bezpłomieniowego pożaru testowego, zauważalny jest znikomy wpływ prędkości na czas zadziałania czujek zasysających w badanym zakresie prędkości,
 - w przypadku badań z prędkością przepływu większą niż 4 m/s punktowe czujki dymu wykazały całkowity brak detekcji pożarów testowych, co czyni je nie przydatne w pomieszczeniach silnie wentylowanych,
 - zasysające czujki dymu są systemami aktywnymi w pomieszczeniach, gdzie jest szybki przepływ powietrza praktycznie w całym zakresie, choć przekroczony był czas detekcji (180 s),
 - zastosowanie zasysających czujek dymu w kanałach wentylacyjnych oraz na kratkach wlotowych do systemu wentylacji pozwala na szybką detekcję zagrożenia pożarowego, co w konsekwencji ogranicza możliwość wystąpienia zagrożenia pożarowego.

LITERATURA

- [1] W. Wnęk, S. Boroń, Wpływ prędkości przepływu dymu na parametry systemów zabezpieczeń przeciwpożarowych. *Przemysł Chemiczny* 2014, nr 93(11) s. 1000-1006.
- [2] W. Wnęk, S. Boroń, A. Domżał, P. Kubica., G. Kasperowicz, B. Marszałek, Badanie wpływu wykształceń na suficie na czas zadziałania czujek pożarowych. *Materiały budowlane* 2014, 10, s.122-124.
- [3] W. Wnęk, P. Kubica, A. Domżał, Wpływ sposobu spalania materiałów wyposażenia obiektów budowlanych na czas zadziałania systemów zabezpieczeń przeciwpożarowych, XXVII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna Ekomilitaris 2013 Inżynieria Bezpieczeństwa – Ochrona przed skutkami nadzwyczajnych zagrożeń, 10-13.09.2013, Zakopane.
- [4] W. Wnęk, Wpływ parametrów lotnych produktów spalania na ich wykrywalność w instalacjach wentylacyjnych, Rozprawa doktorska. PW, 2006,
- [5] W. Wnęk, Detekcja pożaru w obecności wentylacji mechanicznej obiektów budowlanych, Konferencja naukowo-techniczna, Nowa technika w oddymianiu obiektów budowlanych, SGSP, PW, 25.01.05, Warszawa,
- [6] W. Wnęk, Wykrywanie pożaru w obecności systemów wentylacji mechanicznej pomieszczeń, Ogólnopolskie Warsztaty Zacisze 2004, Sys-

- temy Sygnalizacji Pożarowej, s.79-90, czerwiec 2004, Zacisze k. Bydgoszczy.
- [7] W. Wnęk, Wpływ wentylacji mechanicznej na sposób wykrywania pożaru, *Rynek Instalacyjny* 2004, nr 9, s.77-81.
- [8] PN-EN 54-1: 2013 Systemy sygnalizacji pożarowej Część 1: Wprowadzenie.
- [9] PN-EN 54-20: 2006 Systemy sygnalizacji pożarowej Część 20 Czujki zasysające dymu.