

mgr inż. **Tomasz POPIELARCZYK**  
Zespół Laboratoriów Sygnalizacji Alarmu Pożaru  
i Automatyki Pożarniczej

## **BADANIE WPLYWU GĘSTOŚCI DREWNA ULEGAJĄCEGO SPALANIU NA CZAS ZADZIAŁANIA CZUJEK DYMU**

### **Streszczenie**

Artykuł przedstawia opis i wyniki badania dotyczącego wpływu gęstości drewna na właściwości detekcyjne czujek dymu.

### **Summary**

This article presents description and results of test relating influence of wood density on properties detection of smoke detectors.

### **Wprowadzenie**

Drewno, obok kamienia i gliny jest najstarszym materiałem stosowanym w budownictwie. Z drewna powstają całe budynki, stropy, podłogi (z paneli lub litego drewna), boazeria, sufity, stolarka okienna i drzwiowa, schody i w końcu obecne w każdym pomieszczeniu meble. Popularność tego materiału wiąże się głównie z jego dużą dostępnością, stosunkowo niską ceną, dobrymi właściwościami użytkowymi oraz jego naturalnością i pięknem.

Obecność drewna zwiększa ryzyko powstania pożaru w pomieszczeniach. Drewno jako materiał naturalny ma niejednorodną i złożoną budowę. Nawet drewno tego samego gatunku różni się od siebie gęstością (nawet do 100 [kg/m<sup>3</sup>]), twardością czy wytrzymałością na zginanie. Również mechanizm spalania, sposób i ilość generacji dymu są różne. Na palność drewna wpływ ma obecność w jego składzie różnych dodatkowych substancji: żywic, olejków eterycznych.

Podczas badań przeprowadzonych na stanowisku znajdującym się w Szkole Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie starano się określić jaki wpływ na szybkość zadziałania czujek dymu ma gęstość drewna, która jest podstawową i najczęściej oznaczaną właściwością, ponieważ od gęstości zależą fizyczne, mechaniczne i technologiczne właściwości drewna [1].

Jako próbki wykorzystano drewno sosny (o gęstości  $453 \text{ [kg/m}^3\text{]}$ ), dębu polskiego ( $591 \text{ [kg/m}^3\text{]}$ ), dębu kanadyjskiego ( $709 \text{ [kg/m}^3\text{]}$ ) oraz drewna kempas ( $880 \text{ [kg/m}^3\text{]}$ ). Zakupiono je w sklepie budowlanym, dzięki temu w znacznym stopniu odzwierciedlają materiały występujące w pomieszczeniu podczas pożaru.

Spośród wszystkich czujek wykrywających oznaki pożaru do badań wykorzystano czujki dymu, ponieważ przy spalaniu drewna najszybciej tworzy się dym, długo przed wzrostem temperatury i pojawieniem się płomienia. Poza tym na korzyść tego rodzaju czujek przemawia ich szerokie stosowanie w pomieszczeniach (znacznie większa niż czujek płomienia czy temperatury).

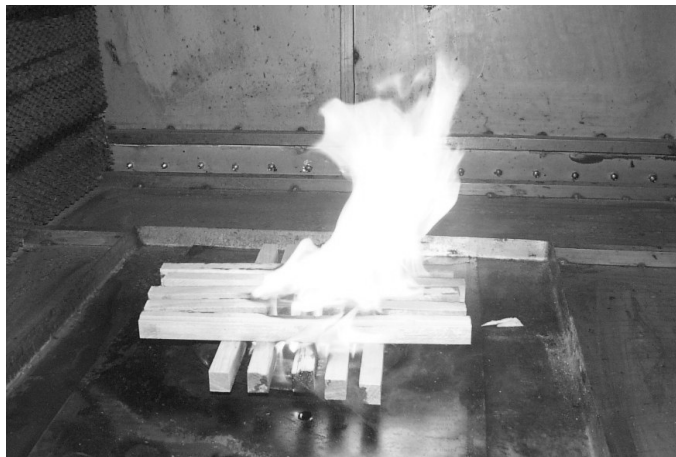
Badanie przeprowadzono na stanowisku badawczym znajdującym się w Laboratorium Technicznych Systemów Zabezpieczeń w Szkole Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie.

Badanie przebiegało w dwóch etapach – w zależności od rodzaju spalania: płomieniowego i bezpłomieniowego.

Dla każdego rodzaju spalania wykonano 5 pomiarów, dla trzech różnych prędkości przepływu powietrza w  $0,2$ ;  $1$  i  $5 \text{ [m/s]}$ . Pozwoliło to na zaobserwowanie wpływu prędkości na czas zadziałania różnych czujek. Każdy pomiar trwał  $180 \text{ [s]}$  (chyba że wszystkie czujki zadziałały wcześniej).

Do spalania bezpłomieniowego wykorzystano płytę grzejną o średnicy  $200 \text{ [mm]}$ , rozgrzaną do temperatury około  $500^\circ\text{C}$ . Strumień mocy promieniowania płyty grzejnej wynosił  $30 \text{ [kW/m}^2\text{]}$ .

Do podpalania próbek przy spalaniu płomieniowym wykorzystano denaturat, w ilości  $15 \text{ [ml]}$ , z uwagi na trudności w zapoczątkowaniu spalania próbek. Denaturat wlewany był do pojemnika o średnicy  $50 \text{ [mm]}$ , umieszczonego pod próbkami. Przed głównymi pomiarami, spalono  $15 \text{ [ml]}$  denaturatu, żadna czujka nie weszła w stan alarmu. Można wnioskować, iż ta substancja nie zakłóca wyników pomiarów.



**Fot. 1.** Sposób spalania płomieniowego drewna



**Fot. 2.** Sposób spalania bezpłomieniowego drewna

Na świecie (głównie w USA) prowadzi się podobne badania wpływu produktów spalania różnych materiałów występujących w pomieszczeniach, na czas zadziałania czujek dymu [2, 3].

#### **Gęstość drewna**

Wyrażana jest jako stosunek masy drewna do jego objętości. Drewno wraz ze wzrostem wilgotności zmienia i swoją objętość, i masę. Po przekroczeniu wilgotności

granicznej ustaje wzrost objętości, następuje tylko wzrost masy drewna. W literaturze występują trzy określenia gęstości drewna [4]:

- gęstość drewna absolutnie suchego,
- gęstość drewna wilgotnego,
- gęstość umowna.

Istnieją specjalne wzory umożliwiające przeliczanie wyżej wymienionych gęstości między sobą.

Gęstość drewna zależy od: gatunku drewna, wilgotności, położenia drewna w pniu, warunków wzrostu drzewa, obecności wad. Największy wpływ na gęstość drewna ma jednak wiek drzewa – gęstość rośnie wraz z wiekiem drzew [5].

Niejednorodna budowa drewna powoduje, że wahania gęstości mogą dochodzić nawet do  $100 \text{ kg/m}^3$ . Duża gęstość wykazuje drewno pochodzące z odziomkowej części pnia. Największą gęstość ma drewno gałęzi i sęków.

Według F. Krzysika [6] drewno pod względem gęstości klasyfikuje się na klasy:

- I. drewno bardzo ciężkie (ponad  $800 \text{ kg/m}^3$ ) – grab, cis, bukszpan, gwajak, heban, eukaliptus, kempas,
- II. drewno ciężkie ( $710 - 800 \text{ kg/m}^3$ ) – buk, dąb, jesion, orzech, grusza, śliwa,
- III. drewno umiarkowanie ciężkie ( $610 - 700 \text{ kg/m}^3$ ) – brzoza, klon, jawor, jabłoń, modrzew, wiąz,
- IV. drewno lekkie ( $510 - 600 \text{ kg/m}^3$ ) – jałowiec, kasztanowiec, mahoń,
- V. drewno umiarkowanie lekkie ( $410 - 500 \text{ kg/m}^3$ ) – sosna, świerk, jodła, olcha lipa, osika, cedr, tik,
- VI. drewno bardzo lekkie (poniżej  $400 \text{ kg/m}^3$ ) – topola, wejmutka, balsa.

Tak więc w porównaniu z innymi materiałami budowlanymi drewno jest materiałem lekkim.

#### Układ pomiarowy

Stanowisko pomiarowe składa się z następujących głównych elementów:

- komory spalania o wymiarach  $1,2 \times 1,2 \times 1,2 \text{ [m]}$  – spalane są w niej próbki płomieniowo lub bezpłomieniowo; zapalenie drewna przy spalaniu płomieniowym następuje przy użyciu określonej ilości denaturatu (w badaniu użyto  $15 \text{ [ml]}$ ), natomiast przy spalaniu bezpłomieniowym – rozkład termiczny na płycie grzejnej o temperaturze około  $500^\circ\text{C}$ ; powietrze do komory spalania zasysane jest przez otwór

zasysający, przepływając jeszcze przez prostownicę strumienia, takie położenie otworu oraz prostownica strumienia eliminuje wpływ przepływu powietrza na spalanie się próbki; w komorze znajdują się również termopary do pomiaru temperatury;

- tunelu o przekroju 0,4 x 0,4 [m] – zasysane są do niego lotne produkty spalania z komory; układ wentylacyjny umożliwia regulację prędkości przepływu w tunelu w zakresie od 0,1 do 7 [m/s]; w tunelu umieszczone są badane czujki dymu, których napięcie zasilania kontrolowane jest przez multimetr, oraz czujniki do pomiaru:
  - parametrów cząstek dymu (IPS-CR),
  - parametru  $y$  [-]: głowica pomiarowa – komora jonizacyjna,
  - parametru  $m$  [dB/m]: głowica pomiarowa densytometru – pomiar zewnętrzny,
  - temperatury: termopary,
  - prędkości przepływu powietrza: czujnik anemometru.

Wszystkie pomiary są zapamiętywane przez programy komputerowe, z częstotliwością 1 [Hz] (co 1 [s]).

Czas  $t$  zadziałania czujki dymu mierzono stoperem z dokładnością co do 0,1 [s]. Niepewność pomiaru czasu zadziałania czujki dymu wynosi  $u(t) = 0,2$  [s]. Jest to związane z czasem reakcji człowieka włączającego i wyłączającego stoper.



Fot. 3. Widok ogólny stanowiska pomiarowego

### Badane czujki dymu

Czujka dymu jest podstawowym elementem systemu sygnalizacji pożarowej i najczęściej stosowaną ze wszystkich czujek. Wynika to przede wszystkim z faktu, że czas reakcji tych czujek wynosi kilka sekund, w którym to czasie zmiana temperatury

w pomieszczeniu jest jeszcze niezauważalna. Czujka dymu ogólnie powoduje alarm już na samym początku powstania pożaru, kiedy materiał zaczyna się tlić i ilość dymu w powietrzu osiągnie określoną koncentrację. Dzieje się to jeszcze przed tym, zanim nastąpi intensywny otwarty płomień [7].

Do badań wykorzystano czujki krajowych i zagranicznych producentów:

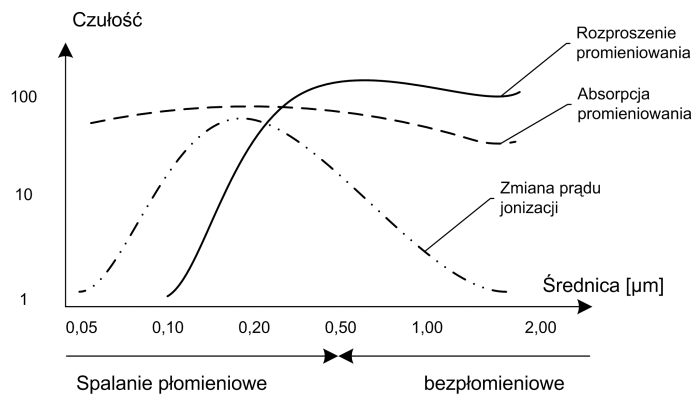
- optyczną czujkę dymu bez komory pomiarowej,
- optyczną czujkę dymu z komorą pomiarową (nr 1),
- optyczną czujkę dymu z komorą pomiarową (nr 2),
- jonizacyjną czujkę dymu.

Jonizacyjna czujka dymu według Polskiej Normy [8] definiowana jest jako czujka czuła na produkty spalania, zdolne do wpływania na prądy jonizacji w jej komorze. Działa na zasadzie zmniejszania prądu jonizacji pomiarowej komory jonizacyjnej w wyniku zmniejszenia się ruchliwości nośników prądu, do których, podczas pożaru, przyłączają się odrobiny dymu. Czułość tych czujek nie zależy praktycznie od barwy dymu, jest aktywna w zakresie już od niewidzialnych produktów spalania. Na czułość ma wpływ wielkość cząstek dymu (im większe cząstki tym czułość jest mniejsza). Na działanie czujek jonizacyjnych duży wpływ mają warunki środowiskowe, które mogą powodować fałszywe alarmy.

Optyczna punktowa czujka dymu według Polskiej Normy [8] definiowana jest jako czujka czuła na produkty spalania zdolne do wpływania na rozpraszanie promieniowania w zakresie widma elektromagnetycznego (podczerwonym, widzialnym i/lub nadfioletowym). Zasada działania tej czujki oparta jest na wykorzystaniu zjawiska dyspersji (rozpraszania) światła. Podstawowymi elementami tych czujek są fotoelement (najczęściej fotodiody – diody LED, emitująca światło o długości fali około 0,9  $\mu\text{m}$ ) odbierający światło z emitera (odbiornik), oraz impulsowe źródło światła (nadajnik), którym najczęściej jest dioda elektroluminescencyjna zasilana sygnałem z generatora sygnałowego. Jednym z nowszych rozwiązań jest czujka bez komory pomiarowej (jej zadania spełnia najbliższe otoczenie). Aby wyeliminować fałszywe alarmy i zakłócenia w pracy czujki stosuje się kilka układów pomiarowych oraz stosuje się specjalne filtry optyczne, w zależności od długości fali nadajnika.

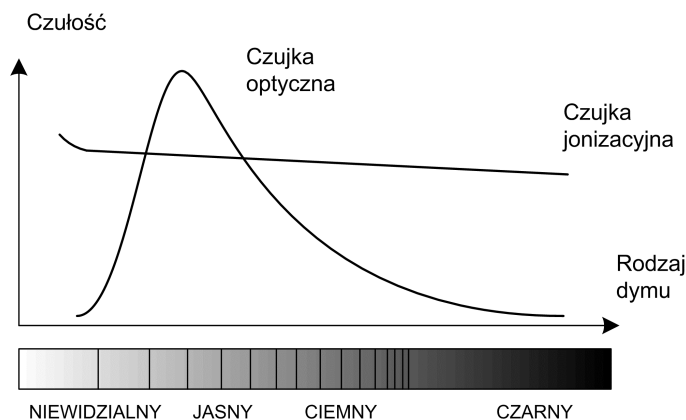
Czujki jonizacyjne mają zazwyczaj większą czułość przy wysokich stężeniach małych cząstek (np. przy spalaniu drewna), natomiast mniejszą mają przy niskich stężeniach (np. dużych kropel dymu powstających podczas spalania bezpłomieniowego).

Czujki punktowe optyczne mają większą czułość przy cząsteczkach dymu o średnicach równych w przybliżeniu długości fali świetlnej, a niską czułość przy cząsteczkach dymu o średnicach dużo mniejszych. Czujki te uzupełniają czujki jonizacyjne, w tym że mają one większą czułość na dymu powstające przy spalaniu bezpłomieniowym i mniejszą przy pożarach płomieniowych (niskodymowych, takich jak spalanie drewna). Rozważania te przedstawia poniższy wykres.



Ryc. 1. Zależność czułości czujek dymu od średnicy cząstek dymu [7]

Czułość czujek dymu silnie zależy od barwy dymu. O ile w przypadku czujek jonizacyjnych nie ma ona takiego wpływu, o tyle dla czujek optycznych barwa dymu ma bardzo duże znaczenie. Zależność tą przedstawia poniższy wykres.



Ryc. 2. Zależność czułości czujek dymu od barwy dymu [7]

Tabela 1.

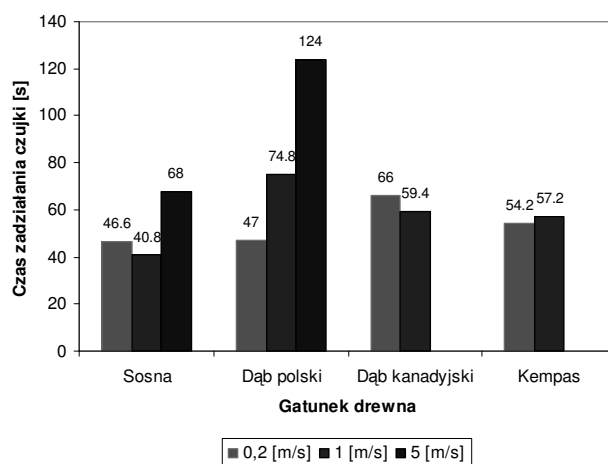
## Charakterystyka użytych materiałów w badaniu

| Parametr   | Rodzaj drewna                 |            |                |             |
|--|-------------------------------|------------|----------------|-------------|
|  | Sosna                         | Dąb polski | Dąb kanadyjski | Kempas      |
| Wymiar próbek – spalanie bezpłomieniowe, [cm]                | 7 x 2 x 1,7                   |            |                |             |
| Wymiar próbek – spalanie płomieniowe, [cm]                   | 28 x 2 x 1,7                  |            |                |             |
| Ilość próbek do pomiaru przy spalaniu bezpłomieniowym, [szt] | 6                             |            |                |             |
| Ilość próbek do pomiaru przy spalaniu płomieniowym, [szt]    | 10                            |            |                |             |
| <b>Gęstość, [kg/m<sup>3</sup>]</b>                           | <b>453</b>                    | <b>591</b> | <b>709</b>     | <b>880</b>  |
| Początek rozkładu termicznego, [°C]                          | 130                           | 140        | 140            | brak danych |
| Temperatura zapłonu, [°C]                                    | 210                           | 290        | 290            |             |
| Temperatura samozapłonu, [°C]                                | 365                           | 460        | 460            |             |
| Klasyfikacja własności dymotwórczych                         | średnia intensywność dymienia |            |                |             |
| Ciepło spalania, [kJ/kg]                                     | 22100                         | 21300      | 21300          |             |
| Indeks tlenowy, [%]  | 22,4                          | 24,6       | 24,6           |             |
| Wytrzymałość na ściskanie, [N/mm <sup>2</sup> ]              | 42                            | 46         | 46             | 66          |
| Zginanie statyczne, [N/mm <sup>2</sup> ]                     | 76                            | 90         | 90             | 126         |

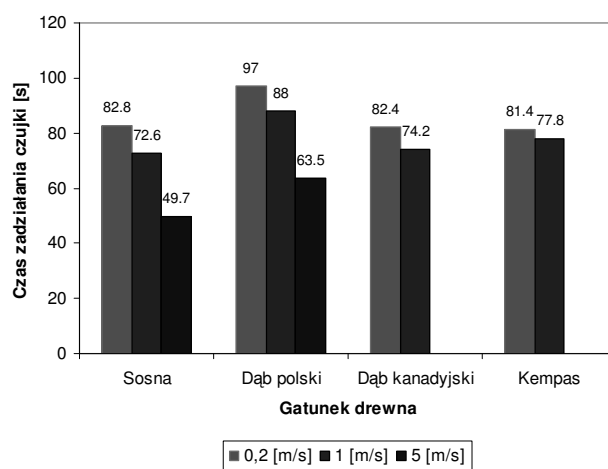
**Wyniki badań***Spalanie bezpłomieniowe*

Rysunki 6 i 7 przedstawiają czasy zadziałania dwóch czujek optycznych z komorą (oznaczonej w badaniu numerem 1) i bez komory pomiarowej przy spalaniu bezpłomieniowym. Czasy zadziałania czujki z komorą pomiarową są wyraźnie mniejsze niż czasy zadziałania czujki bez komory pomiarowej. Stwierdzono, że wraz ze wzrostem prędkości przepływu powietrza dla czujki z komorą pomiarową wzrasta czas detekcji produktów spalania, natomiast dla czujki bez komory – maleje. Należy jednak zaznaczyć, że przy wyższych gęstościach drewna, dla największej prędkości przepływu powietrza (5 [m/s]) czujki te nie wykrywały produktów spalania drewna w ogóle.



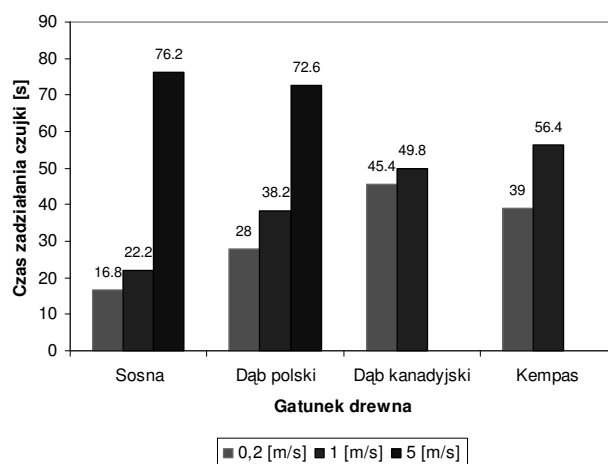


Ryc. 3. Czas zadziałania optycznej czujki dymu z komorą pomiarową (nr 1) w zależności od rodzaju drewna, przy spalaniu bezpłomieniowym



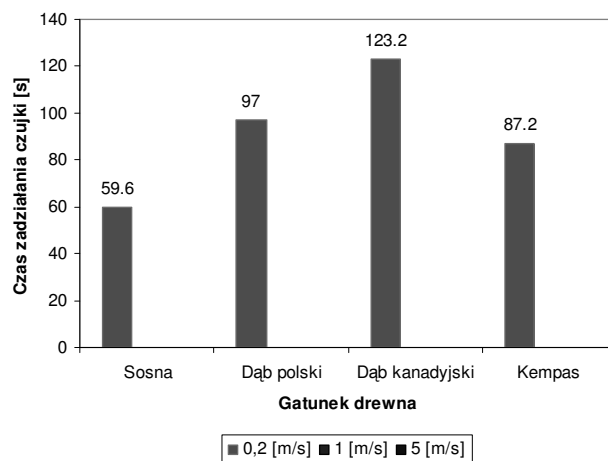
Ryc. 4. Czas zadziałania optycznej czujki dymu bez komory pomiarowej w zależności od gęstości drewna, przy spalaniu bezpłomieniowym

Porównanie dwóch optycznych czujek dymu z komorą pomiarową (nr 1 i 2) o innych parametrach układu detekcyjnego, pokazuje podobne zależności czasów zadziałania od gatunku (gęstości) drewna i prędkości przepływu powietrza. Stwierdzono jednak, że dla czujki nr 2 czasy te są krótsze (rysunek 8).



**Ryc. 5.** Czas zadziałania optycznej czujki dymu z komorą pomiarową (nr 2) w zależności od rodzaju drewna, przy spalaniu bezpłomieniowym

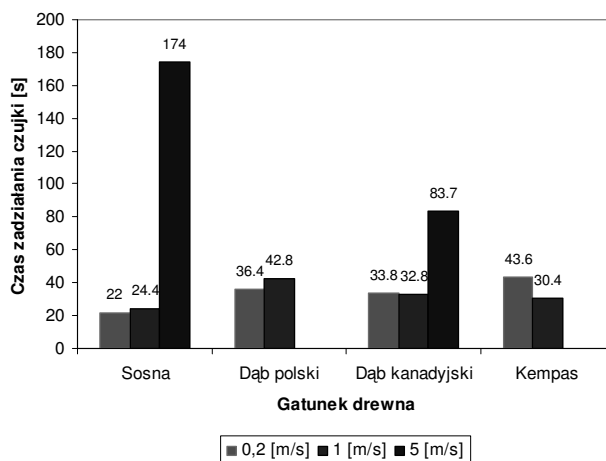
Analiza wyników badań jonizacyjnej czujki dymu (rysunek 9) pozwala stwierdzić, że czujka ta wykazuje znacznie mniejszą czułość na produkty spalania niż czujki optyczne, a czasy detekcji wzrastają wraz ze wzrostem gęstości drewna. Dodatkowo czujka jonizacyjna zadziałała tylko dla najmniejszej prędkości przepływu powietrza.



**Ryc. 6.** Czas zadziałania jonizacyjnej czujki dymu w zależności od rodzaju drewna, przy spalaniu bezpłomieniowym

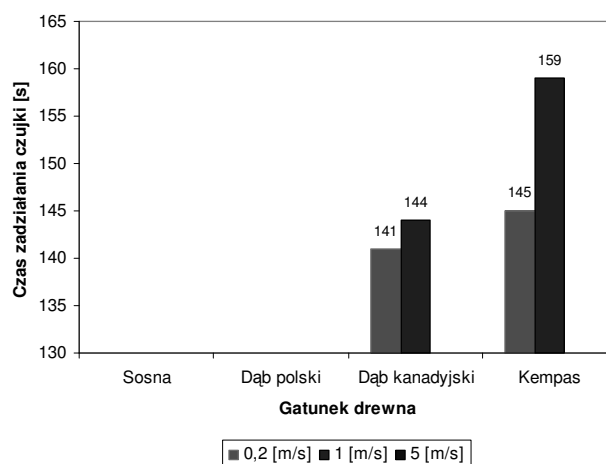
*Spalanie płomieniowe*

W przypadku spalania płomieniowego lepsze właściwości wykazała czujka jonizacyjna dymu (rysunek 10). Czasy zadziałania były mniejsze, w porównaniu z wynikami czujek optycznych. Dla małych prędkości przepływu powietrza czasy te rosły wraz ze wzrostem gęstości drewna, natomiast przy prędkości 5 [m/s] malały. W przypadku drewna o najmniejszej gęstości – sosny stwierdzono duży wzrost czasu detekcji przy wzroście przepływu powietrza. Dla pozostałych gatunków drewna wzrost nie był już tak wyraźny.



**Ryc. 7.** Czas zadziałania jonizacyjnej czujki dymu w zależności od rodzaju drewna, przy spalaniu płomieniowym

Rysunek 11 przedstawia wyniki dla optycznej czujki dymu bez komory pomiarowej. Dla pozostałych czujek optycznych wyniki są zbliżone. Przy spalaniu płomieniowym stwierdzono lepsze właściwości detekcyjne optycznych czujek dymu przy spalaniu drewna o większej gęstości. Można wnioskować, że wraz ze wzrostem gęstości drewna, optyczne czujki dymu łatwiej wykrywają dym. Dzieje się tak tylko dla małych prędkości przepływu powietrza (dla prędkości 5 [m/s] wszystkie badane optyczne czujki dymu nie zadziałały).



Ryc. 8. Czas zadziałania optycznej czujki dymu bez komory pomiarowej w zależności od rodzaju drewna, przy spalaniu płomieniowym

### Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone badania potwierdzają niejednorodność i różnice w budowie drewna oraz pokazują wpływ gęstości drewna na czasy zadziałania czujek, jak i na palność drewna.

Analizując wyniki pomiarów można sformułować następujące wnioski:

- Najszybciej w stan alarmu czujki wchodziły przy spalaniu drewna o najmniejszej gęstości (sosna), najpóźniej – dla największej gęstości (kempas). Działo się tak dla każdego typu spalania: płomieniowego i bezpłomieniowego. Przy spalaniu bezpłomieniowym czasy zadziałania wahały się w małym zakresie.
- Duży wpływ na czasy zadziałania czujek miała prędkość przepływu powietrza w komorze pomiarowej. Przy prędkości 5 [m/s] czujki sporadycznie wykrywały produkty spalania płomieniowego, jak i bezpłomieniowego. Zazwyczaj czasy zadziałania czujek zwiększały się wraz ze wzrostem prędkości przepływu powietrza.
- Otrzymane wyniki potwierdzają dane literaturowe: czujki jonizacyjne dymu lepiej wykrywają produkty spalania płomieniowego niż bezpłomieniowego (podczas badań różnica w detekcji wyniosła około 40 ÷ 80 [s]), optyczne czujki dymu natomiast odwrotnie, bardziej są czułe przy spalaniu bezpłomieniowym niż płomieniowym (nie zadziałały wcale lub z około 60 ÷ 80 [s] opóźnieniem).

Otrzymane wnioski jednoznacznie pokazują jak dużą rolę w czasach detekcji spalania ma nie tylko sam rodzaj drewna i jego gęstość, ale również warunki zewnętrzne (prędkość przepływu powietrza, rodzaj czujki dymu, typ spalania).

## Literatura

1. Kokociński W.: Pomiary właściwości fizycznych i mechanicznych drewna, Poznań: Wydawnictwo Prodruk, 2004.
2. Results From a Full Scale Smoke Alarm Sensitivity Study. Suppression and Detection Research Application: A Technical Working Conference, 13th Annual. SUPDET 2009. Proceedings. Fire Protection Research Foundation. February 24-27, 2009, Orlando, FL, 2009. CLEARY, T. G. Dostępny w World Wide Web: <http://fire.nist.gov/bfrlpubs/fire09/PDF/f09007.pdf>.
3. Smoke Detector Response to Nuisance Aerosols. International Conference on Automatic Fire Detection "AUBE '99", 11th. Proceedings. University of Duisburg. [Internationale Konferenz uber Automatischen Brandentdeckung.] March 16-18, 1999, Duisburg. CLEARY, T. G.; GROSSHANDLER, W. L.; CHERNOVSKY, A. Dostępny w World Wide Web: <http://fire.nist.gov/bfrlpubs/fire99/PDF/f99123.pdf>.
4. Kozakiewicz P.: Fizyka drewna w teorii i zadaniach, Warszawa: Wydawnictwo SGGW, 2006.
5. Witkowska J.: Gęstość drewna sosny zwyczajnej w zależności od wieku drzew, Warszawa: XIII Konferencja Naukowa Wydziału Technologii Drewna SGGW, 16-18 listopad 1999.
6. Krzysik F.: Nauka o drewnie, Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe, 1978.
7. Gancarczyk P., Kustra P., Łoza H., Tuziemek Z., Wnęk W.: Laboratorium Technicznych Systemów Zabezpieczeń, Warszawa: Wydawnictwo SGSP, 1999.
8. PN-EN 54-1:1998 Systemy sygnalizacji pożarowej. Wprowadzenie, Warszawa: Polski Komitet Normalizacyjny, 1998.
9. PN-EN 54-7:2002 Systemy sygnalizacji pożarowej. Część 7: Czujki punktowe działające z wykorzystaniem światła rozproszonego, światła przechodzącego lub jonizacji, Warszawa: Polski Komitet Normalizacyjny, 2002.

