

Julian Wiatr
Elektro.Info
Warszawa

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

Streszczenie

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 wstępują 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 objawiającej się nadmiernym spadkiem napięcia oraz pogorszeniem warunków ochrony przeciwporażeniowej tych urządzeń.

Fire temperature effect on value of input voltage powering electrical equipment and the effectiveness of safety protection of equipment Required

Summary.

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, these 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 the 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.

Statystyki pożarów

Statystyki pożarów powstających w Polsce, prowadzone przez Komendę Główną Państwowej Straży Pożarnej, wykazują że liczba pożarów jest bardzo wysoka.

Przyczynami pożarów jest zła wentylacja, nieostrożność użytkowników, zaniedbania w zakresie bezpieczeństwa eksploatacji urządzeń technicznych itp.

Duża liczba pożarów powstających na terenie Polski jest spowodowana niesprawnymi urządzeniami elektrycznymi lub niesprawną instalacją elektryczną. Jedną z przyczyn tych pożarów jest niepoprawnie zaprojektowana lub niepoprawnie wykonana instalacja elektryczna w budynkach.

W tabeli 1 zostały przedstawione dane statystyczne pożarów jakie wstąpiły w Polsce w latach 2000-2010, których przyczyną były urządzenia lub instalacje elektryczne.

Tabela 1. Pożary spowodowane wadami instalacji elektrycznych lub wadami urządzeń grzejnych, nieprawidłową eksploatacją instalacji lub urządzeń grzejnych oraz elektryczność statyczną w latach 2000 – 2010 [23]

Rok	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Przyczyna pożaru											
Wady urządzeń elektrycznych (bez urządzeń grzewczych)	5613	5430	5907	5909	5533	6143	6454	5835	5914	5787	5864
Nieprawidłowa obsługa urządzeń elektrycznych (bez urządzeń grzewczych)	755	702	695	624	574	566	602	552	551	472	492
Wady elektrycznych urządzeń grzewczych	329	386	367	357	369	363	362	361	350	373	343
Nieprawidłowa obsługa elektrycznych urządzeń grzewczych	241	261	233	242	207	249	266	192	192	150	188
Elektryczność statyczna	32	38	58	172	69	82	34	20	26	19	17
Razem	6970	6817	7260	7304	6807	7403	7718	6960	7033	6801	6903

W tabeli 2 zostały przedstawione dane obrazujące względy udział pożarów spowodowanych przez instalacje elektryczne lub przyłączone do nich urządzenia elektryczne w latach 2000 – 2010.

Tabela 2. Względna liczba pożarów spowodowanych wadami instalacji elektrycznych lub wadami urządzeń grzejnych, nieprawidłową eksploatacją instalacji lub urządzeń grzejnych oraz elektryczność statyczną na tle ogólnej liczby pożarów w latach 2000 – 2010 [23]

Rok	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Ogólna liczba pożarów	135889	116602	151026	220866	146728	184316	186180	161089	161799	159122	135555
Pożary od instalacji i urządzeń elektrycznych	6970	6817	7260	7304	6807	7403	7718	6960	7033	6801	6903
Względna liczba pożarów od instalacji i urządzeń elektrycznych	5,13 %	5,85 %	4,80 %	3,31 %	4,64 %	4,02 %	4,14 %	4,32 %	4,45 %	4,27 %	4,09 %
średnio	4,46 %										

W tabeli 3 zostały przedstawione dane statystyczne względnego udziału pożarów spowodowanych przez instalacje elektryczne lub przez przyłączone do nich urządzenia elektryczne.

Tabela 3: Względna liczba pożarów spowodowanych wadami instalacji elektrycznych lub wadami urządzeń grzejnych, nieprawidłową eksploatacją instalacji lub urządzeń grzejnych oraz elektryczność statyczną na tle ogólnej liczby pożarów budynków w latach 2000 – 2010 [23]

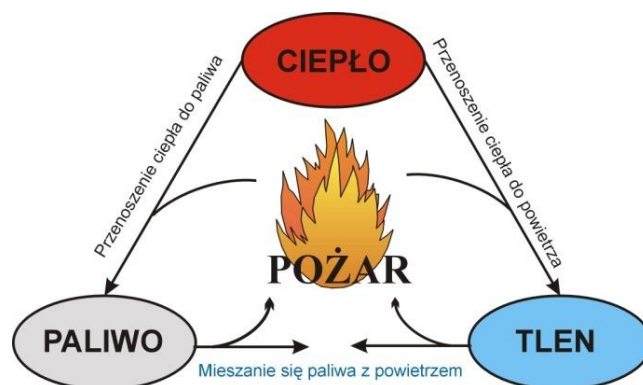
Rok	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Pożary budynków użyteczności publicznej	3119	2823	2896	2948	2820	2879	2871	2682	2700	2546	2467
Pożary budynków mieszkalnych	23207	23134	24508	25545	25059	26382	26677	26454	27214	27491	28274
Pożary budynków produkcyjnych	2539	2107	2331	2462	2321	2482	2488	2489	2367	2198	2211
Pożary budynków magazynowych	1429	1116	1333	1461	1361	1258	1294	1266	1383	1197	1096
Ogólna liczba pożarów budynków	27755	29180	31068	32416	31561	33001	33330	32891	33664	33432	34048
Pożary od instalacji i urządzeń elektrycznych oraz elektryczności statycznej	6970	6817	7260	7304	6807	7403	7718	6960	7033	6801	6903
Względna liczba pożarów od instalacji i urządzeń elektrycznych	25,11 %	23,36 %	23,36 %	22,53 %	21,56 %	22,43 %	23,15 %	21,16 %	20,89 %	20,34 %	20,27 %
średnio	22,2 %										

Przestawiona w tabeli 2 statystyka może wprowadzać w błąd gdyż wykazuje ona względną liczbę pożarów spowodowanych przez instalację lub urządzenia elektryczne lub elektryczność statyczną na tle wszystkich pożarów. Statystyka ta uwzględnia wszystkie pożary, w tym lasów, upraw rolnych, pojazdów samochodowych itp. Nie wszędzie jednak występują instalacje elektryczne, przez co odniesienie względnego udziału instalacji lub przyłączanych do niej urządzeń do globalnej liczby wszystkich pożarów jest podejściem niewłaściwym.

Bardziej wiarygodna jest statystyka przedstawiona w tabeli 3, gdzie z ogólnej liczby pożarów wyłączono pożary lasów, upraw rolnych, pożary pojazdów oraz inne pożary nie związane z budynkami. Uzyskany wskaźnik wykazuje, że instalacje elektryczne lub przyłączone do nich urządzenia elektryczne mają znaczny udział w ogólnej liczbie pożarów powstających w budynkach.

Opis środowiska pożarowego

Do zainicjowania pożaru konieczne są trzy czynniki: materiał palny, utleniacz oraz źródło ciepła o dostatecznie dużej energii. Materiały palne są to substancje, które ogrzane ciepłem dostarczonym z zewnątrz lub powstałym w wyniku reakcji chemicznej lub biologicznej zaczynają wydzielać gazy w ilości wystarczającej do ich trwałego zapalenia się. Tlen z kolei jest jednym z najaktywniejszych pierwiastków chemicznych, który wchodzi w reakcję z wieloma pierwiastkami i związkami chemicznymi. Jeżeli proces ten odbywa się gwałtownie, wówczas towarzyszą mu efekty świetlne oraz wysoka temperatura. Zjawisko to nazywamy spalaniem. Rozróżniamy dwa rodzaje palenia się: palenie się z powstaniem płomieni i tlenie/żarzenie się (bez płomieni). Na rys. 1 przedstawiono tzw. trójkąt pożarowy obrazujący warunki niezbędne do powstania pożaru.



Rys. 1 Warunki niezbędne do powstania pożaru, tzw. trójkąt pożarowy

W opisie pożarów należy wyróżnić dwa podstawowe określenia:

- **Spalanie** – proces fizykochemiczny, w którym w wyniku zachodzącej z dostatecznie dużą szybkością reakcji chemicznej między paliwem a utleniaczem, którym najczęściej jest tlen (reakcji utleniania), wydziela się duża ilość energii; spalanie zapoczątkowuje zapłon, samozapłon lub samozapalenie. Spalanie materiału palnego może odbywać się również bezpłomieniowo. W takim przypadku występuje tlenie się materiału oraz żarzenie. Tlenie się lub żarzenie materiału jest wynikiem niedostatecznej ilości utleniacza niezbędnego do powstania procesu spalania materiału palnego.
- **Pożar** - niekontrolowany w czasie i przestrzeni proces spalania materiałów zachodzący poza miejscem do tego celu przeznaczonym.
- **Środowisko pożaru** - przestrzeń budynku ze strefą spalania oraz bezpośrednie sąsiedztwo.

Rozwój pożaru w budynku jest uzależniony w szczególności od źródła inicjacji pożaru, składu i ilości materiałów, powierzchni, orientacji i geometrii pomieszczenia oraz lokalizacji i wielkości otworów wentylacyjnych.

Pożar w pomieszczeniu obejmuje ogół zjawisk związanych z tworzeniem się i rozprzestrzenianiem strefy spalania czyli płomieni, powstawaniem gazowych produktów rozkładu termicznego – dymu, oraz wymianą ciepła i masy w pomieszczeniu i w jego bezpośrednim sąsiedztwie.

Wieloletnie badania pożarów w pełnej skali oraz obserwacje pożarów rzeczywistych w budynkach pozwoliły na uogólnienie ich opisu poprzez podanie zależności zmian średniej temperatury gazów spalinowych w czasie, wyróżniając trzy główne fazy przebiegu tego zjawiska, które przedstawia rys. 2.

Fazy rozwoju pożaru

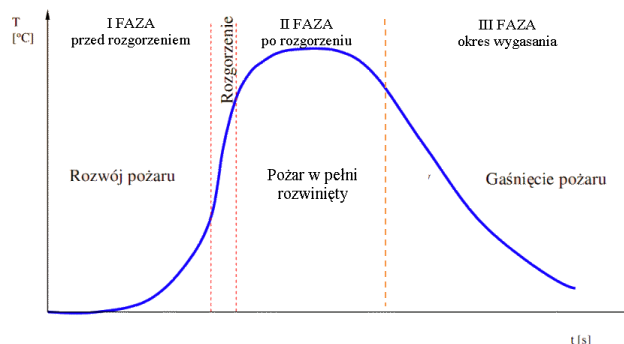
Na rys. 2, zilustrowane zostały fazy pożaru w odniesieniu do przebiegu temperatury pożaru w pomieszczeniu w funkcji czasu. Poszczególne fazy można opisać w następujący sposób:

Faza I – zwana inaczej wzrostem lub rozwojem pożaru albo też fazą przed rozgorzeniem. Charakteryzuje się stosunkowo niską średnią temperaturą, a szybkość rozkładu termicznego i spalania zależy od eksponowanej na źródło ciepła powierzchni materiałów palnych. Powstające podczas tego stadium strumienie ciepła nie przekraczają zazwyczaj 50 kW/m^2 . Pożar jest „kontrolowany przez paliwo”.

Faza II – pożar w pełni rozwinięty zwany również fazą po rozgorzeniu, podczas której temperatura osiąga swą maksymalną wartość ($800\text{-}1000 \text{ }^\circ\text{C}$) a wszystkie materiały palne ulegają spalaniu. W trakcie trwania tej fazy płomień wypełniają całe pomieszczenie, pożar staje się „kontrolowany przez wentylację”, tzn., że jego dynamika zależy w głównej mierze od dostępu powietrza.

Faza III – jest to okres wygasania (stygnięcia). Przejście pożaru w III fazę najczęściej następuje po wyczerpaniu się materiału palnego i co się z tym wiąże zmniejszeniem

temperatury i pozostałych parametrów pożaru. Przyjmuje się, iż początek tego stadium określa spadek temperatury do 80% wartości maksymalnej .



Rys. 2 Krzywa rozwoju pożaru w pomieszczeniu – średnia temperatura pożaru w funkcji czasu.

Rozgorzenie

Oprócz opisanych faz pożaru, na rys. 2 widoczne jest zdarzenie nazwane **rozgorzeniem** (ang. **flashover**). Jest to moment przejścia pożaru ze spalania powierzchniowego do spalania w całej objętości materiałów palnych w pomieszczeniu. Czas trwania rozgorzenia jest stosunkowo krótki w porównaniu z czasem trwania poszczególnych faz pożaru, dlatego też jest ono uznawane za „zdarzenie”, a nie odrębną fazę.

W praktyce rozgorzenie polega na spalaniu się produktów rozkładu termicznego i spalania (dymu). W czasie pożaru w zależności od geometrii przegród budowlanych oraz sposobu wentylacji mogą wystąpić następujące typy rozgorzenia:

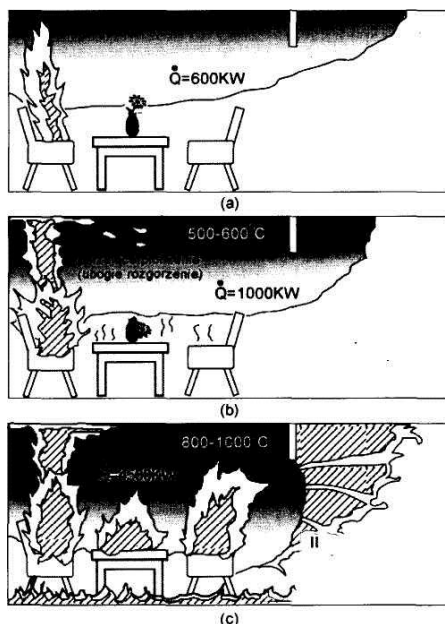
- **powracające** (pomieszczenie jest mocno zadymione, gazy opadają na podłogę, ogień przygasa, do wybuchu brakuje tlenu, otwarcie drzwi lub okna powoduje wydostawanie się dymu na zewnątrz oraz gwałtowny napływ powietrza do pomieszczenia objętego pożarem; wydostające się na zewnątrz gazy posiadające wysoką temperaturę wskutek mieszania się z powietrzem ulegają zapłonowi; ogień spalającej się na zewnątrz mieszanki wraca do pomieszczenia wciągany strumieniem napływającego świeżego powietrza),
- **opóźnione** (występuje w pomieszczeniu, w którym gazy pożarowe wypełniają całe pomieszczenie mocno zubożone w tlen gdzie spalanie płomieniowe ustało (występuje tlenie się materiałów palnych na podłodze); gwałtowny dopływ powietrza z zewnątrz wskutek otwarcia drzwi lub okna powoduje szybkie wzbogacenie gorących gazów pożarowych w tlen co skutkuje ich wybuchem; mieszanie gazów pożarowych z powietrzem może trwać nawet kilka minut przez co ten rodzaj rozgorzenia nazywany jest opóźnionym),
- **ubogiej mieszanki** (do pomieszczenia objętego pożarem zapewniony jest dostateczny dopływ powietrza; z biegiem czasu stężenie gazów palnych przekracza dolną granicę wybuchowości co skutkuje wybuchem mieszanki gazów palnych z powietrzem- jest to lekki rodzaj rozgorzenia, który stanowi wstęp do rozgorzenia pełnego)
- **przemieszczające się** (gazy pożarowe uchodzące np. w warstwie nad sufitem podwieszonym dostają się do innego pomieszczenia bogatego w tlen gdzie występuje czynnik energetyczny umożliwiający zapłon gazów; wskutek podciśnienia powstającego w płonącym pomieszczeniu ogień po zapłonie gazów palnych wraca do pomieszczenia objętego pożarem tą samą drogą co uchodzące z niego gazy do sąsiedniego pomieszczenia)
- **wstecznego ciągu płomieni** (występuje w pomieszczeniu o ubogim stężeniu tlenu, gdzie powstaje spalanie bezpłomieniowe zwane również tleniem; brak tlenu powoduje zanik palenia, obniżenie temperatury oraz powstanie podciśnienia; gwałtowny napływ powietrza wskutek otwarcia drzwi lub okna powoduje szybką

reakcję tłących się materiałów palnych, które przechodzą do spalania płomieniowego i wybuch mieszaniny gazów palnych z powietrzem)

- **bogate** (gwałtowne zmieszanie się dymu ubogiego w tlen z napływającym świeżym powietrzem powstaje w pomieszczeniach gdzie występują tzw. pożary pełzające; po pojawieniu się ognia wskutek braku dopływu powietrza przyrastająca objętość gazów pożarowych wytwarza nadciśnienie; otwarcie okna lub drzwi powoduje gwałtowny napływ powietrza i wybuch mieszaniny gazów palnych z powietrzem).

Obraz rozwoju pożaru w pomieszczeniu spowodowany źródłem o niewielkiej mocy, rzędu 5 W (niedopałek papierosa rzucony na fotel) przedstawia rys. 3. Na rysunku tym symbolicznie oznaczono wzrost wydzielanego ciepła podczas spalania w I i II fazie rozwoju pożaru.

Z chwilą zaistnienia zjawiska rozgorzenia temperatura pożaru osiąga wartość rzędu $(800 - 1000)^\circ \text{C}$, a pożar przechodzi w stan quasi-stacjonarny, który charakteryzuje się stosunkowo małymi zmianami jego parametrów w czasie. W tym czasie następuje częściowe oddawanie ciepła do otoczenia poza pomieszczenie objęte pożarem. Stan ten sygnalizują płomienie wydostające się przez drzwi oraz okna. W tej fazie dynamika rozwoju pożaru zależy od dopływu tlenu, którą warunkują w głównej mierze przekroje otworów wentylacyjnych.



Rys.3 Ogólny obraz I i II fazy pożaru w pomieszczeniu [13; 12]

Krzywe symulujące przebieg pożaru

Prowadzone na szeroką skalę badania zjawisk pożarowych oraz rozwoju pożaru pozwoliły na opracowanie uogólnionych krzywych pożarowych temperatura – czas, przedstawiających spodziewany przyrost temperatury funkcji czasu tj. $T = f(t)$:

- krzywa normowa
- krzywa węglowodorowa
- krzywa zewnętrzna
- krzywe parametryczne
- krzywe tunelowe.

Krzywe te zostały przedstawione w normie **EN 1363-2:1999 Fire resistance test. Part 2. Alternative and additional procedures**, której wymagania stanowią podstawę prowadzenia badań ogniowych.

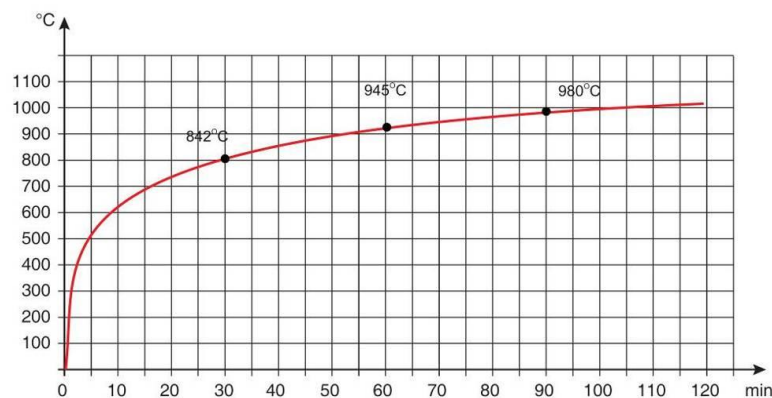
Spośród wyszczególnionych krzywych pożarowych temperatura – czas najbardziej szczególne miejsce zajmuje krzywa normowa, zwana również krzywą celulozową, która opisuje uogólniony przebieg pożaru w budynkach oraz krzywe tunelowe opisujące uogólniony przebieg pożarów w tunelach komunikacyjnych.

Krzywa normowa (celulozowa)

Krzywa ta obrazuje pożary celulozowe, które występują w budynkach. Jest ona powszechnie stosowana w badaniach ogniowych budynków. Krzywą tą opisuje następujące równanie 11]:

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

gdzie: T – temperatura [$^{\circ}\text{C}$], t – czas [min],
natomiast jej przebieg przedstawia rys. 4.



Rys. 4 Krzywa narastania temperatury obrazująca pożary celulozowe[10]

Krzywa tunelowa

Szczególną grupę pożarów stanowią pożary w tunelach komunikacyjnych, które jako budowle odróżnia:

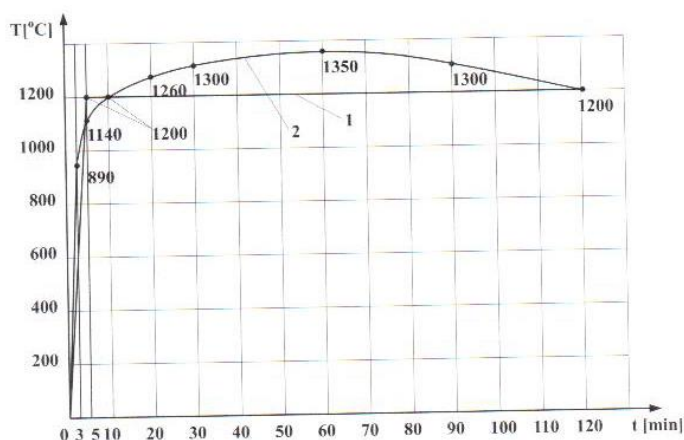
- długość, która jest niewspółmiernie wielka w porównaniu z pozostałymi wymiarami tunelu,
- wentylacja pożarowa zależna od długości tunelu,
- znikome odprowadzanie ciepła na zewnątrz.

Wskutek znikomego odprowadzania ciepła na zewnątrz temperatury pożarowe osiągają najwyższe wartości ze wszystkich pożarów w obiektach budowlanych.

Pożary te są symulowane przez krzywe tunelowe:

- niemiecką RABT
- holenderską Rijkswaterstaat.

Przebiegi obydwu krzywych przedstawia rys. 5 .



Rys. 5 Krzywe tunelowe „temperatura – czas” [17]

1-niemiecka RABT; 2- holenderska Rijkswaterstaat.

Cechą charakterystyczną pożarów w tunelach komunikacyjnych jest występowanie zjawiska kominowego, które powoduje że temperatura pożaru uzyskuje w ciągu 5 minut wartość około 1200°C.

Krzywe parametryczne

Dość ciekawą grupę stanowią krzywe pożarowe „temperatura-czas” zwane krzywymi parametrycznymi, których przebieg jest uzależniony do wskaźnika otworów oraz od gęstości obciążenia ogniowego Q , która jest jednym z podstawowych parametrów określających zagrożenie pożarowe.

Określa ona średnią spodziewaną ilość ciepła w [MJ] wydzielanego podczas spalania materiałów palnych zgromadzonych w pomieszczeniu, strefie pożarowej lub składowisku materiałów stałych w odniesieniu do 1 m² powierzchni i wyraża się w [MJ/m²].

Gęstość obciążenia ogniowego oblicza się zgodnie z wymaganiami normy **PN-B-02852:2001** Ochrona pożarowa budynków. Obliczanie gęstości obciążenia ogniowego oraz wyznaczanie względnego czasu trwania pożaru [15], z wykorzystaniem następującego wzoru:

$$Q = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{ci} * G_i)}{F} \quad (2)$$

gdzie:

Q – gęstość obciążenia ogniowego [MJ/m²],

n – liczba materiałów palnych zgromadzonych w budynku, pomieszczeniu lub strefie pożarowej,

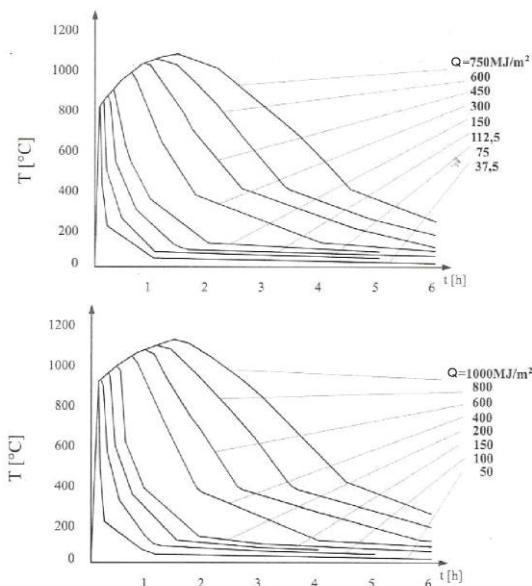
F – powierzchnia rzutu poziomego budynku, pomieszczenia lub strefy pożarowej [m²],

G_i – masa poszczególnych materiałów palnych zgromadzonych w budynku, pomieszczeniu lub strefie pożarowej [kg],

Q_{ci} – ciepło spalania poszczególnych materiałów palnych zgromadzonych w budynku, pomieszczeniu lub strefie pożarowej [MJ/kg].

Krzywe te wykreślane są na podstawie obliczeń prowadzonych w odniesieniu do określonego pomieszczenia i w praktyce nie znajdują zastosowania. Mają one charakter teoretyczny, choć stanowią uszczegółowiony przebieg krzywej normowej, dokładnie odzwierciedlając spodziewany przebieg pożaru.

Przykładowe przebiegi krzywych parametrycznych przedstawione na rys. 6 dowodzą słuszność przyjęcia krzywej celulozowej przy prowadzeniu badań ogniowych ze względu na to, że opisuje ona warunki ekstremalne.



Rys. 6 Przykładowe krzywe parametryczne, których przebieg jest uzależniony od gęstości obciążenia ogniowego „Q” oraz wskaźnika otworów „O” [17]

Opis matematyczny krzywych parametrycznych jest stosunkowo prosty lecz prowadzi do bardzo pracochłonnych obliczeń, przez co został pominięty.

$$O = A \cdot \sqrt{h} / A_t, \quad h = \frac{\sum A_i \cdot h_i}{\sum A_i}$$

gdzie: O – wskaźnik otworów (górny rysunek $O = 0,06 \text{ m}^{1/2}$; dolny rysunek $O = 0,08 \text{ m}^{1/2}$,
 A_i – pole powierzchni i -tego otworu (okna i drzwi), w $[\text{m}^2]$
 h_i – wysokość i -tego otworu, w $[\text{m}^2]$ A_t – pole powierzchni wszystkich przegród brutto wraz z otworami (powierzchnia ścian, okien podłóg oraz sufitów) , w $[\text{m}^2]$

Temperatura pożaru a przewodność elektryczna

W budynkach są instalowane urządzenia przeciwpożarowe, do wykrywania zagrożeń pożarowych oraz urządzenia wspomagające akcję ratowniczą.

Szczególną grupę odbiorników stanowią urządzenia elektryczne, których funkcjonowanie w czasie pożaru jest niezbędne dla skutecznego przeprowadzenia ewakuacji ludzi uwięzionych w płonącym budynku.

Do urządzeń tych należy zaliczyć [14]:

- dźwigi dla ekip ratowniczych,
- pompy pożarowe,
- oświetlenie awaryjne,
- Dźwiękowy System Ostrzegania,
- wentylację pożarową.

Przewody zasilające te urządzenia w czasie pożaru muszą zagwarantować dostawę energii elektrycznej o wymaganych parametrach oraz skuteczną ochronę przeciwporażeniową przez czas określony w scenariuszu zdarzeń pożarowych.

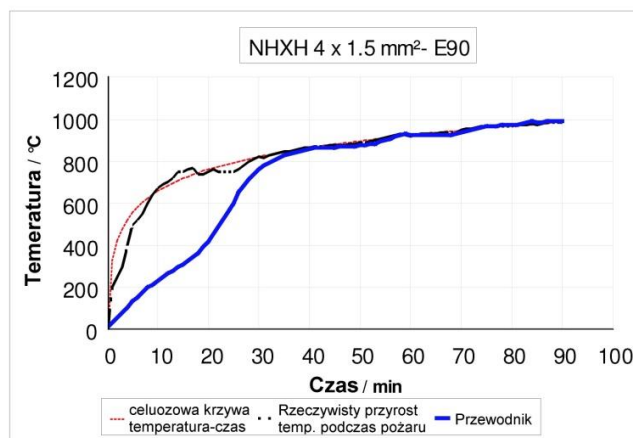
Wraz z rozwojem pożaru rośnie temperatura otoczenia, której działaniu poddane są przewody zasilające urządzenia wspomagające prowadzenie akcji ratowniczej.

Przewody te wykonywane są z materiałów zapewniających odporność na działanie ognia przez określony czas, odpowiednio 30, 60 lub 90 minut [20].

Pomimo tego, że izolacja opóźnia przenikanie ciepła do przewodnika, w krótkim czasie następuje zrównanie się temperatury przewodu z temperaturą gazów pożarowych.

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 Budowlanej 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 zachowania ciągłości dostaw energii elektrycznej przez wymagany czas.

Na rys. 7 przedstawiono przykładowy przebieg nagrzewania izolacji oraz żyły miedzianej przewodu czterożyłowego [18]



Rys. 7 Przebieg czasowy nagrzewania się izolacji oraz żyły miedzianej przewodu czterożyłowego [18]

Wraz ze wzrostem temperatury przewodu wzrastają amplitudy drgań atomów w węzle 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 rok – doświadczalne stwierdzenie przez **Wiedemanna i Franza**; 1873 – 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 [9]:

$$\frac{\lambda}{\gamma} = L \cdot T \quad (3)$$

gdzie:

γ - konduktywność przewodnika [$m / (\Omega \cdot mm^2)$],

λ - współczynnik przewodności cieplnej przewodnika [$W / (m \cdot K)$],

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

T- temperatura przewodnika [K].

Prawo Wiedemanna – Franza nie jest spełnione dla wszystkich metali, co potwierdza badania prowadzone w Wielkiej Brytanii na początku XXI wieku. Badania te jednak wykazały, że prawo te 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:

$$\frac{d\rho}{dT} = \alpha \cdot \rho \quad (4)$$

gdzie:

T – temperatura bezwzględna, w [K],

ρ - rezystancja jednostkowa przewodu [$\Omega \cdot mm^2 / m$],

α - temperaturowy współczynnik rezystancji odniesiony do temperatury 20⁰ C (dla metali stosowanych na przewody można przyjmować $\alpha = 0,004 K^{-1}$).

Rozwiązanie równania (4) prowadzi do następującego wzoru:

$$\rho = C \cdot e^{\alpha \cdot T} \quad (5)$$

Przyjmując jako ρ_{20} dla temperatury początkowej 20⁰ C (293,16 K), po przekształceniach otrzymuje się stałą całkowania:

$$C = \rho_{20} \cdot \frac{1}{e^{293,16\alpha}} \quad (6)$$

Wzór na rezystancję przewodu w temperaturze wyższej od 20⁰ C (293,16 K), przyjmie następującą postać:

$$\rho = \rho_{20} \cdot \frac{1}{e^{293,16\alpha}} \cdot e^{\alpha \cdot T} = \rho_{20} \cdot e^{\alpha \cdot (T - 293,16)} = \rho_{20} \cdot e^{\alpha \cdot \Delta T} \quad (7)$$

Prowadzenie obliczeń bezpośrednio z wykorzystaniem wzoru (7) 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.

Dobre wyniki daje postać przybliżona wzoru (7), którą otrzymuje się po rozwinięciu go w szereg:

$$\rho = \rho_{20} \cdot \left(1 + \alpha \cdot \Delta T + \frac{\alpha^2}{2} \cdot \Delta T^2 + \dots \right) \quad (8)$$

W zakresie temperatur nie wyższych od 200 °C zmienność rezystancji przewodu wystarczy opisać za pomocą pierwszych dwóch wyrazów wzoru (8) zastępując rezystywność rezystancją przewodu:

$$R = R_{20} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T) \quad (9)$$

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 od 200 °C, które występują w czasie pożaru, wzór (8) nie może zostać uproszczony do pierwszych dwóch składników ze względu na to, że przebieg zmienności rezystancji przestaje być liniowy. Dla temperatur większych od 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:

$$R = R_{20} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T + \beta^2 \cdot \Delta T^2) \quad (10)$$

gdzie:

β - drugi współczynnik temperaturowy rezystancji (dla metali stosowanych na przewody

$\beta = 10^{-6} \text{ K}^{-2}$)

Korzystanie w praktyce ze wzoru (9) lub (10) 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 α przy temperaturach wyższych od 200 °K [18]:

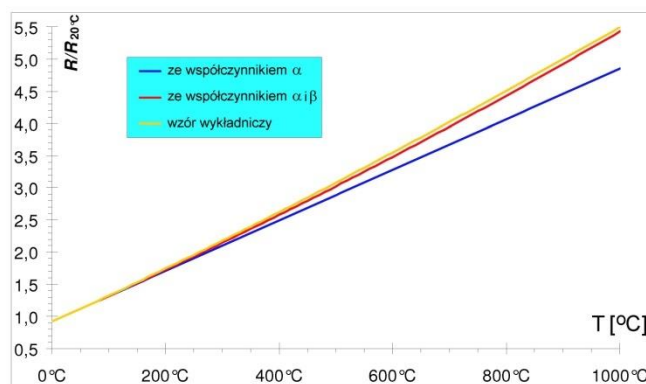
$$R_{T_k} = R_{20} * \left(\frac{T_k}{293,16}\right)^{1,16} \quad (11)$$

gdzie: R_{T_k} - rezystancja przewodu w temperaturze T_k , w [Ω];

T_k - temperatura końcowa, w której oblicza się rezystancje przewodu R_{T_k} , w [K];

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

Na rys. 8 przedstawiono zmienność rezystancji funkcji temperatury [$R = f(T)$], obliczonej z wykorzystaniem wzorów (9), (10) oraz (11).



Rys. 8: Zależność rezystancji przewodu funkcji temperatury wyznaczona z wykorzystaniem wzorów (9), (10) oraz (11) [18]

Przedstawione na rys. 8 charakterystyki $R = f(T)$ wykazują, że obliczenia prowadzone z wykorzystaniem wzorów (10) oraz (11) dają porównywalne wyniki, z których można korzystać w praktyce.

Analiza rys. 8 pozwala wyciągnąć wniosek, że przewód elektryczny pod działaniem 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 może 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, w praktyce odnotowywane są przypadki niepoprawnej pracy urządzeń elektrycznych wspomagających akcją ratowniczą lub całkowitego pozbawienia ich swojej funkcji.

Wszelkie dochodzenia po pożarowe 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 otoczenie w czasie pożaru w krótkim czasie uzyskuje wartość 1200°. W tak wysokiej temperaturze stopieniu ulega również miedź a zastosowanie izolacji ogniochronnej nie zapewni ciągłości dostaw energii do zasianych urządzeń przez zachodzi konieczność stosowania dodatkowych środków ochronnych np. atestowanych przeciwpożarowych kanałów kablowych.

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

Zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 50160 [24], 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 się pojawić podczas rozruchu silników 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 4).

Wskutek wzrostu rezystancji przewodu spowodowanego działaniem temperatury pożarowej, co 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 [22]:

$$M = M_n \cdot \left(\frac{U}{U_n}\right)^2 \quad (12)$$

gdzie:

M – rzeczywisty moment silnika elektrycznego [Nm],

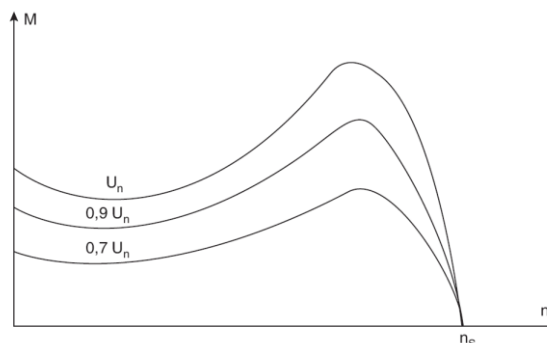
M_n – moment znamionowy silnika elektrycznego [Nm],

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 do złącza budynku do zasilanego urządzenia nie może przekraczać 4% [21]. 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 akcją gaśniczo-ratowniczą ma dopuszczalny spadek napięcia dla stanu pracy ustalonej. Zmienność momentu silnika indukcyjnego zwartego w funkcji napięcia zasilającego przedstawia rys. 9.



Rys. 9.: Charakterystyki momentu obrotowego silnika indukcyjnego klatkowego dla różnych wartości napięcia zasilającego [19]

Dopuszczalne spadki napięcia dla silników będących w stanie rozruchu przedstawia tabela 4.

Tabela 4: Dopuszczalne spadki napięcia dla rozruchów silników [22]

Rodzaj rozruchu silnika	Dopuszczalny spadek napięcia ΔU [%]
Rozruch lekki $M_b = (0 - 0,3)M_n$	35
Rozruch ciężki i częsty $M_b = (0,3 - 0,6)M_n$	15
Rozruch ciężki rzadki $M_b = (0,6 - 1,0)M_n$	10
M_n – moment znamionowy silnika; M_b – moment hamujący (oporowy)	

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 długotrwale utrzymującej się wartości napięcia większej o 10% w stosunku do wartości nominalnej powoduj 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 [16]:

$$\frac{\phi}{\phi_n} = \left(\frac{U}{U_n}\right)^\gamma \quad (13)$$

gdzie:

ϕ - rzeczywista wartość strumienia świetlnego,

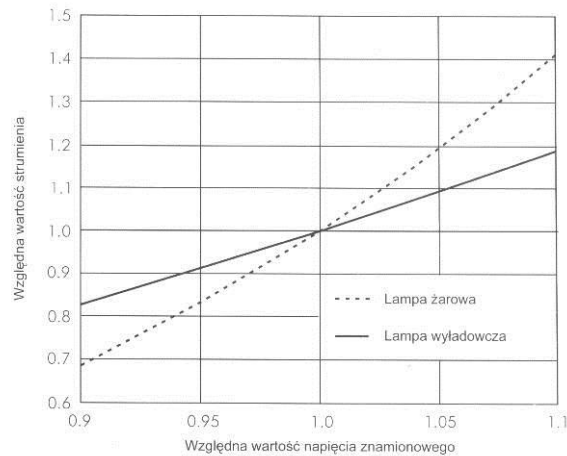
ϕ_n - znamionowa wartość strumienia świetlnego,

U – rzeczywista wartość napięcia zasilającego,

U_n – nominalna wartość napięcia zasilającego,

γ - 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. 10.



Rys. 10: Względna wartość strumienia światelnego lampy żarowej i wyładowczej jako funkcja zmian wartości napięcia zasilającego [16]

Poprawnie dobrane przewody, zgodnie z wymaganiami norm i przepisów wskutek wzrostu rezystancji powodowanej wysoką temperaturą (w czasie pożaru w budynku wzrost rezystancji jest niemal 5-cio krotny) będą dostarczały energię elektryczną do zasilanych urządzeń przy zaniżonym napięciu.

Spowoduje to zmniejszenie momentów silników, osłabienie natężenia oświetlenia ewakuacyjnego oraz silne zniekształcenia komunikatów przekazywanych podczas akcji gaśniczo-ratowniczej przez Dźwiękowy System Ostrzegania. Przy spadku napięcia powyżej 15% zostanie zakłócona normalne funkcjonowanie styczników oraz przełączników pracujących w układach automatyki polegająca na nie kontrolowanych rozłączeniach obwodów.

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 z wykorzystaniem następujących wzorów [1; 8]:

- dla obwodów trójfazowych:

$$S \geq \frac{l \cdot \left(\frac{T_K}{293,16}\right)^{1,16}}{\gamma \cdot \left(\frac{\Delta U_{dop\%} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot I_B \cdot \cos \varphi} - X \cdot \operatorname{tg} \varphi\right)} \cdot k_p \quad (14)$$

gdzie:

$\Delta U_{dop\%}$ - dopuszczalny spadek napięcia wg [21] [%],

l - długość trasy przewodowej [m],

U_n - napięcie znamionowe [V],

X - reaktancja przewodu (linii) zasilającej [Ω],

I_B - spodziewany prąd obciążenia [A],

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

k_p - stosunek długości przewodu narażonej na działanie temperatury do długości całej trasy przewodowej.

- dla obwodów jednofazowych

$$S \geq \frac{l \cdot \left(\frac{T_K}{293,16}\right)^{1,16}}{\gamma \cdot \left(\frac{\Delta U_{dop\%} \cdot U_{nf}}{200 \cdot I_B \cdot \cos \varphi_n} - X \cdot \operatorname{tg} \varphi_n\right)} \cdot k_p \quad (15)$$

Dobre przewody należy następnie sprawdzić z warunku samoczynnego wyłączenia. Należy przy tym pamiętać, że do zabezpieczania 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 zwarcia doziemnych spowodują samoczynne wyłączenie zasilania w czasie nie dłuższym o wymaganego 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 5.

Tabela 5: Dopuszczalne czasy trwania zwarcia w instalacjach nn zgodnie z PN-HD 60364-4-41 [1; 7; 8].

Układ sieci	50 V < $\underline{U}_0 \leq 120$ V		120 V < $\underline{U}_0 \leq 230$ V		230 V < $\underline{U}_0 \leq 400$ V		$\underline{U}_0 > 400$ 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

\underline{U}_0 - nominalne napięcie ac lub dc przewodu fazowego względem uziemionego przewodu PE lub PEN

Najbardziej ostre wymagania w odniesieniu do czasu wyłączenia norma ta określa dla układu zasilania TT. Czasy te są o połowę krótsze od największych dopuszczalnych czasów określonych dla układów zasilania TN (TN-S; TN-C-S; TN-C).

Z tego względu jedynym skutecznym zabezpieczeniem od porażenia 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.

W myśl wymagań normy [7] do zasilania 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 należy sprawdzić z wykorzystaniem następującego wzoru:

$$I_{k1} = \frac{U_0}{\sqrt{\{2 \cdot [R + R_{ppoz.} \cdot (\frac{T_g}{293,16})^{1,16}]\}^2 + (2 \cdot X)^2}} \geq I_a \quad (16)$$

gdzie:

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

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

I_{k1} – 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.

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 4102-12 Zachowanie się materiałów i elementów budowlanych pod wpływem ognia. Podtrzymywanie funkcji urządzeń w czasie pożaru. Wymagania i badania [2], dopuszcza się do stosowania atestowane zespoły posiadające 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. Krajowe przepisy [3; 6] definiują te wymagania nieprecyzyjnie.
3. Dobierane przewody muszą zapewnić dostawę energii elektrycznej o wymaganych parametrach przez wymagany czas pracy zasilanych urządzeń wspomagających ewakuację oraz zapewnić skuteczną ochronę przeciwporażeniową, przez co podczas ich doboru należy uwzględnić wzrost rezystancji przewodnika w skutek działania wysokiej temperatury. czego nie wymagają obowiązujące normy przedmiotowe oraz przepisy techniczno-prawne.
4. Przykrycie przewodów warstwą tynku nie chroni przed wzrostem rezystancji przewodów w skutek działania wysokiej temperatury (ściana wraz z tynkiem akumuluje ciepło powodując dodatkowe oddziaływanie termiczne na przewody).
5. 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 powodowaną wysoką temperaturą.
6. Do zabezpieczania obwodów zasilających urządzenia ppoż., które muszą funkcjonować w czasie pożaru należy stosować zabezpieczenia nad prądowe 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 zasilani, pozbawiając urządzenia swojej funkcji).
7. 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.
8. Pomimo szeregu działań prowadzonych na rzecz bezpieczeństwa przeciwpożarowego, instalacje elektryczne oraz przyłączane do nich urządzenia elektryczne są przyczyną znacznej liczby pożarów powstających w budynkach. Wskaźnik ten jest bardzo niepokojący.

Literatura

- [1] Wiatr J., Orzechowski M.: *Poradnik projektanta elektryka*, DW Medium 2010 wydanie IV.
- [2] DIN 4102-12: *Zachowanie się materiałów i elementów budowlanych pod wpływem ognia. Podtrzymywanie funkcji urządzeń w czasie pożaru. Wymagania i badania.*
- [3] PN-EN 50200:2006: *Metoda badania palności cienkich przewodów i kabli bez ochrony specjalnej stosowanych w obwodach zabezpieczających.*
- [4] Materiały udostępnione przez firmę NIEDAX KLEINHUIS POLSKA Sp. z o.o.
- [5] PN-B-02851-1:1997: *Ochrona przeciwpożarowa budynków. Badania odporności ogniowej elementów budynku. Wymagania ogólne i klasyfikacja.*
- [6] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12.04.2002 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. 75 poz. 690. z późniejszymi zmianami).
- [7] PN-HD 60364-4-41: 2009: *Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Część 4 – 41. Instalacje dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przed porażeniem elektrycznym.*
- [8] J Wiatr., Boczkowski A., Orzechowski M.: *Ochrona przeciwporażeniowa oraz dobór przewodów i ich zabezpieczeń w instalacjach niskiego napięcia*, DW MEDIUM 2010
- [9] Wiatr J., Skiepmo E.: *Dobór przewodów do zasilania urządzeń ppoż., które muszą funkcjonować w czasie pożaru*, elektro.info 10/2010 – cz. I, elektro.info 11/2010 – cz. II.
- [10] E. Skiepmo: *Instalacje przeciwpożarowe*, DW MEDIUM 2010 – wydanie II.
- [11] EN 1363-2:1999: *Fire resistance test. Part 2. Alternative and additional procedures.*
- [12] Konecki M., Król B., Wróblewski D.: *Nowoczesne metody działań ratowniczo-gaśniczych*, Warszawa 2003.
- [13] Konecki M.: *Wpływ szybkości wydzielania ciepła i emisji dymu na rozwój pożaru w układzie pomieszczeń*, Warszawa 2007.
- [14] Wiatr J., Orzechowski M.: *Dobór przewodów i kabli w instalacjach niskiego napięcia. Zagadnienia wybrane*, DW Medium 2011 – wydanie II.
- [15] PN-B-02852:2001 *Ochrona pożarowa budynków. Obliczanie gęstości obciążenia ogniowego oraz wyznaczanie względnego czasu trwania pożaru.*
- [16] Strzałka-Gołuszka K., Strzałka J.: *Jakość energii elektrycznej – parametry jakościowe, skutki złej jakości i sposoby poprawy cz. 1*, INPE nr 129-130 czerwiec-lipiec 2010.
- [17] M. Abramowicz; R. G. Adamski: *Bezpieczeństwo pożarowe budynków cz. I* SGSP 2002
- [18] www.leonardo-energy.org (december 15,2004 – Page 5 of 9)
- [19] Niestępski S., Parol M., Pasternakiewicz J., Wiśniewski T.: *Instalacje elektryczne. Budowa, projektowanie i eksploatacja*, OWPW 2011.
- [20] *Ochrona przeciwpożarowa w instalacjach elektrycznych (zagadnienia wybrane)*, materiały konferencyjne konferencji jubileuszu 10-lecia elektro.info Warszawa 18.10.2011
- [21] EN IEC 60364-5-525 *Electrical installations in buildings. Selection and erection of equipment. Voltage drop in consumers installations.*
- [22] Strojny J., Strzałka J.: *Projektowanie urządzeń elektroenergetycznych*, UWND AGH 2008 – wydanie VII.
- [23] Statystyki pożarów prowadzone przez KG PSP: www.kgpsp.gov.pl.
- [24] PN-EN 50160: 2008 Parametry jakościowe napięcia w publicznych sieciach rozdzielczych.

