

st. kpt. mgr inż. **Wojciech KLAPSA**
mł. bryg. mgr inż. **Daniel MAŁOZIĘĆ**
lic. **Sylwester SUCHECKI**
Zespół Laboratoriów Procesów Spalania i Wybuchowości
CNBOP-PIB

BADANIA REAKCJI NA OGIEŃ DLA KABLI ELKEKTRYCZNYCH – PRZEGLĄD METOD BADAWCZYCH¹

Reaction to fire tests on electric cables - Overview of testing methods

Streszczenie

W niniejszym artykule przedstawione zostały podstawowe informacje na temat klasyfikacji reakcji na ogień kabli elektrycznych oraz metody badawcze wykorzystywane do przeprowadzenia prawidłowego procesu klasyfikacyjnego. Opisane metody badawcze odpowiadają warunkom pierwszej fazy rozwoju pożaru do momentu ewentualnego rozgorzenia oraz symulują warunki rzeczywistego pożaru. Przedstawione zostały kryteria klasyfikacji wraz z dodatkową klasyfikacją ze względu na wydzielanie się dymu oraz kapiących kropli i/lub cząsteczek. Celem przedstawionych metod badawczych oraz uregulowań prawnych (w trakcie notyfikacji) jest zapewnienie jednolitego systemu klasyfikacji kabli elektrycznych na podstawie wyników badań doświadczalnych.

Summary

This paper presents some basic information on the reaction to fire classification of electric cables and testing methods used to perform a proper classification process. These methods represent the conditions of first phase of fire development up to possible flashover and also simulate real fire conditions. It shows the classification criteria with additional classification due to the emission of smoke and dropping droplets and/or particles. The aim of such testing methods and regulations (under notification) is to provide an classification uniform system of electric cables based on experimental results.

Słowa kluczowe: kable elektryczne, reakcja na ogień, klasyfikacja ogniowa kabli elektrycznych, euroklasy;

Keywords: electric cables, reaction to fire, fire classification of electric cables, euroclasses;

Właściwości pożarowe materiałów i wyrobów budowlanych stosowanych powszechnie w budownictwie odgrywają bardzo duży wpływ na zapewnienie bezpieczeństwa ludziom, umożliwienie skutecznej ewakuacji oraz zmniejszenie prędkości rozprzestrzeniania się pożaru. Pożar w budynku może rozprzestrzeniać się różnymi drogami poprzez wykorzystanie wszystkich dostępnych materiałów palnych. Szybkość rozwoju pożaru będzie zatem wymiennie wpływała na wielkość powstałych strat materialnych oraz na zagrożenie dla przebywających osób w budynku. Nowoczesne budynki są coraz częściej wyposażane w niezliczoną ilość rozwiązań technicznych, wymagających zapewnienia zasilania w energię elektryczną oraz komunikacji między nimi. Do tego celu wykorzystuje się kilometry kabli elektrycznych o zróżnicowanych

właściwościami pożarowych. Dlatego też wszelkie czynności odnoszące się do ochrony przeciwpożarowej należy traktować poważnie, zarówno w fazie projektowania budynku, jak również na etapie doboru odpowiednich materiałów wykończeniowych.

W zakresie klasyfikacji reakcji na ogień dla kabli elektrycznych, obecnie obowiązuje Decyzja Komisji Europejskiej 2006/751/WE [1] wykonująca Dyrektywę Rady 89/106/EEG, w której przedstawiono kryteria klasyfikacji oraz metody badawcze. Aby spełnić wymóg zawarty w tej decyzji, podjęte zostały działania przez Komitet Techniczny CEN/TC 127 „Bezpieczeństwo pożarowe budynków”, zmierzające do opracowania projektu standardu europejskiego określającego zharmonizowane procedury klasyfikacji reakcji na ogień przewodów elektrycznych, tj. prEN 13501-6:2011(E) - Fire classification of construction products and building elements, Part 6: Classification using data from reaction to fire tests on electric cables. Na mocy Decyzji Komisji [1], której wymagania zostały następnie

¹ Wkład autorów w powstanie artykułu: W. Klapsa – pomysł oraz napisanie części tekstu; D. Małozieć – przegląd literatury oraz korekta; S. Suchecki – napisanie części materiału.

wdrożone do normy klasyfikacyjnej [2] stosowany jest system tzw. Euroklas, charakteryzujący kable elektryczne pod względem reakcji na ogień, jako klasy: Aca, B1ca, B2ca, Cca, Dca, Eca, Fca, wraz z kryteriami dodatkowymi uwzględniającymi wydzielanie dymu oraz występowanie płonących kropli.

Zanim jednak Komisja Europejska podjęła decyzję dotyczącą wdrożenia odpowiedniej klasyfikacji opartej na Euroklasach dla kabli elektrycznych i w konsekwencji powstała ww. norma [2], powstał jej projekt, w którym zaproponowano odpowiednie badania reakcji na ogień

kabli elektrycznych. Dotąd nie istniały w Europie metody badawcze pozwalające rozróżnić kable o dobrych właściwościach odporności na ogień od tych o bardzo dobrych właściwościach, używanych w instalacjach wysokiego ryzyka lub instalacjach, w których stosuje się duże ilości kabli na małej powierzchni (np. telekomunikacyjne). Wcześniej, badania były oparte o metody badawcze opisane w normach z serii PN-EN 60332, przy czym część 1 [3] oraz 2 [4] dotyczyła badań pojedynczego przewodu natomiast część 3 [5] odnosiła się do wiązek kabli. Kryteria klasyfikacji przyjęte w tych metodach badawczych

Tabela 1.

Klasy reakcji na ogień dla kabli elektrycznych według prEN 13501-6:2011 [2]

Table 1.

Classes of reaction-to-fire for electric cables according to prEN 13501-6:2011 [2]

Klasa Class	Metody badania Testing method(s)	Kryteria klasyfikacji Classification criteria	Klasyfikacja dodatkowa Additional classification
A _{ca}	EN ISO 1716	PCS ≤ 2,0 MJ/kg (1)	-
B1 _{ca}	EN 50399 (30 kW źródło ognia) i	FS ≤ 1.75 m i THR _{1200s} ≤ 10 MJ i Maksymalne HRR ≤ 20 kW i FIGRA ≤ 120 Ws-1	Produkcja dymu (2,5) i płonące kropelki/cząsteczki (3) oraz kwasowość (4,8)
	EN 60332-1-2	H ≤ 425 mm	
B2 _{ca}	EN 50399 (20,5 kW źródło ognia) i	FS ≤ 1.5 m i THR _{1200s} ≤ 15 MJ i Maksymalne HRR ≤ 30 kW i FIGRA ≤ 150 Ws-1	Produkcja dymu (2,6) i płonące kropelki/cząsteczki (3) oraz kwasowość (4,8)
	EN 60332-1-2	H ≤ 425 mm	
C _{ca}	EN 50399 (20,5 kW źródło ognia) i	FS ≤ 2,0 m i THR _{1200s} ≤ 30 MJ i Maksymalne HRR ≤ 60 kW i FIGRA ≤ 300 Ws-1	Produkcja dymu (2,6) i płonące kropelki/cząsteczki (3) oraz kwasowość (4,8)
		H ≤ 425 mm	
D _{ca}	EN 50399 (20,5 kW źródło ognia) i	THR _{1200s} ≤ 70 MJ i Maksymalne HRR ≤ 400 kW i FIGRA ≤ 1300 Ws ⁻¹	Produkcja dymu (2,6) i płonące kropelki/cząsteczki (3) oraz kwasowość (4,8)
	EN 60332-1-2	H ≤ 425 mm	
E _{ca}	EN 60332-1-2	H ≤ 425 mm	-
F _{ca}	Odporność nieokreślona		

- (1) Dla wyrobu jako całości, z wyłączeniem materiałów metalicznych, oraz dla wszelkich jego komponentów zewnętrznych (np. osłon).
- (2) $s1 = TSP_{1200} \leq 50 \text{ m}^2$ and $Peak SPR \leq 0.25 \text{ m}^2/\text{s}$
 $s1a = s1$ oraz przepuszczalność zgodna z EN 61034-2 $\geq 80\%$
 $s1b = s1$ oraz przepuszczalność zgodna z EN 61034-2 $\geq 60\% < 80\%$
 $s2 = TSP_{1200} \leq 400 \text{ m}^2$ oraz maksymalne $SPR \leq 1.5 \text{ m}^2/\text{s}$
 $s3 = \text{ani } s1 \text{ ani } s2$
- (3) $d0 = \text{bez płonących kropelek/cząsteczek } 1200 \text{ s}$; $d1 = \text{bez płonących kropelek/cząsteczek utrzymujących się dłużej niż } 10 \text{ s w ciągu } 1200 \text{ s}$; $d2 = \text{ani } d0 \text{ ani } d1$.
- (4) EN 50267-2-3: $a1 = \text{przewodność } < 2.5 \mu\text{S/mm}$ oraz $pH > 4,3$; $a2 = \text{przewodność } < 10 \mu\text{S/mm}$ oraz $pH > 4,3$; $a3 = \text{ani } a1 \text{ ani } a2$. Brak deklaracji = odporność nieokreślona
- (5) Klasa dymu określona dla klasy kabli B1_{ca} musi zostać określona na podstawie EN 50399 (30 kW źródła ognia)
- (6) Klasa dymu określona dla klasy kabli B2_{ca}, C_{ca}, D_{ca} musi zostać określona na podstawie EN 50399 (20,5 kW źródła ognia)

nie odzwierciedlają w pełni reakcji kabli elektrycznych na ogień. Podjęte zostały zatem odpowiednie działania mające na celu opracowanie metod badawczych pozwalających na zastosowanie klasyfikacji opartej na Euroklasach, którą z powodzeniem stosowano już dla innych materiałów i wyrobów budowlanych.

W ramach międzynarodowego projektu badawczego zawiązane zostało konsorcjum naukowe pod nazwą FIPEC, tzn. Fire Performance of Electric Cables [6], w skład którego weszły takie ośrodki badawcze jak Interscience Communications Ltd. (UK), Centro Elettrotecnico Sperimentale Italiano (IT), Sveriges Provnings – och Forskningsinstitut (SE) oraz Institut Scientifique de Service Public (BE). W ramach przedmiotowego projektu badawczego przeprowadzono prawie 2000 eksperymentów. Scenariusze do testów w skali rzeczywistej (tzw. „real-scale”) oraz w pełnej skali (tzw. „full-scale”) oparte były o wytyczne zawarte w normie PN-EN 60332-3 [5]. W grudniu 1999r. sporządzono syntetyczny raport z prowadzonych badań [6], w którym przedstawione zostały wyniki oraz opisane metody badawcze. Celem tego projektu badawczego było:

- opracowanie lub doskonalenie metod badawczych dla kabli elektrycznych wykorzystywanych w istniejących standardach IEC;
- opracowanie lub dostosowanie badania z wykorzystaniem kalorymetru stożkowego w odniesieniu do badań w małej skali;
- opracowanie zależności numerycznych do modelowania rozprzestrzeniania się ognia po kablach elektrycznych, bazując na wynikach otrzymanych z testów w małej skali;
- opracowanie podstawowych modeli obliczeniowych opisujących propagację ognia po kablach elektrycznych w warunkach rzeczywistych dla kluczowych konstrukcji, opartych na wynikach testów w małej skali;
- badanie przydatności opracowanych modeli poprzez porównanie wyników z obliczeń z wynikami otrzymanych pożarów rzeczywistych.

Badania doświadczalne opierały się na czterech wariantach skali badań, począwszy od próbek małych materiałów do instalacji kablowych w rzeczywistej skali. Warianty badawcze to:

- test w rzeczywistej skali, wykonany na odwzorowanej instalacji kabli elektrycznych;
- standardowy test w pełnej skali, przeprowadzony na korytkach kablowych (w oparciu o normę IEC 60332-3 [5]);
- test w małej skali dla kabli, wykonany w kalorymetrze stożkowym;
- test w małej skali dla materiałów, wykonany w kalorymetrze stożkowym.

Przeprowadzonych zostało prawie 70 testów w rzeczywistej skali, 225 w pełnej skali i ponad 1500 testów w stożku kalorymetrycznym. W tym celu zbudowane zostały sta-

nowiska badawcze odzwierciedlające rzeczywiste warunki instalacji kablowych w budynkach. Testy w skali rzeczywistej były punktem odniesienia do pozostałych testów. Dla testów w pełnej skali zastosowano elementy z normy PN-EN 60332-3 [5]. Aparatura stosowana w tym standardzie pozwala na pomiar wydzielanego ciepła oraz szybkości emisji dymu. Te dwa parametry stanowią podstawę w ocenie rozwoju pożaru po kablach elektrycznych.



Ryc. 1. Przykład stanowiska do badań w skali rzeczywistej w ułożeniu poziomym i pionowym kabli [3]

Fig. 1. Example of horizontal and vertical real-scale test [3]

W projekcie FIPEC opracowano metody badań w pełnej skali oparte o normę IEC 60332-3 [5]. Prace te pokazały, że opracowane procedury dają wysoką powtarzalność i odtwarzalność wyników, a same rezultaty prowadzonych testów określają dobrą zbieżność z wynikami badań w rzeczywistej skali, zarówno w wariancie ustawienia kabli w poziomie, jak i w pionie. Jednocześnie wykazano, że największy wpływ na wyniki ma sposób ułożenia badanych kabli, a opracowana metoda jest satysfakcjonująca do poziomego ułożenia kabli, jak również pionowego.

Na bazie doświadczeń FIPEC opracowano projekty normowych badań reakcji na ogień dla kabli elektrycznych. W oparciu o metodę FIPEC20 scenariusz 1, opracowano normę EN 50399-2-1:2003, natomiast dla FIPEC20 scenariusz 2, normę EN 50399-2-2:2003. Scenariusz 1 dotyczył badania wiązek kabli w poziomie, natomiast scenariusz 2 dotyczył badania wiązek kabli w pionie. Oba scenariusze zakładają najgorsze warunki tj. obudowa wiązek kablowych ze wszystkich stron.

Dalsze badania prowadzone nad klasyfikacją w zakresie reakcji na ogień kabli elektrycznych oraz jej włączeniem do wymagań Dyrektywy o Wyrobach Budowlanych (CPD) doprowadziły do wydania wspomnianej na wstępie Decyzji Komisji [1], natomiast metoda badawcza została w konsekwencji wdrożona do nowego standardu PN-EN 50399:2011 [7].

Metody badawcze wykorzystywane do określania klas reakcji na ogień dla kabli elektrycznych, oparto na symulacji warunków rozwoju pożaru w budynku np. szachtach instalacyjnych. Warunki w dobranych testach mają za zadanie odzwierciedlać rzeczywiste warunki pożaru. Pod-

czas pożaru w zamkniętym pomieszczeniu, można wyróżnić następujące cztery główne etapy jego rozwoju, tj.: zainicjowanie pożaru, etap rozwoju pożaru, etap rozgorzenia oraz wygaszanie. Te etapy mają odniesienie w poszczególnych etapach spalania i rozprzestrzeniania się płomieni na powierzchni materiału budowlanego w określonych warunkach badawczych.

Podczas testowego spalania próbki można zaobserwować wszystkie fazy przebiegu pożaru, ze szczególnym uwzględnieniem trzech pierwszych, czyli:

- etap pierwszy – zapoczątkowanie pożaru poprzez przyłożenie płomienia z palnika testowego do powierzchni próbki,
- etap drugi – odpowiadający scenariuszowi rozwoju pożaru mogącego doprowadzić do wystąpienia zjawiska rozgorzenia rozumianego, jako moment przejścia do pożaru rozwiniętego,
- etap trzeci – pożar w pełni rozwinięty. W momencie tym, następuje szybkie zużywanie tlenu, czyli intensywne zmniejszanie jego stężenia w atmosferze, co ostatecznie doprowadza do zmniejszenia szybkości procesu spalania,
- etap czwarty – w którym obserwuje się zmniejszenie powstawania produktów spalania. Towarzyszy temu zmniejszenie szybkości wydzielania ciepła i obniżająca się temperatura pożaru.

Duże znaczenie ma tu właściwy dobór źródła inicjacji spalania, które zostało dobrane w taki sposób, aby w początkowych fazach rozwoju pożaru zaostriżyć warunki spalania. Taki sposób badania pozwala na ocenę materiału pod względem pożarowym we wczesnych stadiach rozwoju pożaru. Badana jest zdolność materiału do zapłonu oraz dalszy proces rozprzestrzeniania płomienia. W dalszej kolejności intensywność i zasięg płomienia, wydzielanie ciepła już od drugiego etapu przebiegu pożaru i emisja wytwarzającego się dymu oraz wystąpienie płonących kropli. Płonące krople i cząsteczki w warunkach rzeczywistego pożaru wpływają na szybsze rozprzestrzenianie się płomienia.

Na podstawie prPN-EN 13501-6 [2], klasy reakcji na ogień dla kabli elektrycznych, bada się zgodnie z następującymi normami:

- W celu uzyskania klasy Aca: PN-EN ISO 1716 [8].
- W celu uzyskania klasy B1ca: PN-EN 60332-1-2 [4].

W przypadku pozytywnej próby w ww. badaniu przeprowadza się badanie według PN-EN 50399 [7]. W celu ustalenia dodatkowej klasyfikacji stosuje się normę PN-EN 61034-2 [9] oraz PN-EN 50267-2-3 [10].

- W celu uzyskania klas B2ca, Cca, Dca: PN-EN 60332-1-2 [4]

W przypadku pozytywnej próby w ww. badaniu przeprowadza się badanie wg PN-EN 50399 [7] z zastosowaniem źródła płomienia 20,5 kW oraz dla określenia dodatkowej klasyfikacji PN-EN 61034-2 [9] i PN-EN 50267-2-3 [10].

- W celu uzyskania klasy Eca:

PN-EN 60332-1-2

Według standardu PN-EN ISO 1716 [8] badania wykonywane są dla wyrobów praktycznie niepalnych np. wykonanych z materiałów ceramicznych. Badanie to pozwala określać ciepło spalania wyrobów i materiałów budowlanych. Aby uzyskać wiarygodne wyniki należy przeprowadzić badanie w warunkach całkowitego spalania próbki. W metodzie tej określa się dwie wartości ciepła spalania, tj. ciepło spalania brutto (QPCS) dla danego materiału oraz ciepło spalania netto (QPCI), które przelicza się przy wykorzystaniu tej metody. Pod pojęciem ciepła spalania (ciepło spalania brutto) jest rozumiana ilość energii cieplnej wydzielającej się podczas całkowitego spalania jednostki masy materiału, wyrażonej w MJ/kg. Ciepło spalania netto, inaczej nazywane wartością opałową jest rozumiane, jako ilość ciepła wydzielającego się podczas całkowitego spalania jednostki masy paliwa. Ciepło spalania brutto przy stałym ciśnieniu oblicza się z następującej zależności:

$$QPCS_i = \frac{E \cdot (T_m - T_i + C_i) - b_i}{m_i}$$

gdzie:

QPCS_i - ciepło spalania brutto wyznaczone dla i-tej próbki [MJ/kg],

E - równoważnik wodny kalorymetru, bomby, ich wyposażenia i wody wprowadzonej do bomby [MJ/kg],

T_i - temperatura początkowa w [K],

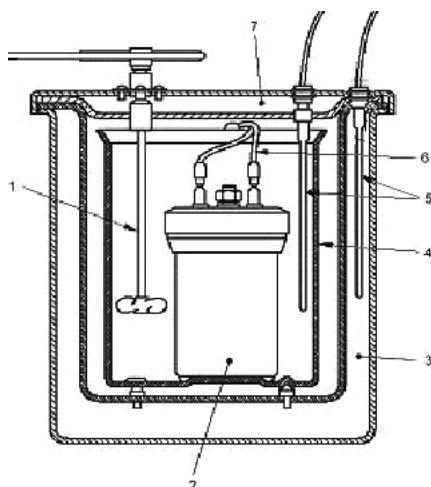
T_m - temperatura maksymalna w [K],

C_i – poprawka temperatury dla i-tej badanej próbki,

b_i - poprawka uwzględniająca ciepło spalania „paliw” używanych w badaniach, na przykład drutu zapalającego [MJ],

m_i – masa „paliwa” [kg].

Na to stanowisko badawcze składa się przede wszystkim termostat wodny, układ kalorymetryczny z bombą kalorymetryczną oraz komputerowy układ pomiaru i rejestracji temperatury. Proces spalania niewielkiej ilości próbki jest przeprowadzany w bombie kalorymetrycznej, wstawianej do wnętrza naczynia kalorymetrycznego napełnionego wodą destylowaną. Zapłon realizowany jest poprzez iskrę elektryczną, „przeskakującą” przez drucik oporowy, podłączony do elektrod i jednocześnie przeprowadzony przez próbkę. Po zainicjowaniu reakcji, proces spalania zachodzi coraz intensywniej, co objawia się wzrostem temperatury w naczyniu kalorymetrycznym, a tym samym emisją na zewnątrz wydzielającego się ciepła aż do osiągnięcia maksimum temperatury reakcji w obszarze przeprowadzanego procesu. Oznacza to, że etap samego procesu spalania dobiegł końca. Ostatecznie ciepło spalania jest obliczane na podstawie bilansu cieplnego pomiędzy ciepłem emitowanym z naczynia kalorymetrycznego, a ciepłem przyjmowanym przez płaszcz kalorymetryczny. W metodzie tej jest ważny zarówno pomiar i rejestracja temperatury w naczyniu kalorymetrycznym, jak i w wewnętrznej płaszczu wodnym.



1. Mieszadło / Stirrer
2. Bomba kalorymetryczna / Heat of combustion
3. Płaszcz wodny / Water jacket
4. Naczynie kalorymetryczne / Calorimetric vessel
5. Termometry / Thermometers
6. Druty zapłonowe / Ignition wires
7. Pokrywa płaszcza / Cover jacket

Ryc. 2 Schemat stanowiska badawczego według PN-EN ISO 1716 [8]
Fig. 2 A scheme of testing apparatus according to PN-EN ISO 1716 [8]

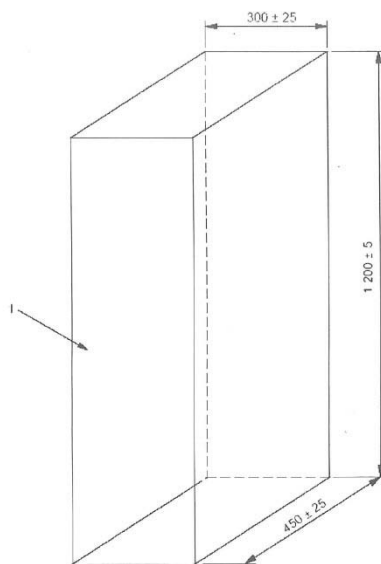
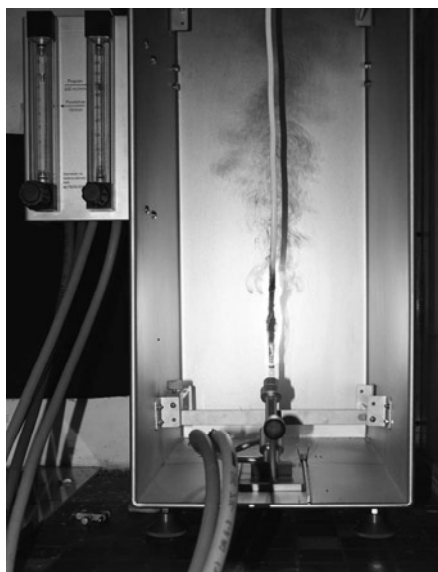
Według standardu PN-EN 60332-1-2 [4] badania przeprowadza się dla pojedynczego izolowanego przewodu lub kabla o długości 600 ± 25 mm. Próbkę powinna być kondycjonowana w temperaturze 23 ± 5 °C przez 16 h przy wilgotności 50 ± 20 %. Aparaturę do badania opisano w PN-EN 60332-1-1 [3]. Źródło zapłonu stanowi palnik propanowy według wymagań PN-EN IEC 60695-11-2 [11], zasilany propanem technicznym o czystości 95%. Stanowisko to składa się z osłony metalowej o wysokości 1200 mm, szerokości 300 mm i głębokości 450 mm, otwartej tylko z przodu.

Próbkę należy przymocować do dwóch poziomych uchwytów za pomocą drutu miedzianego, odległość między krawędziami uchwytów powinna wynosić 550 ± 5 mm. Dolny koniec próbki powinien znajdować się w odległości ok. 50 mm od podstawy obudowy. Palnik należy tak ustawić aby wierzchołek wewnętrznego niebieskiego stożka dotykał powierzchni próbki w odległości 475 ± 5 mm od

dolnej krawędzi górnego poziomego uchwytu, a sam palnik powinien być ustawiony pod kątem 450 ± 20 do pionowej osi próbki. Czas przyłożenia próbki zależy od średnicy próbki. W badaniu tym dokonuje się pomiaru wysokości H zniszczenia (zwęglenia) próbki.

W standardzie PN-EN 50399 [7] określono aparaturę i metody badawcze do oceny pionowego rozprzestrzeniania się płomienia, wydzielania ciepła, wytwarzania dymu oraz powstawania płonących kropli/cząstek z pionowo zamontowanych wiązek przewodów i kabli elektrycznych lub światłowodowych, w określonych warunkach. Dla potrzeb niniejszej normy termin „przewody elektryczne” dotyczy wszystkich przewodów o izolacji nałożonej na metalową żyłę i służących do przesyłania energii lub sygnałów.

Gazy palne są zbierane w zbiorniku powyżej komory badawczej i przesyłane systemem wyciągowym, który umożliwia pomiar ilości wydzielonego ciepła i wytworzo-

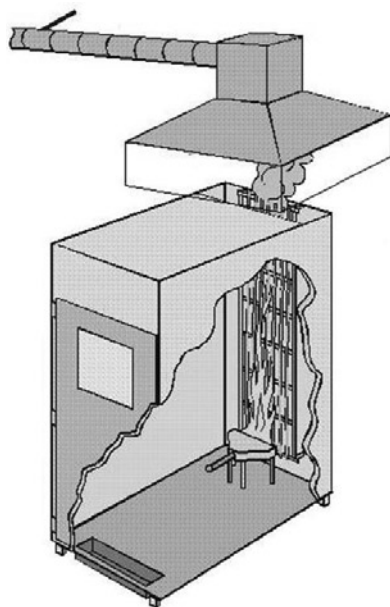


Ryc. 3 Stanowisko badawcze według PN-EN 60332-1-2:2010 wykorzystywane w CNBOP-PIB [4]

Fig. 3 Testing apparatus according to PN-EN 60332-1-2:2010 used in CNBOP-PIB [4]

nego dymu. Podano procedury do badań kwalifikacyjnych typu kabli i przewodów dla klasyfikacji w Euroklasach: B1ca, B2ca, Cca oraz Dca. Instalacja kabli na drabince probierczej i przepływ powietrza przez komorę badawczą są zgodne z wymaganiami Decyzji Komisji 2006/751/EC, której odzwierciedleniem są wymagania zawarte w niniejszej normie. Aparatura opisana w niniejszej normie powinna być zgodna z aparaturą opisaną EN 60332-3-10 [5].

Komorę badawczą powinna mieć szerokość 1000 ± 100 mm, głębokość 2000 ± 100 mm oraz wysokość 4000 ± 100 mm. Podłoga komory powinna być powyżej gruntu, na której jest posadowiona. W podłodze komory powinien znajdować się wlot powietrza o wymiarach 800 ± 20 mm x 400 ± 10 mm, usytuowany w odległości 150 ± 10 mm od przedniej ściany. Drabina ze stali do mocowania wiązki kabli ma szerokość 500 ± 5 mm lub 800 ± 10 mm i jest oddalona od tylnej ściany komory o 150 ± 10 mm, a dolny szczebel drabiny od podłogi jest w odległości 400 ± 5 mm. Źródłem zapłonu powinien być palnik zasilany propanem technicznym o czystości 95 %. Palnik zawiera 242 otwory o średnicy 1,32 mm w odległości 3,2 mm od środków otworów. Otwory są ustawione w trzech rzędach po 81, 80 i 81 otworów tworząc tablicę $257 \times 4,5$ mm. Palnik powinien być ustawiony w odległości 75 ± 5 mm od powierzchni próbki i 600 ± 5 mm nad podłogą oraz znajdować się pomiędzy dwoma szczebelkami drabiny.



Ryc. 4 Schemat stanowiska wg PN-EN 50399 [12]
 Fig. 4 Stand for testing according to PN-EN 50399 [12]

Prędkość wlotu powietrza do komory wynosi 8000 ± 400 l/min. Wlot powietrza powinien odbywać się przez skrzynkę zamontowaną bezpośrednio pod komorą o wymiarach zbliżonych do otworu wlotowego. Głębokość skrzynki wynosi 150 ± 10 mm. Powietrze do skrzynki powinno być doprowadzone za pomocą prostokątnego kanału o wymiarach 300 ± 10 mm x 80 ± 5 mm i długości min. 800 mm. Nad wylotem powietrza z komory badawczej należy umieścić okap o minimalnej długości 1,5 m

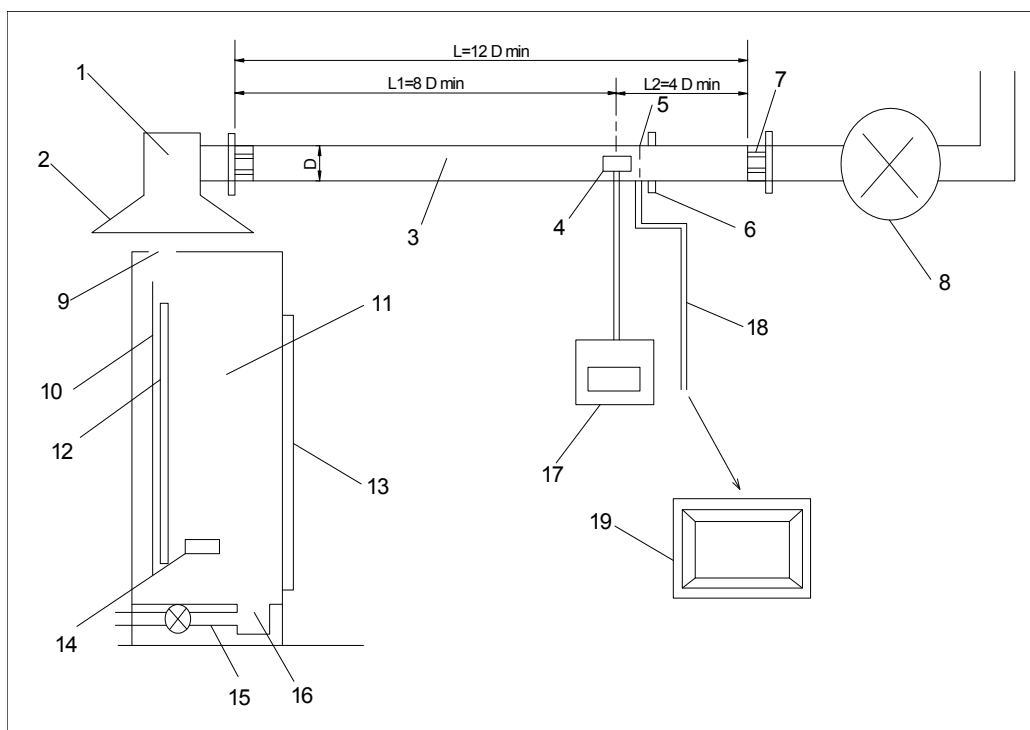
i szerokości 1 m. Odległość podstawy wyciągu do komory wynosi od 200 mm do 400 mm. Wydajność wyciągu powinna wynosić $1 \text{ m}^3/\text{s}$, przy normalnym ciśnieniu i temperaturze 25°C . W przypadku kabli silnie dymiących lub wydzielających toksyczne gazy, wydajność można zwiększyć do $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Nad okapem znajduje się komora umożliwiająca połączenie z kanałem wentylacyjnym.

Średnica D kanału wentylacyjnego mieści się w przedziale 250–400 mm. Długość kanału wynosi min $12 \times D$ tak, aby ustalony przepływ powietrza był w punkcie pomiaru. Na końcu kanału powinien być umieszczony wentylator o min. wydajności $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Na stanowisku badawczym należy dokonywać pomiaru następujących parametrów:

- zużycie tlenu;
- produkcja CO_2 ;
- przepływ w kanale wylotowym;
- produkcja dymu.

Aparatura pomiarowa powinna być zamontowana w kanale wentylacyjnym, zgodnie z Rysunkiem 5. Badanie powinno być wykonywane przy temperaturze otoczenia komory $5\text{--}40^\circ\text{C}$. Próbkę powinny być kondycjonowane w $20 \pm 10^\circ\text{C}$ przez 16 godzin. Warunki montażu i mocowania zostały ściśle określone i uzależnione od średnicy kabla oraz klasy, dla której przeprowadzane jest badanie. Ilość kabli w wiązce dobiera się według specjalnych wzorów. Źródło zapłonu przy badaniu klas (B2ca, Cca, Dca) wynosi $\text{HRR} = 20,5 \text{ kW}$. Dodatkowo, przy badaniu kabli aspirujących do klasy B1ca należy na tylnej stronie korytka do prowadzenia kabli należy zamontować niepalną płytę z krzemianu wapnia o gęstości $870 \pm 50 \text{ kg/m}^3$ oraz grubości 11 ± 2 mm oraz zastosować źródło zapłonu o $\text{HRR} = 30 \text{ kW}$.

Zgodnie z PN-EN 61034-2:2010 [9] badania przeprowadza się w komorze badawczej o objętości 27 m^3 ($3 \times 3 \times 3 \text{ m}$) i dokonuje się pomiaru gęstości dymu powstającego podczas spalania przewodów elektrycznych. Pomiar gęstości dymu został wyrażony jako minimalna wartość transmisji światła. Kondycjonowane próbki o długości 1 m przez 16 godzin w temperaturze 23°C poddaje się spalaniu. Do badania dobiera się odpowiednią liczbę odcinków przewodu uzależnioną od średnicy zewnętrznej przewodu. Przewody o średnicy mniejszej niż 5 mm i większej niż 1 mm układa się w wiązki. Liczba wiązek jest zależna od średnicy zewnętrznej i oblicza się ją na podstawie podanego w normie wzoru. poszczególne próbki lub ich wiązki należy związać razem w odległości 300 mm od obu końców i przymocować do podstawy drutem. Tak przygotowane próbki układa się poziomo, jedna obok drugiej nad środkiem korytka, tak aby odległość między dolną powierzchnią próbki a dnem korytka wynosiła 150 mm. Przed rozpoczęciem badania temperatura w komorze powinna wynosić $25 \pm 5^\circ\text{C}$. Badanie trwa do momentu gdy nie obserwuje się zmniejszenia transmisji światła po 5 min od zgaśnięcia ognia lub po 40 min od początku próby. W przypadku przewodów o średnicy nie większej niż 80 mm, najmniejszą transmitancję światła należy przyjąć



1 – komora okapu / chamber hood, 2 – okap / hood, 3 – kanał wentylacyjny / duct, 4 – sonda dwukierunkowa / bi-directional sensor, 5 – sonda probiercza / probe sensor, 6 – sprzęt pomiaru wydzielania dymu / smoke production measurement equipment, 7 – łącznik / connector, 8 – wentylator wyciągowy / exhaust fan, 9 – wylot dymu / Smoke outlet, 10 – drabinka / Ladder, 11 – komora testowa / a test chamber, 12 – próbka testowa / the test sample, 13 – drzwi / door, 14 – źródło zapłonu / - a source of ignition, 15 – kanał dolotowy powietrza / Air intake channel, 16 – skrzynka powietrza doprowadzanego / Supply air box, 17 – przetwornik ciśnienia / pressure transducer, 18 – kanał probierczy gazu / Test the gas channel, 19 – analizator / analyzer O_2 i CO_2

Ryc. 5. Schemat układu badawczego wg PN-EN 50399 [7]

Fig. 5. General arrangement of testing apparatus according to 50399 [7]

za transmitancję światła badanego przewodu. W przypadku średnicy większej niż 80 mm należy wynik pomnożyć przez współczynnik $D/80$ (D – średnica przewodu).

Aparatura badawcza została opisana w PN-EN 61034-1 [17]. W skład stanowiska badawczego przedstawionego na ryc. 6, wchodzi:

komora o objętości 27 m^3 ($3 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$);

- system do pomiaru transmitancji ustawiony tak aby dokonać pomiaru w linii środkowej komory na wysokości 215 cm;

źródło ognia w postaci metalowego korytka o wymiarach: dno $21 \times 11 \text{ cm}$, góra $24 \times 14 \text{ cm}$ i wysokości 8 cm wypełnionego 1 dm^3 95% alkoholu;

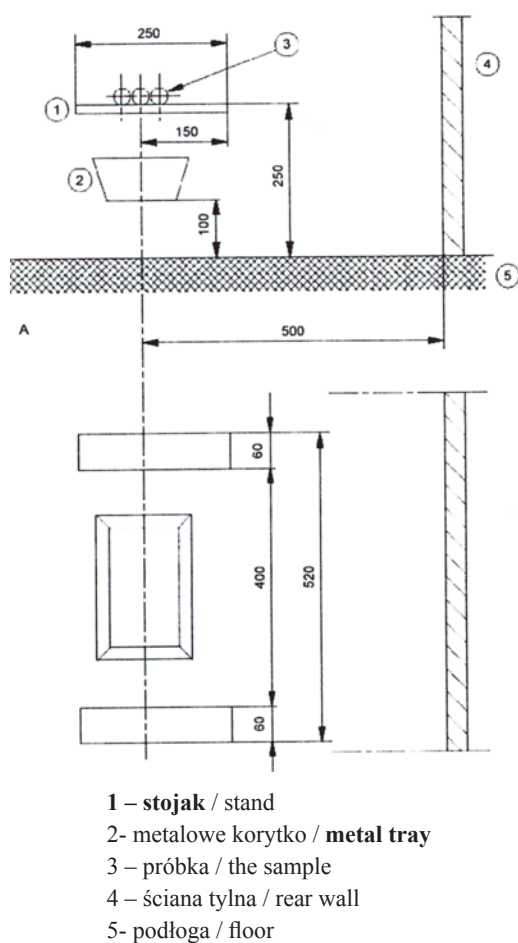
- dwa stojaki do zamontowania próbek o wymiarach: szerokość 25 cm, wysokość 25 cm i głębokość 6 cm;
- system wentylacji do odprowadzenia spalin po wykonanej próbie.

W trakcie badania metalowe korytka powinny być ustawione na wysokości 10 cm tak aby zapewnić swobodny przepływ powietrza pod spodem korytka, natomiast próbki powinny być ułożone równoległe do osi pomiaru transmitancji. Sposób ułożenia próbek został zilustrowany na ryc. 7.



Ryc. 6 Stanowisko badawcze wg PN-EN 61034-1 [18]

Fig. 6 Stand for testing according to PN-EN 61034-1 [18]



Ryc. 7. Sposób ułożenia próbki do badań wg PN-EN 61034 [9]

Fig. 7. How to place the test sample according to EN 61034 [9]

Metoda badawcza zgodna z PN-EN 50267-2-3 [13] polega na określeniu kwasowości gazów powstałych podczas spalania, poprzez wyznaczenie średniej ważonej pH i konduktywności dla poszczególnych materiałów, z których wykonany jest przewód, kabel elektryczny lub światłowodowy. Gazy spalinowe z reprezentatywnych próbek materiałów zbierane są w dwu kolbach z wodą destylowaną lub demineralizowaną o pojemności ok. 450 ml każda. Próbkę wygrzewa się w temperaturze nie niższej niż 935°C przez 30 min. Następnie, zawartość obu kolb zlewa się do jednej kolby i uzupełnia wodą do objętości 1000 ml. Wartość pH i konduktywność określa się odpowiednio pehametrem z dokładnością do $\pm 0,02$ oraz konduktometrem o zakresie od 10^{-2} - 10^2 $\mu\text{S}/\text{mm}$. Dla każdego materiału wykonuje się trzy próby oraz oblicza wartość średnią. Następnie oblicza się wartości ważne dla kabla lub przewodu stosując odpowiednie wzory:

$$pH' = \log_{10} \left[\frac{\sum_i w_i}{\sum_i \left(\frac{w_i}{10^x} \right)} \right]$$

gdzie x jest wartością pH każdego niemetalowego materiału, i;

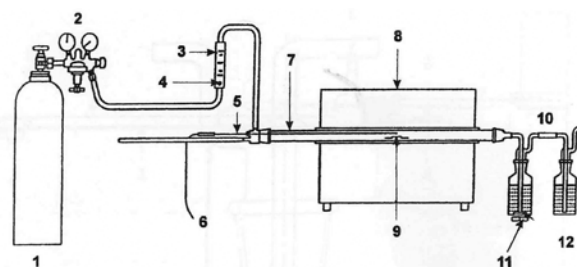
$$c' = \frac{\sum_i c \times w_i}{\sum_i w_i}$$

gdzie c jest konduktywnością każdego niemetalowego materiału, i.

Próbkę do badań stanowi 1000 mg każdego materiału pobranego z reprezentatywnego odcinka kondycjonowanego wcześniej przez co najmniej 16 godzin w temperaturze 23°C i wilgotności względnej 50%. Aparatura badawcza została opisana w PN-EN 50267-1 [14]. W skład stanowiska badawczego przedstawionego na ryc. 8, wchodzi:

- piec rurowy, którego efektywna długość strefy grzania wynosi 500-600 mm i średnica wewnętrzna 40-60 mm z regulacją temperatury grzania;
- rura ze szkła kwarcowego o średnicy wewnętrznej 32-45 mm, która wystaje od strony wejściowej pieca na długości 60-200 mm i od strony wyjściowej 60-100 mm;
- łódeczki do spalań z porcelany (szkła kwarcowego lub steatytu) o wymiarach (dł x sz x gł) 45-100 x 12-30 x 5-10 mm;
- dwie płuczki laboratoryjne w których średnica rurki wewnętrznej na końcu powinna mieć najwyżej 5 mm i być zanurzona na długości 100-120 mm, a w pierwszej znajduje się mieszadło magnetyczne.

Dodatkowo należy zapewnić ww. przepływ powietrza za pomocą sprężonego powietrza z butli, sprężarki lub zasysanego przez pompę dobierając odpowiedni zestaw.



1 – powietrze syntetyczne / synthetic air 2 – reduktor / reducer
 3 – przepływomierz / flowmeter 4 – zawór iglicowy / needle valve
 5 – termopara / thermocouple 6 – przyrząd do wprowadzania łódeczki do spalań z próbka / device for boats entering the combustion of a sample of
 7 – rura ze szkła kwarcowego / quartz glass tube 8 – piec / furnace 9 – łódeczka do spalań zawierających próbkę / Combustion little boat containing the sample of
 10 – płuczki laboratoryjne / Laboratory scrubber 11, 12 – mieszadło magnetyczne / magnetic stirrer

Ryc. 8. Aparatura badawcza wg PN-EN 50267-1 [14]
Fig. 8. Testing apparatus according to PN-EN 50267-1 [14]

Literatura

1. Decyzja Komisji z dnia 27 października 2006 r. zmieniająca decyzję Komisji 2000/147/WE wykonującą dyrektywę Rady 89/106/EWG w odniesieniu do klasyfikacji odporności wyrobów budowlanych na działanie ognia (2006/751/WE);

2. prEN 13501-6:2011 (E) Fire classification of construction products and building elements - Part 6: Classification using data from reaction to fire tests on electric cables;
3. Seria PN-EN 60332-1:2010 Badania palności kabli i przewodów elektrycznych oraz światłowodowych - Sprawdzanie odporności pojedynczego izolowanego przewodu lub kabla na pionowe rozprzestrzenianie się płomienia;
4. Seria PN-EN 60332-2:2010 Badania palności kabli i przewodów elektrycznych oraz światłowodowych - Sprawdzanie odporności pojedynczego cienkiego izolowanego przewodu lub kabla na pionowe rozprzestrzenianie się płomienia;
5. Seria PN-EN 60332-3:2009 Badania palności kabli i przewodów elektrycznych oraz światłowodowych - Sprawdzenie odporności na pionowe rozprzestrzenianie się płomienia wzdłuż pionowo zamontowanych wiązek kabli lub przewodów;
6. Synthesis Report, Fire Performance of Electric Cables - new test methods and measurement techniques (contract no. SMT4-CT96-2059), FIPEC Consortium, Grudzień 1999;
7. PN-EN 50399:2011 Wspólne metody badania palności przewodów i kabli - Pomiar wydzielania ciepła i wytwarzania dymu przez kable podczas sprawdzania rozprzestrzeniania się płomienia - Aparatura probiercza, procedury, wyniki;
8. EN ISO 1716:2010 Badania reakcji na ogień wyrobów - Określanie ciepła spalania (wartości kalorycznej);
9. [9] PN-EN 61034-2:2010 Pomiar gęstości dymów wydzielanych przez palące się przewody lub kable w określonych warunkach - Część 2: Metoda badania i wymagania
10. PN-EN 50267-2-3:2001 Wspólne metody badania palności przewodów i kabli - Badanie gazów powstałych podczas spalania materiałów pobranych z przewodów i z kabli - Część 2-3: Metody - Określanie kwasowości gazów przez wyznaczenie średniej ważonej pH i konduktywności
11. PN-EN 60695-11-2:2006 Badanie zagrożenia ogniowego - Część 11-2: Płomienie probiercze - Znamionowy płomień probierczy mieszankowy 1 kW - Urządzenia, układ do próby sprawdzającej i wytyczne;
12. <http://www.fire-testing.com/en-50399>;
13. PN-EN 50267-2-3:2001 Wspólne metody badania palności przewodów i kabli - Badanie gazów powstałych podczas spalania materiałów pobranych z przewodów i z kabli - Część 2-3: Metody - Określanie kwasowości gazów przez wyznaczenie średniej ważonej pH i konduktywności;
14. PN-EN 50267-1:2001 Wspólne metody badania palności przewodów i kabli - Badanie gazów powstałych podczas spalania materiałów pobranych z przewodów i z kabli - Część 1: Aparatura;
15. Małozieć D., Koniuch A., *Reakcja na ogień. Metody badań i kryteria klasyfikacji*, Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza 01/10;
16. Sundström B., Axelsson J., Van Hees P., *A proposal for fire testing and classification of cables for use In Europe*, 19 czerwca 2003;
17. PN-EN 61034-1:2010 Pomiar gęstości dymów wydzielanych przez palące się przewody lub kable w określonych warunkach - Część 1: Aparatura;
18. <http://www.fire-testing.com/3-metre-cube>.

st. kpt. mgr inż. Wojciech Klapsa

w 2004 r. ukończył studia w Szkole Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie. W 2006 r. uzyskał dyplom inż. chemii w Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie. Obecnie pełni służbę w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpożarowej Państwowym Instytucie Badawczym w Józefowie w Zespole Laboratoriów Procesów Spalania i Wybuchowości. Oficer PSP.

mł. bryg. mgr inż. Daniel Małozieć

w 1999r. ukończył studia w Szkole Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie. Obecnie pełni funkcję zastępcy kierownika Zespołu Laboratoriów Procesów Spalania i Wybuchowości w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpożarowej Państwowym Instytucie Badawczym w Józefowie. Specjalność – badania w zakresie reakcji na ogień wyrobów budowlanych. Oficer PSP.

lic. Sylwester Suchecki

w 2010 r. ukończył studia w Wyższej Szkole Gospodarki Euroregionalnej na Wydziale Nauk Społecznych w Józefowie i uzyskał dyplom licencjata. Obecnie pracuje w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpożarowej Państwowym Instytucie Badawczym w Józefowie w Zespole Laboratoriów Procesów Spalania i Wybuchowości jako młodszy specjalista.