



Instalacje elektryczne w budynkach

Dobór przewodów do zasilania urządzeń elektrycznych, które muszą funkcjonować podczas pożaru

mgr inż. Julian Wiatr

Wojskowe Biuro Studiów Projektów Budowlanych i Lotniskowych
w Warszawie

Wstęp

Bezpieczeństwo pożarowe jest jednym z podstawowych wymagań stawianych współczesnym budynkom. Wiązą się z tym wymagania dotyczące funkcjonowania określonych urządzeń elektrycznych w czasie pożaru. Dlatego wśród instalacji elektrycznych budynku wstępują specjalne obwody zasilające urządzenia, które muszą działać w czasie pożaru. Przewody tych instalacji narażone są na działanie wysokiej temperatury, mimo to muszą zapewnić ciągłość dostaw energii elektrycznej przez czas niezbędny dla funkcjonowania zasilanych urządzeń. Towarzysząca pożarowi temperatura powoduje zmniejszenie przewodności elektrycznej przewodów, co skutkuje pogorszeniem jakości dostarczanej energii elektrycznej objawiającej się nadmiernym spadkiem napięcia oraz pogorszeniem warunków ochrony przeciwporażeniowej.

Przy doborze przewodów zasilających urządzenia elektryczne funkcjonujące w czasie pożaru oprócz właściwej klasy odporności ogniowej należy zadbać o właściwy dobór przekroju. Powszechnie akceptowalne zasady doboru przewodów przeznaczonych do zasilania urządzeń elektrycznych mogą prowadzić do błędnych wyników. Pod działaniem temperatury zmienia się rezystancja przewodów. Wzrost rezystancji przewodów spowodowany wzrostem temperatury może stać się przyczyną błędnego działania urządzeń elektrycznych oraz nieskutecznej ochrony przeciwporażeniowej.

Dobór przewodów do zasilania urządzeń podczas pożaru

Spośród dostępnych środków ochrony przeciwporażeniowej przy uszkodzeniu, w obwodach zasilających urządzenia elektryczne, których funkcjonowanie jest konieczne w czasie pożaru, powszechnie stosowane jest samoczynne wyłączenie w czasie nie dłuższym niż określony w zeszycie 41 normy IEC 60364. Stosowanie wyłączników różnicowoprądowych do zabezpieczenia tych urządzeń nie jest dobrym rozwiązaniem, z uwagi na wymaganą wysoką niezawodność zasilania tych urządzeń. W wyniku działania wysokiej temperatury odnotowuje się wzrost prądów upływowych doziemnych oraz wzrost prądów upływowych pomiędzy poszczególnymi żyłami przewodów. Zjawisko to nasila się wskutek pojawiającej się jonizacji izolacji i może prowadzić do niekontrolowanego działania wyłączników różnicowoprądowych, co w konsekwencji spowoduje pozbawienie funkcji zasilanego urządzenia ppoż.

Wraz z upływem czasu od zainicjowania pożaru, bardzo szybko wzrasta temperatura pomieszczeń objętych pożarem. Pomimo indywidualnego przebiegu pożaru w zależności od miejsca jego wystąpienia, opracowane zostały wykresy „temperatura-czas” modelujące przebiegi niektórych rodzajów pożarów.

Zgodnie z normą EN 1363-2:1999 [22] zdefiniowane zostały następujące krzywe „temperatura-czas” symulujących przebieg pożarów w pomieszczeniach:

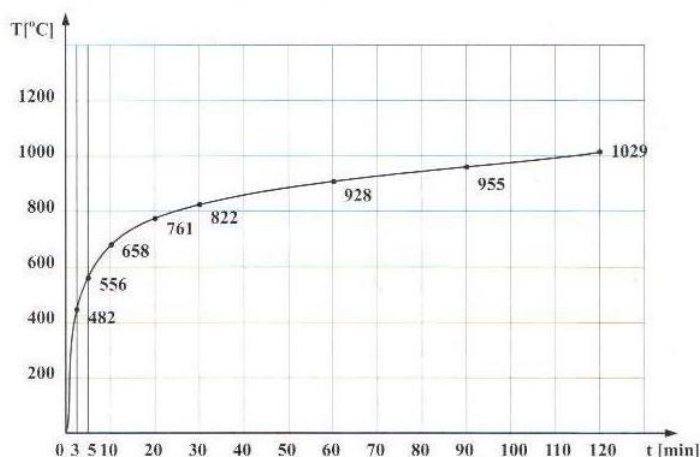
- Krzywa normowa,
- Krzywa węglowodorowa,
- Krzywa zewnętrzna,
- Krzywe parametryczne,
- Krzywe tunelowe.

Najbardziej znana jest krzywa normowa „temperatura – czas” obrazująca pożary celulozowe, która jest powszechnie stosowana w badaniach ogniowych budynków. Krzywą tą opisuje następujące równanie [14]:

$$T = 345 \lg(8t + 1) + 20 \quad (1)$$

gdzie: T – temperatura w °C, t – czas, w [min]

Przykład krzywej normowej odzwierciedlającej rozwój temperatury w pożarach celulozowych, to jest w pożarach, w których paliwem jest głównie drewno i materiały drewnopodobne w odniesieniu do temperatury pokojowej wynoszącej 20°C, został przedstawiony na rysunku 1.



Rys. 1: Krzywa normowa „temperatura – czas” obrazująca pożary celulozowe [1]

Podczas pożaru w budynku temperatura po około 30 minutach od chwili jego zainicjowania osiąga średnio wartość około 850°C i wykazuje nieznaczne tendencje wzrostowe wraz z upływem czasu trwania pożaru:

- Po 30 min temperatura osiąga ok. 842°C;
- Po 60 min temperatura osiąga ok. 945°C;

- Po 90 min temperatura osiąga ok. 980°C.

Przebieg pożaru w budynku zależy od wielu czynników, do których należy zaliczyć przede wszystkim gęstość obciążenia ogniowego¹, która jest uzależniona od rodzaju i masy zgromadzonych w budynku materiałów palnych oraz konstrukcji budynku, typu i przeznaczenia budynku, a także od wpływu czynników zewnętrznych. Pod działaniem tak wysokiej temperatury powszechnie stosowane przewody instalacji elektrycznej ulegają zniszczeniu, przez co do zasilania urządzeń przeciwpożarowych należy stosować kable i przewody przeznaczone do pracy w wysokiej temperaturze.

Do podtrzymania podstawowych funkcji instalacji elektrycznej w przypadku pożaru są stosowane specjalne kable odporne na działanie wysokiej temperatury. W zależności od wymaganego minimalnego czasu sprawnego działania kabli - odpowiednio 30, 60, 90 min. - mogą one mieć różne klasy podtrzymania funkcji E30, E60 i E90 (DIN VDE 4102 cz. 12) [3] lub klasy odporności ogniowej PH15, PH30, PH60, PH90 (EN 50200) [4].

Do obiektów o podwyższonych wymaganiach przeciwpożarowych, takich jak: budynki handlowe, hotele, kina, teatry, szpitale, muzea, centra przetwarzania danych, centrale telefoniczne, banki, dworce lotnicze, zaliczyć można jeszcze m.in. elektrownie, kopalnie, stocznie i tunele.

Wymagana odporność ogniowa przewodów uzależniona jest od czasu funkcjonowania urządzeń podczas pożaru. Przewody zasilające urządzenia ppoż. należy instalować powyżej urządzeń tryskaczowych z uwagi na to, że pod działaniem wody w krótkim czasie (około 30 minut) tracą one właściwości izolacyjne [17]. Pod wpływem wysokiej temperatury rośnie rezystancja przewodu, która jest uzależniona od temperatury, w jakiej znajduje się przewód. W temperaturze nie wyższej od + 2000 °C, zmiany rezystancji przewodów można opisać liniową zależnością [12].

$$R = R_{20}(1 + \alpha_{20}\Delta T) \quad (2)$$

Gdzie:

R_{20} - rezystancja przewodu w temperaturze 20°C, w [Ω]

α_{20} - pierwszy współczynnik temperaturowy rezystancji w temperaturze 20°C, w [1/K]

$\Delta T = T_k - 20$ - różnica temperatur, w [°C]

T_k - temperatura końcowa, w [°C]

W temperaturach wyższych niż + 2000°C, zależność opisująca rezystancje przewodu w określonej temperaturze staje się nieliniowa i wyraża następującym wzorem [13;21]:

$$R = R_{20}(1 + \alpha_{20}\Delta T + \beta_{20}\Delta T^2) \quad (3)$$

Gdzie:

$$\beta_{20} = \frac{1}{2R_{20}} \frac{d^2 R_{20}}{dt^2} - \text{drugi współczynnik temperaturowy rezystancji w temperaturze } 20^\circ\text{C [21], w [1/K}^2\text{]}$$

Dobierane przewody do zasilania urządzeń ppoż. muszą również spełniać wymagania minimalnej wytrzymałości mechanicznej, długotrwałej obciążalności prądowej i przeciążalności, odporności na nagrzewanie przez prądy zwarciove, spadku napięcia oraz samoczynnego wyłączenia zasilania podczas zwarć zgodnie z powszechnie akceptowalnymi zasadami opisanymi w normach przedmiotowych oraz dostępnej literaturze technicznej.

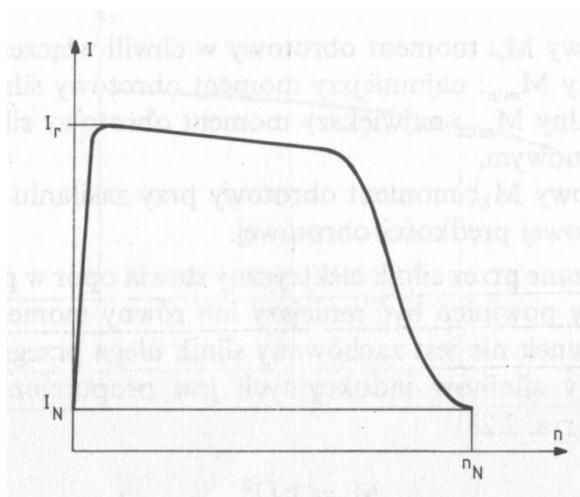
Przy doborze przewodów zasilających urządzenia ppoż. należy uwzględnić wzrost ich rezystancji spowodowany wzrostem temperatury pożarowej, który znacząco wpływa na wymagany przekrój przewodu wyznaczany z warunku spadku napięcia oraz warunku samoczynnego wyłączenia zasilania podczas zwarć doziemnych. Zatem na etapie projektowania instalacji elektrycznej w budynku gdzie będą instalowane urządzenia ppoż., które muszą funkcjonować w czasie pożaru (obwody zasilania: pomp pożarowych, DSO, wind przeznaczonych dla ekip ratowniczych, opraw oświetlenia awaryjnego nieposiadających modułów awaryjnych) przewody zasilające oraz przewody połączeń wyrównawczych, obejmujące te urządzenia należy dobrać zgodnie z

¹ Obciążenie ogniowe (Q) jest to określona w megadżulach (MJ) średnia wartość cieplna wszystkich materiałów palnych zgromadzonych na 1 metrze kwadratowym budynku lub wydzielonych w nim poszczególnych stref pożarowych.

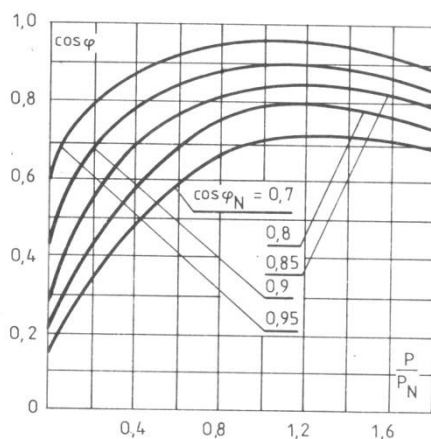
zasadami określonymi w normie IEC 60364 przy uwzględnieniu wzrostu rezystancji spowodowanej działaniem wysokiej temperatury.

Największe problemy pojawiają się w obwodach zasilających pompy pożarowe napędzane silnikami elektrycznymi lub inne urządzenia ppoż. charakteryzujące się dużymi prądami rozruchowymi. Silniki elektryczne podczas rozruchu pobierają znacznie większy prąd niż wartość prądu znamionowego. Do napędu pomp pożarowych stosuje się silniki indukcyjne klatkowe z uwagi na ich prostą konstrukcję oraz wysoką niezawodność. Zwykle silniki klatkowe charakteryzują się dużymi prądami rozruchowymi, wynoszącymi $(5-7,5)I_N$, co powoduje, że w normalnych warunkach eksploatacji dla silników klatkowych o mocach większych niż 5,5 kW stosuje się układy rozruchowe.

Silnik indukcyjny klatkowy charakteryzuje się dużymi prądami rozruchowymi oraz zmiennym współczynnikiem mocy, którego wartość zależy od obciążenia. Charakterystykę prądu rozruchowego silnika indukcyjnego klatkowego przedstawia rysunek 2, natomiast zależność zmian współczynnika mocy od obciążenia silnika przedstawia rysunek 3. Podczas rozruchu nieobciążonego silnika pojawia się mała wartość jego współczynnika mocy oraz znaczny prąd rozruchowy, przez co spadek napięcia w obwodzie zasilającym silnik podczas rozruchu jest znacznie większa niż w warunkach normalnej pracy. Spadek ten będzie tym większy im większa będzie moc zasilanego silnika. Zatem należy sprawdzić dobrane przewody w obwodach zasilających silniki pod kątem czy nie zostanie przekroczona dopuszczalna wartość spadku napięcia. Nadmierny spadek napięcia na zaciskach silnika może spowodować jego utknięcie.



Rys.2: Charakterystyka prądu rozruchowego silnika klatkowego indukcyjnego [9]



Rys.3: Zależność $\cos(\varphi) = f\left(\frac{P}{P_N}\right)$, silnika indukcyjnego klatkowego [9]

Moment obrotowy silnika jest proporcjonalny do kwadratu napięcia zasilającego zgodnie z następującą zależnością [4]:

$$M = c * U_N^2 \quad (4)$$

gdzie:

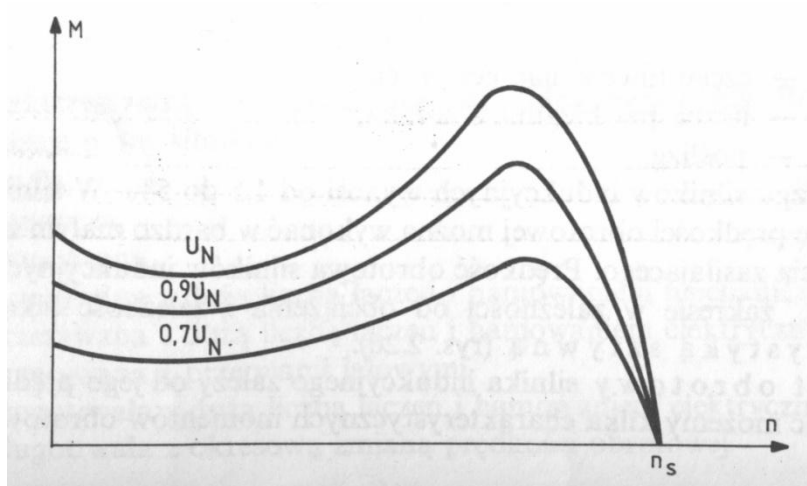
c – stała silnika

M- moment obrotowy silnika

U_N – napięcie zasilające

Zgodnie ze wzorem (4) zmniejszenie napięcia zasilającego zaledwie o 10% powoduje zmniejszenie momentu o 19% [$M = c(0,9 * U_N^2) = c(0,81 * U_N^2)$].

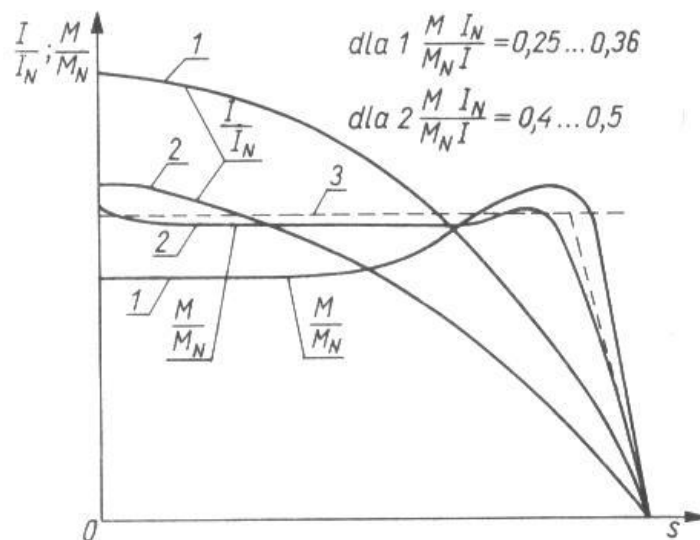
Charakterystyki momentu obrotowego indukcyjnego silnika klatkowego dla różnych wartości napięcia zasilającego przedstawia rysunek 4.



Rys.4: Charakterystyki momentu obrotowego silnika indukcyjnego klatkowego dla różnych wartości napięcia zasilającego [9]

Znacznie mniejsze prądy rozruchowe posiadają silniki indukcyjne gębokożłobkowe lub silniki indukcyjne, dwuklatkowe, które są przystosowane do rozruchu bezpośredniego. Silniki te charakteryzuje również większy moment rozruchowy w stosunku do silników indukcyjnych klatkowych w wykonaniu tradycyjnym.

Przykładowe przebiegi prądu i momentu rozruchowego silnika gębokożłobkowego oraz silnika dwuklatkowego w funkcji poślizgu przedstawia rysunek 5.



Rys 5: Porównanie przebiegu prądu i momentu rozruchowego silnika głębokożłobkowego (1) oraz dwuklatkowego (2) w funkcji poślizgu 3 – uproszczony przebieg stosowany do obliczeń czasu rozruchu [11]

W obwodzie zasilającym silnik spadek napięcia w podczas rozruchu w zależności od rodzaju rozruchu nie może przekroczyć wartości określonych w tabeli 1.

Tab.1. Dopuszczalne spadki napięcia dla rozruchów silników [10]

Rodzaj rozruchu silnika	Dopuszczalny spadek napięcia ΔU [%]
Rozruch lekki	35
Rozruch ciężki i częsty	15
Rozruch ciężki i rzadki	10

Wartość spadku napięcia w obwodzie zasilającym silnik indukcyjny klatkowy podczas rozruchu należy obliczyć z poniższego wzoru [10]:

$$\Delta U_{\%} = \frac{100 * \sqrt{3}}{U_n} * (R * \cos \varphi_r + X * \sin \varphi_r) * I_r \quad (5)$$

gdzie:

R – rezystancja obwodu zasilającego silnik, w [Ω]

X – reaktancja obwodu zasilającego silnik, w [Ω]

U_n – napięcie znamionowe, w [V]

Dla silników klatkowych współczynnik mocy silnika podczas rozruchu można obliczyć z poniższego wzoru [9]:

$$\cos \varphi_r = \cos \varphi_n \frac{\eta_n}{1 - s_n} \left(\frac{M_r}{k_r} + 0,025 * k_r \right) \quad (6)$$

gdzie:

$\cos \varphi_n$ – znamionowy współczynnik mocy silnika, w [-] (w przeciętnych warunkach wynosi on 0,1 – 0,4)

s_n – poślizg znamionowy silnika, w [-]

M_r/M_N – stosunek momentu rozruchowego silnika do momentu znamionowego silnika, w [-].

Wymagany przekrój przewodów zasilających silnik można wyznaczyć z poniższego wzoru:

$$S \geq \frac{k_p * l}{\gamma * \left(\frac{\Delta U_{r\%} * U_n}{100 * \sqrt{3} * I_r * \cos \varphi_r} - X * \operatorname{tg} \varphi_r \right)} \quad (7)$$

gdzie:

$\Delta U_{r\%}$ - dopuszczalny spadek napięcia przy rozruchu silnika, w [%] – zgodnie z tabelą 1 należy przyjmować wartość 10%.

l - długość linii zasilającej, w [m]

U_n – napięcie znamionowe silnika, w [V]

$$\operatorname{tg} \varphi_r = \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \varphi_r} - 1} \quad (8)$$

$\cos \varphi_r$ - współczynnik mocy silnika podczas rozruchu, w [-]

$X = x' * l$ – reaktancja przewodu (linii) zasilającej, w [Ω]

x' - jednostkowa reaktancja przewodów, przyjmowana:

a) dla linii kablowych [16]:

- $U < 1$ kV: $x' = 0,08$ [Ω /km]
- $U \geq 1$ kV: $x' = 0,1$ [Ω /km]

b) dla instalacji nn [20]:

- układanych w rurze stalowej: 0,15 [Ω /km]
- układanych bez rury: 0,15 [Ω /km]

I_r - prąd rozruchowy silnika, w [A]

k_p - współczynnik poprawkowy uwzględniający wzrost rezystancji przewodu spowodowany działaniem temperatury, zgodnie z tabelą 2, w [-]

γ - konduktywność przewodu zasilającego, w [$\text{m}/(\Omega * \text{mm}^2)$]

Uwaga!

Ze względu na znacznie mniejszy współczynnik mocy przy załączeniu wynoszący (0,1 - 0,4) w stosunku do znamionowego współczynnika mocy silnika, nie należy pomijać reaktancji przewodów nawet jeżeli ich przekrój jest mniejszy od 50 mm² lub 70 mm² Al. [15].

Podobne zależności obowiązują dla innych urządzeń o dużym prądzie rozruchowym. W przypadku odbiorników jednofazowych wzór na wymagany przekrój przewodu można wyrazić następującą zależnością:

$$S \geq \frac{k_p * l}{\gamma * \left(\frac{\Delta U_{r\%} * U_n}{200 * I_r * \cos \varphi_r} - X * \operatorname{tg} \varphi_r \right)} \quad (9)$$

W przypadku, gdy reaktancja przewodów jest pomijalnie mała, co ma miejsce dla przewodów o przekroju $S_{Cu} \leq 50$ mm² lub $S_{Cu} \leq 70$ mm² [15], wzory na wymagany przekrój przewodów ze względu na spadek napięcia upraszczają się do postaci odpowiednio:

- dla obwodu jednofazowego

$$S \geq 200 * \frac{k_p * I * l * \cos \varphi}{\gamma * \Delta U_{\%} * U_{nf}} \quad (10)$$

gdzie:

U_{nf} - fazowe napięcie nominalne, w [V]

- dla obwodu trójfazowego

$$S \geq 100 * \sqrt{3} * \frac{k_p * I * l * \cos \varphi}{\gamma * \Delta U_{\%} * U_n} \quad (11)$$

Ponieważ w budynku często wydziela się strefy pożarowe w celu ograniczenia możliwości rozwoju pożaru, rzadko zdarza się, że cały przewód zasilający urządzenia ppoż. znajduje się pod działaniem temperatury pożarowej. W strefie nieobjętej pożarem kabel (przewód) znajduje się pod działaniem temperatury otoczenia lub w skrajnym przypadku temperatury dopuszczalnej długotrwale spowodowanej przepływem prądu o wartości dopuszczalnej długotrwale. Zadaniem projektanta jest wytypowanie pomieszczeń, które mogą zostać objęte pożarem (tzw. strefy gorące) i obliczyć względną wartość długości kabla (przewodu), który z największym prawdopodobieństwem znajdzie się w strefie gorącej.

Dla wymaganego czasu funkcjonowania kabla (przewodu) można dla określonego obwodu obliczyć spodziewany wzrost jego rezystancji. Tak określana rezystancja kabla (przewodu) jest sumą arytmetyczną rezystancji odcinka zakwalifikowanego do strefy, która może znaleźć się w strefie gorącej oraz rezystancji odcinka przewodu zakwalifikowanego do strefy nieobjętej pożarem (tzw. strefa zimna). Rezystancja ta będzie zawsze większa od rezystancji odniesionej do normalnych warunków pracy rozpatrywanego odcinka kabla (przewodu). W tabeli 2 zostały przedstawione przykładowe współczynniki wzrostu rezystancji żył kabla ułożonego częściowo w strefie gorącej i częściowo w strefie zimnej w warunkach pożaru.

Tabela 2: Współczynniki wzrostu rezystancji żył przewodów w warunkach pożaru [8]

Względny udział strefy gorącej w długości trasy kabla (przewodu) [%]	Współczynnik wzrostu rezystancji żył kabla			
	Dla warunków klasy E 30		Dla warunków klasy E 90	
	od 30 ⁰ C	od 90 ⁰ C	od 30 ⁰ C	od 90 ⁰ 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

Oprócz wymaganej odporności ogniowej kabla (przewodu) konieczne jest zapewnienie odpowiedniej odporności ogniowej elementów mocujących kable lub przewody. Zgodnie z niemiecką normą DIN 41021-12: „Zachowanie się materiałów i elementów budowlanych pod działaniem ognia, Podtrzymanie funkcji urządzeń w czasie pożaru [3]”, wymagania i badania klasy podtrzymania funkcji zostały określone w tabeli 3.

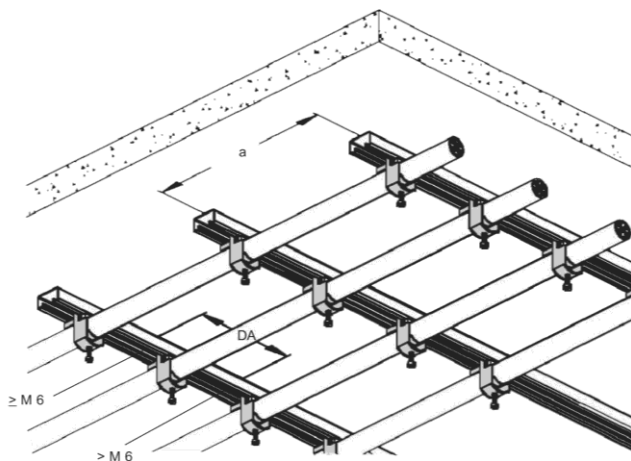
Norma ta określa sposób badania i wymagania dla systemów podtrzymywania funkcji w przypadku pożaru, a więc dla kabli, zamocowań, wraz z przynależnymi kanałami, powłokami i okładzinami oraz elementami łączeniowymi. Podczas badania określa się czas funkcjonowania systemu podczas pożaru testowego, kiedy w instalacji nie występuje zwarcie i nie występuje żadna przerwa w przepływie prądu w badanych instalacjach. Zgodnie z cytowaną normą uważa się, że funkcja kabla² została podtrzymana, jeżeli w liniach kablowych w czasie próby ogniowej nie nastąpiło zwarcie oraz przerwa przepływu prądu w sprawdzanych elektrycznych liniach kablowych.

Tabela 3: Klasa E podtrzymania funkcji – na podstawie DIN 4102-12 [3]

L.p.	Klasa podtrzymania funkcji	Minimalny czas podtrzymania funkcji w min.
1.	E 30	≥ 30
2.	E 60	≥60
3.	E 90	≥90

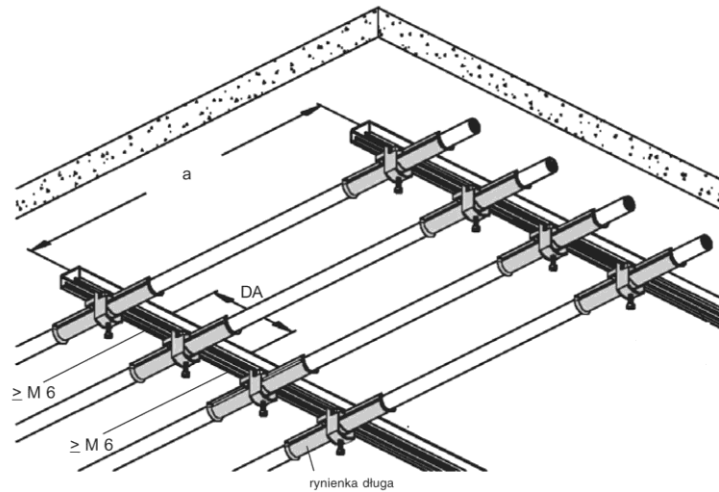
Zawarte w tej normie standardowe konfiguracje systemów mocowań kabli określają następujące rozwiązania:

- trasy kablowe z systemem mocowań konstrukcji nośnej, co 1200 mm prowadzone w drabinkach o szerokości 400 mm, maksymalny ciężar zastępczy 20 kg/m
- trasy kablowe z systemem mocowań konstrukcji nośnej, co 1200 mm prowadzone w korytkach kablowych o szerokości 300 mm i maksymalny ciężar zastępczy 10 kg/m.
- pojedyncze kable mocowane na suficie za pomocą szyn i obejm kablowych z rynienkami zamocowanymi, co 600 mm rysunek 6 i 7.
- pojedyncze kable mocowane na suficie za pomocą pojedynczych obejm zamocowanych co 300 mm rysunek 8.

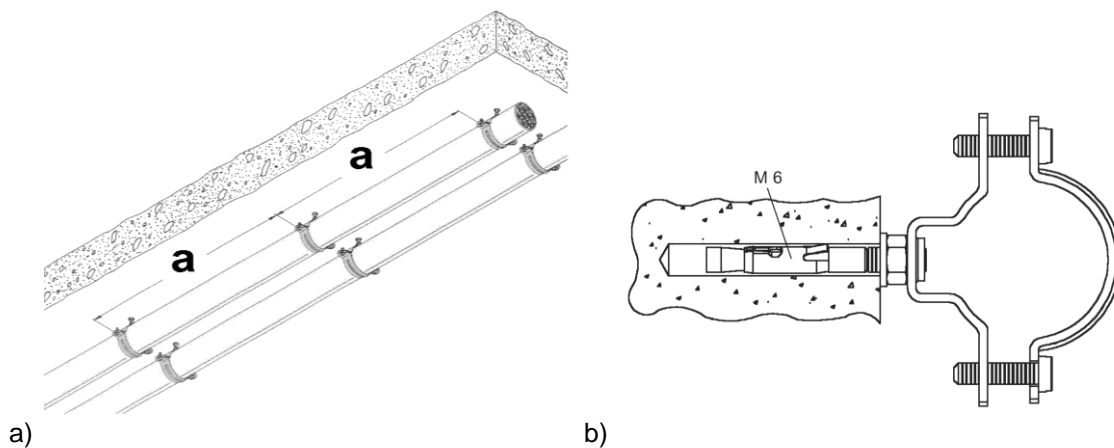


Rys.6: Mocowanie pojedynczych kabli obejmą kablową lekką [3]

² jako linię kablową – w rozumieniu DIN 4102-12 [3] - uważa się kable energetyczne, izolowane przewody energetyczne, kable i przewody instalacyjne urządzeń telekomunikacyjnych i przetwarzania informacji i rozdzielnice łącznie z przynależnymi kanałami, powłokami i okładzinami oraz elementami łączącymi, sprzętem nośnym i obejmami



Rys.7. Mocowanie pojedynczych kabli obejmą kablową z rylnienką długą [3]



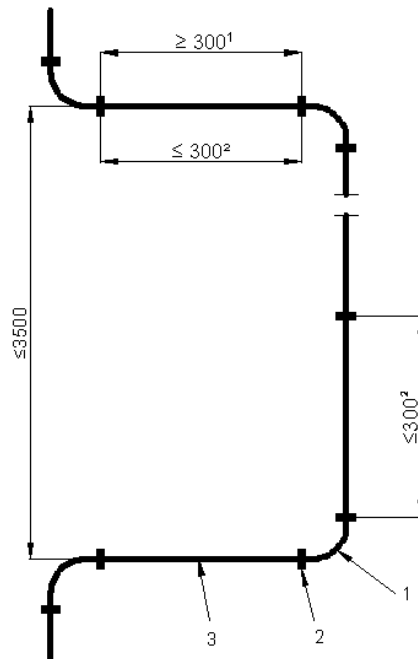
Rys.8: Obejma pojedyncza kabla [3]

a) sposób montażu

b) sposób mocowania

Kable i osprzęt poddany badaniom powinien prawidłowo funkcjonować w przedziałach czasu 30, 60 i 90 min., co odpowiada kryterium zachowania funkcji zespołu kablowego (kabel + osprzęt) E30; E60 i E90 [3] lub PH15; PH30; PH60; PH90 – wg EN 50200 [4].

Przykład trasy kablowej złożonej z drabin kablowych przedstawia rysunek 9.



Rys.9: Trasa kablowa złożona z drabin – przykład mocowania kabla [1]

1. Dopuszczalny promień gięcia

2. Obejma

3. Kabel

¹⁾ pozioma długość kabla $\geq 300\text{mm}$

²⁾ odległość pomiędzy obejmami $\leq 300\text{mm}$

Ponieważ wg normy [3] badaniu poddawane jest tylko poziome ułożenie tras kablowych, więc otrzymane wyniki badań przy ułożeniu obowiązują również na liniach prowadzonych ukośnie i pionowo, w takim przypadku należy jednak w miejscach przejściowych zabezpieczyć przed załamywaniem się i osuwaniem za pomocą specjalnych obejm. Ważne jest, aby po wykonaniu systemu mocowań instalator montujący trasy kablowe odpowiednio je oznakował specjalną tabliczką zamontowaną na linii kablowej, która powinna zawierać: nazwę firmy instalującej trasę, oznaczenie zgodne ze świadectwem sprawdzenia, klasę podtrzymywania funkcji i rok wykonania.

Przykład 1:

Dobrać przewód do zasilania pompy pożarowej o następujących parametrach silnika:

$$\eta = 0,9; P_N = 10\text{ kW}; \cos \varphi_n = 0,85; k_r = 4; \cos \varphi_r = 0,3$$

Trasa linii zasilającej o ogólnej długości $l = 100\text{ m}$ przebiega przez dwie strefy pożarowe o długościach odpowiednio:

- strefa 1: $l = 30\text{ m}$
- strefa 2: $l = 70\text{ m}$

W przykładzie założono, wzniesienie pożaru w jednej strefie pożarowej. Do obliczeń ze względu na bardziej niekorzystne warunki została przyjęta strefa 2.

Impedancja obwodu zwarciovego na początku obwodu zasilającego silnik pompy wynosi $Z_{k1Q} = 0,25\ \Omega$ (wartość uzyskana w wyniku pomiaru).

Prąd znamionowy silnika oraz dobór jego zabezpieczenia (pominięto dobór zabezpieczenia przeciążeniowego):

$$I_B = \frac{P_N}{\sqrt{3} * U_n * \cos \varphi_N * \eta} = \frac{10000}{\sqrt{3} * 400 * 0,85 * 0,9} \approx 18,87 A$$

Do zabezpieczenia silnika zostanie przyjęty wyłącznik nadprądowy S303C20:

$$I_r = k_r * I_B = 4 * 18,87 = 75,48 A < I_4 = 5 * 20 = 100 A$$

gdzie:

P_N - moc znamionowa silnika, w [W]

η - sprawność silnika, w [-]

$$k_r = \frac{I_r}{I_B} - \text{współczynnik rozruchu silnika, w [-]}$$

I_r - prąd rozruchowy silnika, w [A]

I_4 - prąd dolnej granicy zadziałania wyzwalacza przeciążeniowego elektromagnetycznego wyłącznika instalacyjnego nadprądowego zgodnie z jego charakterystyką prądowo-czasową, [A]

$\cos \varphi_n$ - znamionowy współczynnik mocy silnika, w [-]

$\cos \varphi_r$ - współczynnik mocy silnika podczas rozruchu, w [-]

Wyłącznik ten umożliwi rozruch silnika bez zbędnych zadziałań.

Wymagany przekrój przewodu ze względu na długotrwałą obciążalność prądową i przeciążalność:

$$I_B = 18,87 A \leq I_n = 20 A \leq I_Z$$

$$I_Z \geq \frac{k_2 * I_n}{1,45} = \frac{1,45 * 20}{1,45} = 20 A$$

Na podstawie normy IEC 60364-5-523, warunki spełni przewód HXH-J 4 x 2,5 o dopuszczalnej długotrwałej obciążalności prądowej $I_Z = 24 A > 20 A$.

Wyznaczenie współczynnika określającego względny udział strefy gorącej w długości trasy kabla (przewodu):

$$k_p = \frac{l_2}{l} * 100\% = \frac{70}{100} * 100\% = 70\%$$

gdzie:

k_p - względny udział strefy gorącej w długości trasy kabla (przewodu), w [-] – tabela 2

I_z - wymagana dopuszczalna długotrwałą obciążalność prądowa, w [A]

k_2 - najmniejszy prąd niezawodnie wywołujący zadziałanie zabezpieczenia (dla wyłączników instalacyjnych nadprądowych należy przyjmować wartość 1,45, bez względu na charakterystykę), w [-]

I_n - prąd znamionowy zabezpieczenia chroniącego przewód, w [A]

l_1 - długość trasy kablowej w strefie 2, w [m]

l - całkowita długość trasy kablowej, w [m]

Ponieważ przewód dostarcza energię elektryczną tylko podczas pożaru, na podstawie tabeli 2 dla warunków klasy E90 od 300°C, należy przyjąć współczynnik $k_p = 3,6$.

Wymagany przekrój przewodów zasilających silnik pompy ze względu na warunek spadku napięcia podczas rozruchu silnika pompy:

$$S \geq \frac{k_p * l}{\gamma * \left(\frac{\Delta U_{r\%} * U_n}{100 * \sqrt{3} * I_r * \cos \varphi_r} - x' * l * \operatorname{tg} \varphi_r \right)} =$$

$$= \frac{3,6 * 100}{55 * \left(\frac{10 * 400}{100 * \sqrt{3} * 75,48 * 0,3} - 0,1 * 0,1 * 3,18 \right)} = 6,47 \text{ mm}^2$$

Uwaga:

$\Delta U_{r\%}$ - dopuszczalny spadek napięcia przy rozruchu silnika (rozruch rzadki ciężki).

Oraz w warunkach pracy ustalonej:

$$S \geq 100 * \sqrt{3} * \frac{k_p * I * l * \cos \varphi}{\gamma * \Delta U_{\%} * U_n} = 100 * \sqrt{3} * \frac{3,6 * 18,87 * 100 * 0,85}{55 * 4 * 400} = 11,36 \text{ mm}^2$$

Uwaga:

$\Delta U_{\%} = 4\%$ - dopuszczalny spadek napięcia zgodnie z wymaganiami normy IEC 60364-5-54.

Zatem warunek spełni przewód HXH-J 4 x16 o odporności ogniowej E90.

Sprawdzenie dobranego przewodu z warunku samoczynnego wyłączenia:

$$Z_{ls} \approx R_{ls} = R_{l1} + R_{l2} = \frac{2 * l_1}{\gamma * S} + \frac{k_p * 2 * l_2}{\gamma * S} = \frac{2 * 30}{55 * 16} + \frac{3,6 * 2 * 70}{55 * 16} \approx 0,641 \Omega$$

$$Z_{k1c} = Z_{k1Q} + Z_{ls} = 0,25 + 0,641 = 0,891 \Omega$$

$$I_{k1} = \frac{0,8 * U_0}{Z_{k1c}} = \frac{0,8 * 230}{0,891} = 206,41 \text{ A} > I_a = 200 \text{ A}$$

gdzie:

U_0 - napięcie pomiędzy przewodem fazowym a uziemionym przewodem ochronnym PE, w [V]

γ - konduktywność przewodu, w $[m / (\Omega * mm^2)]$

R_{l1} - rezystancja przewodu zasilającego silnik pompy na długości ułożonej w 1 strefie pożarowej, [Ω]

R_{l2} - rezystancja przewodu zasilającego silnik pompy na długości ułożonej w 2 strefie pożarowej, [Ω]

Dobry przewód HXH-J 4 x 16 o odporności ogniowej E90 spełnia wymagania w zakresie spadku napięcia podczas rozruchu silnika oraz w warunkach pracy ustalonej. Spełnia również wymagania w zakresie samoczynnego wyłączenia zasilania podczas zwarć, przez co przekrój przewodu zasilającego silnik pompy pożarowej musi ulec zwiększeniu.

Należy zatem uznać, że wszelkie wymagania w warunkach pożaru przy założeniu, że pożarem zostanie objęta strefa 2 spełni kabel HXH-J 4 x 16 o odporności ogniowej E90.

Uwaga:

W normalnych warunkach pracy (nie pożarowych) warunki spełniłby przewód H07VH6-U 4G6 co wynika z następującego rozumowania:

w czasie rozruchu silnika:

$$S \geq 100 * \sqrt{3} * \frac{I * l * \cos \varphi}{\gamma * \Delta U_{\%} * U_n} = 100 * \sqrt{3} * \frac{18,87 * 100 * 0,85}{55 * 4 * 400} = 3,15 \text{ mm}^2$$

w stanie ustalonej pracy silnika:

$$S \geq \frac{k_p * l}{\gamma * \left(\frac{\Delta U_{r\%} * U_n}{100 * \sqrt{3} * I_r * \cos \varphi_r} - x' * l * \operatorname{tg} \varphi_r \right)} =$$
$$= \frac{100}{55 * \left(\frac{10 * 400}{100 * \sqrt{3} * 75,48 * 0,3} - 0,1 * 0,1 * 3,18 \right)} = 5,54 \text{ mm}^2$$

Sprawdzenie warunku samoczynnego wyłączenia zasilania podczas zwarc:

$$Z_{ls} \approx R_{ls} = R_{l1} + R_{l2} = \frac{2 * l_1}{\gamma * S} + \frac{2 * l_2}{\gamma * S} = \frac{2 * 30}{55 * 6} + \frac{2 * 70}{55 * 6} \approx 0,607 \Omega$$

$$Z_{k1c} = Z_{k1Q} + Z_{ls} = 0,25 + 0,607 = 0,891 \Omega$$

$$I_{k1} = \frac{0,8 * U_0}{Z_{k1c}} = \frac{0,8 * 230}{0,891} = 303,13 \text{ A} > I_a = 200 \text{ A}$$

Przedstawiony przykład rachunkowy wyjaśnia istotę zjawiska i obrazuje wpływ temperatury powstającej podczas pożaru, na jakość dostarczanej energii elektrycznej do zasilania urządzeń pożarowych oraz bezpieczeństwo strażaków biorących udział w akcji gaśniczej.

Nieuwzględnienie wzrostu rezystancji powodowanego wysoką temperaturą może spowodować brak skutecznej ochrony przeciwporażeniowej urządzeń ppoż. w czasie akcji gaśniczej, trudności w ich uruchomieniu a ostateczności nawet ich uszkodzenie wskutek zniszczenia izolacji silnika spowodowanej jego utknięciem pod wpływem zbyt dużego spadku napięcia podczas rozruchu, co w konsekwencji spowoduje utratę funkcji urządzenia, które musi poprawnie funkcjonować w czasie pożaru.

W przypadku DSO, wzrost rezystancji przewodu dobranego bez uwzględniania zmian rezystancji pod wpływem temperatury spowoduje silne zniekształcenia przekazywanych komunikatów, które nie będą zrozumiałe. Oprawy oświetlenia awaryjnego zasilane z centralnego źródła mogą świecić zbyt słabo lub w skrajnym przypadku zostać pozbawione swojej funkcji.

Literatura

- [1] E. Skiepmo – Instalacje elektryczne funkcjonujące w czasie pożaru – materiały 40 Jubileuszowej konferencji KRGEb, Warszawa 17 maj 2007 r.
- [2] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 21.04.2006 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów. (Dz. U. Nr 80/2006 poz. 563).
- [3] DIN 4102-12 „Zachowanie się materiałów i elementów budowlanych pod wpływem ognia. Podtrzymywanie funkcji urządzeń w czasie pożaru. Wymagania i badania”
- [4] EN 50200 Method of test for resistance to fire of unprotected small cables for use in emergency circuits.
- [5] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12-04-2002r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie Dz.U. 75 poz. 690 z późniejszymi zmianami.
- [6] IEC 60364 Electrical installations of buildings
- [7] Praca zbiorowa pod red. dr inż. Jana Strzałki, Instalacje elektryczne i teletechniczne – poradnik monterów i inżynierów elektryków, Verlag Dashofer, Warszawa 2001.
- [8] Informator techniczny TECHNOKABEL 2007
- [9] S. Niestępski, J. Pasternakiewicz, T. Wiśniewski, M. Parol – Projektowanie sieci elektroenergetycznych. Instalacje elektryczne – OWPW 2002
- [10] Poradnik inżyniera elektryka t. 3 – WNT 1997
- [11] S. Januszewski, A. Pytlak, M. Rosnowska-Nowaczyk, H. Świątek – Napęd elektryczny WsiP 1994
- [12] Z. Celiński – Materiałoznawstwo elektrotechniczne –OWPW 1998
- [13] H. Linder – Zbiór zadań z elektrotechniki cz.1. Prąd stały – obwody, COSiW SEP 2004
- [14] M. Abramowicz, R. G. Adamski – Bezpieczeństwo pożarowe budynków – cz. 1, SGSP Warszawa 2002
- [15] IEC 60364-5-54 Electrical installations of buildings - Selection and erection of electrical equipment - Section 548: Earthing arrangements and equipotential bonding for information technology installations.
- [16] J. Wiatr, M. Orzechowski – Poradnik projektanta elektryka. Podstawy zasilania budynków mieszkalnych, użyteczności publicznej i innych obiektów nieprzemysłowych w energię elektryczną –[DW MEDIUM - wydanie III 2008
- [17] A. Paradowska –Rychlik – Referat marketingowy Zakładów Kablowych Bitnera - Konferencja szkoleniowa bezpieczeństwo instalacji elektrycznych. 30 września 2008, SGSP Warszawa – materiały konferencyjne
- [18] E. Musiał – Obciążalność cieplna oraz zabezpieczenia nadprądowe przewodów i kabli – INPE nr107 sierpień 2008
- [19] H. Markiewicz Instalacje elektryczne – WNT 1996
- [20] J. Laskowski – Poradnik elektroenergetyka przemysłowego –COSiW SEP 1996
- [21] T. Cholewicki – Elektrotechnika teoretyczna t. 1 – WNT 1973
- [22] EN 1363:1999-2: Fire resistance test. Part 2. Alternative and additional procedures.
- [23] PN-B- 02852:2001 – Ochrona przeciwpożarowa budynków. Obliczanie obciążenia ogniowego oraz wyznaczanie względnego czasu trwania pożaru.
- [24] Sterowanie ewakuacją za pomocą nowoczesnych urządzeń technicznych – materiały konferencyjne SITP O/Poznań, Poznań 27 stycznia 2005
- [25] J. Wiatr – Oświetlenie awaryjne w budynkach – wymagania i zasady zasilania – seria zeszyty dla elektryków –Nr 2 - DW MEDIUM 2007 – wydanie I