

ĆWICZENIE 9

METODA BADANIA WŁAŚCIWOŚCI DYMOTWÓRCZYCH MATERIAŁÓW wg P-89/B-02856

I. CZĘŚĆ TEORETYCZNA

Badanie gęstości optycznej dymu materiałów palnych

1. Wprowadzenie

Spalanie jest egzotermiczną reakcją palnego materiału z utleniaczem, której towarzyszy pojawienie się płomieni i (lub) tlenu lub żarzenia i (lub) dymu.

Gdy spalanie jest niekontrolowanym w czasie i przestrzeni wydzielaniem ciepła połączonym z przenoszeniem masy, mamy do czynienia z pożarem.

O stopniu zagrożenia ludzi znajdujących się w budynku podczas pożaru decyduje pięć podstawowych czynników:

- dym,
- toksyczne produkty spalania,
- niedostatek tlenu,
- wysoka temperatura gazów pożarowych,
- oddziaływanie płomieni.

Wydzielanie się dymu towarzyszy prawie wszystkim pożarom i ma decydujący wpływ na prowadzenie akcji ratowniczej. Dym utrudnia przede wszystkim ewakuację ludzi, gdyż ogranicza widzialność. Ograniczenie widzialności często powoduje, że ludzie tracą orientację w budynku i - mimo stosowania znaków bezpieczeństwa wskazujących kierunki ewakuacji - nie mogą odnaleźć właściwej drogi ucieczki. Człowiek narażony jest wówczas na oddziaływanie pozostałych czynników zagrażających jego życiu, stąd też badania właściwości dymotwórczych materiałów stanowią ważny element w kompleksowym badaniu właściwości pożarowych materiałów palnych. Określenie zdolności dymotwórczych polega na badaniu tych właściwości w warunkach eksperymentalnych i - na podstawie wyznaczonej wielkości - przyporządkowaniu materiałów do odpowiedniej umownej grupy klasyfikującej. Jest to korzystne ze względów praktycznych, ponieważ materiały, które w znormalizowanych warunkach badań charakteryzują się wysokimi właściwościami dymotwórczymi, mogą być eliminowane z zastosowania.

Początkowo badania dymotwórczości materiałów polegały na wyznaczeniu gęstości optycznej, tj. określaniu obniżenia natężenia światła przy przechodzeniu przez warstwę dymu. Obowiązująca norma PN-89/B-02856 "Metoda badania właściwości dymotwórczych materiałów" pozwala na ocenę tych właściwości na podstawie osłabienia (zmiany) kontrastu wzorca optometrycznego.

2. Definicje podstawowe

2.1. Dym

Dym definiuje się jako dyspersyjny układ aerozolowy, składający się z ośrodka gazowego (faza rozpraszająca, tzw. dyspersyjna) i fazy rozproszonej w stanie stałym i ciekłym. Cząsteczki dymu są układami złożonymi, które mogą stanowić kropelki cieczy, fragmenty ciała stałego oblepione cieczą albo smolistą substancją.

2.2. Tworzenie się dymu

Cząsteczki dymu powstają w wyniku niecałkowitego spalania płomieniowego i bezpłomieniowego

(tlenia).

Tworzący się podczas tlenia dym jest podobny do dymu powstającego przy spalaniu węglowodorów. Związki te przy spalaniu są ogrzewane do takich temperatur, przy których następuje ich rozkład termiczny i wydzielanie się składników lotnych. Ogrzane wysokocząsteczkowe frakcje lotne (w tym wielopierścieniowe) mieszają się z zimnym powietrzem i występują w postaci kropelek smoły i cieczy o wysokich temperaturach wrzenia. Cząsteczki o średnicy około 1 mikrona rozproszone w przestrzeni, przy braku przepływu powietrza tworzą zawiesinę w postaci chmury, która osiadając, tworzy pozostałość olejową. Dym tworzący się podczas spalania płomieniowego składa się prawie całkowicie z cząstek stałych (sadzy). W warunkach oddziaływania płomienia jako wysokoenergetycznego strumienia ciepła mała część cząsteczek stałych oblepia ciekłe produkty spalania. Większość zaś tych cząstek jest tworzona w fazie gazowej w wyniku niecałkowitego spalania, wysokiej temperatury i niskiej zawartości tlenu.

W płomieniu składniki lotne mogą podlegać szeregowi reakcji pirolitycznych, prowadzących do utworzenia molekularnych struktur, takich jak policykliczne węglowodory i poliacetyleny, będących zaczątkami sadzy.

I to właśnie obecność sadzy wewnątrz płomienia nadaje mu żółtawą poświatę. Te małe cząsteczki o średnicy od 10 do 100 nm mogą się utleniać wewnątrz płomienia, ale jeśli temperatura i stężenie tlenu nie są dość wysokie, to cząsteczki te będą miały tendencję do zwiększenia swoich rozmiarów i aglomeracji. W efekcie powstają większe cząsteczki sadzy, które jako dym opuszczają wysokoenergetyczne środowisko płomienia. Właściwości dymu zależą od rodzaju ośrodka gazowego, fazy dyspersyjnej, tzw. stężenia liczbowego i masowego, rozmiarów cząsteczek, pierwotnego kształtu cząsteczek nie zaglomerowanych, stopnia ich agregacji, kształtu agregatów i ładunku elektrycznego cząsteczek.

2.3. Stężenie liczbowe dymu

Stężenie liczbowe dymu wyraża liczbę cząsteczek dymu zawartych w jednostce aerozolu dymowego:

$$C_{ni} = \sum (Z_{di}/V)$$

gdzie: Z_{di} - liczba cząsteczek dymu wytworzonego w czasie rozkładu termicznego i spalania,
 V - objętość aerozolu dymowego.

2.4. Stężenie masowe dymu

Jest to ilość fazy rozproszonej (dymu) w objętości aerozolu dymowego, i oznacza masę dymu zawartą w jednostce objętości aerozolu dymowego:

$$C_d = m_d/V$$

Stężenie masowe może charakteryzować stopień zadymienia atmosfery objętego pożarem pomieszczenia.

W dymie nie występują siły przeciwdziałające łączeniu się cząsteczek między sobą i ciałami makroskopowymi (np. ze ściankami naczynia) podczas zderzeń, co powoduje jego niszczenie. Znikanie dymu następuje drogą sedymentacji, dyfuzji, koagulacji i wyparowania cząstek dymu.

2.5. Sedymentacja

Sedymentacja dymu jest wywołana osiadaniem cząstek fazy rozproszonej pod wpływem sił pola grawitacyjnego na skutek różnicy gęstości cząstek dymu i ośrodka gazowego.

2.6. Koagulacja

Koagulacja cząstek dymu (zwana też aglomeracją) to proces łączenia się mniejszych cząstek dymu w większe. Koagulacja może zachodzić pod wpływem różnych oddziaływań i sił zewnętrznych, np. sił grawitacyjnych, bezwładnościowych, oddziaływań elektrostatycznych. Podczas zbliżania się dwóch nienaładowanych cząsteczek dymu nie powstają pomiędzy nimi siły

odpychania, które by przeszkadzały ich bezpośredniemu zetknięciu. Po ich zetknięciu siły między stykającymi się cząsteczkami są wystarczająco duże, by uniemożliwić im ponowne rozejście się. W wyniku koagulacji dymu następuje wzrost masy jego cząsteczek oraz zmniejszenie liczby cząsteczek fazy rozproszonej.

Przy dostatecznie dużym stężeniu liczbowym niszczenie dymu zachodzi głównie drogą koagulacji, której szybkość znacznie rośnie wraz ze wzrostem koncentracji cząsteczek. Następujący wtedy wzrost masy przyspiesza proces ich sedimentacji. Następuje obniżenie stężenia liczbowego aerozolu dymowego, co powoduje między innymi zmianę lepkości i absorpcji światła.

2.7. Własności optyczne aerozolu dymowego

Własności optyczne aerozolu dymowego (produktów rozkładu termicznego i spalania Wg PN-89/B-02856 materiałów) są podobne do własności innych układów dyspersyjnych, tj. niejednorodnych w sensie optycznym. Własności te są określone łącznym działaniem czterech czynników:

- > rozproszeniem światła na pojedynczych cząsteczkach dymu,
- > oddziaływaniem elektroenergetycznym cząstek dymu rozpraszającym światło,
- > interferencją rozproszonego przez nie światła,
- > wzajemnym niespójnym oświetleniem cząstek dymu światłem na nich rozproszonym.

Natężenie wiązki światła wychodzącego z dymu zależy od pochłaniania, rozpraszania, złożonej dyfrakcji i innych procesów, których intensywność zależy od rodzaju dymu. Dym czarny, zawierający dużą ilość sadzy silnie pochłania światło, dym biały ma duże zdolności rozpraszające. W każdym dymie znajdują się również kropelki skondensowanej pary wodnej załamującej światło. Ponieważ nie są znane metody pomiaru selektywnego rozpraszania i absorpcji w metodach badawczych mierzy się efekt sumaryczny, czyli tłumienie światła. W celu opisania własności optycznych dymu przyjmuje się uproszczony model aerozolu dymowego, w którym osłabienie natężenia wiązki światła przechodzącego przez jego warstwę podlega prawu Boughera-Lamberta-Beera, które opisuje tłumienie światła w jednorodnym obłoku dymu równaniem:

$$I = I_0 \exp(-\delta l) / g$$

Gdzie: I_0 - natężenie wiązki światła padającego, I - natężenie wiązki światła po przebyciu drogi " l " w ośrodku absorbującym, d - współczynnik tłumienia światła, który jest związany ze stężeniem cząstek dymu oraz promieniem pojedynczej cząstki " r " zależnością:

$$\delta = \alpha \cdot \pi r^2 \cdot n$$

/współczynnik proporcjonalności α zależy od długości fali światła γ ,

δ - współczynnik tłumienia jest funkcją γ/l .

Następujące własności optyczne dymu mogą charakteryzować właściwości dymotwórcze materiału:

- stopień przezroczystości,
- optyczna gęstość dymu,
- właściwa gęstość optyczna dymu,
- masowa gęstość optyczna dymu,
- współczynnik osłabienia kontrastu i szybkość zmian współczynnika osłabienia kontrastu.

2.8. Stopień przezroczystości

Stopień optycznej przezroczystości ośrodka wypełnionego dymem określa się stosunkiem natężenia wiązki światła wchodzącego w dym I_0 do natężenia wiązki światła I po przebyciu przez nią w obłoku dymu drogi o długości l , przy założeniu, że część strumienia świetlnego określonego różnicą natężenia $I_0 - I$ nie osiąga punktu detekcji.

2.9. Optyczna gęstość dymu D

Optyczną gęstość dymu D określa się na podstawie prawa Boughera-Lamberta wg wzoru:

$$D = \log(I_0/I)$$

Gdzie: I_0 - natężenie wiązki światła wchodzącej w dym, I - natężenie wiązki światła po przejściu przez dym.

W celu uwzględnienia wpływu warunków pomiaru na tłumienie natężenia światła w komorze dymowej definiuje się właściwą gęstość optyczną dymu D_s .

2.10. Właściwa gęstość optyczna dymu D_s

Właściwa gęstość optyczna dymu jest to gęstość optyczna warstwy aerozolu dymu o grubości l m wytworzonego w objętości $l \text{ m}^3$ w czasie rozkładu termicznego lub spalania próbki badanego materiału o powierzchni $l \text{ m}^2$.

$$D_s = (DV/AI) = (v/AI) \log(I_0/I)$$

gdzie:

V - objętość komory dymowej, A - powierzchnia próbki, l - grubość mierzonej warstwy dymu.

2.1.1. Masowa gęstość optyczna dymu MOD

MOD oznacza gęstość optyczną warstwy dymu o grubości l m wytworzonego w objętości $l \text{ m}^3$ w czasie rozkładu termicznego i spalania $l \text{ kg}$ materiału:

$$MOD = (D_s \cdot A/m) = (V/mi) \log(I_0/I) \quad [\text{m}^2/\text{kg}]$$

gdzie:

V - objętość komory dymowej, A - powierzchnia próbki,
 m - ubytek masy próbki w wyniku jej spalania lub bezpłomieniowego rozkładu termicznego w komorze

2.12. Ilość wydzielonego dymu

Podczas badań dymotwórczości materiałów określa się również ilość wydzielanego dymu.

$$S = \delta \cdot V \quad \text{gdzie:}$$

δ - współczynnik tłumienia, V - objętość komory dymowej.

Z doświadczeń wynika, że pomiędzy ilością wydzielonego dymu S , a ubytkiem masy zachodzi następująca zależność:

$$S = \beta \cdot m \quad \text{gdzie:}$$

β - współczynnik wydzielania dymu zależny od rodzaju materiału i rozkładu termicznego,

Większe wartości β otrzymuje się na ogół w przypadku spalania bezpłomieniowego. Różniczkując równanie $S = \beta \cdot m$ po czasie t otrzymujemy:

$$ds/dt = \beta (dm/dt)$$

Szybkość wydzielania się dymu, gdzie $\sim T$ jest szybkością ubytku masy próbki w procesie rozkładu. Współczynnik β nie zawiera informacji o termostabilności materiałów (istnieje wiele substancji, dla których wartość β jest duża), a mimo to nie powstaje z nich dużo dymu, ze względu na powolność procesu rozkładu w podwyższonych temperaturach. Dlatego też własności dymotwórcze materiałów opisuje się, podając czas osiągnięcia maksymalnej wartości gęstości optycznej dymu w danych warunkach pomiarowych.

3. Ilość wydzielonego dymu - zależności ogólne

Rozkład termiczny i spalanie materiałów naturalnych i tworzyw sztucznych jest wieloetapowym procesem przemian fizykochemicznych, takich jak: podgrzewanie, depolimeryzacja, degradacja, destrukcja tworzywa, wydzielanie części lotnych i ich dalsze przemiany w fazie gazowej, przemiany składników mineralnych tworzywa, wreszcie spalanie pozostałości stałej złożonej z węgla i części mineralnych. W zależności od warunków procesy te mogą występować kolejno po sobie lub nakładać się wzajemnie.

Pierwszą warstwą materiału, do której dociera energia cieplna z zewnętrznego źródła zapalenia jest warstwa powierzchniowa, zwana warstwą rozkładu. Wzrost temperatury w tej warstwie powoduje degradację, destrukcję, ewentualnie depolimeryzację tworzywa. Przebieg tych procesów zależy od budowy strukturalnej tworzywa, a w szczególności od ilości i położenia wiązań podwójnych, rodzaju i położenia grup funkcyjnych oraz od trwałości wiązań łączących monomery. Podstawniki w łańcuchach makrocząsteczek mogą w istotny sposób wpływać na reakcje zachodzące podczas degradacji termicznej tworzyw.

Obecność tlenu przyspiesza te procesy, a możliwość przegrupowań atomów i powstawanie struktur aromatycznych powoduje powstawanie zwiększającej się ilości sadzy /dymu/.

Ilość wydzielonego z materiału dymu zależy od:

- budowy chemicznej spalanych związków,
- rodzaju spalania (płomieniowego lub bezpłomieniowego),
- warunków wytwarzania dymu,
- zastosowanych środków ogniochronnych.

3.1. Budowa chemiczna spalanych związków

Związki o prostej budowie, np. tlenek węgla CO, formaldehyd HCHO, alkohol metylowy CH₃OH, kwas mrówkowy HCOOH, metaldehyd (CH₃CHO)_n spalają się nieświecącym płomieniem bez dymu.

Ilość dymu i jego gęstość rosną wraz ze wzrostem ciężaru cząsteczkowego spalających się węglowodorów, z tym, że proste łańcuchowe węglowodory alifatyczne dają znacznie mniej dymu niż wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne. Obserwuje się ogólną zależność, że zdolności dymotwórcze wznoszą się od n-alkanów przez izo-alkany, alkeny, alkiny, związki aromatyczne do kondensatów aromatycznych (związki wielopierścieniowe). Materiały lub związki chemiczne posiadające w swoim składzie tlen, takie jak alkohol etylowy C₂H₅OH, aceton CH₃COCH₃ wydzielają mniejsze ilości dymu niż węglowodory, od których one pochodzą.

Intensywność powstawania dymu zależy również od rodzaju dodatków dodawanych do materiałów organicznych, np. wypełniaczy, plastyfikatorów, środków ogniochronnych.

3.2. Rodzaj spalania (płomieniowe lub bezpłomieniowe)

Zdolność materiałów do wydzielania dymu w warunkach bezpłomieniowego rozkładu termicznego jest zazwyczaj większa od dymotwórczości przy spalaniu płomieniowym. Dotyczy to szczególnie tworzyw sztucznych. Dla tworzyw sztucznych obserwuje się niekiedy zjawisko odwrotne, np. PCV, pianka poliuretanowa intensywniej dymią przy spalaniu płomieniowym.

Tabela 1.

Maksymalna właściwa gęstość optyczna dymu D_m wybranych tworzyw sztucznych w zależności od rodzaju spalania

Rodzaj tworzywa	Maksymalna właściwa gęstość optyczna	
	Spalanie płomieniowe	Spalanie bezpłomieniowe
polietylen	62	414
polipropylen	96	555
polichlorek	445	306

poliuretan	684	426
------------	-----	-----

W warunkach spalania płomieniowego reakcje zachodzące pod działaniem płomieni w łańcuchu rodników dzielą łańcuch na znacznie mniejsze fragmenty, z czego niektóre zostają ponadto utlenione do tlenku węgla CO i dwutlenku węgla CO₂, co nie zwiększa gęstości dymu. W warunkach bezpłomieniowych łańcuch rozpada się na większe fragmenty, które nie ulegają tak daleko posuniętemu utlenieniu.

3.3. Warunki wytwarzania dymu

* Stężenie tlenu w atmosferze

Wytwarzanie gęstych dymów należy przypisać tworzeniu się dużych cząstek w wyniku koagulacji sadzy przy niedostatku tlenu.

* *Temperatura otoczenia*

Wytwarzanie sadzy z wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych wzrasta wraz ze wzrostem temperatury otoczenia co powoduje powstawanie gęstych dymów.

* *Szybkość rozkładu termicznego materiału i czasu zapalenia się produktów tego rozkładu*

* *Warunki budowlano - instalacyjne, w których rozwija się pożar*

Ilość wydzielonego dymu zwiększa się, gdy spalane np. drewno stanowi obudowę ściany pomieszczenia, a nie stos paliwa. Wykładziny ścienne znacznie podwyższają ilość wydzielonego dymu.

3.4. Wpływ środków ogniochronnych na powstawanie dymu

Środki ogniochronne mogą działać fizycznie lub chemicznie na proces rozkładu termicznego i spalania materiału.

Rozróżnia się środki ogniochronne działające w fazie stałej lub ciekłej.

Mechanizm działania środków ogniochronnych ogólnie opiera się na tym, że środki te opóźniają początek rozkładu termicznego lub zwalniają szybkość pirolizy i tym samym obniżają szybkość wydzielania dymu w czasie w porównaniu z materiałami niezabezpieczonymi przed działaniem ognia.

To działanie ma znaczenie w opóźnianiu inicjacji spalania, ale zdecydowanie negatywne, jeśli chodzi o ilość tworzącego się dymu. Środki ogniochronne na ogół powodują wzrost dymotwórczości.

4. Szybkość wytwarzania dymu - zależności ogólne

Szybkość wytwarzania się dymu zależy od:

- szybkości wydzielania ciepła i szybkości spalania materiału,
- podwyższania stopnia tworzenia związków aromatycznych w przypadku żywic polimerowych,
- podwyższenia trwałości wiązań molekularnych,
- dodatku substancji opóźniających przebieg reakcji rozkładu,
- rodzaju spalania (płomieniowe, bezpłomieniowe).

Płomienie zapalające i płonące gazowe produkty pirolizy znacznie podnoszą temperaturę powierzchni próbki, a zatem zwiększają szybkość pirolizy, a tym samym szybkość wydzielania dymu.

5. Eksperymentalne metody badań gęstości optycznej dymu

W warunkach pożaru rozkład termiczny oraz spalanie materiałów naturalnych i z tworzyw sztucznych jest procesem skomplikowanym i trudnym do oceny. W praktyce trudno jest przeprowadzać badanie tego procesu wyłącznie w skali naturalnej ze względu na wysokie koszty. W związku z tym opracowano wiele metod laboratoryjnych z zastosowaniem specjalnej aparatury, np. komór dymowych, w których dokonuje się pomiaru zmian natężenia światła przy jego przejściu przez dym i następnie oblicza gęstość optyczną dymu. Metody pomiarowe gęstości optycznej dymu można podzielić na dwie grupy:

I - metody dynamiczne (rys. 1.),

II - metody statyczne (rys. 2.).

Metody dynamiczne - rozkład lub spalanie próbki zachodzi w strumieniu powietrza, a otrzymane w tym procesie produkty rozkładu termicznego i spalania przechodzą przez komorę, w której dokonuje się rejestracji natężenia wiązki świetlnej w funkcji czasu. Produkty te są dalej odprowadzane na zewnątrz komory, a pomiar przeprowadza się w sposób ciągły.

Ilość dymu S oblicza się wg wzorów:

$$S = \int \delta V \cdot dt$$

$$\delta = I / (L \ln(I_0/I))$$

δ - współczynnik tłumienia,

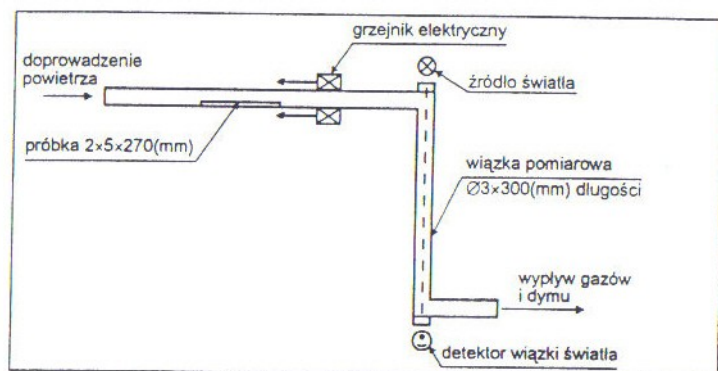
V - objętościowa prędkość strumienia przecinającego promień światła,

L - długość drogi promienia świetlnego w komorze,

I_0 - natężenie wiązki padającej,

I - natężenie wiązki światła po przebyciu drogi L w dymie.

W metodach Rys.1 tej grupy określa się szybkość i współczynnik wydzielania dymu.



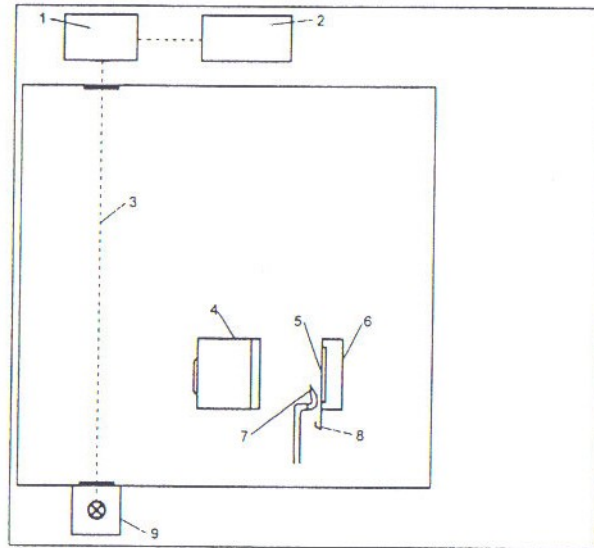
Rys.1. (Metoda dynamiczna z przepływem) pomiaru gęstości optycznej dymu

Metody statyczne - pomiaru dokonuje się bez przepływu powietrza, w zamkniętych komorach, gdzie dym powstający z rozkładu termicznego próbki materiału pozostaje w czasie trwania badania.

Opisano wiele metod badań własności dymotwórczych materiałów, które różnią się między sobą pojemnością komory badawczej, umieszczeniem przegród ukierunkowujących przepływ dymu w komorze, a przede wszystkim różnymi warunkami cieplnymi rozkładu próbek i układami fotometrycznymi.

W metodach dynamicznych możliwe jest określenie wpływu temperatury otoczenia, ilości przepływającego powietrza lub ilości tlenu na zdolności dymotwórcze materiału. Jednakże w metodach dynamicznych nie zawsze możliwe jest uzyskanie równomiernego tworzenia się dymu. Powoduje to, że dla uzyskania wystarczająco pewnych informacji pomiar należy powtarzać wielokrotnie. W metodach dynamicznych konieczna jest ścisła kontrola warunków przepływu powietrza przez układ pomiarowy, co jest znaczną wadą tych metod. W metodach statycznych problem ten nie występuje i są one najczęściej stosowane do badań własności dymotwórczych materiałów. Ilość dymu wydzielającego się z jednostkowej powierzchni materiału jest określona nie tylko właściwościami materiału, ale także zawartością tlenu w atmosferze, temperaturą otoczenia, rodzajem spalania (płomieniowe lub bezpłomieniowe) oraz ułożeniem poddanego rozkładowi materiału. Powoduje to, że otrzymane różnymi metodami parametry charakteryzujące własności dymotwórcze tych samych materiałów znacznie się różnią od siebie w zależności od rodzaju przyjętej metody badawczej.

Stosowane metody badawcze uwzględniają wpływ takich czynników jak: zmiana masy próbki w czasie, zmiana natężenia promieniowania cieplnego, przepływ powietrza przez układ pomiarowy, zmiana składu atmosfery podczas rozkładu termicznego, warunki płomieniowe i bezpłomieniowe, sposób ułożenia próbki względem źródła promieniowania cieplnego itp.



Rys. 2. Metoda statyczna (z przepływem) pomiaru gęstości optycznej dymu
 1- detektor światła, 2- rejestrator, 3- droga światła, 4- promiennik, 5- próbka,
 6- uchwyt próbki, 7- płomień zapalający, 8- korytko, 9- źródło światła

Zestaw pomiarowy własności optycznych dymu jest dla wszystkich metod podobny i składa się z następujących głównych elementów:

- a/ układu fotometrycznego, umożliwiającego pomiar optycznych własności dymu,
- b/ układu nagrzewającego, umożliwiającego rozkład termiczny próbki,
- c/ układu zapalającego gazowe produkty rozkładu próbki.

Układ fotometryczny składa się ze źródła światła oraz detektora rejestrującego natężenie wiązki świetlnej przechodzącej przez dym. Źródła światła stanowią różnej mocy żarówki halogenowe, żarówki lub laser. Stosowane są układy optyczne soczewek w celu uzyskania równoległych wiązek światła na fotoelemente detektora. Jako detektory stosuje się fotodiody, fotoogniwa, fotorezystory lub fotopowielacze połączone przez odpowiednie układy elektroniczne z rejestratorem zapisującym zależność natężenia światła przechodzącego przez określoną objętość dymu od czasu. Znajomość tej zależności umożliwia określenie właściwej i masowej gęstości optycznej dymu.

Układy nagrzewające próbki stanowią promienniki podczerwieni, grzałki elektryczne lub grzałki propanowe. Zastosowanie grzejników elektrycznych dzięki możliwości zmian parametrów elektrycznych pozwala na uzyskanie zależności własności dymotwórczych w funkcji temperatury. Promienniki podczerwieni używane są przede wszystkim w metodach, gdzie próbka nagrzewana jest promieniowaniem o stałym natężeniu mocy. W celu zapalenia produktów rozkładu próbek w podwyższonych temperaturach stosuje się lonty, palniki propanowe oraz iskry elektryczne. Ocenę własności dymotwórczych materiałów przeprowadza się również, prowadząc badania w skali naturalnej, w warunkach zbliżonych do rzeczywistego pożaru. Badania te umożliwiają znalezienie zależności między gęstością optyczną dymu a widzialnością w dymie, z uwzględnieniem przy tym kilku czynników o podstawowym znaczeniu dla ewakuacji ludzi z pomieszczeń, tzn.:

- oświetlenia pomieszczeń,
- natężenia i koloru światła emitowanego przez znaki bezpieczeństwa wskazujące kierunki ewakuacji,
- drażniącego działania dymu,
- znajomości konfiguracji budynku i możliwej szybkości poruszania się ludzi.

W badaniach powstawania dymu w warunkach naturalnych określono również ilość wydzielanego dymu przy zmieniającym się obciążeniu ogniowym i wentylacji.

Badano również wpływ rozłożenia materiału palnego w pomieszczeniu na ilość wytwarzanego dymu i jego gęstość optyczną. Badania w skali naturalnej umożliwiły także znalezienie przybliżonej zależności między ilością wydzielanego dymu a widzialnością w pomieszczeniu o określonej kubaturze przy danej gęstości optycznej.

Badania przeprowadzone w skali naturalnej stosowane są rzadko ze względu na ich znaczny koszt

i trudności w zapewnieniu powtarzalności wyników.

H. CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

Badanie dymotwórczości wg PN-89/B-02856. Metoda badania właściwości dymotwórczych materiałów

1. Definicje podstawowe

1.1. Zasięg widzialności

Na dobrą widzialność określonego przedmiotu wpływa nie tylko natężenie oświetlenia, ale i czynniki obiektywne, związane z oglądanym przedmiotem, np. z właściwościami optycznymi ośrodka (atmosfery) i ze stanem psychicznym obserwatora.

Miara widzialności jest jej zasięg. Zasięg widzialności to maksymalna odległość, z jakiej obserwowany w danym ośrodku rozpraszającym światło przedmiot jest widoczny, co oznacza, że kontrast luminancji obserwowanego w tym ośrodku przedmiotu jest równy progowej czułości kontrastowej dla oka ludzkiego. Obecność dymu (ośrodka dyspersyjnego) powoduje osłabienie natężenia strumienia świetlnego, przechodzącego przez ten ośrodek na skutek rozpraszania i absorpcji promieniowania świetlnego. Obecność cząstek dymu w warstwie ośrodka między obserwatorem a obserwowanym obiektem powoduje:

1. osłabienie luminancji obiektu obserwowanego,
2. osłabienie luminancji tła,
3. zmianę luminancji obserwowanego przedmiotu i tła przez rozproszone światło zewnętrzne.

Wartość luminancji światła rozproszonego *zależy* od rodzaju dymu. Dla przypomnienia - dym czarny w znacznie mniejszym stopniu rozprasza światło niż dym biały.

1.2. Kontrast

Dostrzegalną wzrokiem względną różnicę luminancji lub barwy między obiektem i jego tłem nazywa się kontrastem.

Miara kontrastu K jest stosunek różnicy luminancji obserwowanego obiektu L i jego luminancji tła L_t , do tej spośród uwzględnionych luminancji, która ma większą wartość liczbową:

$$K = (L_0 - L_t) / L_0 \quad L_0 > L_t$$

Lub

$$K = (L_t - L_0) / L_t \quad L_t > L_0$$

Obiekt można odróżnić wzrokowo od tła, jeśli wartość K przewyższa pewną minimalną wartość zwaną progiem czułości kontrastowej. Progową czułość kontrastową oka określa się jako:

$$K = (L_t - L_0)_{\min} / L_t \quad L_t > L_0$$

1.3. Współczynnik osłabienia kontrastu Y [m²/kg]

Współczynnik osłabienia kontrastu jest wielkością charakteryzującą własności dymotwórcze materiału ściśle związane z kontrastem K luminancji obserwowanej w dymie, zasięgiem widzialności Z i stopniem nasycenia objętości tego ośrodka badanym materiałem. Zgodnie z definicją współczynnik osłabienia kontrastu to wielkość określająca odwrotność zasięgu widzialności wzorca optometrycznego, obserwowanego przez warstwę dymu o grubości l m, wytworzonego w objętości l m³ w czasie rozkładu termicznego i spalania l kg masy materiału, inaczej - zmniejszenie kontrastu między przedmiotem a tłem w dymie w określonych warunkach badania. Współczynnik osłabienia kontrastu Y [m²/kg] wyznacza się ze wzoru:

$$Y = (V_k / m_p) * \ln(L_{t0} - L_0 / L_t - L)$$

- V_k - objętość pomiarowej komory dymowej [m³],
- l - grubość warstwy dymu [m],
- m_p - masa początkowa próbki [kg],
- L_0 - luminancja początkowa przedmiotu,
- L - luminancja przedmiotu,
- L_{t0} - luminancja początkowa tła,

L_t - luminancja tła.

1.4. Wzorzec optometryczny

Wzorzec optometryczny stanowią dwa czarne paski jednakowej szerokości, zwane dalej *przedmiotem*, umieszczone na białym tle zwanym dalej *tłem*, ustawione w odległości od siebie równej swojej szerokości.

1.5. Szybkość zmian współczynnika osłabienia kontrastu Y' [$m^2/kg \cdot s$]

Szybkość zmian współczynnika osłabienia kontrastu określa przyrost wartości współczynnika osłabienia kontrastu w jednostce czasu. Parametr ten wyznacza się ze wzoru:

$$Y' = dy/dt$$

2. Istota metody pomiaru współczynnika osłabienia kontrastu Y i szybkość zmian współczynnika osłabienia kontrastu Y' wg normy PN-89/B-02856

Metoda pomiaru ww. parametrów polega na określeniu maksymalnej wartości współczynnika osłabienia kontrastu Y_m i wartości maksymalnej szybkości jego zmian Y'_m w różnych warunkach rozkładu termicznego i spalania.

W zamkniętej komorze próbkę badanego materiału poddaje się działaniu strumienia ciepłego, emitowanego przez płytę grzewczą elektrycznego promiennika podczerwieni, której powierzchnia jest równoległa do pionowo ustawionej powierzchni próbki.

Badany materiał poddaje się rozkładowi termicznemu i spalaniu w obecności płomienia pilotowego i bez płomienia pilotowego przy różnych wartościach promieniowania ciepłego.

Gromadzące się produkty rozkładu termicznego

i spalania próbki badanego materiału powodują osłabienie kontrastu wzorca optometrycznego.

Do pomiaru współczynnika osłabienia kontrastu służy analizator kontrastu, którego podstawowym elementem jest fotometr różnicowy. Za pomocą fotodiod fotometru różnicowego sygnały luminancji przedmiotu i tła wzorca optometrycznego przetworzone zostają na proporcjonalne do ich wartości sygnały napięciowe.

Podczas pomiaru bada się sygnał napięciowy ΔU , odpowiadający różnicy luminancji tła i przedmiotu wzorca optometrycznego. Zamknięta komora stanowi układ całkujący. Powoduje to zmiany ΔU , a tym samym współczynnika osłabienia kontrastu w czasie. Po osiągnięciu wartości maksymalnej Y równej Y_m (odpowiednio min ΔU) wartość tego współczynnika maleje.

Współczynnik osłabienia kontrastu $Y = [m^2/kg]$ należy obliczać wg wzoru:

$$Y = (V_k/m_p \cdot l) \ln(U_{t0} - U_0/U_t - U) [m^2/kg]$$

V_k - objętość pomiarowa komory dymowej = 0,51 m³,

m_p - masa początkowa próbki [kg],

l - grubość warstwy dymu 0,91 m,

U_{t0} - sygnał napięciowy proporcjonalny do luminancji początkowej tła [V],

U_0 - sygnał napięciowy proporcjonalny do luminancji początkowej przedmiotu [V],

U_t - sygnał napięciowy proporcjonalny do luminancji tła [V],

U - sygnał napięciowy proporcjonalny do luminancji przedmiotu [V],

Do pomiaru współczynnika osłabienia kontrastu i szybkości jego zmian wykorzystano komputer wyposażony w kartę AD/DA. Oprogramowanie karty AD/DA pozwala na pomiar współczynnika osłabienia kontrastu i szybkości jego zmian w funkcji czasu.

Ze zbioru otrzymanych wyników komputer wybiera maksymalne wartości współczynnika osłabienia kontrastu i szybkości jego zmian.

Dla każdego z warunków rozkładu termicznego i spalania badanego materiału określa się wartość maksymalną Y_m współczynnika osłabienia kontrastu oraz wartość maksymalną szybkości jego zmian Y'_m

Największe z otrzymanych wartości Y_m i Y'_m służą do oceny właściwości dymotwórczych materiałów i w zależności od maksymalnych wartości Y_m i Y'_m służą do oceny właściwości dymotwórczych materiałów,

W zależności od maksymalnych wartości Y_m i Y'_m materiały dzieli się na:

- materiały o małej intensywności dymienia
 $Y_m \leq 800 \text{ m}^2/\text{kg}$

$$Y'_m \leq 7 \text{ m}^2/\text{kg} \cdot \text{s}$$

- materiały o średniej intensywności dymienia

$$800 < Y_m \leq 1400 \text{ m}^2/\text{kg}$$

$$7 < Y'_m \leq 20 \text{ m}^2/\text{kg} \cdot \text{s}$$

- materiały intensywnie dymiące

$$Y_m > 1400 \text{ m}^2/\text{kg}$$

$$Y'_m > 20 \text{ m}^2/\text{kg} \cdot \text{s}$$

- materiały łzawiące - takie, których produkty rozkładu termicznego i spalania pozostałe w niewielkich ilościach w przewentylowanej komorze (50 wymian powietrza) powodują drażnienie oczu.

Za główny parametr klasyfikacji materiałów z punktu widzenia stwarzanego przez nie dymowego zagrożenia pożarowego przyjmuje się maksymalną szybkość zmian współczynnika kontrastu, charakteryzującą dynamikę emisji dymu. Niezależnie od wartości podstawowych parametrów określających właściwości dymotwórcze materiałów wszystkie materiały łzawiące nie powinny być dopuszczone do stosowania.

UWAGA:

Zaliczenie materiału do danej kategorii następuje, gdy jeden z parametrów Y'_m lub Y_m (niekoniecznie oba) spełnia warunek kategorii o wyższych właściwościach dymotwórczych.

W praktyce możliwość wykorzystania eliminacji materiałów charakteryzujących się szczególnie wysokimi właściwościami dymotwórczymi określonymi wg wyznaczonej rozporządzeniem ministra gospodarki przestrzennej i budownictwa do obowiązkowego stosowania PN-89/B-02856 "Metoda badania właściwości dymotwórczych materiałów" została dopiero wykorzystana w obowiązującym od 1 kwietnia 1995r. rozporządzeniu ministra gospodarki przestrzennej i budownictwa z dnia 14 grudnia 1994r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. Nr 10, poz.46) W § 258. tego przepisu zawarto wymaganie, że w budynkach zaliczonych do kategorii zagrożenia ludzi zabronione jest stosowanie do wykończania wnętrz takich materiałów, których produkty rozkładu termicznego są bardzo toksyczne lub intensywnie dymiące .

3. Wykonanie ćwiczenia

3.1. Opis aparatury

Komorę dymową do wyznaczania współczynnika osłabienia kontrastu i szybkości jego zmian (rys. 3.) składa się z następujących układów:

€ układ rozkładu termicznego i spalania, tj.:

- elektryczny promiennik podczerwieni,
- palnik pilotowy zasilany mieszaniną gazu propan - butan z powietrzem,
- statyw i uchwyt do mocowania próbki,
- zasilacz mocy (rys.6).

€ układ wentylacji do usuwania produktów rozkładu termicznego i spalania próbki:

- pompy opróżniające komorę z dymu,
- dwa zawory odcinające.

€ układ pomiaru współczynnika osłabienia kontrastu - fotometr różnicowy (rys.4. i 5.),

- a) oświetlacz wzorca optometrycznego - (żarówka halogenowa),
- b) zasilacz oświetlenia (rys. 7.),
- c) zestaw elementów optycznych,
- d) fotodiody,
- e) miernik z układem elektronicznym służący do pomiaru na pięć proporcjonalnych do luminancji przedmiotu i tła lub komputer.

3.2. Przebieg badania - spalanie bezplomieniowe

1. Włączyć zasilacz mocy.
2. Ustawić potencjometrem regulacji zasilania żadaną wartość mocy promieniowania /O - 450 W/ promiennika podczerwieni.
3. Przygotować 3 próbki materiału o wymiarach 24 x 24 mm dla każdej z wybranych wartości mocy promieniowania.

Uwaga:

Grubość próbki nie może być większa niż 30 mm.

4. Zważyć próbkę przed pomiarem.
5. Owinąć próbkę ze wszystkich stron folią aluminiową o grubości 0,05 mm z wyjątkiem powierzchni 20 x 20 mm poddanej promieniowaniu cieplnemu.
6. Zważyć próbkę powtórnie.
7. Umocować próbkę w uchwycie.

UWAGA:

Jeżeli grubość próbki jest mniejsza niż 30 mm, należy zainstalować dodatkową próbkę z materiału niepalnego i zabezpieczyć ją przed wypadnięciem.

8. Włączyć zasilacz oświetlacza. Oświetlenie wzorca optometrycznego powinno wynosić 99,8 – 100 lx.

UWAGA:

Jeżeli potencjometrem regulacji oświetlenia nie można uzyskać wartości 100 oznacza to, że wzorniki fotometru różnicowego (rys.4) są zabrudzone. Wzorniki należy bezwzględnie oczyścić.

9. Włączyć komputer (włącz póż. 1) i wcisnąć "turbo".
- €po wyświetleniu katalogu głównego wybrać przyciskiem (strzałka) nazwę programu KOMORA,
- €wcisnąć ENTER,
- €wybrać przyciskiem (strzałka) pozycję KOMORA.exe
- €wcisnąć ENTER - pokazuje program komora,
- €wcisnąć ENTER - na ekranie pojawia się "menu główne",
 - parametry pomiaru,
 - parametry sprzętu,
 - parametry stanowiska,
 - rozpoczęcie pomiarów,
 - przeglądanie wyników,
 - zachowanie parametrów
 - zakończenie programu.

Wyboru opcji dokonuje się za pomocą klawiszy funkcyjnych F1, F2....F7. Zawarte w programie objaśnienia określają tok postępowania w czasie badań dymotwórczości materiałów i stanowią skróconą instrukcję obsługi stanowiska.

10. Odczytać z ekranu komputera uzyskane maksymalne wartości współczynnika osłabienia kontrastu Y_m i szybkość jego zmiany Y'_m .

11. Zakończenie pomiarów

- ◆ Włączyć układ wentylacji komory.
- ◆ Otworzyć zawory Z1 i Z2 odprowadzające dym z komory.
- ◆ Wyłączyć zasilacz mocy.
- ◆ Wyłączyć zasilacz oświetlenia. >• Wyłączyć komputer.

3.3. Przebieg badania - spalanie płomieniowe

1 Włączyć zasilacz mocy.

2 - 8 Kolejne czynności wykonać wg pkt. 2 - 8 cz. 3.2. **Spalanie bezpłomieniowe**

9. Ustawić położenie dyszy wylotowej palnika pilotowego na wysokości krawędzi dolnej próbki w odległości 5 mm od powierzchni próbki. 10. Odkręcić zawór gazu i powietrza, włączyć przepływ gazu i powietrza za pomocą zaworów głównych, I 1. Podłączyć zasilanie palnika pilotowego zaworami 7 i 8 rys. 3. (schemat komory dymowej).

UWAGA:

Natężenie przepływu gazu i powietrza dobrać tak, aby uzyskać płomień o długości 10 mm z niewielkim żółtym stożkiem.

12. Zapalić płomień.

13. Włączyć komputer i wykonywać kolejne czynności wg pkt. 9-10 cz. 3.3. **Spalanie bezpłomieniowe.**

14. Zakończenie pomiarów.

- ◆ Włączyć układ wentylacji komory.
- ◆ Otworzyć zawory odprowadzające dym z komory.
- ◆ Wyłączyć zasilacz mocy.
- ◆ Wyłączyć zasilanie palnika (zawór 7 i 8 rys. 3) i zakręcić zawory główne.
- ◆ Wyłączyć zasilacz oświetlenia.
- ◆ Wyłączyć komputer.

4. Opracowanie wyników

Wyniki przeprowadzonych badań należy podać w następującej tabeli:

Lp.	Nazwa materiału	Moc promienni [W]	Spalanie bezpłomieniowe		Spalanie płomieniowe		Nazwa klas dymotwórczości
			Y_{MAX}	Y'_{max}	Y_{max}	Y'_{max}	
			m^2/kg	$nr /kg - s$	m^2/kg	$m^2 /kg -s$	

Na podstawie uzyskanych wyników maksymalnego współczynnika kontrastu Y_m i szybkości jego zmian Y'_m należy przyporządkować materiał do danej klasy dymotwórczości.

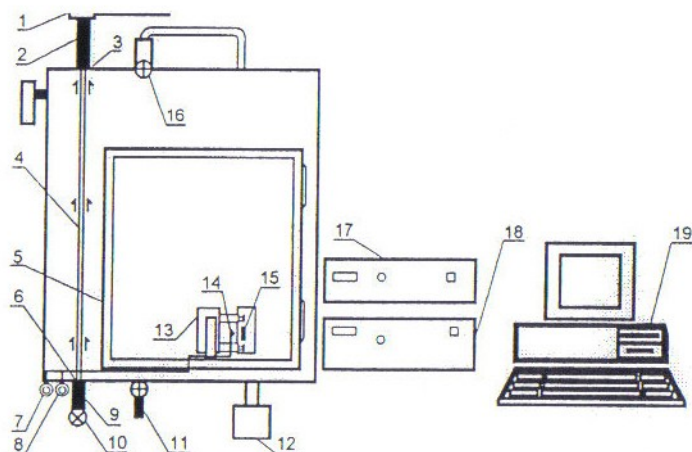
Przepisy ochrony przeciwpożarowej a badanie właściwości dymotwórczych materiałów

Pomimo obowiązywania od dnia 1 stycznia 1990 r. Polskiej Normy PN-89/B-02856 "Ochrona przeciwpożarowa budynków. Metoda badania właściwości dymotwórczych materiałów", w której zawarto kwalifikację materiałów w zależności od wartości maksymalnej szybkości zmian współczynnika osłabienia kontrastu dla warunków maksymalnego dymienia klasyfikowanego materiału i zebrania znacznego zasobu wyników badań przeprowadzonych dla podstawowych stosowanych w budownictwie materiałów palnych dopiero w 1994 r. sprecyzowano w przepisach techniczno-budowlanych wymagania w tym zakresie i to w odniesieniu do elementów wykończenia wnętrz.

§ 258 rozporządzenia ministra gospodarki przestrzennej i budownictwa z dnia 14 grudnia 1994 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usiłowanie (Dz.U.Nr 10, póź.46) w budynkach zaliczonych do kategorii zagrożenia ludzi do

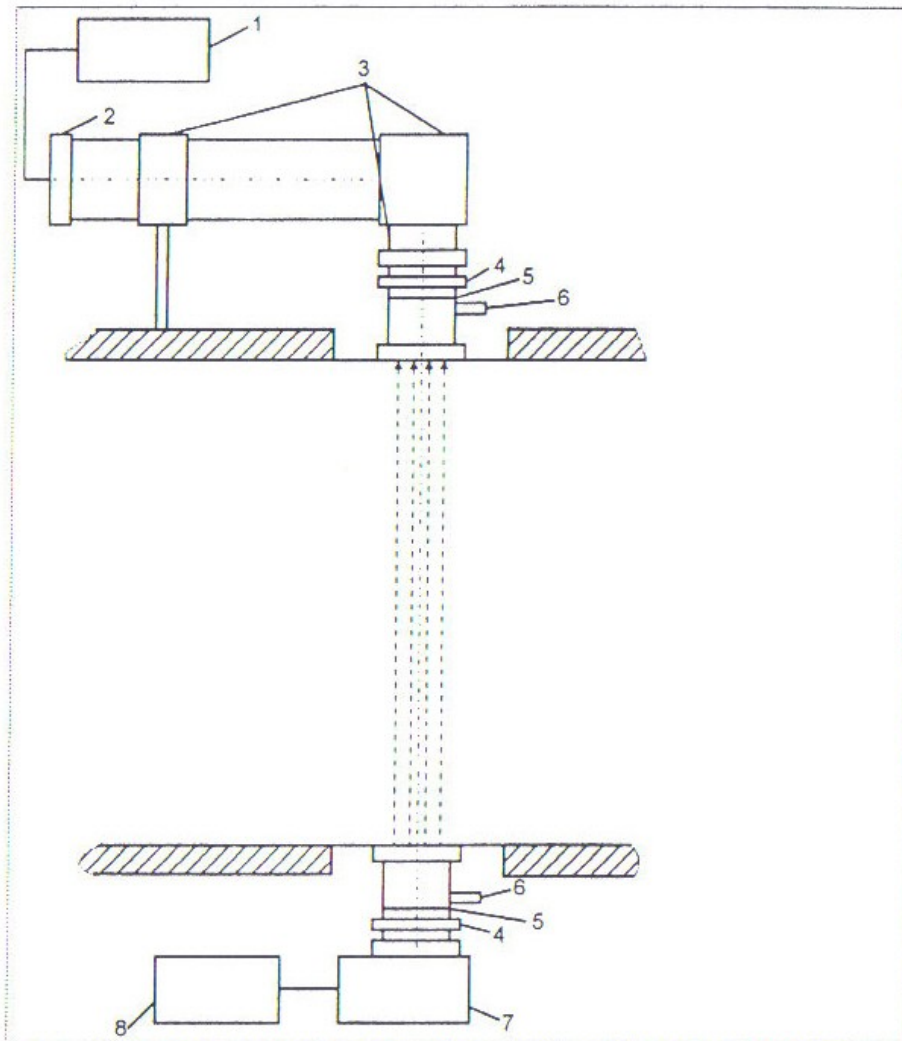
wykończenia wnętrz zabrania stosowania materiałów, których produkty rozkładu termicznego są bardzo toksyczne lub intensywnie dymiące.

Pod sformułowaniem *materiały intensywnie dymiące* rozumie się te materiały, które w badaniach wg PN-89/B-02856 (wprowadzonej rozporządzeniem ministra gospodarki przestrzennej i budownictwa do obowiązkowego stosowania) zostały zakwalifikowane pod względem właściwości dymotwórczych do najwyższej klasy, tzn. są to materiały o najwyższych zdolnościach do wytwarzania dymu pod działaniem wysokich temperatur.



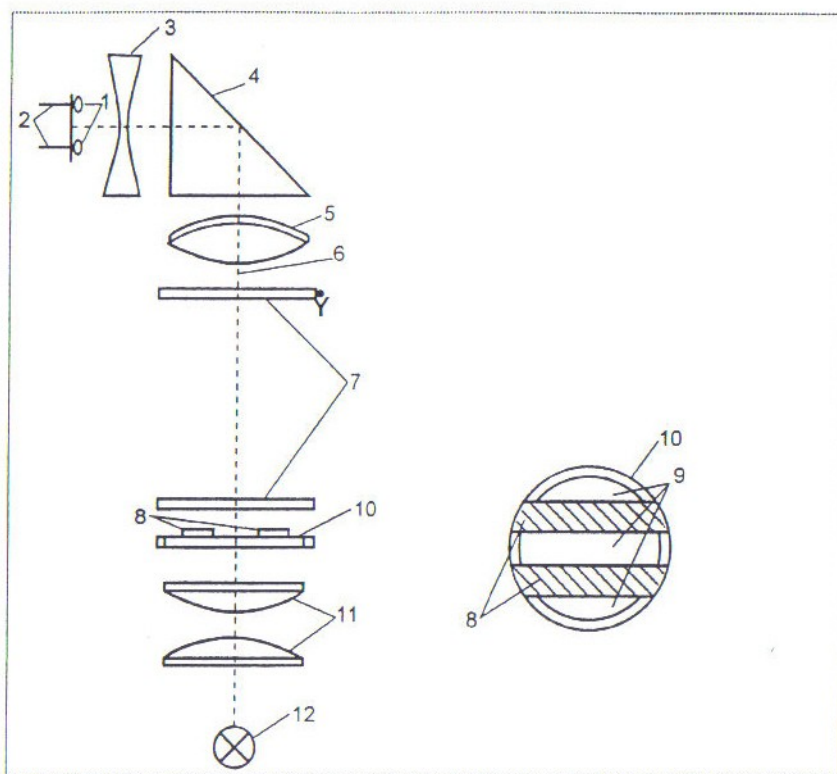
Rys. 3. Schemat komory dymowej

1- miernik, 2- zestaw elementów optycznych i fotodiody, 3- okno górne, 4- wiązka światła, 5- drzwi komory dymowej, 6- okno dolne, 7- dopływ powietrza, 8- dopływ gazu, 9- wzorzec optometryczny, 10- oświetlacz, 11- zawór odcinający Z, 12- pompa opróżniająca, 13- promiennik podczerwieni, 14- palnik, 15- próbka materiału, 16- zawór odcinający Z, 17- zasilacz mocy, 18- zasilacz oświetlacza, 19- komputer



Rys. 4. Schemat układu pomiaru współczynnika osłabienia kontrastu (fotometr różnicowy)

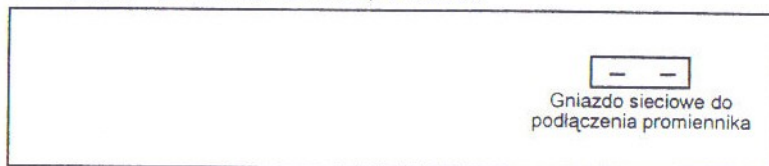
- 1- fotometr (miernik z układem elektronicznym pomiaru luminancji tła i przedmiotu),
- 2- fotodiody, 3- zestaw elementów optycznych, 4- nakrętka wziernika fotometru różnicowego,
- 5- okno, 6- nawiew ochronny okna, 7- oświetlacz wzorca optometrycznego,
- 8- zasilacz oświetlacza



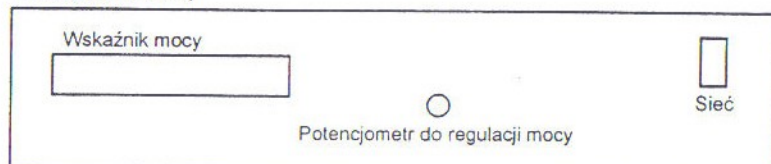
Rys. 5. Zestaw elementów optycznych fotometru różnicowego

1- fotodiody, 2- połączenia do miernika, 3- kolektor, 4- pryzmat, 5- obiektyw, 6- wiązka światła, 7- okna komory, 8- paski wzorca optometrycznego, 9- tło wzorca, 10- wzorzec optometryczny, 11-kondensator, 12-żarówka halogenowa

Widok płyty tylnej zasilacza promiennika podczerwieni

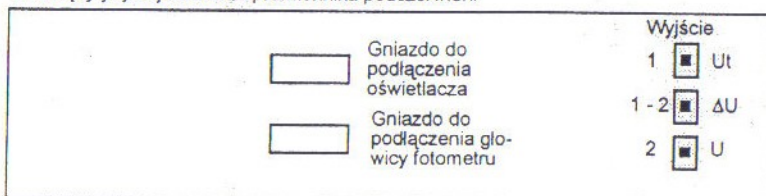


Widok płyty czołowej

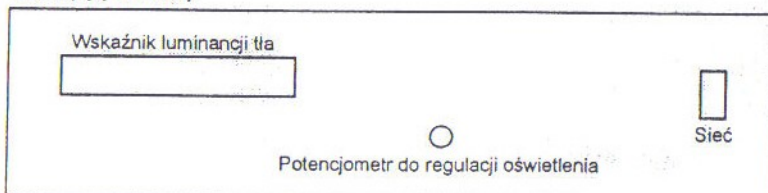


Rys. 6. Rozmieszczenie gniazd i elementów regulacyjno-kontrolnych zasilacza promiennika podczerwieni

Widok płyty tylnej zasilacza promiennika podczerwieni



Widok płyty czołowej



Rys.7. Rozmieszczenie gniazd i elementów regulacyjno-kontrolnych fotometru

LITERATURA

1. Sychta: Badanie nad dymotwórczością materiałów i zadymień pomieszczeń na statku morskim. *Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej* nr 299, Szczecin 1985.
2. D. Drysdale: An Introduction to Fire Dynamics. John Wiley & Sons Inc. New York 1985.
3. O. Maahs, R. Schuler, *Journal Fire and Flammability*, vol. 12, 1981,
4. J. Jackowski, W. Piórczyński: Przegląd metod pomiarowych optycznych własności dymu. *Biuletyn Informacji Technicznej KGSP* 1977 nr 4.
5. C.J. Hilado: Flammability Handbook for Plastics. Fourth Edition Technomic Publishing Co Inc. USA.
6. PN-89/B-02856 „Metoda badania właściwości dymotwórczych materiałów”.
7. P. Cippert: Kierunki badań generacji i identyfikacji dymu oraz zasad różnicowania materiałów na podstawie właściwości dymotwórczych. *Biuletyn Informacji Technicznej KGSP* 1983 nr 3.