

# ODDZIAŁYWANIE TEMPERATUR POŻAROWYCH NA INSTALACJE ELEKTRYCZNE W ŚCIANACH GIPSOWO- KARTONOWYCH

*Marek Chmiel<sup>1</sup>, Andrij Dominik<sup>2</sup>, Adrian Barasiński<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Centralna Szkoła Państwowej Straży Pożarnej w Częstochowie,  
ul. Sabinowska 62, 42-200 Częstochowa, e-mail: [chmielm@cspsp.pl](mailto:chmielm@cspsp.pl)

<sup>2</sup>Lwowski Państwowy Uniwersytet Ochrony Życia  
79000, Lwów, MSP, ul. Kleparivska 35 Ukraina, e-mail: [dominik.andrij@ukr.net](mailto:dominik.andrij@ukr.net)

<sup>3</sup>Centralna Szkoła Państwowej Straży Pożarnej w Częstochowie,  
ul. Sabinowska 62, 42-200 Częstochowa, e-mail: [barasinskia@cspsp.pl](mailto:barasinskia@cspsp.pl)

Abstrakt:

Powstające pożary w obiektach budowlanych pochłaniają liczne ofiary i są przyczyną wielu obrażeń mieszkańców oraz użytkowników. Szczególnie groźne dla ludzi są pożary obiektów, w których na niewielkiej przestrzeni przebywa duża liczba osób np. sale koncertowe, widowiskowe, dworce, szpitale, porty lotnicze, itp. W wymienionych obiektach obowiązują szczególne wymagania ochrony przeciwpożarowej. Ponieważ instalacje elektryczne są integralną częścią wszelkich budynków i obiektów, narażone są na działanie ognia, tak jak inne zainstalowane w nich urządzenia i wyposażenie.

Stosowane w budownictwie przegrody wykonane z płyt gipsowo-kartonowych stanowią swoistego rodzaju ochronę instalacji umiejscowionych w ich wnętrzu. W trakcie pożaru wraz z upływem czasu ciepło przenika przez warstwę materiału. Ma to istotny wpływ ponieważ, głównym czynnikiem niszczącym oddziaływującym na izolację przewodów i kabli w warunkach pożaru jest wartość temperatury i jej gradient.

W artykule przedstawiono wpływ oddziaływania temperatury płomienia w warunkach pożarowych na ściany wykonane z płyty gipsowo-kartonowej, a tym samym na instalacje elektryczne znajdujące się w jej wnętrzu.

Słowa kluczowe: materiały konstrukcyjne, ogniotrwałość konstrukcji budowlanych, badania palności kabli, rozprzestrzenianie płomienia.

## **Interaction of fire temperature on electric installations in plaster-cardboard walls.**

Abstract:

Emerging fire in construction objects absorb numerous casualties and they are reason for many injuries of inhabitants and users. Especially dangerous for people are fire in object where in small area stays a lot of people: concert halls, spectacular halls, train stations, hospitals, airports. In mentioned objects are bind particular demands of fire protection.

Electric installations are integral part of buildings and objects and so they are expose to operation of fire like fix-ups and outfit which are install in the building.

Bulkheads used in construction are made of plaster-cardboard and they are protection of installations placed inside. In the course of fire along with passage of time warm penetrates the coat of material. It has important influence because main destroying factor affecting on cable isolation in conditions of fire is the value of temperature and it's gradient.

In this article presents influence of flame temperature in conditions of fire on the plaster-cardboard walls and electrical installations inside them.

Key words: construction materials, building structure immunity on fire, research of cables combustibility, flame diffusing.

## **Wstęp**

Każdy pożar to unikalne zjawisko zależne od różnych czynników, nie możliwe w pełni do przewidzenia [2]. Pożar można opisać za pomocą wspólnych wzorców, które stanowią jego nieodłączny element. Jednym z najważniejszych parametrów opisujących wspomniane zjawisko są tzw. strumienie ciepła czyli gorące gazy wydostające się przez otwory pomieszczeń, budynków.

Z analizy najnowszych badań i publikacji wynika, że nagrzewanie elementów konstrukcyjnych podczas pożaru odbywa się w sposób niejednorodny, ze względu na losowy typ wielu parametrów, które mają wpływ na dynamikę jego rozwoju. W czasie pożaru w budynkach, wydzielają się duże ilości ciepła. Znaczna część z nich jest oddawana do otaczających ją elementów budynku. Wartość uzyskanych efektów termicznych oddziaływujących na otoczenia zależy od temperatury płomienia, jego kształtu i powierzchni, odległości od płomienia, ekspozycji, kąta nachylenia płomieni, absorpcji światła oraz innych czynników.

## **Parametry materiałów konstrukcyjnych**

W początkowej fazie pożaru nagrzewają się powierzchnie konstrukcyjne. Wraz z upływem czasu ciepło przenika przez warstwę materiału. Jest to bardzo istotne ponieważ, głównym czynnikiem niszczącym oddziaływującym na strukturę materiału w warunkach pożaru jest wartość temperatury i jej gradient. Wiadome jest, że za granicę ogniotrwałości budowlanych konstrukcji przyjmuje się czas w którym przestają być spełnione trzy warunki brzegowe:

- utraty nośności;
- utraty szczelności;
- utraty zdolności izolacyjnych [1].

Znaczną uwagę naukowców skupia matematyczny opis dynamiki rozkładu temperatury w kontekście grubości konstrukcji poddanej działaniu ognia [3, 5]. Natomiast niewiele uwagi poświęca się badaniu zjawisk zachodzących w instalacjach np. elektrycznych znajdujących się pod jego warstwą, których użytkowanie we wstępnej fazie pożaru może stanowić zagrożenie. Intensywność nagrzewania konstrukcji oraz wielkość gradientu

temperatury w aspekcie przenikania ciepła zależy od: wartości temperatury, produktów spalania, stopnia wymiany ciepła pomiędzy strukturą powierzchni, a otoczeniem zewnętrznym, właściwości termicznych materiału, czasu nagrzewania oraz innych czynników. Badanie zjawisk zachodzących w instalacjach znajdujących się wewnątrz materiałów konstrukcyjnych lub pod ochroną ognioodporną należy rozważyć w aspekcie utraty zdolności izolacyjnych.

### **Badania i analizy wyników**

Na tej podstawie autorzy artykułu wykonali próby mające na celu przybliżenie zjawisk zachodzących w instalacjach osłoniętych przed działaniem ognia. W tym celu wykonana



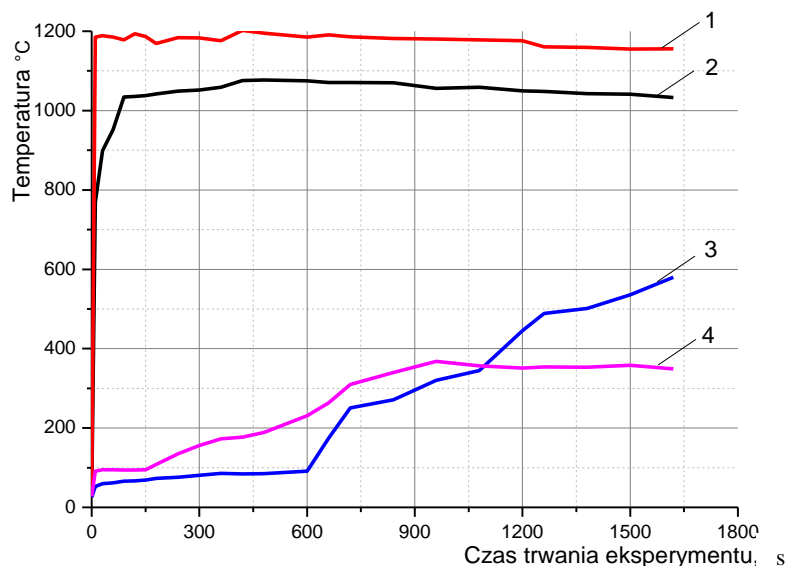
Rys. 1. Proces wykonania eksperymentu

została specjalna komora, w której jako źródło ognia użyto palnik gazowy. Natomiast formą osłony była płyta gipsowo - kartonowa KNAUF ułożona w pozycji poziomej symulującej podwieszany sufit, na której umieszczono (od strony nieogrzewanej) przewód elektryczny. Do wyznaczenia temperatury wykorzystano termopary, które ze względu na metodę pomiarową znajdowały się w bezpośrednim

kontakcie z badanymi elementami. Zastosowano również bezkontaktową metodę pomiarową w postaci kamery termowizyjnej, której zadaniem było dokładne uzyskanie danych temperaturowych na całej zewnętrznej powierzchni obejmujących elementy konstrukcyjne. W trakcie badania palnik został umiejscowiony w odległości 20 cm od powierzchni płyty gipsowo-kartonowej. Zgodnie z normą [1], szczególną uwagę zwrócono na wartości temperatur płomienia oddziałującego na płytę gipsowo-kartonową. Widok ogólny modelu badawczego podczas wykonywania eksperymentu przedstawiono na rysunku 1.

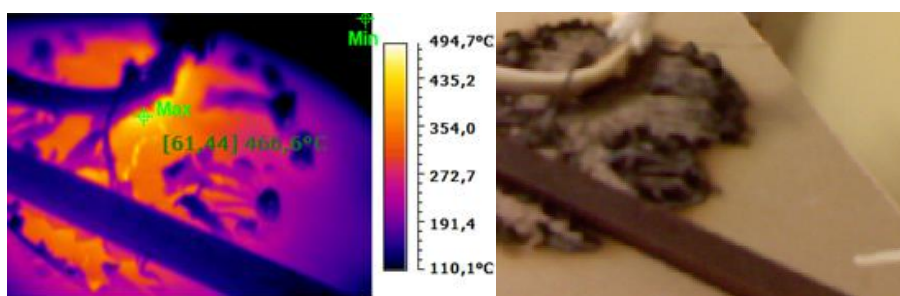
W trakcie próby uzyskiwana temperatura płomienia nie przekracza 1200 °C. Pomiar temperatury wykonywano na powierzchni bezpośrednio poddanej działaniu ognia oraz na

nieogrzewanej stronie. Ponadto, jedna z termopar została umiejscowiona w otworze o głębokości  $\frac{1}{2}$  grubości płyty.



Rys. 2. Charakterystyka wzrostu temperatury w czasie oddziaływania płomienia na elementy konstrukcyjne: 1 – temperatura płomienia, [°C]; 2 - temperatura ściany po stronie ogrzewanej[°C]; 3 – temperatura ściany po stronie nieogrzewanej[°C]; 4 - temperatura w środku konstrukcji, [°C].

Z analizy uzyskanych danych pomiarowych można zauważyć, że po 600 sekundach badania, widoczne były pęknięcia w strukturze gipsu, co przełożyło się na nagły wzrost temperatury po stronie nieogrzewanej w wspomnianych miejscach (pozycja 3 na rys. 2).



Rys. 3. Widok płyty gipsowo-kartonowej po stronie nieogrzewanej.

Konsekwencje negatywnego oddziaływania ognia w czasie pożaru mogą doprowadzić do poważnych wypadków jeszcze przed rozprzestrzenieniem się płomienia na część

budynku nieobjętą pożarem. W badanym przez autorów przypadku, zaobserwować można było zwęgloną powłokę izolacyjną przewodu elektrycznego (rys. 4).



Rys. 4. Skutki przegrzania nieogrzewanej warstwy ścianki

Powstałe z tego powodu zwarcie w instalacjach elektrycznych może doprowadzić do znacznego rozpowszechnienia się pożaru, bądź do zaników energii elektrycznej w instalacjach elektrycznych funkcjonujących w warunkach pożaru.[4, 7]

#### **Matematyczny opis nagrzewania się elementów**

W celu potwierdzenia badań doświadczalnych autorzy wykonali obliczenia matematyczne pola temperatury. Badanie to w warunkach pożaru dla danego projektu można wyznaczyć na podstawie poniższych równań matematycznych. Temperatura na ogrzewanej stronie ściany wynosiła 1100 °C (rys. 2 , pozycja 2), więc można założyć z dużą pewnością, że zmiana temperatury w górnych warstwach (dla wykonanego doświadczenia w okolicach podwieszanego sufitu) odbywały się według prawa przemiany temperatury środowiska, co odnosi się do znormalizowanej krzywej, zamieszczonej w normie [1]:

$$t_{cm} = 1080 \cdot (1 - 0,325 \cdot e^{-0,167 \cdot \tau} - 0,675 \cdot e^{-2,5 \cdot \tau}) + 20^{\circ}\text{C} \quad (1)$$

Spód płyty gipsowo-kartonowej utrzymuje na swojej powierzchni, temperaturę otoczenia, której zmiany przebiegają zgodnie z prawem:

$$t_c(\tau) = t_m - (t_m - t_0) \cdot e^{-k\tau} \quad (2)$$

gdzie:

$t_m$  - eksperymentalna temperatura środowiska  $t_c(\infty) = t_m$ ;  $k$  - stała;  $t_0$  - temperatura początkowa płyty;

Warunki tego problemu można przedstawić za pomocą równania różniczkowego:

$$\frac{\partial t(x, \tau)}{\partial \tau} = \alpha \frac{\partial^2 t(x, \tau)}{\partial x^2} \quad (3)$$

dla warunku początkowego:

$$t(x, 0) = t_0 = \text{const} \quad (4)$$

Warunki brzegowe na dolnej powierzchni próbki można zapisać w postaci:

$$\frac{\partial t(l, \tau)}{\partial x} + \alpha [t_m - (t_m - t_0) \cdot e^{-k\tau} - t(l, \tau)] = 0, \quad (5)$$

gdzie:

$l$  - grubość płytki [m];  $\alpha$  - współczynnik przenikania ciepła pomiędzy próbką a środowiskiem zewnętrznym  $\left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$ ;

Stosując równanie różniczkowe Laplace'a (3) i warunki brzegowe (4) - (5), otrzymano zapis [6]:

$$t(x, \tau) = (T_{max} - t_0) \left[ \begin{array}{c} 1 - \frac{\cos \sqrt{\frac{k}{\alpha}} x}{\cos \sqrt{\frac{k}{\alpha}} l - \frac{1}{H} \sqrt{\frac{k}{\alpha}} \sin \sqrt{\frac{k}{\alpha}} l} \cdot e^{-k\tau} - \\ \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A_n}{1 - \frac{\alpha \cdot \mu_n^2}{k \cdot l^2}} \cdot \cos \mu_n \cdot \exp \left( -\mu_n^2 \frac{\alpha \cdot l^2}{l^2} \right) \end{array} \right] - t_0 \quad (6)$$

gdzie:

$A_n$  - stała amplituda termiczna, której wyrażenia ma postać:

$$A_n = \frac{2 \cdot \sin \mu_n}{\mu_n + \sin \mu_n \cdot \cos \mu_n} = (-1)^{n+1} \frac{2 \cdot Bi \cdot \sqrt{Bi^2 + \mu_n^2}}{\mu_n (Bi^2 + Bi + \mu_n^2)}; \mu_n - \text{numery charakterystyczne}; k - \text{stała}; Bi -$$

kryterium  $Bio, Bi = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda}; x$  - położenie i grubość płyty;

$$H = \frac{Bi}{l}$$

### Wnioski:

Rozpatrując materiały konstrukcyjne poddane niszczącemu działaniu ognia w warunkach pożarowych można wyciągnąć następujące wnioski:

- na etapie projektowania należy uwzględnić grubość zastosowanych warstw osłon gipsowo-kartonowych w aspekcie ochrony instalacji np. elektrycznych znajdujących się w budynku;

- faktem jest, iż podczas montażu instalacji elektrycznych w przegrodach należy stosować osłonę w postaci peszlu niepalnego, jednak osiągnięte temperatury znacząco przekraczały zakres jego temperatury pracy, co tylko nieznacznie opóźniłoby czas rozkładu izolacji;
- zasadne staje się pytanie czy wykonanie osłony konstrukcji budynku z płyt gipsowo-kartonowych jest wystarczające dla zachowania sztywności konstrukcji;
- konieczna staje się analiza zagrożeń pożarowych dla domów jednorodzinnych wykonanych w nowej technologii budownictwa z drewnianych lub prefabrykowanych elementów;
- należy dążyć do szerszego uwzględnienia w zapisach norm sposobów prowadzenia instalacji wykonanych w nowoczesnej technologii budowy ścian i rozwiązań technologicznych.
- biorąc pod uwagę żywotność przewodu, a w szczególności warstwy materiału izolacji, konieczne staje się uwzględnienie w normach nowoczesnych rozwiązań technologicznych w zakresie samej budowy przegród budowlanych;
- zwarcie powstałe w wyniku degradacji izolacji mogą prowadzić do przyspieszonego rozprzestrzeniania się pożaru oraz negatywnie wpłynąć na elementy konstrukcyjne
- w trakcie tworzenia projektu wewnętrznych instalacji elektrycznych w danym obiekcie należy uwzględnić ryzyko wystąpienia pożaru i zagrożenia przebywających wewnątrz ludzi, a poprzez dobór odpowiednich rozwiązań można ograniczyć strefy rozprzestrzeniania się pożaru.

#### **Literatura:**

- [1]. PN-EN 1991-1-2:2006 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje Część 1-2: Oddziaływania ogólne Oddziaływania na konstrukcje w warunkach pożaru;
- [2]. Верзилин М.М., Повзик Я.С. *Пожарная тактика*. – М.: ЗАО «СПЕЦТЕХНИКА НПО», 2007.
- [3]. Baytala V.M., Dominik A.M. Semerak M.M.: *Odporność ogniowa konstrukcji betonowych elektrowni w warunkach pożaru*, Współczesne problemy systemów zasilania obiektów przemysłowych i gospodarstwa domowego: Artykuły naukowe i krajowych konferencji naukowych i technicznych nauczycieli, i studentów. Donieck 18-19 października 2012 roku.



- [4] Czaja P., Barasiński A.: *Zachowanie się przewodów i kabli w pożarach*, Prace naukowe akademii im. Jana Długosza w Częstochowie Tom I, 2013
- [5]. Домінік А.М. *Дослідження вогнестійкості циліндричної колони в умовах пожежі*  
*Science and Education a New Dimension: Natural and Technical Sciences*, I(2), Issue: 15, 2013
- [6]. Лыков А.В. *Теория теплопроводности*. М.: Высшая школа 19675. ЛыковА.В. *Теориятеплопроводности*. М.: Высшаяшкола 1967.
- [7]. Uczciwek T.: *Bezpieczeństwo i higiena pracy oraz ochrona przeciwpożarowa w elektroenergetyce*, COSiW SEP Warszawa 1998