



Adrian Barasiński<sup>1</sup>, Paweł Czaja<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centralna Szkoła Państwowej Straży Pożarnej

ul. Sabinowska 62, 42-200 Częstochowa, e-mail: baras11@vp.pl

<sup>2</sup>Politechnika Częstochowska

Al. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa

## ZACHOWANIE SIĘ PRZEWODÓW I KABLI ELEKTRYCZNYCH W POŻARACH

**Streszczenie.** Powstające pożary w obiektach budowlanych pochłaniają liczne ofiary oraz są przyczyną licznych obrażeń i zatruc mieszkańców i użytkowników. Szczególnie groźne dla ludzi są pożary obiektów, w których na niewielkiej przestrzeni przebywa wiele osób, np. sale koncertowe i widowiskowe, dworce, szpitale, porty lotnicze itp. W wymienionych obiektach obowiązują szczególne wymagania ochrony przeciwpożarowej.

Ponieważ przewody i kable są integralną częścią wszelkich budynków i obiektów, narażone są na działanie ognia, tak jak inne zainstalowane w nich urządzenia i wyposażenie. Stosowane tworzywa sztuczne do produkcji przewodów i kabli w przypadku pożaru wydzielają gęste dymy, które ograniczają widoczność i utrudniają prowadzenie akcji ratowniczo-gaśniczych. Wydzielają również agresywne gazy, groźne dla zdrowia, a nawet życia ludzi przebywających w zagrożonych pomieszczeniach.

W przypadku gdy pożar obejmie swoim wpływem przewody i kable, istotna staje się znajomość ich zachowania w takich warunkach. Obecnie wymaga się, aby palące się kable i przewody wydzielały niewielkie ilości dymu i jak najmniej ciepła, a nie wydzielały trujących i agresywnych gazów oraz nie rozprzestrzeniały ognia.

W artykule przedstawiono podstawowe wskaźniki oraz zakres przeprowadzanych prób badawczych, na podstawie których ocenia się zachowanie kabli i przewodów w warunkach pożaru.

**Słowa kluczowe:** badania palności kabli, wskaźnik tlenowy, rozprzestrzenianie płomienia, izolacje ognioodporne.

### Bezpieczeństwo pożarowe kabli i przewodów

Zachowanie się kabli i przewodów elektrycznych podczas pożarów określa się na podstawie badań różnych właściwości materiałów, z których

zostały wyprodukowane. Podstawowym parametrem określającym zachowanie się oprzewodowania podczas pożaru jest palność przewodów i kabli – czy są „samogasnące”, czy też podtrzymują palenie. Kolejne kryteria określają ilość wydzielanego dymu podczas pożaru oraz zawartość w tym dymie substancji szkodliwych i korozyjnych. Bardzo istotną cechą wyznaczaną podczas badań jest określenie czasu trwania pożaru, przez który przewody i kable podtrzymują swoje funkcje elektryczne [1].

Analizując zachowanie się pojedynczych kabli lub przewodów w trakcie pożaru, można stwierdzić, że większość ich rozwiązań konstrukcyjnych nie rozprzestrzenia płomienia. Wyjątek stanowią rzadko stosowane kable o izolacji lub powłoce wykonanej z polietylenu [2]. Nowoczesne instalacje elektryczne w dużych obiektach budowlanych układane są najczęściej w postaci wiązek na drabinkach lub korytach w specjalnych przestrzeniach przeznaczonych do tych celów. W takich przypadkach, aby ograniczyć rozprzestrzenianie płomienia (pożaru), należy zastosować odpowiednie rozwiązanie technologiczne w postaci materiałów polimerowych o małym współczynniku palności. Zastosowanie np. kabli z tworzyw bezhalogenkowych ogranicza w trakcie pożaru ilość powstającego dymu oraz produktów spalania (głównie chlorowodoru), które w połączeniu z wodą tworzą substancje żrące, stanowiące zagrożenie dla pozostałych elementów infrastruktury obiektów budowlanych. Małe ilości powstającego dymu ułatwiają ewakuację osób i prowadzenie akcji gaśniczej przez specjalistyczne służby. Instalacjom elektrycznym, których wymagane jest praca w trakcie pożaru, stawia się dodatkowe wymagania dotyczące utrzymania swoich funkcji przez określony czas, np. 30 minut (oznaczenie E30) lub 90 minut (E90).

W zakresie badania zachowania się kabli i przewodów w warunkach pożaru opracowano i znormalizowano wiele metod. Powszechna jest jednak opinia, że prawdziwe pożary nie mogą być odtworzone przez próby laboratoryjne na małą skalę [2]. W trakcie badań laboratoryjnych wyznacza się trzy główne parametry dotyczące zachowania się kabli w pożarach (uzależnione od zastosowanych materiałów polimerowych do ich budowy):

- wskaźnik tlenowy (indeks tlenowy),
- wskaźnik temperaturowy,
- ciepło spalania (kaloryczność).

Przeprowadzane są również badania określające skutki palących się kabli:

- stopień rozprzestrzeniania płomienia,
- ilość emitowanych dymów,
- ilość wydzielanych szkodliwych gazów.

## Wskaźnik tlenowy

Wskaźnik tlenowy (Limited Oxygen Index) określa minimalną ilość tlenu w atmosferze azotu, przy której dany materiał polimerowy ulega zapłonowi (podatność tworzywa na zapalenie się) [2]. Im większa wartość wskaźnika tlenowego, tym materiał jest trudniej zapalny. Jeżeli wartość wskaźnika danego materiału jest większa od 26% (26% tlenu w atmosferze), to uważa się go za samogasnący po odstawieniu źródła płomienia [1]. W dostępnych rozwiązaniach technologicznych kabli występują rozwiązania z uniepalnią powłoką (oznaczenie w symbolu literą „n”), dla której wartość wskaźnika tlenowego wynosi 29%. Wskaźnik tlenowy określany jest znormalizowaną metodą w temperaturze otoczenia 25°C.

W tabeli 1 zestawiono wskaźniki tlenowe materiałów stosowanych do produkcji kabli i przewodów (dla porównania podano wskaźnik węgla, wełny i bawełny) [2].

Tabela 1. Wskaźniki tlenowe wybranych materiałów [2]

<b>Materiał</b>	<b>Wskaźnik tlenowy</b>
Politetrafluoroetylen	95
Węgiel kamienny	60
Polichlorek winylu nieplastyfikowany (winidur)	47
Polichloropren (PCP)	40
Polietylen chloro sulfonowany (CSP)	27
Polichlorek winylu plstyfikowany (polwinit, PVC) – w zależności od składu mieszanki	ok. 25
Wełna	24
Poliamid (PA)	20
Bawełna	18
Polipropylen (PP)	18
Polietylen (PE)	18
Polietylen usieciowany (XLPE)	18
Guma etylenowo-propylenowa (EPR)	18
Polistyren	18

Wartość wskaźnika tlenowego nie informuje o własnościach danego materiału do rozprzestrzeniania płomienia. W praktyce materiały o identycznych wskaźnikach tlenowych mogą mieć odmienne własności rozprzestrzeniania ze względu na wykonanie z różnych polimerów bazowych lub zastosowanie w nich dodatków modyfikujących [2].

### **Wskaźnik temperaturowy**

Badania wskaźnika tlenowego wykazały, że jego wartość zależy od temperatury próby i maleje wraz z jej wzrostem. Podczas wykonywania tego badania temperatura powinna wynosić 25°C, jednak jej utrzymanie jest trudne, ponieważ płomień palnika ogrzewa otoczenie badanego odcinka kabla [1]. Na podstawie licznych badań stwierdzono, że lepiej jest określić temperaturę podtrzymywania płomienia, przy której wskaźnik tlenowy wynosi 21%. Stosowana obecnie metoda badania wskaźnika temperaturowego polega na utrzymywaniu 21% stężenia tlenu w komorze badawczej i stopniowym podwyższaniu w niej temperatury. Wskaźnikiem temperaturowym jest minimalna temperatura, w której badany materiał po zapłonie sam podtrzymuje palenie.

Producenci kabli i przewodów coraz rzadziej stosują wskaźniki tlenowy i temperaturowy do określenia właściwości zastosowanych materiałów izolacyjnych. Zastępują je badaniami rozprzestrzeniania płomienia opisanymi w normach [3, 4, 5, 8]. Metody badawcze opisane ww. normach pełniej ilustrują procesy przenoszenia ognia przez przewody i kable [1].

### **Ciepło spalania**

Ciepłem spalania (kalorycznością) określa się ilość ciepła, jaką wydziela jednostka masy danego materiału podczas procesu spalania. Im więcej ciepła wydziela palący się materiał, tym bardziej sprzyja podtrzymaniu lub rozwojowi pożaru [2]. W przypadku przewodów i kabli ciepło spalania często określane jest w przeliczeniu na jednostkę długości wyrobu. Nie rozdziela się tutaj materiałów palnych od pozostałych, np. miedzi, aluminium, stali.

W tabeli 2 zestawiono wartości ciepła spalania wybranych materiałów stosowanych do produkcji kabli (dla porównania dodano: wełnę, drewno i bawełnę [2]). Tworzywa polimerowe bazowe wydzielają większe ilości ciepła niż po dodaniu wypełniających substancji mineralnych, których zadaniem jest między innymi ograniczenie rozprzestrzeniania się płomieni.

Tabela 2. Wartości ciepła spalania wybranych materiałów [2]

<b>Materiał</b>	<b>Ciepło spalania [MJ/kg]</b>
Poliizobutylen	47
Polipropylen (PP)	46
Polietylen (PE)	46
Polistyren	40
Poliamid (PA)	33
Polietylen chlorosulfonowany (CSP)	28
Poliuretan (PU)	28
Polichloropren (PCP)	24
Włna	20
Polichlorek winylu nieplastyfikowany (PVC)	19
Drewno	19
Bawełna	17

## Rozprzestrzenianie płomienia

Rozprzestrzenianie płomienia wzdłuż kabla zależy głównie od materiałów polimerowych zastosowanych do jego budowy, ale również od sposobu i miejsca montażu instalacji. Niektóre tworzywa podczas pożaru topią się lub spływają w postaci płonących kropli (polietylen), rozprzestrzeniając płomienie na inne elementy infrastruktury obiektu budowlanego. Szczególnie szybko rozprzestrzeniają się płomienie wzdłuż kabli ułożonych w pionowych szybach i tunelach kablowych, gdzie występuje zjawisko ciągu kominowego. Należy wówczas stosować szczelne przegrody ogniowe oddzielające poszczególne sekcje [2].

Powszechnie stosowaną metodę badania rozprzestrzeniania płomienia opisuje norma PN-EN 60332-1-2 [3]. Próba polega na sprawdzeniu palności próbki pojedynczego przewodu długości 600 mm o przekroju powyżej 0,5 mm<sup>2</sup>, umieszczonej pionowo w znormalizowanej komorze. Do próbki kabla przykładana się płomień palnika gazowego (znormalizowanego) pod kątem 45°. Płomień skierowany jest na próbkę przez określony czas, tym dłuższy, im większa jest średnica badanego kabla. Po odsunięciu palnika płomień na próbce kabla powinien sam zgasnąć. Próbkę czyści się i mierzy zasięg uszkodzeń spowodowanych ogniem na powierzchni kabla. Długość obszaru uszkodzeń nie

powinna przekroczyć znormalizowanej dopuszczalnej granicy powyżej miejsca przyłożenia palnika [2].

Testem bardziej rygorystycznym jest badanie zgodnie z normą PN-EN 50266-2 [5]. W tym przypadku badaniu podlega wiązka kablowa o długości 3,6 m, umieszczona na drabince kablowej w znormalizowanej pionowej komorze [1]. Podobnie jak w poprzednich testach, po odstawieniu palnika płomień na wiązce powinien zgasnąć, a uszkodzenia nie powinny przekroczyć długości 2,5 m. Na podstawie przeprowadzonej próby określa się spełnienie wymagań normy dla wybranej kategorii palności (A, B lub C). Najbardziej wymagająca jest kategoria A (40 minut), najłżejsza kategoria C – 20 minut [1].

### **Ilość wydzielanych dymów**

Wydzielanie dużych ilości gęstego dymu przez palące się przewody i kable utrudnia lub niekiedy wręcz uniemożliwia ewakuację i prowadzenie akcji ratowniczo-gaśniczej. Metoda badania ilości wydzielanych dymów polega na pomiarze absorpcji światła przez dym w specjalnej kabinie o objętości 3,5 m<sup>3</sup> [6, 9]. Układ pomiarowy rejestruje przepuszczalność światła w kabinie. Wynik próby uznaje się za pozytywny, gdy przepuszczalność światła przekracza 70% dla pojedynczego kabla lub 60% dla grupy kabli [2].

### **Wydzielanie gazów**

Podczas palenia się kabli oprócz dymu wydzielają się gazy będące wynikiem rozkładu materiałów polimerowych. Najgroźniejsze z nich to związki chloru, fluoru i bromu, wchodzące w skład tworzywa sztucznego wykorzystywanego do wytłaczania izolacji, wypełnienia i powłok kabli oraz przewodów elektroenergetycznych. Najczęściej spotykanym gazem jest chlorowodór, który wydzielają się przy spalaniu polichlorku winylu (PVC). Chlorowodór już w małym stężeniu jest szkodliwy dla ludzi – jest żrący i może utrudniać oddychanie [1]. W połączeniu z wilgocią lub wodą z akcji gaśniczej tworzy kwas solny, który powoduje poparzenia skóry ludzi oraz korozję infrastruktury metalowej obiektów budowlanych w obrębie strefy pożaru. Szczególnie niebezpieczny jest dla urządzeń elektronicznych instalowanych w centralach telefonicznych, serwerowniach czy laboratoriach badawczych.

Jedną z metod oznaczania ilościowego gazów powstających w trakcie spalania materiałów polimerowych stosowanych do budowy kabli i przewodów opisana jest w normie PN-EN 50267 [7]. Próba polega na spalaniu w piecu rurowym określonej ilości materiałów użytych do budowy kabli. Gazy powstałe

w wyniku spalania kieruje się przedmuchem przez płuczki z wodą destylowaną. Następnie dokonuje się pomiaru kwasowości i konduktywności otrzymanego w ten sposób roztworu. Wynik próby uznaje się za pozytywny, jeżeli wartość pH otrzymanego roztworu jest mniejsza niż 4,3, a konduktywność nie większa niż 10  $\mu\text{S}/\text{mm}$  [1].

## Wyznaczenie przekroju żył kabli przeżywających

Dyrektywa Budowlana 89/106/EWG definiuje czas funkcjonowania obiektów budowlanych od chwili wybuchu pożaru. Czas ten niezbędny jest na ewakuację ludzi, przeprowadzenie akcji ratowniczej, wykonanie odpowiednich procedur powstrzymujących rozprzestrzenianie się pożaru [2]. Zdefiniowane czasy funkcjonowania nazywane klasami, wynoszą: 15, 30, 60 lub 90 minut. W tym czasie działać muszą wszystkie obwody bezpieczeństwa: oświetlenie awaryjne; dźwiękowe systemy ostrzegawcze i sygnalizacyjne; systemy wykrywania dymu i płomieni, wzrostu temperatury; systemy sterowania przewietrzaniem i oddymianiem; zasilanie wind drużyn ratowniczych itd.

Z chwilą wybuchu pożaru stopniowo wzrasta temperatura w pomieszczeniach objętych strefą pożaru, a wraz z nią rośnie również temperatura żył zainstalowanych przewodów i kabli, powodując wzrost ich rezystancji. W przypadku klasy E 90 zakłada się, że temperatura w pomieszczeniu po 90 minutach osiągnie wartość 980°C. Tak wysoka temperatura spowoduje duży wzrost rezystancji żył kabli w strefie objętej pożarem. Duża rezystancja żył skutkuje dużymi spadkami napięć, które mogą doprowadzić do przerwy w funkcjonowaniu zasilanych urządzeń i systemów. Temperatura żył kabla dodatkowo jest zwiększana przez przepływający prąd. W trakcie pożaru pogarszają się parametry izolacji żył (zmniejsza się rezystancja izolacji). Materiał izolacji staje się plastyczny, zmianie mogą ulec odległości między żyłami doprowadzając do zwarcia.

W tabeli 3 podano współczynnik wzrostu rezystancji żył kabla ułożonego częściowo w strefie gorącej, a częściowo w strefie zimnej pod koniec czasu jego funkcjonowania w warunkach pożaru [2]. Najczęściej tylko fragment trasy zainstalowanego kabla znajduje się w pomieszczeniach objętych pożarem (strefa gorąca), gdy pozostała przebiega przez pomieszczenia wolne od pożaru (strefa zimna). Jeżeli kabel funkcjonuje (przewodzi prąd) przed pożarem, temperaturę otoczenia (początkową) przyjmuje się na poziomie 90°C.

Tabela 3. Współczynniki wzrostu rezystancji żył kabli w warunkach pożaru

Procentowy udział strefy gorącej w długości trasy kabla %	Współczynnik wzrostu rezystancji żył kabla			
	Dla warunków klasy E 30		Dla warunków klasy E 90	
	Temperatura otoczenia 30°C	Temperatura otoczenia 90°C	Temperatura otoczenia 30°C	Temperatura otoczenia 90°C
0	1,0	1,0	1,0	1,0
10	1,3	1,2	1,4	1,3
20	1,6	1,5	1,8	1,5
30	2,0	1,7	2,1	1,8
40	2,3	1,9	2,5	2,1
50	2,6	2,1	2,9	2,4
60	2,9	2,4	3,3	2,6
70	3,2	2,6	3,6	2,7
80	3,5	2,8	4,0	3,2
90	3,9	3,1	4,4	3,5
100	4,2	3,3	4,8	3,7

## Podsumowanie

Zaprezentowane w artykule parametry oraz metody badawcze mają za zadanie określić zachowanie się kabli i przewodów elektrycznych w trakcie pożaru.

Wprowadzanie ostrzejszych zapisów prawnych w zakresie bezpieczeństwa wymusza coraz szersze stosowanie nowoczesnych technologii i konstrukcji przewodowania. Technologie te cechują się bardzo niską emisyjnością dymów i gazów oraz nierozprzestrzenianiem płomieni.

W niektórych obiektach budowlanych dopuszcza się stosowanie wyłącznie kabli o niskiej emisyjności dymu, oznaczonych LS (ang. Low Smoke) lub LF (Low Fume) i bezhalogenkowych HF (Halogen Free) lub ZH (Zero Halogen). Kable o niskiej emisyjności dymów i niezawierające związków halogenkowych oznaczane są LSHF (Low Smoke Halogen Free). Dodatkową cechą kabli bezhalogenkowych i o niskiej emisyjności dymów może być, i często jest, niewielkie rozprzestrzenianie płomienia. Kable takie oznacza się HFFR (Halogen Free i Flame Retardant) [2].

Na etapie projektowania wewnętrznych instalacji elektrycznych w danym obiekcie należy uwzględnić ryzyko wystąpienia pożaru i zagrożenia przebywających wewnątrz ludzi. Dobierając odpowiednie rozwiązania, można



ograniczyć strefy rozprzestrzeniania się pożaru.

Bardzo istotne w przypadku instalacji systemów bezpieczeństwa jest uwzględnienie odpowiednich wartości współczynnika wzrostu rezystancji żył. Urządzenia zasilane poprzez te instalacje muszą funkcjonować przez określony czas (klasa E).

## Literatura

- [1] Sosnowski I.: Metody badań palności kabli, *Elektrosystemy IV*, s. 62–65, 2009.
- [2] Informator techniczny, Technokabel 2007.
- [3] Norma PN-EN 60332-1-2:2010 Badania palności kabli i przewodów elektrycznych oraz światłowodowych. Sprawdzenie odporności pojedynczego izolowanego przewodu lub kabla na pionowe rozprzestrzenianie się płomienia. Metoda badania płomieniem mieszkankowym 1 kW.
- [4] Norma PN-EN 50265-2-2:2001 Wspólne metody badania palności przewodów i kabli. Sprawdzanie odporności pojedynczego izolowanego przewodu lub kabla na pionowe rozprzestrzenianie płomienia. Sposoby badania. Płomień palnika dyfuzyjnego.
- [5] Norma PN-EN 50266-2:2003 Wspólne metody badań palności przewodów i kabli. Sprawdzenie odporności na pionowe rozprzestrzenianie się płomienia wzdłuż pionowo zamontowanych wiązek kabli lub przewodów.
- [6] Norma PN-EN 50268-2:2002 Wspólne metody badania palności przewodów i kabli. Pomiar gęstości dymów wydzielanych przez spalanie przewodów lub kabli w określonych warunkach. Metoda.
- [7] Norma PN-EN 50267-2-2:2001 Wspólne metody badania palności przewodów i kabli. Badanie gazów powstałych podczas spalania materiałów pobranych z przewodów i z kabli. Metody. Określanie kwasowości gazów przez pomiar pH i konduktywności.
- [8] Norma PN-EN 60332-2-2:2010 Badania palności kabli i przewodów elektrycznych oraz światłowodowych. Sprawdzanie odporności pojedynczego cienkiego izolowanego przewodu lub kabla na pionowe rozprzestrzenianie się płomienia. Metoda z użyciem płomienia dyfuzyjnego.
- [9] Norma PN-EN 61034-2:2010 Pomiar gęstości dymów wydzielanych przez palące się przewody lub kable w określonych warunkach. Metoda badań i wymagania.
- [10] Prauzner T.: Systemy monitoringu w inteligentnym budynku, *Prace Naukowe AJD. Seria: Edukacja Techniczna i Informatyczna*, t.VII, s. 113–124, 2012.

Adrian Barasiński<sup>1</sup>, Paweł Czaja<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Centralna Szkoła Państwowej Straży Pożarnej w Częstochowie*

<sup>2</sup>*Politechnika Częstochowska*

## BEHAVIOUR OF ELECTRIC CABLES IN FIRE

### Abstract

Occurring fires in buildings absorb many victims and cause several injuries and poison for residents and users. Especially dangerous for people are fires where there is a lot of users in the same time like: concerts, railway stations, hospitals, air ports etc. In places mentioned earlier there are special requirements in addition to fire protection.

Because the wires and cables are an integral part of all buildings and facilities they are vulnerable to fire, as other devices installed and accessories. Plastics used to manufacture wires and cables in case of fire, emit dense smoke that reduces visibility and makes it difficult to coordinate rescue action and fire fighting. They also emit corrosive gases, dangerous to the health and lives of people.

In the event that a fire will cover wires and cables, important is the knowledge of their behavior under such conditions. Currently is required from cables and wires to create small amounts of smoke and very little heat, do not secrete toxic and corrosive gases and do not spread fire.

In the article there were presented main indicators and the range of research trials conducted on which basis behavior of the cables and wires is judged in case of fire.

**Keywords:** flammability test cables, oxygen index, the spread of flame, fire-resistant insulation.