

mgr inż. Jacek Antos
Szkoła Główna Służby Pożarniczej
ul. Słowackiego 52/54
01-629 Warszawa
e-mail: antosj@wp.pl

STRESZCZENIE

rozprawy doktorskiej pt.:

„Wpływ wybranych parametrów środowiska na automatyczną detekcję pożaru”

wykonanej pod kierownictwem

dr hab. Marka Koneckiego, prof. uczelni oraz dr inż. Przemysława Kubicy

1. Geneza problemu

Systemy Sygnalizacji Pożarowej (SSP), tj. instalacje służące do automatycznej detekcji pożaru, stanowią zasadniczy element w koncepcji bezpieczeństwa pożarowego budynków, w których są stosowane. SSP ma na celu wczesne wykrywanie pożaru oraz sygnalizowanie i alarmowanie o nim, w wyniku czego zostają podjęte odpowiednie działania. Między innymi takie jak: ewakuacja z budynku ludzi i mienia, wezwanie zastępów straży pożarnej za pośrednictwem systemów transmisji alarmu, czy uruchomienie urządzeń przeciwpożarowych, co znacznie wpływa na ograniczenie strat mienia. Istotnym problemem, związanym z funkcjonowaniem SSP, jest środowisko wewnętrzne budynku, sprzyjające mylnym wzbudzeniom (alarmom fałszywym) detektorów w czujkach pożarowych. Alarmy fałszywe nie tylko negatywnie wpływają na reakcje użytkowników budynku oraz personelu obsługującego system, przyczyniając się do ignorowania sygnałów alarmowych, ale również powodują przestoje w pracy firm. Ponadto, w przypadku obiektów monitorowanych przez Państwową Straż Pożarną (PSP), generują koszty związane z nieuzasadnionymi wezwaniami zastępów straży pożarnej.

O tym, czy SSP spełnia swoje zadanie, decydują nie tylko możliwości samego systemu, ale również to, jak funkcjonują w trakcie użytkowania zainstalowane w nim czujki pożarowe, na które mają wpływ różne czynniki środowiskowe, w tym te niezwiązane z pożarem, tj.: pył, kurz, aerozol, para wodna itp. Czujka pożarowa jest urządzeniem, które powinno reagować na pojawienie się zjawisk towarzyszących pożarowi, takich jak: zadymienie, wzrost temperatury, promieniowanie elektromagnetyczne emitowane przez płomień, gazy pożarowe. Natomiast czynniki zwodnicze powinny być ignorowane przez czujki. Zasadnym jest, aby czujka pożarowa posiadała tzw. „układ decyzyjny”, kwalifikujący dane zjawisko do zbioru zjawisk pożarowych lub innych (zwodniczych).

Według wykazu zestawień statystycznych Komendy Głównej PSP, liczba alarmów fałszywych w Polsce była o 5,1% większa w roku 2019, w porównaniu do roku 2018. W 2019 roku, w Polsce miało miejsce 153,5 tys. zdarzeń pożarowych, w tym 17,5 tys. zdarzeń zakwalifikowanych jako alarmy fałszywe pochodzące z monitoringu pożarowego, generowane przez czujki pożarowe, co stanowi 11,4% wszystkich interwencji. Alarmy fałszywe, pochodzące z instalacji wykrywania pożaru, stanowiły 40,92% wszystkich alarmów fałszywych.

Mimo licznych rozwiązań rozszerzających zakres wykrywanych pożarów przez czujki pożarowe, problem alarmów fałszywych wciąż pozostaje aktualny. Obecnie trwają prace nad udoskonaleniem czujek pożarowych w celu zmniejszenia liczby występowania ww. alarmów. Jednym z kierunków poszukiwania nowych sposobów detekcji pożarów są detektory gazowych produktów rozkładu termicznego i spalania. Najczęściej stosowane jest łączenie detektorów mierzących różne parametry środowiska, np. obecność aerozolu rozpraszającego promieniowanie i zawartość np. tlenku węgla (CO). Należy jednak zaznaczyć, że detektory gazów, cechują się określonym czasem skutecznej pracy, zwykle wynoszącym od 3 do 5 lat, po czym wymagają wymiany. Stąd ekonomiczne aspekty tego rozwiązania ograniczają je do zastosowań specjalnych.

Ponieważ podstawowym rodzajem czujek pożarowych stosowanym w budynkach są czujki dymu pracujące w paśmie promieniowania IR i/lub UV, to one stanowią przedmiot analiz w niniejszej rozprawie. W celu ograniczenia liczby alarmów fałszywych, podjęto przeprowadzenie badań oddziaływania środowiska na czujki pożarowe. Zastosowanie w czujkach pożarowych detektorów o odpowiednim algorytmie różnicowania „pożar – zjawisko zwodnicze” na podstawie rejestrowanych sygnałów IR i UV, stanowi koncepcję poddaną analizie w ramach rozprawy.

2. Problem naukowy, tezy, cel i zakres pracy

Problem naukowy:

W środowisku wewnętrznym budynków mogą występować czynniki, powodujące mylne wzbudzenia współcześnie stosowanych czujek pożarowych. Alarmowanie o pożarze, w sytuacji braku zagrożenia jest zdarzeniem niepożądanym, mającym negatywne oddziaływanie na bezpieczeństwo pożarowe. Właściwe zatem jest poszukiwanie uzasadnionych ekonomicznie rozwiązań, umożliwiających ograniczenie liczby alarmów fałszywych. Możliwym mechanizmem różnicowania „pożar – zjawisko zwodnicze” jest rejestrowanie sygnałów z detektorów promieniowania rozproszonego, pracujących w zakresach promieniowania IR i UV, stosowanych w czujkach pożarowych. W obecnie używanych, znormalizowanych metodach badawczych czujek pożarowych, nie uwzględnia się rozróżnienia produktów spalania od innych aerozoli czy pyłów. W związku z tym, w pracy zdefiniowano problem naukowy jako *różnicowanie rozpraszania promieniowania elektromagnetycznego o danych długościach fali, na cząstkach wybranych pyłów i aerozoli występujących wewnątrz budynków oraz cząstkach charakterystycznych dla produktów spalania.*

Tezy pracy:

Sformułowano następujące tezy pracy:

- 1) porównanie sygnałów z wybranych detektorów czujek pożarowych zwiększa prawdopodobieństwo rozróżnienia pożaru od zjawiska zwodniczego,
- 2) istnieje możliwość opracowania znormalizowanych badań weryfikujących podatność czujek pożarowych na alarmy fałszywe.

Cel pracy:

Celem pracy była weryfikacja tezy dokonana poprzez badania wpływu wybranych parametrów środowiska (pyły, kurz, aerozol, para wodna) na automatyczną detekcję pożaru. Koncepcja rozwiązania problemu naukowego polegała na badaniu punktowej czujki pożarowej z detektorem o podwójnym układzie detekcji dymu pracującym w zakresie rozproszonego promieniowania IR i UV. W badaniach mierzono przebieg zmian sygnału z sensorów, zarówno w pożarach testowych, jak i w środowisku zwodniczym. Na podstawie otrzymanych wyników badań, opracowano algorytm różnicowania „pożar – zjawisko zwodnicze”. Do symulacji środowiska zwodniczego wykorzystano najczęściej występujące w budynkach czynniki zwodnicze, tj.: pyły, kurz, aerozol glikolowo-glicerynowy i parę wodną.

Zakres pracy:

Zakres rozprawy obejmował badania literaturowe i eksperymentalne, tj.:

W rozdziale 1. zawarto genezę tematu pracy, przedstawiono statystykę liczby pożarów i alarmów fałszywych w ostatnich latach. Zdefiniowano problem naukowy i tezy a także zaproponowano koncepcję rozwiązania problemu naukowego oraz zakres pracy.

W rozdziale 2. omówiono zagadnienia rozwoju pożaru w jego początkowej fazie oraz przebieg zmian parametrów środowiska poprzedzających powstanie pożaru. Również dokonano analizy parametrów środowiska wewnętrznego, które otacza czujki pożarowe. Scharakteryzowano pożary testowe wykorzystywane w badaniach czujek pożarowych.

W rozdziale 3. przedstawiono podstawy teorii detekcji pożaru przez czujki dymu. W tym rozdziale opisano rozpraszanie Rayleigha, rozpraszanie Mie i efekt Tyndalla. W zależności od rodzaju spalania opisano właściwości optyczne dymu oraz ich rozkład wielkości.

Rozdział 4. zawiera obecny stan wiedzy w zakresie automatycznej detekcji pożaru. Dokonano przeglądu konstrukcji i zasad działania wybranych czujek pożarowych oraz przybliżono kierunki ich rozwoju. Wspomniano także o celowości wykonania badań eksperymentalnych na detektorach pożarowych, w celu opracowania odpowiedniego algorytmu różnicowania „pożar - zjawisko zwodnicze”, aby ograniczyć alarmy fałszywe, które obecnie są przypadkiem częstym i niepożądanym.

Rozdziały 5. i 6. opisują przeprowadzone badania eksperymentalne działania czujek pożarowych. Zakres rozdziału 5. to badania zadziałania czujek pożarowych w zakresie zmian środowiska wewnętrznego na początku rozwoju pożaru, których celem była analiza sygnałów generowanych przez sensory czujek pożarowych, podczas przeprowadzonych pożarów testowych TF1 ÷ TF5 i TF8, tj.: płomieniowe spalanie celulozy (drewna) – pożar testowy TF1; szybkie tlenie się celulozy (drewna) – pożar testowy TF2; tlenie-żarzenie się bawełny – pożar testowy TF3; płomieniowe spalanie tworzywa sztucznego (poliuretanu) – pożar testowy TF4; płomieniowe spalanie cieczy wydzielającej dym (n-heptanu) – pożar testowy TF5; spalanie cieczy wydzielającej dym z małą ilością ciepła (dekahydronaftalenu) – pożar testowy TF8. Natomiast zakres rozdziału 6. to badania zadziałania sensorów w detektorach czujek pożarowych w środowisku zwodniczym, przeprowadzone na prototypowym stanowisku badawczym,

których celem była analiza sygnałów generowanych przez sensory czujek pożarowych przy zmianach środowiska wewnętrznego poprzez pojawienie się czynnika zwodniczego (pyłu, kurzu, aerozolu, pary wodnej). Wynikiem badań zarówno w rozdziale 5. jak i 6. była przedstawiona w formie wykresów zależność wartości stosunku sygnałów UV/IR, rejestrowanych przez sensory czujek od parametru m .

W rozdziale 7. zawarto opracowanie koncepcji algorytmu różnicującego wartości parametrów środowiska poprzedzające pożar od wartości parametrów środowiska z obecnością czynników zwodniczych, występujących w warunkach normalnych. Na podstawie zależności wartości stosunku sygnałów UV/IR, rejestrowanych przez sensory czujek od parametru m , przyjęto dodatkowe kryterium porównawcze odróżniające pożar od zjawiska zwodniczego, tj.: stosunek $UV/IR \geq 1,25$ i $UV/IR \geq 1,5$.

W rozdziale 8. porównano czasy zadziałania i wartości sygnału promieniowania IR i UV oraz UV/IR detektora standardowego (sygnał z sensorów analizowany niezależnie) z detektorami prototypowymi dla przeprowadzonych testów z pyłami, kurzem, aerozolem i parą wodną. Następnie w celu weryfikacji działania nowych detektorów, opisano przeprowadzone w skali rzeczywistej badania czujek pożarowych z nowym algorytmem dla pożarów testowych TF1 – TF5 oraz dodatkowych dwóch pożarów testowych zamiast pożaru testowego TF8, tj.: płomieniowe spalanie tworzywa sztucznego (granulatu polipropylenu) i szybkie tlenie się tworzywa sztucznego (poliuretanu), w wyniku spalania których również wydzielal się dym jasny i ciemny. W celu przetestowania poddanych badaniu detektorów w szerszym spektrum badanych zjawisk, wprowadzono również do badań czynnik zwodniczy – rozpylony aerozol glikolowo-glicerynowy. Wyniki testów zestawiono na wspólnym wykresie jako średnie czasy zadziałania (alarmu) badanych detektorów.

W rozdziale 9. dokonano analizy niepewności pomiarowej dla pomiaru gęstości optycznej środowiska przez densytometr oraz dla pomiaru natężenia promieniowania podczerwonego IR i ultrafioletowego UV, zarejestrowanego przez sensory optycznej czujki dymu.

W rozdziale 10. przedstawiono koncepcję stanowiska badawczego do oceny podatności czujek dymu na mylne wzbudzenia na podstawie badań eksperymentalnych detektorów z wykorzystaniem czynnika zwodniczego jako pyłu z drewna dębowego o frakcji $63 \div 71 \mu\text{m}$.

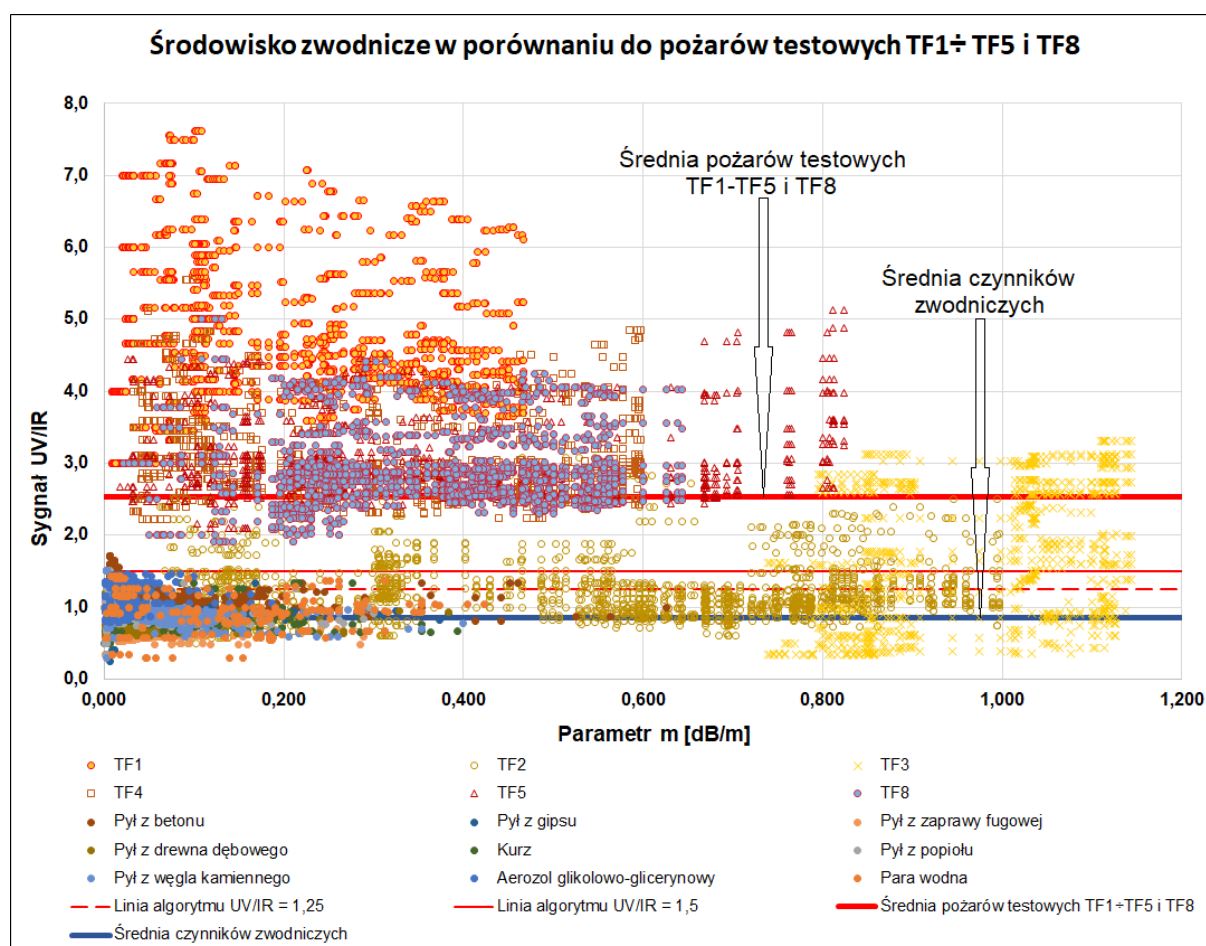
W podsumowaniu odniesiono się do postawionych w pracy tez, zawarto zarówno wnioski wynikające z przeprowadzonych badań o wartości poznawczej jak i wnioski praktyczne.

3. Badania eksperymentalne

Eksperyment obejmował przede wszystkim badania sensorów stosowanych w detektorach czujek pożarowych. Wykonano łącznie kilkaset testów pożarowych i badań w obecności czynników zwodniczych. W pierwszej kolejności poddano badaniom czujki standardowe z sensorami niezależnymi na tzw. pożary testowe, tj.: TF1 – TF5 i TF8. W trakcie badania rejestrowano stosunek natężenia rozpraszania promieniowania UV do rozpraszania promieniowania IR. Sensory poszczególnych natężeń, w postaci układu dioda nadawcza - dioda odbiorcza, stanowiły element układu detekcyjnego czujki pożarowej.

W celu uzyskania reprezentatywnej próbki wyników, pomiary prowadzono z wykorzystaniem jednocześnie 8 czujek pożarowych. Wyniki rejestrowano co jedną sekundę. Z uwagi na to, że szybkość rozwoju w rzeczywistych warunkach jest zróżnicowana, odrzucono kryterium czasu i odniesiono się do gęstości optycznej środowiska, opisywanej za pomocą „modułu ekstynkcji – m ” (parametru m). W ten sposób uzyskano kilkutyśieczną serię danych „ $m - UV/IR$ ”.

W drugim etapie analizowano stosunek natężenia rozpraszania promieniowania UV do rozpraszania promieniowania IR, w obecności środowiska zwodniczego, tj.: próbki wybranych pyłów, aerozolu glikolowo-glicerynowego i pary wodnej. Wyniki badań przedstawiono, podobnie jak w przypadku badań przy pożarach testowych, w postaci znaczników wartości stosunku sygnałów UV/IR, odczytywanych z sensorów czujek, w zależności od gęstości optycznej środowiska, wyrażanej „modułem ekstynkcji – m ”. Zestawione wyniki pomiarów przedstawiono na wykresie (rys. 1.).



Rys. 1. Zależność wartości stosunku sygnałów UV/IR, badanych sensorów od parametru m , dla pożarów testowych TF1 - TF5 i TF8 oraz w obecności czynników zwodniczych.
Źródło: opracowanie własne

W odniesieniu do wartości średniej ze wszystkich prób (pożary testowe TF1 ÷ TF5 i TF8), która wynosiła $UV/IR_{\text{średnie}} = 2,54$, można stwierdzić, że w pożarach płomieniowych (pożary testowe TF1, TF4, TF5 i TF8) stosunek sygnałów UV/IR osiągał w większości przypadków wartości znacznie wyższe

od średniej, natomiast w pożarach bezpłomieniowych - tłących (pożary testowe TF2 i TF3) stosunek sygnałów UV/IR miał wartość niższą od średniej wartości.

W kontekście dowodzenia hipotez można przyjąć założenie, że w warunkach środowiska, stanowiących początkową fazę rozwoju pożaru, w każdym badaniu występowały przypadki, gdy stosunek sygnałów UV/IR był większy niż 1,5. Pozwala to postawić wniosek, że wartość odczytów sensorów czujek monitorujących środowisko wewnętrzne wynoszące $UV/IR > 1,5$, zwiększa prawdopodobieństwo, że dana sytuacja stanowi początkową fazę pożaru. Należy przy tym nadmienić, że w przypadku rzeczywistego pożaru faza bezpłomieniowa przechodzi w fazę płomieniową. Tym samym zjawiskiem pewnym jest wystąpienie cząstek odpowiadających spalaniu płomieniowemu, przy których, zgodnie z wykonanymi pomiarami, odczyt z sensorów UV przekraczał ponad 2 razy natężenie sygnału z sensorów IR ($UV/IR > 2$).

Porównując wyniki badań z czynnikami zwodniczymi, w trakcie którego także rejestrowano stosunek natężenia rozpraszania promieniowania UV do rozpraszania promieniowania IR, również zaobserwowano, że rozpraszanie następowało na cząstkach odwzorowujących środowisko zwodnicze. Stosunek sygnałów UV/IR zawierał się w przedziale $0,3 \div 1,7$, (poniżej przyjętej prostej $UV/IR = 1,5$ znajdowało się 98,9% wyników badań stosunku sygnałów UV/IR, a poniżej przyjętej prostej $UV/IR = 1,25$ znajdowało się 92,0% wyników badań stosunku sygnałów UV/IR). Ponadto środowisko zwodnicze charakteryzowało się małym rozproszeniem wartości w porównaniu do pożarów testowych.

W kontekście dowodzenia hipotez można przyjąć założenie, że w warunkach środowiska zwodniczego, w każdym badaniu poza badaniem pyłu z betonu, stosunek sygnałów UV/IR był mniejszy niż 1,5. Również stwierdzono wyraźnie odmienny przebieg zmian wartości sygnału detektorów z sensorami IR i UV, w stosunku do pożarów testowych, tj. w znacznej większości wartość sygnału promieniowania IR była wyższa od sygnału promieniowania UV. Pozwala to postawić wniosek, że w przypadku, gdy wartość sygnału IR z odczytów sensorów czujek monitorujących środowisko wewnętrzne, będzie większa od sygnału UV, to zwiększa prawdopodobieństwo, że pobudzenie sensorów nastąpiło wskutek czynnika zwodniczego.

Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że w przypadku warunków środowiska występujących na początku pożaru, uzyskiwanych w trakcie pożarów testowych, wartość stosunku sygnałów UV/IR jest zauważalnie większa niż w obecności czynników zwodniczych. Do dalszych analiz, jako kryterium graniczne, warunkujące kwalifikację stanu środowiska jako pożar, przyjęto wartości $UV/IR \geq 1,25$, którą traktowano jako wartość próbną oraz $UV/IR \geq 1,5$, którą ustalono jako wartość średnią uzyskaną w grupie wszystkich pożarów, pomniejszoną o odchylenie standardowe. Tak ustalone wartości wprowadzono jako algorytm prototypowy do oprogramowania detektorów w czujkach pożarowych.

W trzecim etapie dokonano analizy porównawczej, która polegała na przeprowadzeniu kolejnych badań (pożarów testowych) dla czujek pożarowych z sensorami pracującymi niezależnie oraz sensorami powiązаныmi zależnością $UV/IR \geq 1,25$ i $UV/IR \geq 1,5$. Stwierdzono, że czujki z nowym algorytmem,

które nie sygnalizowały alarmu pożarowego podczas badań w środowisku zwodniczym, prawidłowo reagowały na zjawiska pożarowe. Zmierzone czasy detekcji pożarów były porównywalne z czasami detekcji przez czujki z sensorami pracującymi niezależnie.

W celu potwierdzenia drugiej tezy pracy opracowano koncepcję stanowiska badawczego, które wykonano i zweryfikowano w praktyce. Stanowisko wykonano przez modyfikację tunelu pomiarowego, służącego do normowych badań czujek pożarowych. Modernizacja tunelu polegała między innymi na wprowadzeniu układu rozpylania pyłu. Zmodernizowane stanowisko pomiarowe umożliwiało powtarzalny i odtwarzalny sposób prowadzenia pomiarów dla środowiska zwodniczego, które wytwarzano za pomocą pyłu dębowego o frakcji $63 \div 71 \mu\text{m}$.

4. Wnioski:

Pożarowe czujki dymu wykorzystujące sensory IR i UV należą do najczęściej wspólnie stosowanych czujek pożarowych w ochronie przeciwpożarowej budynków. Uwzględniając powyższe, założeniem pracy było wykorzystanie potencjału powszechnie stosowanych rozwiązań, ograniczonych do dwóch sensorów wykorzystujących efekt Tyndalla, przy rozpraszaniu promieniowania w zakresie częstotliwości IR oraz UV. Przeprowadzone badania i analizy pozwoliły na wyciągnięcie następujących wniosków:

Wniosek 1. Potwierdzono, że rozpraszanie promieniowania UV występuje ze zwiększoną intensywnością w stosunku do promieniowania IR na cząstkach dymu powstających w pożarach płomieniowych, w stosunku do cząstek dymu z pożarów bezpłomieniowych (tłących), które silniej rozpraszają promieniowanie IR.

Wniosek 2. W zależności od rodzaju spalania (płomieniowe, bezpłomieniowe) powstają cząstki dymu nie tylko o różnej wielkości, ale i o różnych właściwościach. Wartość określanego parametru m , opisującego makroskopowe właściwości optyczne dymu, rośnie wraz ze wzrostem ich właściwości optycznych (wzrost współczynnika załamania światła) oraz liczby cząstek dymu różnych rodzajów generowanych podczas spalania. Maleje natomiast wraz ze wzrostem promieni cząstek dymu oraz ich gęstości.

Wniosek 3. Stosunek wartości sygnału z sensora promieniowania UV do sygnału z sensora IR oznaczony zależnością UV/IR przyjęto jako kryterium różnicowania rozpraszania promieniowania elektromagnetycznego na cząstkach dymu, powstających w pożarze, względem cząstek czynników zwodniczych (pył, kurz, aerozol, para wodna), powstających w trakcie użytkowania budynku. Różnicowanie reakcji czujek związane jest z wielkością i właściwościami cząstek środowiska pożaru i środowiska zwodniczego.

Wniosek 4. Stosunek UV/IR obliczony na podstawie równania Rayleigha (21,37), przekraczał wartości UV/IR zmierzone w trakcie badań doświadczalnych (7,7). Przyczyną rozbieżności jest niejednorodność cząstek w dymie. Ponieważ sensory czujki rejestrują wypadkowe rozproszenie

promieniowania powstałe wskutek obecności cząstek znajdujących się w danej chwili w przestrzeni pomiarowej, stąd wartość zmierzona odbiegała od wartości wyznaczonej teoretycznie.

Liczba cząstek spełniających równanie Rayleigha przeważała w dymie powstałym podczas spalania płomieniowego, wówczas wartość stosunku sygnałów UV/IR znacznie przekraczała 1. Natomiast w przypadku spalania bezpłomieniowego, podczas którego występują zarówno cząstki o małych średnicach, jak i o średnicach większych, rejestrowano odpowiednio przypadki gdy $UV/IR > 1$, jak również $UV/IR < 1$. Z kolei aerozole pyłów odwzorowujących czynniki zwodnicze, zawierają cząstki ze znaczną przewagą cząstek o większych średnicach, w wyniku czego stan, w którym w przestrzeni detektora byłaby przewaga cząstek o małych średnicach, powodująca $UV/IR \gg 1$, w trakcie eksperymentu praktycznie nie występował.

Wniosek 5. Na podstawie przeprowadzonych badań, w których przyjęto algorytmy różnicujące $UV/IR \geq 1,25$ i $UV/IR \geq 1,5$, dla nowych detektorów pożarowych, ostatecznie zaproponowano algorytm stanowiący kryterium weryfikujące „pożar – zjawisko zwodnicze”:

$$UV/IR \geq 1,5$$

Stwierdzono, że przyjęte kryterium jest odpowiednie do zastosowania w czujkach pożarowych. Badania potwierdziły skuteczność działania czujek w warunkach pożarowych, z jednoczesnym ograniczeniem liczby zadziałań (wzbudzeń) przy czynnikach zwodniczych.

Wniosek 6. W grupie badanych pożarów reprezentatywnych zawsze występują przypadki, w których stosunek sygnału UV/IR promieniowania rozpraszanego w detektorze czujki przekracza wartość 1,5. Przekroczenie wartości kryterialnej z powodu czynnika zwodniczego wystąpiło jedynie w 1,1% przypadków.

Wniosek 7. Podczas badań środowiska zwodniczego wartość stosunku natężenia promieniowania UV/IR nie przekraczała wartości 1,5, za wyjątkiem pyłu z betonu, gdzie ta wartość została nieznacznie przekroczona do wartości 1,7.

Wniosek 8. W badaniach w obecności środowiska zwodniczego, detektor standardowy (sygnał z sensorów analizowany niezależnie) w każdym przypadku sygnalizował stan alarmu pożarowego. Detektor z algorytmem $UV/IR \geq 1,25$ sygnalizował w 22% przypadków, natomiast detektor z algorytmem $UV/IR \geq 1,5$ nie sygnalizował alarmu pożarowego tylko tryb prealarmu - czyli faktu przekroczenia pośrednich, niższych od progu alarmu pożarowego wartości środowiska wewnętrznego.

Wniosek 9. Wykazano, że czujki pożarowe, zarówno z detektorem standardowym (sensory niezależne), jak i z detektorami nowymi (algorytm $UV/IR \geq 1,25$ i $UV/IR \geq 1,5$), wykrywały zjawiska pożarowe i generowały alarm pożarowy w zbliżonym czasie. Świadczy to o tym, że czujka z prototypowym algorytmem $UV/IR \geq 1,5$ jest czujką, która zachowuje czułość na poziomie czujki standardowej, a z mniejszym prawdopodobieństwem zadziała w przypadku pojawienia się środowiska zwodniczego.

Wniosek 10. Czujki pożarowe z algorytmem stanowiącym kryterium weryfikujące „pożar – zjawisko zwodnicze” $UV/IR \geq 1,25$ cechowała większa podatność na mylne wzbudzenia (na 45 przeprowadzonych badań – czujka zadziałała alarmem pożarowym 10 razy), przy tej samej skuteczności w zakresie wykrywania pożarów reprezentatywnych, co czujka z algorytmem $UV/IR \geq 1,5$.

Wniosek 11. Wnioskuje się wdrożenie do procesu badań certyfikacyjnych czujek pożarowych dodatkowego badania weryfikującego podatność czujki na mylne wzbudzenia. Proponuje się badanie, w trakcie którego czujki pożarowe poddawane zostaną oddziaływaniu mieszaniny powietrza i pyłu z drewna dębowego o wielkości cząstek $63 \div 71 \mu\text{m}$, przepływającej z prędkością 2 m/s. Jako kryterium weryfikujące wskazuje się brak zasygnalizowania alarmu pożarowego. Powyższe badanie, powinno wymusić u producentów stosowanie rozwiązań zabezpieczających przed zwodniczymi wzbudzeniami czujek i w konsekwencji ograniczyć liczbę alarmów fałszywych generowanych przez SSP.