

ppłk w st. spocz. mgr inż. Julian WIATR
redaktor naczelny miesięcznika *Elektro.info*
bryg. dr inż. Waldemar JASKÓŁOWSKI
Zakład Spalania i Teorii Pożarów, Szkoła Główna Służby Pożarniczej

Wpływ temperatury pożaru na wartość napięcia zasilającego urządzenia elektryczne oraz skuteczność ochrony przeciwporażeniowej urządzeń, które muszą funkcjonować podczas pożaru

Omówienie
LEAD

Bezpieczeństwo pożarowe jest jednym z najważniejszych wymagań stawianych współczesnym budynkom. Wiąże się z nim szereg wymagań technicznych, które należy spełnić na etapie projektowania. Ponieważ najważniejszym elementem działań ratowniczych jest ewakuacja ludzi z budynku objętego pożarem, stawia się określone wymagania dla konstrukcji budynku oraz instalowanych w nim urządzeń elektrycznych i instalacji zasilającej te urządzenia.

Wśród instalacji elektrycznych stanowiących wyposażenie budynku występują obwody zasilające urządzenia elektryczne, które muszą funkcjonować w czasie pożaru. Przewody tych instalacji narażone są na działanie wysokiej temperatury, przez co muszą one 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 objawiającym się nadmiernym spadkiem napięcia oraz pogorszeniem warunków ochrony przeciwporażeniowej tych urządzeń.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo pożarowe, kable elektryczne, pożar, ochrona przeciwporażeniowa.

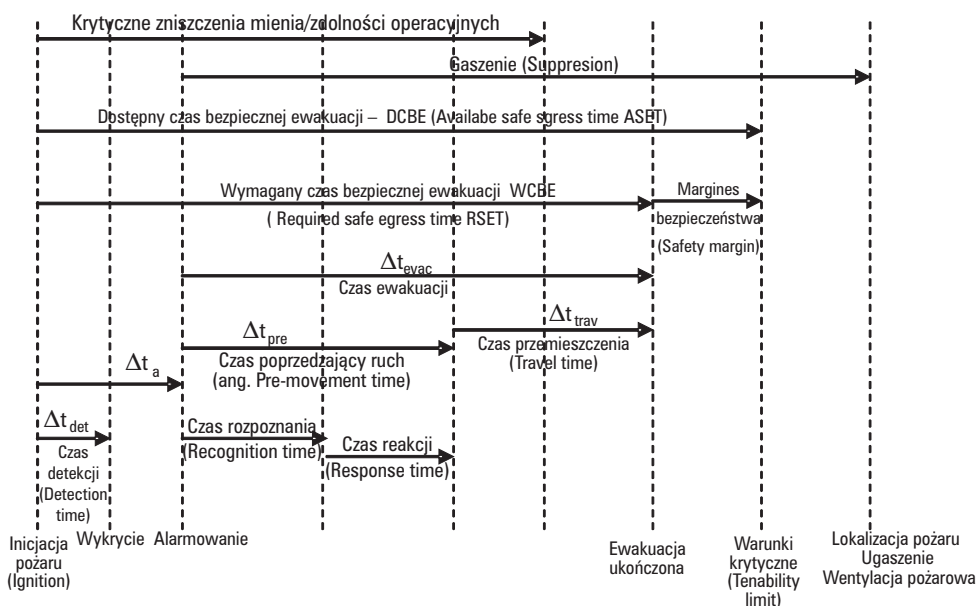
1. Wprowadzenie

Zapewnienie bezpieczeństwa ludzi podczas pożaru jest jednym z najważniejszych wymagań stawianych współczesnym budynkom. Głównymi źródłami kształtującymi kryteria bezpieczeństwa pożarowego są regulacje prawne. Na podstawie §207 ust. 1 Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia

2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (DzU nr 75, poz. 690 z późn. zm.) można stwierdzić, że właściwy poziom bezpieczeństwa pożarowego zostanie zapewniony wtedy, gdy zastosowany zespół rozwiązań techniczno-budowlanych w budynku i urządzeniach z nim związanych, zapewni w razie pożaru:

- nośność konstrukcji przez czas wynikający z właściwych przepisów,
- ograniczenie rozprzestrzeniania się ognia i dymu w budynku,
- ograniczenie rozprzestrzeniania się ognia na sąsiednie budynki,
- możliwość bezpiecznej i skutecznej ewakuacji (osoby znajdujące się wewnątrz mogły opuścić obiekt budowlany lub być uratowane w inny sposób),
- bezpieczeństwo ekip ratowniczych.

Powyższe wymagania zostały potwierdzone w Rozporządzeniu Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 z 9 marca 2011 r. ustanawiającym zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylającym Dyrektywę 89/106/EWG. Możliwość bezpiecznej i skutecznej ewakuacji jest jednym z najistotniejszych celów bezpieczeństwa pożarowego. Przyjętym ogólnym kryterium bezpieczeństwa życia ludzi w pożarach budynków i obiektów budowlanych, z punktu widzenia efektywnej ewakuacji, jest to, aby dostępny czas bezpiecznej ewakuacji (DCBE) był dłuższy niż czas wymagany do bezpiecznej ewakuacji (WCBE) (rys. 1) [1].



Rys.1. Czasy składowe WCBE i DCBE

Źródło: [1].

Jednym z warunków zapewnienia bezpiecznej i skutecznej ewakuacji ludzi z budynku objętego pożarem jest zapewnienie ciągłości dostaw energii elektrycznej o parametrach gwarantujących pracę urządzeń przeciwpożarowych, których funkcjonowanie jest niezbędne podczas akcji ratowniczej przy ich znamionowych parametrach. Urządzenia przeciwpożarowe instalowane w budynkach zostały wyszczególnione w Rozporządzeniu Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów i terenów (DzU nr 109, poz. 719).

Podczas pożaru budynków zazwyczaj bardzo szybko wzrasta temperatura, co skutkuje wzrostem rezystancji przewodów elektrycznych. Wzrost rezystancji przewodów powoduje zwiększenie spadku napięcia w obwodach zasilających urządzenia przeciwpożarowe, których funkcjonowanie w czasie akcji ratowniczej jest wymagane przez odpowiednie przepisy. Dodatkowo, wysoka temperatura wpływa na pogorszenie warunków ochrony przeciwporażeniowej tych urządzeń.

W związku z tym, na etapie projektowania instalacji elektrycznych, należy uwzględnić to niekorzystne zjawisko w celu zapewnienia zasilania urządzeń napięciem o wymaganej wartości oraz zapewnienia skutecznej ochrony przeciwporażeniowej.

W zasadniczej części niniejszego artykułu wykorzystano treści zawarte w normie N SEP-E 005: Dobór przewodów elektrycznych do zasilania urządzeń przeciwpożarowych, których funkcjonowanie jest niezbędne w czasie pożaru [2].

Norma ta została opracowana przez autorów artykułu i, po szerokich konsultacjach w środowisku branżowym, przyjęta 10 kwietnia 2013 r. przez Centralną Komisję Norm i Przepisów SEP i zatwierdzona do stosowania przez Prezesa SEP 12 kwietnia 2013 r.

2. Temperatura pożaru a przewodność elektryczna

Przewody elektryczne zasilające urządzenia przeciwpożarowe w czasie pożaru muszą zagwarantować dostawę energii elektrycznej o wymaganych parametrach oraz skuteczną ochronę przeciwporażeniową przez czas określony w scenariuszu zdarzeń pożarowych. Wraz z rozwojem pożaru rośnie temperatura otoczenia, której działaniu poddane są przewody zasilające urządzenia wspomagające prowadzenie działań ratowniczych. Przewody te wykonywane są z materiałów zapewniających odporność na działanie ognia przez określony czas, odpowiednio – 30, 60 lub 90 minut.

Mimo że izolacja opóźnia przenikanie ciepła do przewodnika, w krótkim czasie następuje zrównanie się temperatury przewodu z temperaturą gazów pożarowych (produktów rozkładu termicznego i spalania).

Przewody ułożone w tynku nagrzewają się również bardzo szybko, z uwagi na kumulację ciepła przez pojemność cieplną przegród budowlanych. Badania ogniowe prowadzone w Zakładzie Badań Ogniowych Instytutu Techniki Budow-

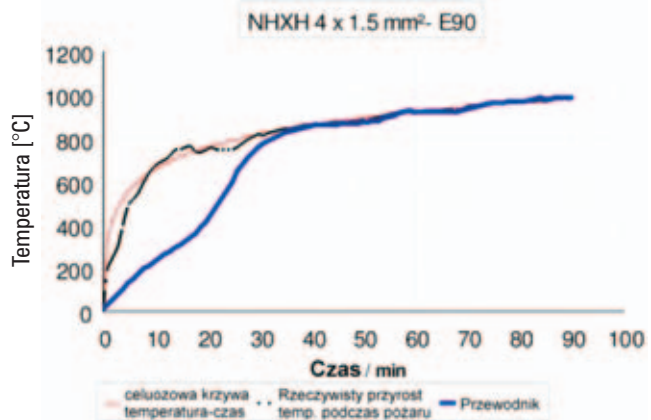
lanej w Warszawie wykluczają możliwość układania w tynku przewodów zasilających urządzenia ppoż., które muszą funkcjonować w czasie pożaru. Kumulacja ciepła jest tak duża, że osłona tynkiem nie gwarantuje ochrony ogniowej przewodów zasilających urządzenia.

Na rys. 2 przedstawiono przykładowy przebieg nagrzewania izolacji oraz żyły przewodu miedzianego.

Wraz ze wzrostem temperatury przewodu, wzrastają amplitudy drgań atomów w węźle sieci krystalicznej, która zwiększa prawdopodobieństwo zderzeń z elektronami. Skutkuje to zmniejszeniem ruchliwości elektronów, a tym samym zmniejszeniem konduktywności metalu.

Zgodnie z prawem Wiedemanna – Franza – Lorentza (1853 r. – doświadczalne stwierdzenie

przez Wiedemanna i Franza; 1873 r. – potwierdzone przez Lorentza), stosunek przewodnictwa cieplnego i przewodnictwa elektrycznego w dowolnym metalu jest wprost proporcjonalny do temperatury. Wraz ze wzrostem temperatury, powstaje wzrost przewodnictwa cieplnego i spadek przewodnictwa elektrycznego.



Rys. 2. Przebieg czasowy nagrzewania się izolacji oraz żyły miedzianego przewodu czterżyłowego

Źródło: [5].

$$- L T$$

(1)

gdzie:

– konduktywność przewodu $[m/(\cdot mm^2)]$,

– współczynnik przewodności cieplnej przewodu $[W/(m \cdot K)]$,

L – stała Lorentza ($L = 2,44 \cdot 10^{-8} W \cdot \cdot K^{-2}$),

T – temperatura przewodu, w [K].

Prawo Wiedemanna – Franza nie jest spełnione dla wszystkich metali, co potwierdziły badania prowadzone w Wielkiej Brytanii na początku XXI wieku. Badania te jednak wykazały, że prawo to znajduje zastosowanie dla metali powszechnie stosowanych do budowy kabli i przewodów elektrycznych.

Zatem zmiana rezystywności jednostkowej przewodu na jednostkę temperatury, może zostać zapisana następującym równaniem [3]:

$$\frac{d}{dT} \tag{2}$$

gdzie:

T – temperatura bezwzględna [K],

– rezystancja jednostkowa przewodu [$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$],

– temperaturowy współczynnik rezystancji odniesiony do temperatury 20°C (dla metali stosowanych na przewody można przyjmować $\alpha = 0,004 \text{ K}^{-1}$).

Rozwiązanie równania (2) prowadzi do następującego wzoru:

$$C e^{-\alpha T} \tag{3}$$

gdzie:

C – stała całkowania.

Przyjmując jako R_{20} dla temperatury początkowej 20°C (293,16 K), po przekształceniach otrzymuje się stałą całkowania:

$$C = R_{20} \frac{1}{e^{-\alpha \cdot 293,16}} \tag{4}$$

Wzór na rezystancję przewodu w temperaturze wyższej od 20°C (293,16 K), przyjmie następującą postać:

$$R = R_{20} \frac{1}{e^{-\alpha \cdot 293,16}} e^{-\alpha T} = R_{20} e^{\alpha (T - 293,16)} = R_{20} e^{-\alpha T} \tag{5}$$

Prowadzenie obliczeń bezpośrednio z wykorzystaniem wzoru (5) prowadzi do błędnych wyników w zakresie wyższych temperatur, ponieważ wzór ten nie uwzględnia różnych czynników termodynamicznych, takich jak nasycenie cieplne przewodu, wymiana ciepła z otoczeniem, zmienność temperaturowego współczynnika rezystancji itp. Ma on znaczenie teoretyczne.

Zadawalające wyniki daje postać przybliżona wzoru (5), którą otrzymuje się po rozwinięciu go w szereg:

$$R = R_{20} \left(1 - \alpha (T - 293,16) + \frac{\alpha^2}{2} (T - 293,16)^2 - \dots \right) \tag{6}$$

W zakresie temperatur nie wyższych niż 200°C zmienność rezystancji przewodu wystarczy opisać za pomocą pierwszych dwóch wyrazów wzoru (6), zastępując rezystywność rezystancją przewodu:

$$R = R_{20} (1 - \alpha (T - 293,16)) \tag{7}$$

Jest to funkcja liniowa, która bezpośrednio wynika z niezmienności temperaturowego współczynnika rezystancji w zakresie temperatur od -50°C do +200°C.

W zakresie temperatur wyższych niż 200°C, które występują w czasie pożaru, wzór (6) nie może zostać uproszczony do pierwszych dwóch składników ze względu na to, że przebieg zmienności rezystancji przestaje być liniowy. Dla temperatur wyższych niż 200°C, zmianie ulega temperaturowy współczynnik rezystancji, przez co wzrost rezystancji przewodu nie może zostać opisany zależnością liniową. Dla celów praktycznych wartość rezystancji przewodu w temperaturach większych od 200°C można wyznaczyć z następującego wzoru:

$$R = R_{20} (1 + \alpha T + \beta T^2) \quad (8)$$

gdzie:

– drugi współczynnik temperaturowy rezystancji (dla metali stosowanych na przewody $\alpha = 10^{-6} \text{ K}^{-2}$).

Korzystanie w praktyce ze wzoru (7) lub (8), w zależności od przedziału rozpatrywanych temperatur, daje zadowalające wyniki, choć jest znacznym uproszczeniem.

W praktyce dostatecznie dobre rezultaty dają obliczenia wykonywane za pomocą wzoru wykładniczego, który uwzględnia nieliniowe zmiany współczynnika przy temperaturach wyższych od 200 K [4]:

$$R_{T_k} = R_{20} \left(\frac{T_k}{293,16} \right)^{1,16} \quad (9)$$

gdzie:

R_{T_k} – rezystancja przewodu w temperaturze T_k [Ω],

T_k – temperatura końcowa, w której oblicza się rezystancję przewodu R_{T_k} w [K],

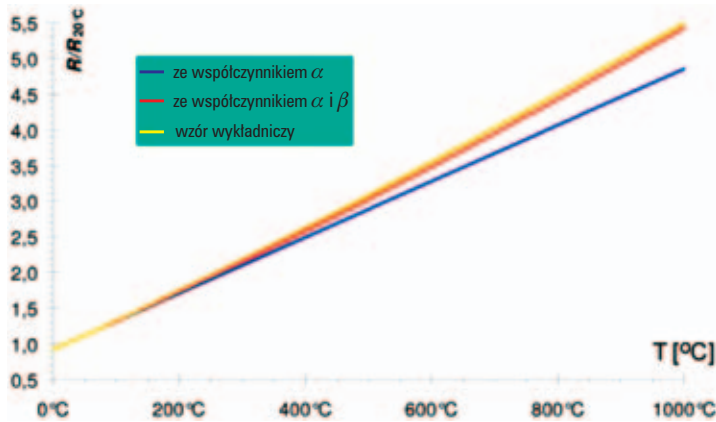
R_{20} – rezystancja przewodu w temperaturze 20°C [Ω].

Na rys. 3 przedstawiono zmienność rezystancji w funkcji temperatury [$R = f(T)$], obliczonej z wykorzystaniem wzorów (7), (8) oraz (9).

Przedstawione na rys. 3 charakterystyki $R = f(T)$ wykazują, że obliczenia prowadzone z wykorzystaniem wzorów (8) oraz (9), dają porównywalne wyniki, które można wykorzystać w praktyce.

Analiza rys. 3 pozwala sformułować wniosek, że przewód elektryczny pod wpływem działania temperatury pożarowej, może zwiększyć swoją rezystancję nawet pięciokrotnie, co negatywnie wpływa na jakość dostarczanej energii elektrycznej zasilającej urządzenia elektryczne, które muszą funkcjonować w czasie pożaru oraz wyeliminować ochronę przeciwporażeniową realizowaną przez samoczynne wyłączenie zasilania.

Ponieważ normy przedmiotowe oraz przepisy techniczno-prawne dotyczące doboru przewodów nie wymagają uwzględniania zjawiska wysokiej temperatury pożarowej, odnotowywane są przypadki niepoprawnej pracy urządzeń elektrycznych wspomagających akcję ratowniczą lub całkowitego pozbawienia ich swojej funkcji.



Rys. 3. Zależność rezystancji przewodu funkcji temperatury wyznaczona z wykorzystaniem wzorów (7), (8) oraz (9)

Źródło: [10].

Wszelkie dochodzenia popożarowe prowadzone są pod kątem przyczyn powstania pożaru oraz sprawdzenia poprawności zaprojektowania i wykonania instalacji elektrycznej, zgodnie z obowiązującymi normami i przepisami techniczno-prawnymi. Sytuacja ta powoduje, że Państwowa Straż Pożarna nie prowadzi w tym zakresie żadnych statystyk.

W tym miejscu należy zwrócić uwagę na nieprzydatność przewodów i kabli aluminiowych do zasilania urządzeń przeciwpożarowych, których funkcjonowanie jest konieczne w czasie pożaru ze względu na ich stosunkowo niską temperaturę topnienia wynoszącą około 660°C. Miedź natomiast posiada temperaturę topnienia wynoszącą 1083°C, której przekroczenie skutkuje przechodzeniem w stan ciekły z jednoczesnym skokowym wzrostem rezystancji.

Problem narasta w instalacjach wykonywanych w tunelach komunikacyjnych, gdzie temperatura otoczenia w czasie pożaru w krótkim czasie uzyskuje wartość 1200°C. W tak wysokiej temperaturze stopieniu ulega również miedź, a zastosowanie izolacji ogniochronnej nie zapewnia ciągłości dostaw energii do zasilanych urządzeń, przez co zachodzi konieczność stosowania dodatkowych środków ochronnych, np. atestowanych przeciwpożarowych kanałów kablowych.

3. Wpływ temperatury pożarowej na jakość dostarczanej energii elektrycznej (napięcia zasilającego) oraz ochronę przeciwporażeniową

Zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 50160 [5], napięcie zasilające może ulegać odchyleniom od wartości nominalnej o wartość $U_n \pm 10\%$.

Takie zmiany napięcia w normalnych warunkach pracy urządzeń elektrycznych są dla nich niegroźne. Problemy mogą pojawić się podczas rozruchu silni-

ków, gdzie prądy rozruchowe są znacznie większe niż prądy znamionowe. Powoduje to powstanie większych spadków napięcia niż w czasie pracy ustalonej. Obniżone o 10% w stosunku do wartości znamionowej napięcie powoduje, że w czasie rozruchu silnika na jego zaciskach może pojawić się napięcie o wartościach niższych niż dopuszczalne (tabela 1).

Tabela 1. Dopuszczalne spadki napięcia dla rozruchów silników

Rodzaj rozruchu silnika	Dopuszczalny spadek napięcia U [%]
Rozruch lekki $M_b = (0 - 0,3)M_n$	35
Rozruch ciężki i częsty $M_b = (0 - 0,3)M_n$	15
Rozruch ciężki i rzadki $M_b = (0 - 0,3)M_n$	10
M_n – moment znamionowy silnika; M_b – moment hamujący (oporowy)	

Źródło: [12].

Wzrost rezystancji przewodu spowodowany działaniem temperatury pożarowej, powoduje dalszy wzrost spadku napięć z jednoczesnym wzrostem impedancji pętli zwarcia. Skutkuje to zmniejszeniem wydajności pomp pożarowych, wentylatorów oddymiających, wskutek zmniejszenia się momentu silnika napędowego oraz pogorszeniem warunków pracy innych urządzeń elektrycznych, których funkcjonowanie jest konieczne w czasie akcji gaśniczo-ratowniczej.

Moment silnika elektrycznego, w zależności od wartości napięcia zasilającego, wyraża się następującą zależnością:

$$M = M_n \left(\frac{U}{U_n}\right)^2 \quad (10)$$

gdzie:

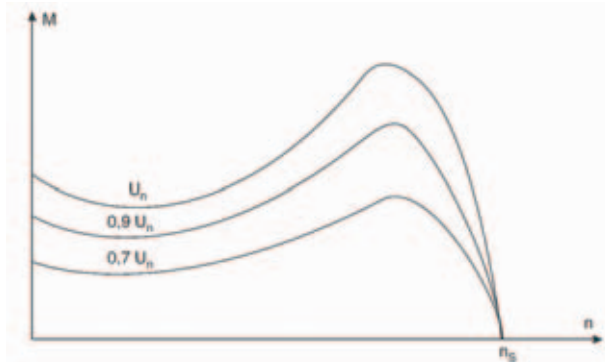
M – rzeczywisty moment silnika elektrycznego [Nm],

M_n – moment znamionowy silnika elektrycznego [Nm],

U_n – napięcie znamionowe silnika elektrycznego [V],

U – rzeczywiste napięcie występujące na zaciskach silnika elektrycznego [V].

Spadek napięcia na zaciskach silnika zaledwie o 10% powoduje zmniejszenie momentu o 19%. Podczas rozruchu silnik pobiera prąd znacznie większy niż w czasie pracy ustalonej. Dopuszczalny spadek napięcia w obwodach zasilających pompy pożarowe oraz silniki wentylacji pożarowej w czasie rozruchu wynosi 10%. Natomiast w czasie pracy ustalonej, spadek napięcia w tych obwodach liczony od złącza budynku do zasilanego urządzenia nie może przekraczać 4% [6]. Ponieważ rozruch sprawnego silnika przebiega stosunkowo szybko, a dopuszczalny spadek napięcia w czasie rozruchu jest znacznie większy od dopuszczalnego spadku napięcia w stanie pracy ustalonej, decydujący wpływ na poprawną pracę silników urządzeń wspomagających akcję gaśniczo-ratowniczą ma dopuszczalny spadek napięcia dla stanu pracy ustalonej. Zmienność momentu silnika indukcyjnego zwartego w funkcji napięcia zasilającego przedstawiono na rys. 4.



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

Źródło: [11].

Zmieniające się w dopuszczalnych granicach napięcie ($U_n \pm 10\%$) zasilające źródła światła powoduje, że zmiany strumienia świetlnego wyniosą odpowiednio 70% i 140% strumienia znamionowego. Ponadto w przypadku długotrwanie utrzymującej się wartości napięcia większej o 10% w stosunku do wartości nominalnej powoduje skrócenie czasu eksploatacji żarówki o 25%.

Znacznie mniejszy wpływ na wartość strumienia świetlnego posiadają lampy wyładowcze. Zmiany wartości strumienia świetlnego w zależności od zmian napięcia zasilającego można wyrazić następującą zależnością:

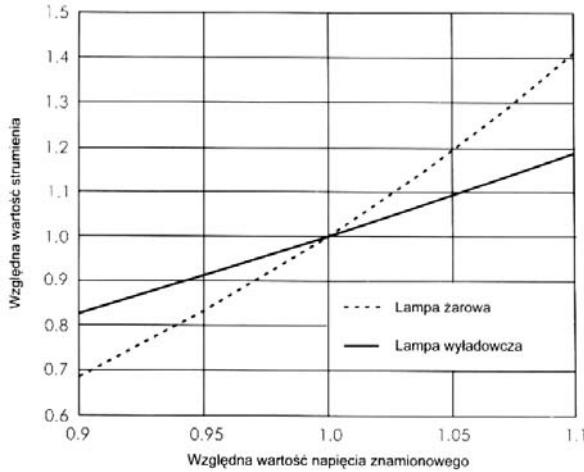
$$n = \left(\frac{U}{U_n} \right)^3 \quad (11)$$

gdzie:

- rzeczywista wartość strumienia świetlnego,
- n – znamionowa wartość strumienia świetlnego,
- U – rzeczywista wartość napięcia zasilającego,
- U_n – nominalna wartość napięcia zasilającego,
- współczynnik przyjmowany dla lamp żarowych jako (3,1–3,7) oraz dla lamp wyładowczych jako 1,8.

Zmiany względnej wartości strumienia świetlnego lampy żarowej i wyładowczej w funkcji zmian napięcia zasilającego zostały przedstawione na rys. 5.

Poprawnie dobrane przewody, zgodnie z wymaganiami norm i przepisów, wskutek wzrostu rezystancji powodowanej wysoką temperaturą (w czasie pożaru w budynku wzrost rezystancji jest niemal pięciokrotny), będą dostarczały energię elektryczną do zasilanych urządzeń przy zanizonym napięciu. Spowoduje to zmniejszenie momentów silników, osłabienie natężenia oświetlenia ewakuacyjnego oraz silne zniekształcenia komunikatów przekazywanych podczas akcji ratowniczo-gaśniczej przez dźwiękowy system ostrzegania (D50). Przy spadku napięcia powyżej 15% zostanie zakłócone normalne funkcjonowanie styczników oraz przekładników pracujących w układach automatyki, polegające na niekontrolowanych rozłączeniach obwodów.



Rys. 5. Względna wartość strumienia światelnego lampy żarowej i wyladowczej jako funkcja zmian wartości napięcia zasilającego

Źródło: [13].

Wymagany przekrój przewodów zasilających urządzenia ppoż., które muszą funkcjonować w czasie pożaru, ze względu na dopuszczalny spadek napięcia, należy zatem wyznaczyć – z uwzględnieniem spodziewanego wzrostu rezystancji powodowanej działaniem wysokiej temperatury towarzyszącej pożarowi, wykorzystując następujące wzory (12), (13):

– dla obwodów trójfazowych:

$$S = \frac{l \left(\frac{T_K}{293} \right)^{1,16}}{\left(\frac{U_{dop\%}}{\sqrt{3}} \frac{U_n}{100 I_B \cos} X \operatorname{tg} \right)} k_p \quad (12)$$

gdzie:

$U_{dop\%}$ – dopuszczalny spadek napięcia [%],

l – długość trasy przewodowej [m],

U_n – napięcie znamionowe [V],

X – reaktancja przewodu (linii) zasilającej [],

I_b – spodziewany prąd obciążenia [A],

– konduktywność przewodu zasilającego [m/(· mm²)],

k_p – stosunek długości przewodu narażonej na działanie temperatury do długości całej trasy przewodowej [–].

– dla obwodów jednofazowych:

$$S = \frac{l \left(\frac{T_K}{293,16} \right)^{1,16}}{\left(\frac{U_{dop\%}}{200} \frac{U_{nf}}{I_B \cos_n} X \operatorname{tg}_n \right)} k_p \quad (13)$$

Dobre przewody należy następnie sprawdzić w zakresie samoczynnego wyłączenia. Należy przy tym pamiętać, że do zabezpieczeń obwodów zasilających urządzenia ppoż., które muszą funkcjonować w czasie pożaru, nie można stosować wyłączników różnicowoprądowych oraz jakichkolwiek zabezpieczeń przeciążeniowych. Dopuszczalne jest stosowanie jedynie zabezpieczeń zwarciovych, które podczas zwarć doziemnych spowodują samoczynne wyłączenie zasilania w czasie nie dłuższym niż wymagany przez normę PN-HD 60364-4-41:2009 Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Część 4-41. Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przed porażeniem elektrycznym [7]. W zależności od napięcia zasilającego oraz typu układu zasilającego, czasy te zostały podane w tabeli 2.

Tabela 2. Dopuszczalne czasy trwania zwarć w instalacjach nn zgodnie z PN-HD 60364-4-41

Układ sieci	50 V < U _o 120 V		120 V < U _o 230 V		230 V < U _o 400 V		U _o > 400 V	
	a.c. [s]	d.c. [s]	a.c. [s]	d.c. [s]	a.c. [s]	d.c. [s]	a.c. [s]	d.c. [s]
TN	0,8	Wyłączenie może być wymagane z innych przyczyn niż ochrona przeciwporażeniowa	0,4	5	0,2	0,4	0,1	0,1
TT	0,3		0,2	0,4	0,07	0,2	0,04	0,1

U_o – nominalne napięcie a.c. lub d.c. przewodu fazowego względem uziemionego przewodu PE lub PEN.

Źródło: [14].

Największe wymagania w odniesieniu do czasu wyłączenia norma ta określa dla układu zasilania TT. Czasy te są o połowę krótsze od najdłuższych dopuszczalnych czasów, określonych dla układów zasilania TN (TN-S; TN-C-S; TN-C). Dlatego jedynym skutecznym zabezpieczeniem od porażen realizowanym przez samoczynne wyłączenie w układzie zasilania TT, jest wyłącznik różnicowoprądowy, który nie nadaje się do zabezpieczania urządzeń ppoż., które muszą funkcjonować w czasie pożaru. Sytuacja ta powoduje, że układ zasilania TT nie nadaje się do zasilania urządzeń elektrycznych, które muszą funkcjonować w czasie pożaru.

Podobnie układ zasilania IT, mimo jego szeregu zalet, nie nadaje się do zasilania urządzeń ppoż., które muszą funkcjonować w czasie pożaru. Układ ten przy pojedynczym zwarciu nie stwarza zagrożeń, ale wymaga stosowania Układu Kontroli Stanu Izolacji dla zasygnalizowania powstałego zwarcia w celu jego natychmiastowego usunięcia przez obsługę. Natomiast drugie zwarcie, w zależności od sposobu uziemienia ochronnego zasilanych odbiorników, przekształca go odpowiednio w układ TT lub TN. Biorąc pod uwagę warunki ekstremalne, jakie powstają w czasie pożaru i związane z tym problemy eksploatacyjne, należy stwierdzić, że układ ten również nie nadaje się do zasilania odbiorników energii elektrycznej, które muszą funkcjonować w czasie pożaru.

Należy zwrócić uwagę, że często mylnie przyjmowane są zalecenia normy PN-HD 60364-5-56:2013 Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Część 5-56. Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego Instalacje bezpieczeństwa. Zgodnie z wymaganiami tej normy, należy stosować środki ochrony przeciwporażeni-

wej, które nie powodują samoczynnego wyłączenia w przypadku pierwszego uszkodzenia (zwarcia). Wymóg ten jest właściwy dla instalacji bezpieczeństwa, które są eksploatowane w warunkach niepożarowych. Nie może on zostać przyjęty w instalacjach elektrycznych, zasilających urządzenia elektryczne, które muszą funkcjonować w czasie akcji ratowniczo-gaśniczej, gdzie powstają warunki ekstremalne.

Analiza wymagań normy [7] pozwala wyciągnąć wniosek, że do zasilania elektrycznych urządzeń ppoż., które muszą funkcjonować w czasie pożaru, nadaje się jedynie układ zasilania TN (TN-C; TN-C-S; TN-S), gdzie warunek samoczynnego wyłączenia podczas zwarcć jednofazowych należy sprawdzić z wykorzystaniem następującego wzoru:

$$I_{kl} \frac{U_0}{\sqrt{\{2 [R R_{ppoż} \cdot (\frac{T}{293})^{1,16}]^2 + (2 X)^2\}}} I_a \quad (14)$$

gdzie:

R – rezystancja linii zasilającej nie narażona na działanie wysokiej temperatury [Ω],

$R_{ppoż}$ – odcinek przewodu zasilającego urządzenie ppoż., narażony na działanie wysokiej temperatury [Ω],

X – reaktancja przewodu zasilającego [Ω],

I_{kl} – spodziewany prąd zwarcia jednofazowego z ziemią [A],

I_a – prąd wyłączający w czasie nie dłuższym od określonego w normie PN-HD 60364-4-41:2009 [7],

U_0 – napięcie pomiędzy przewodem fazowym a uziemionym przewodem PE (PEN) [V].

Uwaga!

Dobierane przewody muszą również spełniać warunek długotrwałej obciążalności prądowej i przeciążalności oraz wytrzymałości zwarciowej. Dobierane zabezpieczenia do obwodów zasilających urządzenia ppoż., które muszą funkcjonować w czasie pożaru, muszą spełniać warunek selektywności w stosunku do zabezpieczeń je poprzedzających.

4. Wnioski

1. Do zasilania urządzeń elektrycznych, które muszą funkcjonować w czasie pożaru, należy stosować wyłącznie atestowane zespoły kablowe (kable lub przewody wraz z ich konstrukcjami nośnymi przed dopuszczeniem do stosowania muszą przejść wspólne badania ogniowe). Zgodnie z wymaganiami niemieckiej normy DIN 4102-2. Zachowanie się materiałów i elementów budowlanych pod wpływem ognia. Podtrzymywanie funkcji urządzeń w czasie pożaru. Wymagania i badania [9], dopuszcza się do stosowania atestowanych zespołów, posiadających cechę E30; E60 lub E90.

2. Zapewnia to ciągłość dostaw energii elektrycznej przez czas odpowiednio 30, 60 lub 90 minut, w zależności od wymaganego czasu pracy zasilanych urządzeń.
3. Dobierane przewody muszą zapewnić dostawę energii elektrycznej o wymaganych parametrach przez wymagany czas pracy zasilanych urządzeń wspomagających ewakuację oraz skuteczną ochronę przeciwporażeniową, przez co podczas ich doboru, należy uwzględnić wzrost rezystancji przewodnika wskutek działania wysokiej temperatury, czego nie wymagają obowiązujące normy przedmiotowe oraz przepisy techniczno-prawne.
4. W przypadku prowadzenia kabli lub przewodów w atestowanych kanałach kablowych, które gwarantują termiczną izolację od pomieszczeń objętych pożarem przez wymagany czas, przewody i kable zasilające urządzenia ppoż., które muszą funkcjonować w czasie pożaru, należy dobierać bez konieczności uwzględniania wzrostu rezystancji powodowanej wysoką temperaturą.
5. Do zabezpieczania obwodów zasilających urządzenia ppoż., które muszą funkcjonować w czasie pożaru, należy stosować zabezpieczenia nadprądowe, bez zabezpieczeń przeciążeniowych oraz różnicowoprądowych (postępująca degradacja izolacji kabla lub przewodu powodowana działaniem wysokiej temperatury będzie powodowała wzrost doziemnych prądów upływowych, które w konsekwencji spowodują niekontrolowane wyłączenie zasilania, pozabawiając urządzenia swojej funkcji). Prądy znamionowe lub nastawcze tych zabezpieczeń należy zwiększyć o jeden lub dwa stopnie w stosunku do wartości wynikającej ze zwykłych zasad ich doboru z zachowaniem wymaganej odporności cieplnej zabezpieczanych przewodów przy zwarciach.
6. Pomimo szeregu działań prowadzonych na rzecz bezpieczeństwa przeciwpożarowego, instalacje elektryczne oraz przyłączone do nich urządzenia elektryczne są przyczyną znacznej liczby pożarów powstających w budynkach. Wskaźnik ten jest bardzo niepokojący.

Literatura

- [1] PD 7974-6:2004 The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings – Part 6: Human factors: Life safety strategies – Occupant evacuation, behaviour and condition (Sub-system 6).
- [2] N SEP-E 005: Dobór przewodów elektrycznych do zasilania urządzeń przeciwpożarowych, których funkcjonowanie jest niezbędne w czasie pożaru.
- [3] Celiński Z.: Materiałoznawstwo elektrotechniczne, OWPW, Warszawa 1999.
- [4] PN-EN 50160: 2008. Parametry jakościowe napięcia w publicznych sieciach rozdzielczych.
- [5] Leonardo ENERGY Application Note, Fire Safety Cables – Selection and sizing of conductors supplying electrical equipment that must remain functional during a fire, J. Wiatr, Z. Hanzelka, D. Chapman, S. Fassbinder, grudzień 2010.
- [6] N SEP – E 002 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Instalacje elektryczne w obiektach mieszkalnych. Podstawy planowania.

- [7] PN-HD 60364-4-41: 2009 Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Część 4–41. Instalacje dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przed porażeniem elektrycznym.
- [8] PN-HD 60364-5-56:2013 Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Część 5–56. Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego Instalacje bezpieczeństwa.
- [9] DIN 4102-2. Zachowanie się materiałów i elementów budowlanych pod wpływem ognia. Podtrzymywanie funkcji urządzeń w czasie pożaru. Wymagania i badania.
- [10] Wiatr J., Skiepkó E: Influence of electrical power quality supplied to the equipments which must function during the on conditions of the evacuation, International Scientific and Technical Conference Emergency Evacuation Of People From Buildings, Warsaw 31.03–1.04.2011.
- [11] Niestępski S., Parol M., Pasternakiewicz J., Wiśniewski T.: Instalacje elektryczne. Budowa, projektowanie i eksploatacja, OWPW, Warszawa 2011.
- [12] Strojny J., Strzałka J.: Projektowanie urządzeń elektroenergetycznych. Wydanie 7. UWND. AGH 2008.
- [13] Strzałka-Gołoszka K., Strzałka J.: Jakość energii elektrycznej – parametry jakościowe, skutki złej jakości i sposoby poprawy, cz. 1 – INPE nr 129–130 czerwiec–lipiec 2010.
- [14] Wiatr J., Boczkowski A., Orzechowski M.: Ochrona przeciwporażeniowa oraz dobór przewodów i ich zabezpieczeń w instalacjach elektrycznych niskiego napięcia. Wydanie I. DW MEDIUM 2010.

Julian WIATR

Waldemar JASKÓŁOWSKI

Fire Temperature Effect on Value of Input Voltage Powering Electrical Equipment and the Effectiveness of Safety Protection of Equipment Required

Fire safety is one of the most important requirements for modern buildings. It is associated with a number of technical requirements to be met at the design stage. Because the most important part of rescue operations is to evacuate people from the building under the fire, the specific requirements emerge for the construction of the building and for the design of the electrical devices and their power supply installations. Among the electrical equipments installed in the building there are circuits supplying the electrical devices, which must function at the time of fire. Cables of these installations are exposed to high temperature, but must ensure the continuity of the power supply by the time necessary for the operation of the supplied equipment. The accompanying fire temperature decreases the electrical conductivity of the cables, resulting in the deterioration of the quality of supplied electrical energy represented by the excessive voltage drop and in the deterioration of protection of these devices.

Keyword: fire safety, electric cables, fire, protection against electric shock.

SUMMARY