

Badanie palności tworzyw sztucznych stosowanych w aparatach elektrycznych na przykładzie rozłączników bezpiecznikowych listwowych izolacyjnych niskiego napięcia

Mirosław Schwann – KENTIA

Streszczenie

W referacie przedstawiono wymagania oraz szczegółowy opis badań, będących wymaganiami normatywnymi lub przedmiotem uzgodnień pomiędzy użytkownikiem a producentem tworzyw sztucznych stosowanych w aparatach elektrycznych na przykładzie rozłączników bezpiecznikowych listwowych izolacyjnych niskiego napięcia. Przedstawiono również pewną filozofię założeń do określania stref pożarowych. Kierując się tą filozofią użytkownik (spółka dystrybucyjna energii elektrycznej, zakład przemysłowy) w zależności od oceny odporności tworzyw sztucznych na zagrożenia, takie jak: wysoka temperatura, żar, wreszcie rozprzestrzenianie ognia, przyjmuje założenia wynikające z ryzyka wystąpienia pożaru, nawet w warunkach nieprawidłowego użytkowania, wadliwego działania lub uszkodzenia rozdzielnic lub jej elementu, a także przyjmuje założenia określające dopuszczenia strefy pożaru i przestrzeni jego kontroli.

1. Wstęp

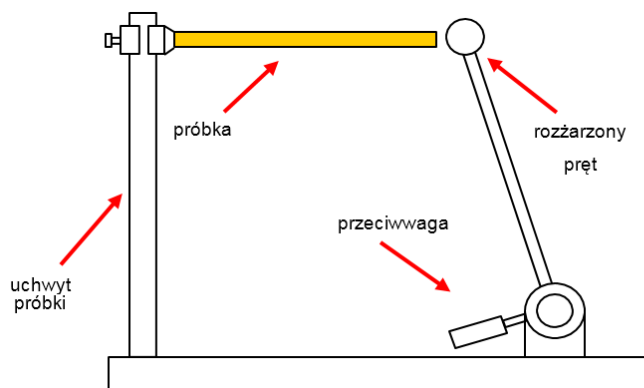
Infrastruktura techniczna, zapewniająca dostawę energii elektrycznej, umieszczona w przestrzeni publicznej, rozumianej jako obszar o szczególnym znaczeniu dla zaspokajania potrzeb mieszkańców, poprawy jakości ich życia i sprzyjający nawiązywaniu kontaktów społecznych ze względu na jego położenie oraz cechy funkcjonalno-przestrzenne [4], nie może pogorszyć bezpieczeństwa osób postronnych i pracowników wykonujących pracę przy urządzeniach i instalacjach elektroenergetycznych. Kluczowe dla bezpieczeństwa jest wyznaczenie odpowiednich stref i odpowiedni dobór materiałów zapewniających bezpieczeństwo w tych strefach. Producenci i dostawcy elementów infrastruktury technicznej przed ich dostawą badają je we własnych, ale też i w niezależnych, często akredytowanych, laboratoriach. Zakres badań reprezentatywnych odwzorowujących warunki rzeczywiste jest określony w normach przedmiotowych, traktowanych jako jeden z ważniejszych fragmentów zasad wiedzy technicznej, na którą powołuje się Prawo budowlane [5]. W rozdzielnicach elektrycznych niskiego napięcia (nn) do rozdziału energii elektrycznej od kilkunastu lat stosowane są powszechnie rozłączniki bezpiecznikowe listwowe izolacyjne. Spośród wszystkich badań jakim poddawane są kablowe rozdzielnice szafowe niskiego napięcia, ważną próbą, dla oceny bezpieczeństwa osób postronnych i pracowników wykonujących pracę przy urządzeniach i instalacjach elektroenergetycznych, jest badanie w warunkach wyładowania łukowego, powstałego w wyniku zwarcia wewnętrznego [2]. Niemniej jednak ostatnio uwaga zamawiających i producentów rozdzielnic niskiego napięcia i ich wyposażenia została skupiona na kategorii palności tworzyw, z których wykonano rozłączniki bezpiecznikowe listwowe izolacyjne niskiego napięcia.

2. Programy normatywne do określania palności tworzyw sztucznych stosowanych jako materiały elektroizolacyjne

Najwcześniej stosowanym w Polsce programem normatywnym do badania własności cieplnych tworzyw sztucznych, stosowanych jako materiały elektroizolacyjne stałe, na działanie żaru, według metody Schramma i Żebrowskiego, była polska norma PN-E-04414:1986P Materiały elektroizolacyjne stałe - Metody badania dla określenia palności w obecności źródła zapłonu [27]. Badanie to miało na celu ustalenie, w jakim stopniu tworzywo sztuczne jest odporne na działanie rozżarzonego do temperatury 955°C pręta karborundowego. Badanie trwało 180 s. Badanie polegało na określeniu długości spalonej części próbki oraz ubytku jej masy. Ponadto badanie obejmowało obserwację zjawisk zachodzących podczas pomiaru, np. czy próbka podczas pomiaru paliła się czy też tylko topiła się bez palenia. Przyrząd Schramma do określenia wytrzymałości na żar przedstawiono na rys. 1.

Później polscy producenci do badania własności cieplnych tworzyw sztucznych, stosowanych jako materiały elektroizolacyjne stałe, zaczęli stosować amerykańskie normy uniwersyteckie, m.in. UL 94 Standard for Tests for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances. Norma UL 94 wyróżnia 12 kategorii palności dla próbek wystawionych na określony płomień testowy w kontrolowanych warunkach laboratoryjnych:

- sześć kategorii dotyczy materiałów powszechnie stosowanych w obudowach, elementów konstrukcyjnych i elektroizolacyjnych (kategorie: 5VA, 5VB, V-0, V-1, V-2, HB),
- trzy kategorie odnoszą się do niskiej gęstości materiałów piankowych (kategorii: HF-1, HF-2, HBF),
- trzy kategorie dotyczą bardzo cienkich warstw, na ogół niezdolnych do wspierania się w pozycji pionowej (kategorie: VTM-0, VTM-1, VTM-2).



Rys. 1. Przyrząd Schramma do określania wytrzymałości na żar
Źródło: oprac. własne na podstawie [32]

Próbki formowane z tworzywa sztucznego są zorientowane w położeniu uzależnionym od metody badania: poziomej lub pionowej. Są one poddawane określonemu źródłu płomienia w określonym czasie. W niektórych testach test płomieniem jest stosowany tylko raz (poziome położenie próbki, kategoria HB), podczas gdy w innych badaniach płomień jest stosowany co najmniej dwukrotnie. W elektroenergetyce najczęściej stosuje się kategorie palności: HB, V-2, V-1 i V-0. Kategoria HB wskazuje, że próbka została przetestowana w pozycji poziomej i stwierdzono, że pali się w tempie poniżej określonego maksimum.

Próby dla kategorii V-2, V-1 i V-0 wskazują, że materiał został przetestowany w pozycji pionowej i samogaśnie w określonym czasie, gdy źródło płomienia zostało usunięte.

Program badania palności z normy UL 94 do normalizacji międzynarodowej został przeniesiony poprzez normę IEC 60707:1981 Flammability of solid non-metallic materials when exposed to flame sources - List of test methods, która doczekała się zmiany i drugiej edycji w 1999 r. [25]. Do normalizacji europejskiej CENELEC, a później do normalizacji polskiej jako norma: PN-EN 60707:2002P Palność materiałów niemetalicznych stałych narażonych na działanie źródeł ognia - Wykaz metod badań [26]. Ostatecznie norma ta została zastąpiona przez normy: IEC 60695-11-10 (dla testów płomieniem probierczym 50 W) i IEC 60695-11-20 (dla testów płomieniem probierczym 500 W). W Polskim Komitecie Normalizacyjnym norma została wycofana w 2008 r.

W elektroenergetyce najczęściej do określania kategorii palności tworzyw sztucznych, stosowanych jako materiały elektroizolacyjne stałe, wykorzystywana jest norma PN-EN 60695-11-10:2014-02E Badanie zagrożenia ogniowego - Część 11-10: Płomień probierczy - Metody badania płomieniem probierczym 50 W przy poziomym i pionowym ustawieniu próbki [19].

W normach przedmiotowych obudów i samych aparatów i urządzeń elektroenergetycznych do badania odporności materiałów izolacyjnych na narażenia termiczne na skutek przepływu prądu jest wskazywana norma PN-EN 60695-2-10:2013-12E Badanie zagrożenia ogniowego - Część 2-10: Metody badań oparte na stosowaniu rozżarzonego/gorącego drutu - Urządzenie do badania rozżarzonym drutem i ogólny sposób wykonywania prób [12].

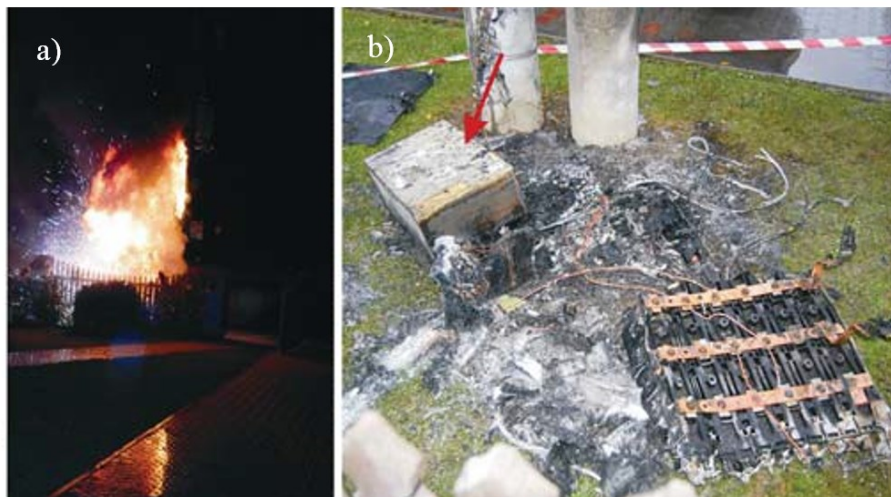
Norma PN-EN 60695-1-10:2017-05E Badanie zagrożenia ogniowego - Część 1-10: Wytyczne oceny zagrożenia ogniowego wyrobów elektrotechnicznych - Wytyczne ogólne [10] wykazuje, że: „w przypadku wyrobów elektrotechnicznych występuje ryzyko pożaru w każdym obwodzie elektrycznym znajdującym się pod napięciem. W związku z tym, zadaniem zastosowanych składników obwodu i konstrukcji urządzenia oraz dobranych materiałów jest zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia pożaru, nawet w przypadku dającego się przewidzieć nieprawidłowego użytkowania, wadliwego działania lub uszkodzenia wyrobu. Praktycznym tego celem jest zapobieganie zapaleniu się, spowodowanemu częścią znajdującą się pod napięciem elektrycznym, lecz jeśli zapalenie się i pożar wystąpią, to należy kontrolować pożar najlepiej wewnątrz obudowy wyrobu elektrotechnicznego” [10].

Najlepszą metodą badania zagrożenia ogniowego wyrobów elektrotechnicznych powinno być dokładne odtworzenie warunków występujących w praktyce. W większości przypadków nie jest to możliwe. Dlatego też, ze względów praktycznych, badanie to najlepiej jest wykonać przez możliwie najdokładniejszą symulację występujących w praktyce rzeczywistych skutków działania wysokiej temperatury i ognia. Badania te, oprócz tych wynikających z badania typu wyrobu, są przedmiotem uzgodnień pomiędzy użytkownikiem a producentem [10], [11].

Kierując się ww. zasadami użytkownik (spółka dystrybucyjna energii elektrycznej, zakład przemysłowy) w zależności od oceny odporności tworzyw sztucznych występujących w rozdzielnicach nn na zagrożenia: na wysoką temperaturę, żar, wreszcie rozprzestrzenianie ognia, przyjmuje założenia wynikające z ryzyka wystąpienia pożaru, nawet w warunkach nieprawidłowego użytkowania, wadliwego działania lub uszkodzenia rozdzielnicy lub jej elementu, oraz przyjmuje założenia określające dopuszczenia strefy pożaru i przestrzeni jego kontroli.

Wybór kategorii palności podyktowany jest przede wszystkim doświadczeniem eksploatacyjnym i oceną przyczyn: wystąpienia pożaru, spalenia się rozdzielnic niskiego napięcia, a nawet całych wewnętrznych stacji transformatorowych SN/nn.

Na rys. 2 przedstawiono widok słupowej stacji transformatorowej SN/nn po spaleniu rozdzielnic nn. Na rys. 2a) widać dwie obudowy rozdzielnic. Na rys. 2b) widać całkowicie spaloną obudowę większej rozdzielnic oraz obudowę mniejszej rozdzielnic wykonaną z tworzywa sztucznego w kategorii palności V-0, wskazaną czerwoną strzałką, która zachowała się w całości. Przyczyną pożaru była uszkodzona sprężyna dociskowa podstawy rozłącznika bezpiecznikowego listwowego.



Rys. 2. Widok kablowej rozdzielnic szafowej nn podwieszanej na stacji transformatorowej SN/nn:
a) w trakcie pożaru, b) po wyłączeniu spod napięcia i po ugaszeniu pożaru

Źródło: [3]

Na rys. 3 przedstawiono widok wewnętrznej stacji transformatorowej SN/nn po pożarze, której źródłem był nieprawidłowo przyłączony kabel obwodu odbiorczego, o żyłach wielodrutowych, oraz nieprawidłowo dokręcony zacisk typu V rozłącznika bezpiecznikowego listwowego niskiego napięcia.



Rys. 3. Widok pomieszczeń wewnętrznej stacji transformatorowej SN/nn po pożarze:
a) rozdzielnica nn, b) rozdzielnica SN, c) mosty kablowe

Źródło: archiwum autora

Analizując standardy techniczne dla rozdzielnic nn i rozłączników bezpiecznikowych listwowych nn, opracowane przez jedną ze spółek dystrybucyjnych energii elektrycznej w Polsce, można doszukać się pewnej logicznej całości. Oprócz spełnienia wymagań norm przedmiotowych, w tym w zakresie badania odporności tworzyw sztucznych na wysoką temperaturę i ogień, wymaga się dodatkowo:

- dla kablowych rozdzielnic szafowych niskiego napięcia: kategorie palności tworzyw z jakich wykonano rozłączniki bezpiecznikowe listwowe nie gorszej niż V-2 oraz kategorie palności V-0 dla tworzywa z którego wykonano obudowę rozdzielnic, co wskazuje, że zakwalifikowano te rozdzielnice do grupy o niższym znaczeniu i świadomie wybrano niższą kategorię palności dla łączników oraz ograniczono przestrzeń pożaru do obudowy, dla której wybrano kategorię V-0,
- dla rozdzielnic niskiego napięcia zarówno stacji słupowych jak i wewnętrznych SN/nn: kategorie palności V-0 dla tworzyw z jakich wykonano rozłączniki bezpiecznikowe listwowe oraz dla tworzywa z którego wykonano obudowę rozdzielnic (tylko w przypadku stacji słupowych SN/nn), co wskazuje, że zakwalifikowano te rozdzielnice do grupy o wyższym znaczeniu i świadomie wybrano wyższą kategorię palności dla samej rozdzielnic i jej wszystkich głównych elementów.

Niestety w specyfikacjach technicznych, oprócz podania wymagań w zakresie klasy palności dla obudów kablowych rozdzielnic szafowych i szafek pomiarowych nn, nie podjęto próby analizy grubości próbek dla których należy przeprowadzić badanie, co jest szczególnie istotne dla rozłączników bezpiecznikowych listwowych niskiego napięcia, dla których niemożliwe jest uzyskanie kategorii palności V-0 dla wszystkich grubości ścianek wyrobu.

W specyfikacjach technicznych kablowych rozdzielnic szafowych i szafek pomiarowych nn często podaje się najmniejszą dopuszczalną grubość ścianki obudowy, który wynosi 3,5 mm. Określenie najmniejszego wymiaru grubości ścianki ma kolosalne znaczenie przy określaniu kategorii palności.

Norma PN-EN 60695-11-10:2014-02E Badanie zagrożenia ogniowego - Część 11-10: Płomienie probiercze - Metody badania płomieniem probierczym 50 W przy poziomym i pionowym ustawieniu próbki [19] przewiduje bowiem przygotowanie próbek dla minimalnej i maksymalnej grubości, takie jak z normalnej dostawy (stosowanie innych grubości próbek należy podać w sprawozdaniu z badań). Z doświadczenia wiadomo, że wiążąca będzie próba dla minimalnej grubości próbki, dlatego też użytkownicy, dla zmniejszenia kosztów badań, mogą z powodzeniem zrezygnować z badania próbki dla maksymalnej grubości. Zatem istotne jest, aby grubości próbek dostarczonych do badań odpowiadały minimalnej grubości obudowy. Aby przekonać się, czy producent wykonał badania dla minimalnej grubości, a nie innej, co dopuszcza norma pod warunkiem umieszczenia takiej informacji w sprawozdaniu, należy sięgnąć do sprawozdania z badania.

Niezależnie od powyższego należy przyjąć, że jeżeli zamawiający podając w specyfikacjach technicznych wymaganie odnośnie klasy palności V0 według normy PN-EN 60695-11-10:2014-02E [19], to jednoznacznie określa producentowi obudów kablowych rozdzielnic szafowych i szafek pomiarowych nn, a także dla producentów rozłączników bezpiecznikowych listwowych niskiego napięcia, że próbki tworzyw użyte do produkcji ich wyrobów muszą zostać dodatkowo poddane próbie palności pionowej pomimo iż wcześniej przeszły z wynikiem pozytywnym badanie rozżarzonym drutem podczas badań typu danego wyrobu.

3. Programy normatywne do określania palności tworzyw sztucznych stosowanych w rozłącznikach bezpiecznikowych listwowych izolacyjnych niskiego napięcia

3.1. Wymagania konstrukcyjne w zakresie odporności na wysoką temperaturę i ogień

Norma PN-EN 60947-1:2010P Aparatura rozdzielcza i sterownicza niskonapięciowa - Część 1:

Postanowienia ogólne wraz z dwoma aktualizacjami [20], [21], [22] wymaga aby aparat elektryczny w swojej obudowie, jeżeli takowa jest, związanej lub nie, powinien być zaprojektowany i zbudowany tak, aby wytrzymał narażenia występujące podczas instalowania i normalnego użytkowania a ponadto, aby zapewniał odpowiedni stopień odporności na wysoką temperaturę i ogień. Części z materiałów izolacyjnych, które mogą być narażone termicznie na skutek efektów elektrycznych w urządzeniu, nie powinny podlegać ekspozycji na wysoką temperaturę i ogień. Producent powinien określić, która z metod badań: badanie rozżarzonym drutem czy badanie na podstawie kategorii palności ma być zastosowana [20], [21], [22]. Norma przedmiotowa PN-EN 60947-3:2009P Aparatura rozdzielcza i sterownicza niskonapięciowa – Część 3: Rozłączniki, odłączniki, rozłączniki izolacyjne i zestawy łączników z bezpiecznikami topikowymi wraz z dwoma aktualizacjami nie wprowadza żadnych dodatkowych wymagań w tym zakresie [23], [24].

3.2. Badanie rozżarzonym drutem

Właściwe zastosowanie materiałów sprawdza się, przeprowadzając jedną z prób [20], [21], [22], [23], [24]:

- używając aparatu,
- używając części pobranych z aparatu,
- używając próbek z identycznego materiału o reprezentatywnej grubości,
- dostarczając dane od dostawcy materiału izolacyjnego spełniającego wymagania zgodnie z normą PN-EN 60695-2-12:2011E+A1:2014-10E Badanie zagrożenia ogniowego - Część 2-12: Metody badań oparte na stosowaniu rozżarzonego/gorącego drutu - Metoda badania współczynnika palności materiałów rozżarzonym drutem (GWFI) [14].

Przy ocenie właściwego zastosowania materiałów powinno się uwzględnić odporność na wysoką temperaturę i ogień. Producent powinien wskazać, która metoda spośród ww. będzie wykonywana.

Próba rozżarzonym drutem powinna być przeprowadzona wg PN-EN 60695-2-10:2013-12E Badanie zagrożenia ogniowego - Część 2-10: Metody badań oparte na stosowaniu rozżarzonego/gorącego drutu - Urządzenie do badania rozżarzonym drutem i ogólny sposób wykonywania prób [12] i PN-EN 60695-2-11:2015-02E Badanie zagrożenia ogniowego - Część 2-11: Metody badań oparte na stosowaniu rozżarzonego/gorącego drutu - Metoda badania rozżarzonym drutem palności wyrobów gotowych (GWEPT) [13].

W odniesieniu do tej próby przewód ochronny nie jest uważany za część wiodącą prąd.

W normie znajduje się ponadto następująca uwaga: „jeżeli próba ma być przeprowadzana w więcej niż w jednym miejscu tej samej próbki, to należy szczególnie uważać, aby jakiekolwiek uszkodzenia spowodowane poprzednimi próbami nie miały wpływu na próbę, która ma być przeprowadzona” [20], [21], [22], [23], [24].

Jeżeli identyczny materiał o reprezentatywnej grubości spełnił już wymagania każdego z badań próby rozżarzonym drutem, wówczas nie wymaga się powtarzania tych badań.

Badania aparatu powinny być wykonywane rozżarzonym drutem wg PN-EN 60695-2-10:2013-12E [12] oraz PN-EN 60695-2-11:2015-02E [13] na końcu badań typu.

Części z materiałów izolacyjnych niezbędne do utrzymania położenia części wiodących prąd powinny przejść z wynikiem pozytywnym badanie rozżarzonym drutem o temperaturze probierczej 960°C. Części inne, niż wymienione wyżej, wykonane z materiałów izolacyjnych powinny przejść z wynikiem dodatnim badanie rozżarzonym drutem o temperaturze 650°C.

UWAGA: W przypadku części o niewielkich rozmiarach, jak określono w PN-EN 60695-2-11:2015-02E [13], we właściwej normie wyrobu można ustalić inną próbę (na przykład płomieniem igłowym zgodnie z PN-EN 60695-11-5:2017 Badanie zagrożenia ogniowego - Część 11-5: Płomienie probiercze - Metoda badania płomieniem igłowym - Urządzenie, układ do próby sprawdzającej i wytyczne [17]).

Test płomieniem igłowym jest stosowany jako test alternatywny adresowany do wymagań ognioodporności do zastosowań okrętowych.

Ten sam sposób postępowania może być zastosowany z innych praktycznych względów, jeżeli część metalowa jest duża w porównaniu do materiału izolacyjnego (jak na przykład listwa zaciskowa).

3.3. Badania na podstawie kategorii palności

W przypadku części z materiałów izolacyjnych, badania zapłonu gorącym drutem i, jeżeli ma zastosowanie, zapłonu łukiem, jak określono w normie [20] powinny być wykonywane na podstawie kategorii palności.

Odpowiednie próbki materiału powinny być poddane następującym próbom [20], [21], [22], [23], [24]:

- próbie palności wg PN-EN 60695-11-10:2014-02E [19],
- próbie zapłonu gorącym drutem (HWI), według Załącznika M normy [20],
- próbie zapłonu łukiem (AI), według Załącznika M normy [20].

Ostatnia z ww. prób jest wymagana jedynie wtedy, gdy materiał jest umieszczony w obszarze 13 mm od części łukowych lub części czynnych, których połączenia mogą ulegać obłuzowaniu. Materiałów umieszczonych w obszarze 13 mm od części łukowych nie poddaje się tej próbie, jeżeli aparat jest poddawany próbie zdolności załączania/wyłączania. Ponieważ rozłączniki bezpiecznikowe listwowe izolacyjne niskiego napięcia zawsze podlegają próbie zdolności załączania/wyłączania próba zapłonu łukiem nie jest wymagana i w niniejszym referacie nie będzie omawiana.

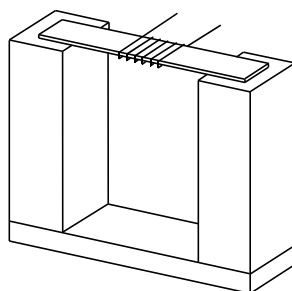
Badania materiałów powinny być wykonane według Załącznika M normy [20], a wymagania dotyczące wartości probierczych przy zapłonie rozżarzonym drutem (HWI) powinny być, odpowiednio do kategorii palności, zgodne z podanymi w tab. 1 lub w tab. 2.

Ewentualnie, producent może dostarczyć dane od dostawcy materiału izolacyjnego spełniającego wymagania przedstawione w Załączniku M.

Badanie palności - Próba zapłonu gorącym drutem (Załącznik M)

Badanie palności – próbę gorącym drutem wykonuje się na pięciu próbkach każdego materiału. Próbki powinny mieć 150 mm długości i 13 mm szerokości oraz jednakową grubość określoną przez producenta materiału. Krawędzie powinny być wolne od nierówności, żłobków itp. Należy użyć drutu o długości 250 mm \pm 5 mm z nichromu (80% niklu, 20% chromu, bez zawartości żelaza) o średnicy w przybliżeniu 0,5 mm mającego w stanie zimnym rezystancję w przybliżeniu 5,28 W/m.

Drut wyprostowany na całą długość należy przyłączyć do regulowanego źródła mocy, które nastawia się tak, aby spowodować rozpraszanie z drutu mocy 0,26 W/mm w czasie od 8 do 12 s. Po ochłodzeniu drut należy nawinąć wokół próbki, aby utworzyć pięć pełnych zwojów oddalonych od siebie o 6 mm. Owinięta próbka powinna być podtrzymywana w pozycji poziomej, a końce drutu przyłączone do regulowanego źródła mocy, które ponownie nastawia się na rozpraszanie z drutu mocy 0,26 W/mm (rys. 4).



Rys. 4. Zamocowanie probiercze do próby zapłonu gorącym drutem

Źródło: [20]

Próbkę należy rozpocząć przez włączenie obwodu tak, aby prąd płynący przez grzejący się drut wytwarzał liniową gęstość mocy 0,26 W/mm. Grzanie należy kontynuować do chwili zapalenia się próbki. Wówczas należy wyłączyć prąd i zarejestrować czas do chwili zapalenia się próbki. Próbkę należy przerwać, jeżeli zapłon nie nastąpi w ciągu 120 s. W przypadku próbek, które topią się od drutu bez zapłonu, próbkę należy przerwać, gdy próbka nie jest dłużej w bezpośrednim styku z wszystkimi pięcioma zwojami drutu grzejnego. Próbkę należy powtórzyć na pozostałych próbkach. Należy zarejestrować wartość średnią czasu do zapłonu i grubość każdego zestawu próbek.

Kategoria palności wg PN-EN 60695-11-10:2014-02E	V-0	V-1	V-2	HB
Grubość części ^a (mm)	Dowolna ^b	Dowolna ^b	Dowolna ^b	Dowolna ^b
HWI - Minimalny czas do zapłonu (s)	7	15	30	30
AI – minimalna liczba łuków do zapłonu	15	30	30	30
^a według 8.2.1.1.2. normy [20]. ^b stosownie do najmniejszej stosowanej grubości.				
Uwaga 1: Nie ma bezpośredniej zależności między temperaturami w badaniu rozżarzonym drutem a tab. 1 Uwaga 2: Producent może stosować dowolną kategorię palności wg własnego wyboru, ale wymagania HWI oraz, jeżeli mają zastosowanie AI muszą być spełnione.				

Tab. 1. Charakterystyki HWI i AI materiałów niezbędnych do utrzymania położenia części wiodących prąd
Źródło: opr. własne na podstawie [20]

Kategoria palności wg PN-EN 60695-11-10:2014-02E	V-0	V-1	V-2	HB
Grubość części ^a (mm)	Dowolna ^a	Dowolna ^a	Dowolna ^a	Dowolna ^a
HWI - Minimalny czas do zapłonu (s)	-	-	7	7
AI – minimalna liczba łuków do zapłonu	-	-	15	15
^a stosownie do najmniejszej stosowanej grubości.				

Tab. 2. Charakterystyki HWI i AI materiałów innych niż niezbędnych do utrzymania położenia części wiodących prąd
Źródło: opr. własne na podstawie [20]

Warto zwrócić uwagę, że norma [20] przewiduje, przeciwnie niż to opisuje autor artykułu [1], wykonanie sprawdzenia właściwego zastosowania materiałów izolacyjnych poprzez jedną z następujących prób wskazanych przez producenta [20], [21], [22], [23], [24]: używając aparatu, używając części pobranych z aparatu, używając próbek z identycznego materiału o reprezentatywnej grubości, dostarczając dane od dostawcy materiału izolacyjnego spełniającego wymagania zgodnie z normą PN-EN 60695-2-12:2011E+A1:2014-10E [14]. Zatem próba wykonana zgodnie z normą wcale nie gwarantuje przeprowadzenia próby na wyrobie. Warto również zwrócić uwagę na fakt, że dla określenia kategorii palności norma [20] wskazuje, w przeciwieństwie do opinii autora artykułu [1], właśnie normę PN-EN 60695-11-10:2014-02E [19], stosowaną powszechnie w elektroenergetyce do określania kategorii palności tworzyw sztucznych w wyrobach.

Na podstawie wymagań opisanych w normach [20], [21], [22], [23], [24] można przyjąć założenie, że dla rozłączników bezpiecznikowych listwowych izolacyjnych niskiego napięcia znajdujących się w rozdzielnicach niskiego napięcia w obudowach wykonanych z materiału o kategorii palności V-0 postawione wymagania przez spółki dystrybucyjne, dla tworzyw sztucznych stosowanych w rozłącznikach, zostały ograniczone do poziomu kategorii palności V-2. Wówczas wystarczającą próbą jest próba rozżarzonym drutem oraz potwierdzenie badaniem, że tworzywa sztuczne stosowane w rozłącznikach listwowych spełniają kategorię V-2.

Dla rozłączników bezpiecznikowych listwowych izolacyjnych niskiego napięcia znajdujących się w rozdzielnicach niskiego napięcia o większym znaczeniu, i w konsekwencji o przyjętym wyższym wskaźniku niezawodności, gdzie rozprzestrzenianie ognia na inne urządzenia i aparaty przez tworzywa sztuczne stosowane w rozłącznikach może być groźne i istnieje prawdopodobieństwo, że spowoduje znaczne straty materialne i przerwy w dostawie energii elektrycznej dla odbiorców, np. w rozdzielnicach niskiego napięcia stacji transformatorowo-rozdzielczych słupowych i wewnątrzowych, postawione wymagania przez spółki dystrybucyjne, dla tworzyw sztucznych stosowanych w rozłącznikach, zostały określone na poziomie kategorii palności V-0. Wówczas wystarczającą próbą jest próba rozżarzonym drutem oraz potwierdzenie badaniem, że tworzywa sztuczne stosowane w rozłącznikach listwowych spełniają kategorię V-0.

Producenci rozłączników bezpiecznikowych listwowych powinni dostarczać do jednostek badawczych próbki tworzyw używanych do produkcji ich aparatów wykonanych tak, aby ich grubości odpowiadały minimalnym i maksymalnym grubościom ścianek zewnętrznych znajdujących się w ich aparatach.

Analizując ww. założenia, przyjęte w spółkach dystrybucyjnych, dostrzec można świadome zarządzanie kosztami, oraz ryzykiem związanym z rozprzestrzenianiem płomienia w urządzeniach elektroenergetycznych eksploatowanych przez te spółki.

4. Metody badania rozżarzonym drutem wg PN-EN 60695-2-10

4.1. Informacje ogólne o normie PN-EN 60695-2-10

Norma PN-EN 60695-2-10:2013-12E Badanie zagrożenia ogniowego - Część 2-10: Metody badań oparte na stosowaniu rozżarzonego/gorącego drutu - Urządzenie do badania rozżarzonym drutem i ogólny sposób wykonywania prób [12] opisuje urządzenie do badań rozżarzonym drutem i ogólny sposób wykonywania próby polegający na symulacji skutków krótkotrwałego oddziaływania termicznego, które może być wytwarzane przez źródła ciepła, takie jak rozżarzone elementy lub przeciążone rezystory, w celu oceny zagrożenia ogniowego poprzez symulację. Procedura badania opisana w tej normie stanowi ogólną procedurę wykonywania prób w małej skali, w której jako źródło zapłonu jest wykorzystywany znormalizowany drut ogrzewany elektrycznie. Stanowi wspólną część procedur badań stosowanych do gotowych wyrobów, stałych materiałów elektroizolacyjnych oraz innych stałych materiałów palnych. Szczegółowy opis poszczególnych prób podano w odpowiednich normach:

- PN-EN 60695-2-11:2015-02E Badanie zagrożenia ogniowego - Część 2-11: Metody badań oparte na stosowaniu rozżarzonego/gorącego drutu - Metoda badania rozżarzonym drutem palności wyrobów gotowych (GWEPT) [13].
- PN-EN 60695-2-12:2011E+A1:2014-10E Badanie zagrożenia ogniowego - Część 2-12: Metody badań oparte na stosowaniu rozżarzonego/gorącego drutu - Metoda badania współczynnika palności materiałów rozżarzonym drutem (GWFI) [14].
- PN-EN 60695-2-13:2011E+A1:2014-10E Badanie zagrożenia ogniowego - Część 2-13: Metody badań oparte na stosowaniu rozżarzonego/gorącego drutu - Metoda badania temperatury zapalenia materiałów rozżarzonym drutem (GWIT) [15].

Dla rozłączników bezpiecznikowych listwowych niskiego napięcia została wskazana norma PN-EN 60695-2-11:2015-02E [13].

4.2. Próbk

Norma EN 60695-2-11:2015-02E [13] przewiduje, że jeżeli jest to możliwe, zaleca się, aby jako wyrób badany był stosowany kompletny wyrób gotowy. Próbę wykonuje się na jednym wyrobie badanym. Wyrób badany powinien być tak dobrany, aby warunki próby nie odbiegały znacznie od normalnych warunków użytkowania pod względem kształtu, przewietrzania, skutków naprężeń termicznych i możliwości płomieni w wyrobie lub palących się czy żarzących się cząsteczek spadających w pobliżu badanego wyrobu [13].

Norma ponadto przewiduje, że jeżeli próba nie może być wykonana na kompletnym wyrobie gotowym lub jeśli w normie wyrobu nie ustanowiono inaczej, to dopuszcza się jedną z poniższych opcji [13]:

- wycięcie z niego fragmentu zawierającego część poddawaną próbie,
- wycięcie w kompletnym wyrobie gotowym otworu umożliwiającego wprowadzenie żarzącego drutu,
- całkowite oddzielenie części poddawanej próbie i badanie jej oddzielnie.

Ponieważ norma wyrobu przewiduje inny sposób przeprowadzenia próby, wiążący będzie zapis z przedmiotowej normy [20], [21], [22], [23], [24]:

- używając aparatu,
- używając części pobranych z aparatu,
- używając próbek z identycznego materiału o reprezentatywnej grubości,
- dostarczając dane od dostawcy materiału izolacyjnego spełniającego wymagania zgodnie z normą PN-EN 60695-2-12:2011E+A1:2014-10E Badanie zagrożenia ogniowego - Część 2-12: Metody badań oparte na stosowaniu rozżarzonego/gorącego drutu - Metoda badania współczynnika palności materiałów rozżarzonym drutem (GWFI) [14].

Zatem norma [20] przewiduje, przeciwnie niż to opisuje autor artykułu [1], wykonanie sprawdzenia właściwego zastosowania materiałów izolacyjnych poprzez jedną z ww. prób wskazanych przez producenta i w konsekwencji nie gwarantuje przeprowadzenia próby na gotowym wyrobie.

4.3. Metoda badania rozżarzonym/ gorącym drutem

W normie [12] opisano urządzenie do badania rozżarzonym drutem oraz określono sposób wykonania próby jako próby ogniowej, w której stosuje się bezpłomieniowe źródło zapalenia.

Wyrób badany należy zamontować lub umocować w taki sposób, aby [12]:

- straty ciepła wynikające z oddziaływania elementów podpierających lub mocujących były nieznaczne,
- płaska powierzchnia wyrobu była ustawiona pionowo,
- wierzchołek drutu był przykładany w sam środek płaskiej powierzchni.

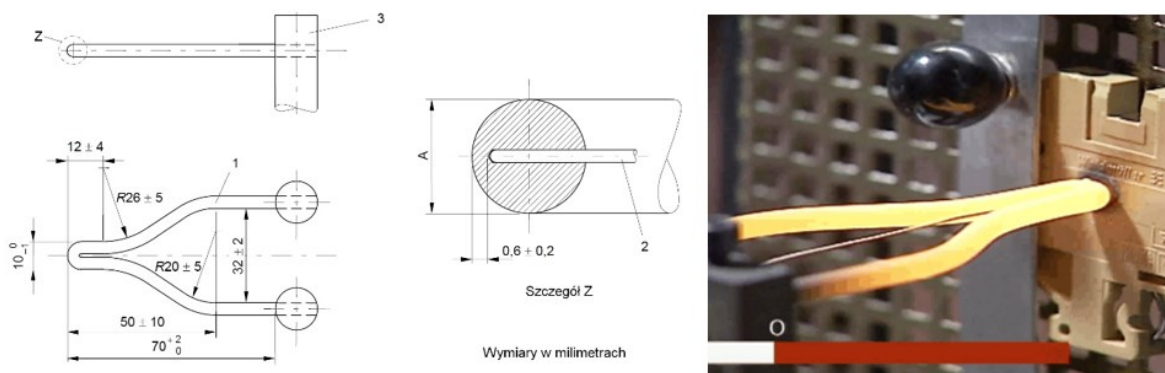
Zamocowanie wyrobu badanego w urządzeniu probierczym nie powinno spowodować wystąpienia w nim w czasie wykonywania próby nadmiernych wewnętrznych naprężeń mechanicznych. Wyrób badany powinien być tak umieszczony, aby wierzchołek rozżarzonego drutu był przyłożony do tej części powierzchni wyrobu badanego, która podczas normalnego użytkowania jest najbardziej narażona na naprężenia termiczne [13].

Przed każdą serią prób należy sprawdzić nagrzanie rozżarzonego drutu oraz swobodny przejazd na całej drodze próby. Rozżarzony drut nagrzewa się do określonej temperatury, którą mierzy się za pomocą wywzorcowanego do pomiaru temperatury [12].

Na rys. 5 przedstawiono widok rozżarzonego drutu i umiejscowienia termoelementu.

Przed przyłożeniem wierzchołka rozżarzonego drutu do badanego wyrobu należy zwrócić uwagę aby [12]:

- temperatura była stała w granicach 5 K co najmniej przez 60 s,
- nie ma zanieczyszczeń w otworze termoelementu rozżarzonego drutu i jest zapewniony z nim odpowiedni kontakt, który zapewnia się poprzez dokonanie lekkiego naciśnięcia do osiągnięcia pełnego wnikięcia rozżarzonego drutu w badany wyrób,
- wyrób badany nie był w tym czasie narażony na promieniowanie cieplne; zapewnia się to poprzez zachowanie odpowiednich odległości, tj. minimum 5 cm lub poprzez zastosowanie odpowiedniego ekranu,
- nie wykonywano dalszych regulacji napięcia lub natężenia prądu nagrzewającego, do czasu zakończenia próby.

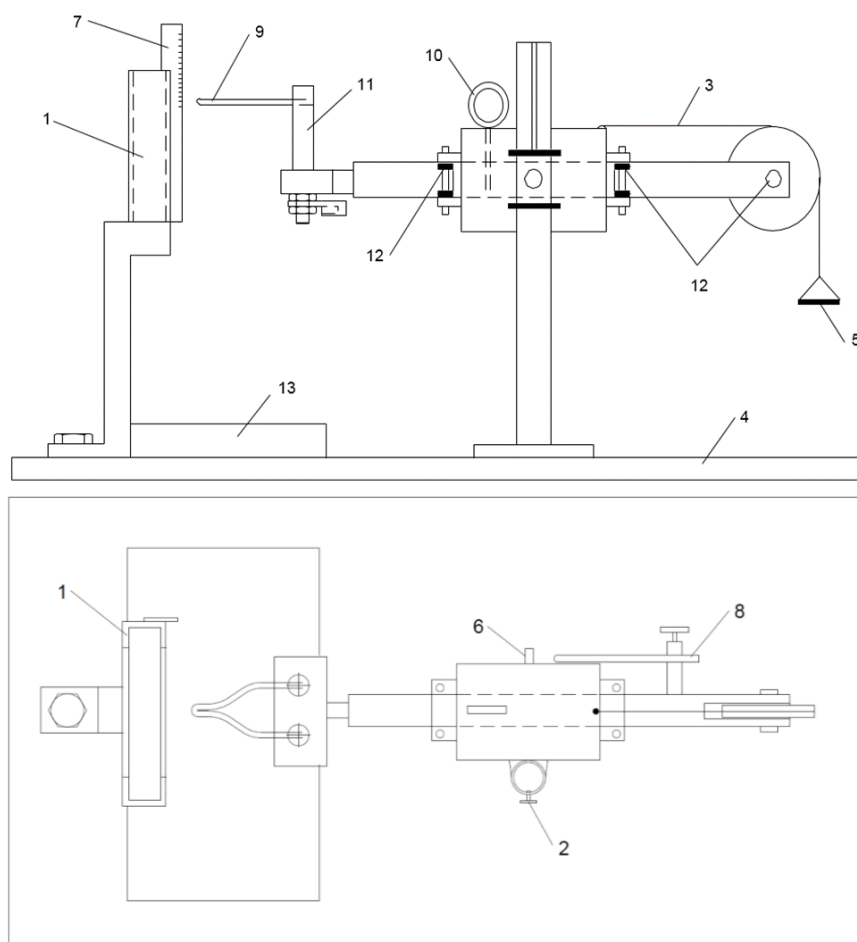


Rys. 5. Widok rozżarzonego drutu i umiejscowienia termoelementu

Źródło: oprac. własne na podstawie [12], [33]

Wierzchołek rozżarzonego drutu przesuwa się wolno, aż do styku z wyrobem badanym w ciągu $30\text{ s} \pm 1\text{ s}$. Zostało potwierdzone, że zadowalająca przybliżona prędkość przesuwania się wierzchołka drutu do powierzchni wyrobu oraz oddalania się od niej wynosi od 10 mm/s do 25 mm/s. Pamiętać należy o tym, że prędkość przesuwu w momencie zetknięcia się drutu z wyrobem powinna być zmniejszona prawie do zera, w celu niedopuszczenia do siły zderzenia przekraczającej $1,0\text{ N} \pm 0,2\text{ N}$. W tych przypadkach, gdy materiał zaczyna się topić przed zetknięciem się z rozżarzonym drutem, nie należy dopuścić do pozostawienia rozżarzonego drutu w styczności z badanym wyrobem. Po upływie zastosowanego czasu styku, rozżarzony drut jest powoli oddalany od wyrobu badanego, aby uniknąć w ten sposób jakiegokolwiek dalszego ogrzewania wyrobu badanego i wszelkiego ruchu powietrza, które mogłyby wpłynąć na wynik badania. Głębokość wnikiwania wierzchołka rozżarzonego drutu w badany wyrób lub przenikania przez niego powinna być ograniczona do $7,0\text{ mm} \pm 0,5\text{ mm}$ [12].

Na rys. 6 przedstawiono przykładowy widok urządzenia probierczego.



Objaśnienia:

- | | |
|--|--|
| 1 Uchwyt wyrobu | 8 Nastawianie głębokości wnikania drutu |
| 2 Śruba regulująca wysokość | 9 Rozżarzony drut |
| 3 Ciężno | 10 Sworzeń hamujący |
| 4 Podstawa | 11 Sworzeń do mocowania rozżarzonego drutu |
| 5 Obciążnik | 12 Rolki o małym tarcu |
| 6 Nastawialny zderzak | 13 Podkładka |
| 7 Skala do pomiaru wysokości płomienia | |

Rys. 6. Widok z boku i z góry przykładowego urządzenia probierczego, w którym porusza się rozżarzony drut z termoelementem, statyczny jest uchwyt z badanym wyrobem

Źródło: oprac. własne na podstawie [12]

5. Metody badania płomieniem probierczym 50 W wg PN-EN 60695-11-10

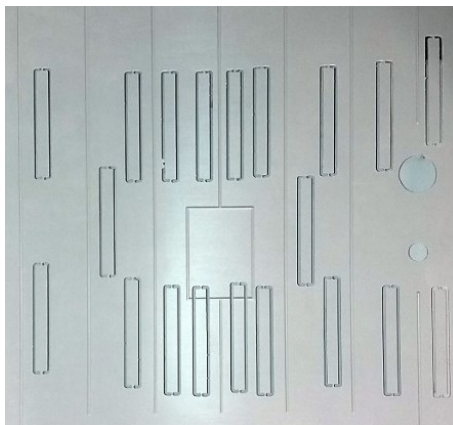
5.1. Informacje ogólne o normie PN-EN 60695-11-10

Norma PN-EN 60695-11-10:2014-02E Badanie zagrożenia ogniowego - Część 11-10: Płomienie probiercze - Metody badania płomieniem probierczym 50 W przy poziomym i pionowym ustawieniu próbki [19] opisuje sposób postępowania klasyfikacyjnego w małej skali laboratoryjnej, służący do porównania zachowania się w czasie palenia pionowo albo poziomo ustawionych próbek wykonanych niemetalicznych materiałów, w tym tworzyw sztucznych, narażonych na działanie źródła zapalenia małym płomieniem o mocy znamionowej 50 W.

Podane w normie metody badań określają liniową prędkość palenia się oraz czasy płonienia-żarzenia się, jak i też długość uszkodzenia próbek. Metody te stosuje się do materiałów stałych oraz porowatych. Z kolei metod tych nie należy stosować do materiałów, które po przyłożeniu płomienia kurczą się bez zapalenia się. Opisane w normie metody badań stanowią system klasyfikacji, który można stosować w celu zapewnienia jakości lub do wstępnego doboru materiałów wchodzących w skład wyrobu, pod warunkiem uzyskania pozytywnych wyników przy grubości użytej w danym zastosowaniu nie mniejszej niż próbki badanej.

5.2. Próbk

Próbki należy wycinać z reprezentatywnej części tworzywa sztucznego, pobranego z wyrobu (taki sposób wykonania próbki w większości przypadków jest możliwy dla obudów kablowych rozdzielnic szafowych i szafek pomiarowych niskiego napięcia). Na rys. 7 przedstawiono drzwi obudowy kablowej rozdzielnic szafowej z wyciętymi próbkami.



Rys. 7. Widok drzwi obudowy kablowej rozdzielnic szafowej z wyciętymi próbkami
Źródło: archiwum własne

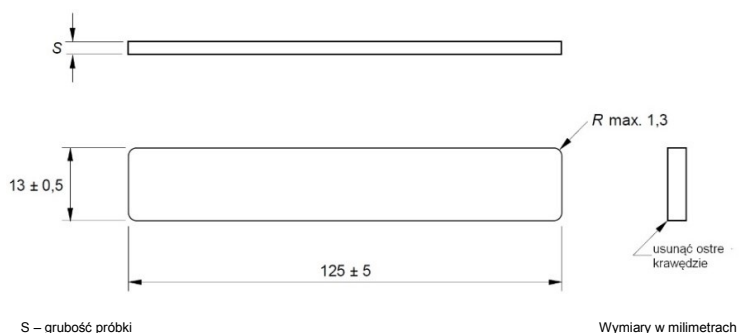
Jeżeli nie jest to możliwe, próbki należy wykonać w taki sam sposób, jaki stosuje się przy formowaniu części wyrobu (taki sposób wykonania próbki jest typowy dla podstaw bezpiecznikowych i rozłączników bezpiecznikowych listwowych nn).

Jeżeli i to nie jest możliwe, należy zastosować odpowiednią metodę wg odpowiedniej normy ISO. Jeżeli nie jest możliwe przygotowanie próbek z zastosowaniem ww. metod, w badaniach należy wykonać próbę płomieniem igłowym, zgodnie z normą PN-EN 60695-11-5:2017-08E Badanie zagrożenia ogniowego - Część 11-5: Płomienie probiercze - Metoda badania płomieniem igłowym - Urządzenie, układ do próby sprawdzającej i wytyczne [17].

Po każdej operacji cięcia należy zwrócić uwagę na to, aby usunąć pył oraz wszelkie cząstki z powierzchni. Obcięte brzozy powinny być oszlifowane drobnym papierem ściernym, do uzyskania gładkiego wykończenia [19].

Próbki w postaci pręta powinny mieć wymiary: długość $125 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$, szerokość $13 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ oraz minimalne i maksymalne grubości takie jak z normalnej dostawy. Norma wskazuje korzystne grubości próbek jako: 0,1 mm, 0,2 mm, 0,4 mm, 0,75 mm, 1,5 mm, 3,0 mm, 6,0 mm i/lub 12 mm. Grubość próbek nie powinna przekraczać 13 mm. Krawędzie próbki powinny być gładkie, a promień zaokrąglenia naroży nie powinien być większy niż 1,3 mm. Można stosować inne grubości próbek po uzgodnieniu między zainteresowanymi stronami. Stosowanie innych grubości należy podać w sprawozdaniu z próby. Pomiar grubości powinny być wykonane w środkowej części próbki i na obu jej końcach za pomocą mikrometru. Wartość przyjmowana jako grubość próbki to średnia arytmetyczna z trzech ww. pomiarów [19].

Widok próbki wykonanej zgodnie z ww. wymaganiami przedstawiono na rys. 8.



Rys. 8. Widok próbki wykonanej zgodnie z wymaganiami PN-EN 60695-11-10

Do badań metodą A (próba poziomego palenia się) należy przygotować co najmniej sześć próbek w postaci prętów. Jeżeli w pierwszym badanym zestawie trzech próbek poddanych określonemu procesowi stabilizacji, tylko jedna próbka z zestawu, nie spełnia wszystkich wymaganych kryteriów dla jednej z kategorii, należy poddać próbce dodatkowy zestaw trzech próbek stabilizowanych tym samym sposobem. Wszystkie próbki z drugiego zestawu powinny spełniać wymagania określone dla danej kategorii [19].

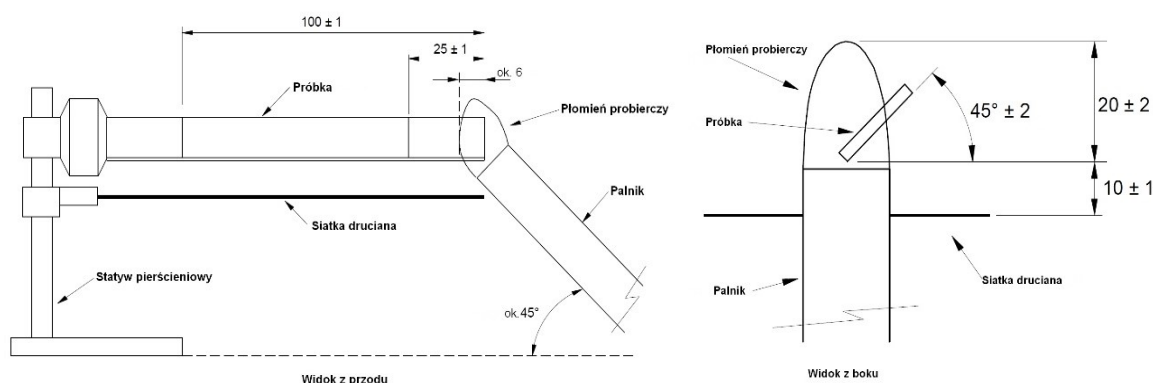
Do badań metodą B (próba pionowego palenia się) należy przygotować co najmniej dwadzieścia próbek w postaci prętów. Zestawy złożone z pięciu próbek należy stabilizować przez 48h w temperaturze $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ i wilgotności względnej $50\% \pm 5\%$. Próbki, które zostały wyjęte z komory klimatyzacyjnej powinny być poddane próbie w ciągu 1 h. Kolejny zestaw złożony z pięciu próbek należy poddać starzeniu, w suszarce z obiegiem powietrza przez $168\text{h} \pm 2\text{h}$ w temperaturze $70^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, a następnie studzić w eksykatorze przez co najmniej 4h. Próbki wyjęte z eksykatora powinny być poddane próbie w ciągu 0,5h.

Wszystkie próbki należy badać w atmosferze laboratorium, w temperaturze od 13°C do 35°C i wilgotności względnej powietrza od 45% do 75%. Jeżeli tylko jedna próbka z zestawu pięciu próbek, poddanych określonej procesowi stabilizacji, nie spełnia wszystkich wymaganych kryteriów dla jednej z kategorii, należy poddać próbie dodatkowy zestaw pięciu próbek stabilizowanych tym samym sposobem. W celu sprawdzenia całkowitego czasu płonienia należy poddać próbom dodatkowy zestaw pięciu próbek, jeśli całkowite czasy płonienia dla kategorii V-0 są w zakresie od 51 s do 55 s, lub dla kategorii V-1 i V-2 w zakresie od 251 s do 255 s. Wszystkie próbki z drugiego zestawu powinny spełniać wszystkie wymagane kryteria dla danej kategorii [19].

Jeżeli chociaż jedna próbka drugiego zestawu przy próbie palności pionowej w celu określenia jej klasy palności "V" uległa całkowitemu spaleniowi bądź jej czasy palenia wykraczają poza normy czasowe określone w tabeli dla danych kategorii V0, V1 bądź V2 to próbka taka nie otrzymuje żadnego oznaczenia w postaci jej klasy palności i otrzymuje status "niesklasyfikowana" dla pionowej próby palności. W takim przypadku próbkę taką należy poddać próbie poziomego palenia się, gdzie na podstawie zmierzonego jej czasu palenia określona zostanie dla niej określana klasa palności jako HB lub HB 40 albo HB 75.

5.3. Metoda A – Próba poziomego palenia się

W tej próbie należy badać trzy próbki. Każda próbka powinna być oznakowana dwoma liniami prostopadłymi do osi wzdłużnej pręta, w odległości $25\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ i $100\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ od końca, który ma być zapalony. Próbkę mocuje się w statywie w taki sposób, aby wzdłużna oś próbki była w przybliżeniu pozioma, a jej oś poprzeczna nachylona pod kątem $45^{\circ} \pm 2^{\circ}$ [19]. Widok zamocowania próbki przedstawiono na rys. 9.



Rys. 9. Sposób umieszczenia próbki w próbie poziomego palenia się
Źródło: opracowanie własne na podstawie [19]

Palnik, po uprzednim wyregulowaniu, aby wytwarzał znormalizowany płomień probierczy o mocy nominalnej 50 W (spełniający wymagania PN-EN 60695-11-4:2012E Badanie zagrożenia ogniowego - Część 11-4: Płomienie probiercze - Płomień 50 W - Urządzenie i metody prób sprawdzających [16] i odczekaniu po jego wyregulowaniu 5 minut do osiągnięcia stanu równowagi z warunkami otoczenia, należy przyłożyć do próbki w taki sposób, aby oś środkowa palnika była nachylona w przybliżeniu pod kątem 45° do poziomu w kierunku wolnego końca próbki, a płomień był przyłożony do dolnej krawędzi wolnego końca próbki. Oś środkowa palnika powinna być w tej samej płaszczyźnie pionowej co wzdłużna dolna krawędź próbki. Sposób przyłożenia palnika przedstawiono na rys. 9.

Płomień probierczy należy utrzymać przez $30\text{ s} \pm 1\text{ s}$ nie zmieniając jego położenia, albo odsunąć palnik, co najmniej na odległość 150 mm, jak tylko czoło płomienia na próbce osiągnie znak 25 mm (jeśli nastąpi to wcześniej niż po 30 s). Jeżeli czoło palnika osiągnie znak 25 mm, uruchomić miernik czasu.

Jeśli po odsunięciu płomienia probierczego próbka pali się nadal płomieniem, zanotować czas potrzebny na przejście czoła płomienia od znaku 25 mm do znaku 100 mm oraz zanotować długość zniszczenia próbki wynoszącą 75 mm. Jeżeli czoło płomienia przejdzie znak 25 mm, lecz nie przejdzie znaku 100 mm, to zanotować czas i uszkodzoną długość próbki, między znakiem 25 mm i miejscem, w którym czoło płomienia zatrzyma się.

Po wykonaniu badania dla trzech próbek obliczyć, dla każdej próbki, dla której czoło płomienia przekroczyło znak 100 mm, przy wykorzystaniu poniższego równania [19]:

$$v = \left(\frac{L}{t}\right) \times \left(\frac{60 \text{ s}}{\text{min}}\right)$$

gdzie:

V jest liniową prędkością palenia się w milimetrach na minutę,

L jest uszkodzoną długością próbki w milimetrach,

t jest czasem w sekundach.

Po wykonaniu próby materiał należy sklasyfikować jako HB, HB40 albo HB75, zgodnie z niżej podanymi kryteriami. Norma preferuje kategorie palności HB lub HB40 i dodatkowo podaje informację, że kategoria HB75 zostanie usunięta w kolejnej edycji przedmiotowej normy.

Materiał sklasyfikowany jako HB powinien spełniać jedno z następujących kryteriów [19]:

- po odsunięciu od niego źródła zapalenia nie powinien palić się płomieniem w sposób widoczny,
- jeśli próbka w dalszym ciągu pali się płomieniem po odsunięciu źródła zapalenia, czoło płomienia nie powinno przekroczyć znaku 100 mm,
- jeśli czoło płomienia przekroczy znak 100 mm:
 - wówczas liniowa prędkość palenia się nie powinna być większa niż 40 mm/min. dla próbki o grubości od 3,0 mm do 13,0 mm lub
 - liniowa prędkość palenia się nie powinna być większa niż 75 mm/min. dla próbki o grubości mniejszej niż 3,0 mm.

Jeśli liniowa prędkość palenia się nie przekracza 40 mm/min dla prób wykonanych z próbkami o grubości pomiędzy 1,5 mm a 3,2 mm, klasyfikacja HB jest akceptowana automatycznie w dół do minimalnej grubości 1,5 mm.

Materiał sklasyfikowany jako HB40 powinien spełniać jedno z następujących kryteriów [19]:

- po odsunięciu od niego źródła zapalenia nie powinien palić się płomieniem w sposób widoczny,
- jeśli próbka w dalszym ciągu pali się płomieniem po odsunięciu źródła zapalenia, czoło płomienia nie powinno przekroczyć znaku 100 mm,
- jeśli czoło płomienia przekroczy znak 100 mm, wówczas liniowa prędkość palenia się nie powinna być większa niż 40 mm/min.

Materiał sklasyfikowany jako HB75 powinien spełniać jedno z następujących kryteriów [19]:

- po odsunięciu od niego źródła zapalenia nie powinien palić się płomieniem w sposób widoczny,
- jeśli próbka w dalszym ciągu pali się płomieniem po odsunięciu źródła zapalenia, czoło płomienia nie powinno przekroczyć znaku 100 mm,
- jeśli czoło płomienia przekroczy znak 100 mm, wówczas liniowa prędkość palenia się nie powinna być większa niż 75 mm/min.

Jeżeli jedna próbka z zestawu nie spełnia wymagań opisanych powyżej należy postępować zgodnie z zasadami opisanymi w pkt. 4.1.

W sprawozdaniu z badań należy podać następujące szczegóły [19]:

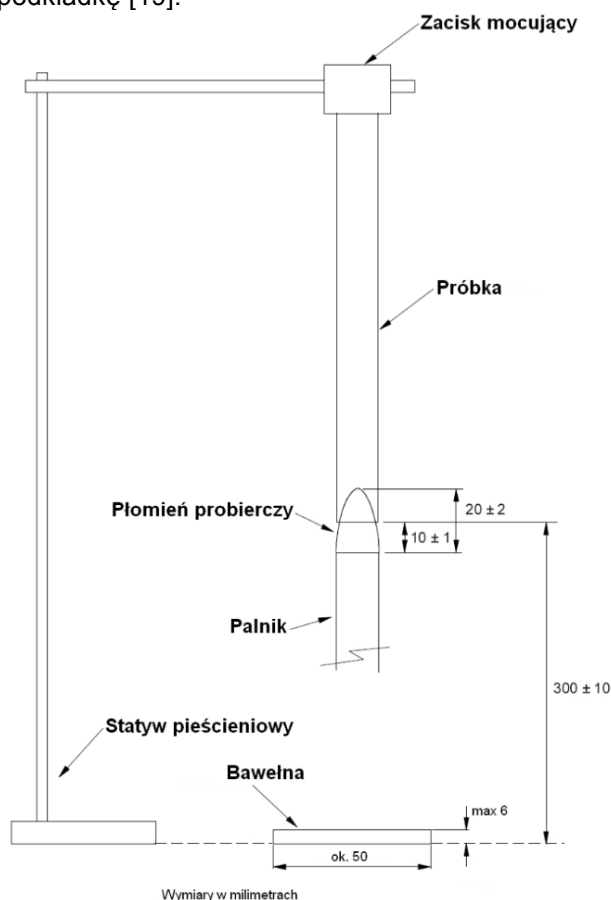
- powołanie się na normę międzynarodową wg której przeprowadzono próbę,
- wszystkie szczegółowe dane potrzebne do identyfikacji badanego wyrobu, łącznie z nazwą wytwórcy, numerem lub kodem i barwą,
- grubość próbki:
 - do badania próbek o grubości 1,0 mm i większych, z dokładnością do 0,01 mm,
 - do badania próbek o grubości mniejszej niż 1,0 mm, z dokładnością do 0,001 mm,
- nominalną gęstość pozorną (tylko dla sztywnych tworzyw porowatych),
- kierunek anizotropii w stosunku do wymiarów badanej próbki,
- sposób stabilizowania,
- informacje o każdej obróbce próbki przed próbą, innej niż cięcie, wyrównywanie brzegów i stabilizowanie,
- informację czy próbka paliła się płomieniem w sposób ciągły po przyłożeniu do niej płomienia probierczego, czy też nie,
- informację, czy czoło płomienia przekroczyło, czy też nie, znaki 25 mm i 100 mm,

- czas t i długość zniszczonego odcinka L dla próbek, których czoło płomienia przekroczyło znak 25 mm, a nie osiągnęło znaku 100 mm,
- średnią liniową prędkość palenia się v dla próbek, na których czoło płomienia osiągnęło lub przekroczyło znak 100 mm,
- informację, czy do próbek elastycznych zastosowano podpórkę,
- określoną klasyfikację w połączeniu z grubością, np. „HB@3,0 mm”.

5.4. Metoda B – Próba pionowego palenia się

W tej próbie należy badać zestaw pięciu próbek dla każdego ze sposobów stabilizowania opisanych w pkt. 4.1. Każda próbka powinna być zamocowana w zacisku mocującym statywu pierścieniowego na długości 6 mm tak, aby wzdłużna oś próbki była pionowa, a dolny koniec próbki znajdował się $300 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$ powyżej poziomej warstwy bawełnianej waty (rys. 10) [19].

Palnik, po uprzednim wyregulowaniu, aby wytwarzał znormalizowany płomień probierczy o mocy nominalnej 50 W (spełniający wymagania PN-EN 60695-11-4:2012E [16]) i odczekaniu po jego wyregulowaniu 5 minut do osiągnięcia stanu równowagi z warunkami otoczenia, należy przyłożyć do próbki w taki sposób, aby utrzymać oś środkową rury palnika w położeniu pionowym, a płomień znajdował się $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ poniżej dolnego brzegu próbki. Palnik należy przesuwac, jeśli to konieczne, w pionowej płaszczyźnie odpowiednio do zmian długości lub położenia próbki. Jeżeli w czasie przykładania płomienia do próbki spadają z niej krople roztopionego lub płonącego materiału, to w celu uniknięcia skapywania materiału do kominka palnika przechylić palnik pod kątem 45° i wyciągnąć go ostrożnie spod próbki, zachowując w tym czasie stałą odległość palnika od dolnej krawędzi próbki. Po upływie $10 \text{ s} \pm 0,5 \text{ s}$ oddziaływania płomienia na próbkę odsunąć palnik, co najmniej na odległość 150 mm, jednocześnie włączyć miernik czasu, aby zmierzyć czas płonienia próbki. Natychmiast po zgaśnięciu utrzymującego się płomienia na próbce, ponownie umieścić płomień probierczy pod próbką zgodnie z zasadami opisanymi powyżej. Po upływie kolejnych $10 \text{ s} \pm 0,5 \text{ s}$ oddziaływania płomienia na próbkę zgaszyć palnik lub odsunąć go, co najmniej na odległość 150 mm, jednocześnie włączyć miernik czasu, aby zmierzyć czas płonienia próbki oraz dodatkowo zmierzyć czas żarzenia się próbki. Ponadto zaobserwować czy jakiegokolwiek cząstki materiału spadają z próbki, jeśli tak to czy zapalają one bawełnianą podkładkę [19].



Rys. 10. Sposób umieszczenia próbki w próbie pionowego palenia się
Źródło: opracowanie własne na podstawie [19]

Po wykonaniu badania dla dwóch zestawów po pięć próbek obliczyć całkowity czas płonienia, zgodnie z poniższym wzorem [19]:

$$t_f = \sum_{i=1}^5 (t_{1,i} + t_{2,i})$$

gdzie:

t_f jest całkowitym czasem płonienia, w sekundach,

$t_{1,i}$ jest pierwszym czasem płonienia i-tej próbki, w sekundach,

$t_{2,i}$ jest drugim czasem płonienia i-tej próbki, w sekundach.

Jeżeli jedna próbka z zestawu nie spełnia wymagań opisanych powyżej należy postępować zgodnie z zasadami opisanymi w pkt. 5.2.

Materiały należy sklasyfikować jako V-0, V-1 lub V-2, zgodnie z kryteriami podanymi w tab. 3, opartymi na sposobie zachowania próbki. Jeżeli wyniki próby nie są zgodne z określonymi wymaganiami, to materiał nie może być sklasyfikowany tą metodą.

Kryteria		Kategoria materiału		
		V-0	V-1	V-2
1	Czas płonienia pojedynczej próbki (t_1 , t_2)	≤ 10 s	≤ 30 s	≤ 30 s
2	Całkowity czas płonienia zestawu próbek t_f dla każdego rodzaju stabilizowania	≤ 50 s	≤ 250 s	≤ 250 s
3	Czas płonienia i czas żarzenia pojedynczej próbki po drugim przyłożeniu płomienia (t_2+t_3)	≤ 30 s	≤ 60 s	≤ 60 s
4	Czy płonienie lub żarzenie przesunęło się aż do zacisku uchwytu?	Nie	Nie	Nie
5	Czy podkładka bawełniana zapaliła się od spadających na nią cząsteczek lub kropeł?	Nie	Nie	Tak

Tab. 3. Kategorie pionowego palenia się

W sprawozdaniu z badań należy podać następujące szczegóły [19]:

- powołanie się na normę międzynarodową wg której przeprowadzono próbę,
- wszystkie szczegółowe dane potrzebne do identyfikacji badanego wyrobu, łącznie z nazwą wytwórcy, numerem lub kodem i barwą,
- grubość próbki:
 - do badania próbek o grubości 1,0 mm i większych, z dokładnością do 0,01 mm,
 - do badania próbek o grubości mniejszej niż 1,0 mm, z dokładnością do 0,001 mm,
- nominalną gęstość pozorną (tylko dla sztywnych tworzyw porowatych),
- kierunek anizotropii w stosunku do wymiarów badanej próbki,
- sposób stabilizowania,
- informacje o każdej obróbce próbki przed próbą, innej niż cięcie, wyrównywanie brzegów i stabilizowanie,
- pojedyncze wartości t_1 , t_2 , t_3 oraz $t_2 + t_3$ dla każdej próbki,
- całkowity czas płonienia t_f dla każdego zestawu pięciu próbek, z dwóch sposobów stabilizowania,
- informację czy jakiegokolwiek płonące cząsteczki lub krople spadały z próbki i czy zapaliły one podkładkę bawełnianą,
- informację, czy którakolwiek z badanych próbek uległa spaleniowi aż do zacisku mocującego,
- określoną klasyfikację w połączeniu z grubością, np. „V-0@1,5 mm”.

Należy prowadzić dialog techniczny z użytkownikami aby określić grubość próbek do określania kategorii palności V-0 tworzyw sztucznych, z których wykonane są rozłączniki bezpiecznikowe listwowe niskiego napięcia, stosowane w rozdzielnicach nn słupowych i wewnętrznych stacji transformatorowych SN/nn. Dla ograniczenia kosztów badania palności ponoszonych przez producenta lub dostawcę jako uzasadnioną grubość próbek podlegających badaniu można przyjąć najmniejszą grubość ścianki zewnętrznej obudowy rozłącznika bezpiecznikowego listwowego niskiego napięcia.

Na rys. 11 przedstawiono widok komory do przeprowadzania próby poziomego i pionowego palenia się zgodnie z normą PN-EN 60695-11-10:2014-02E Badanie zagrożenia ogniowego - Część 11-10: Płomienie probiercze - Metody badania płomieniem probierczym 50 W przy poziomym i pionowym ustawieniu próbki [19].



Rys. 11. Widok komory do przeprowadzania próby poziomego i pionowego palenia się zgodnie z normą PN-EN 60695-11-10:2014-02E

Źródło: [34]

6. Podsumowanie

Spośród wszystkich badań jakim poddawane są prefabrykowane rozdzielnice kablowe nn i ich wyposażenie, ważną próbą dla oceny bezpieczeństwa osób postronnych w przestrzeni publicznej, w której umieszczono infrastrukturę techniczną, jest badanie rozdzielnic niskiego napięcia i ich wyposażenia w zakresie odporności na wysoką temperaturę, żar i ogień.

Uwaga użytkowników została skupiona na kategorii palności tworzyw, z których wykonano obudowę rozdzielnic oraz tworzyw z których wykonano rozłączniki bezpiecznikowe listwowe izolacyjne niskiego napięcia.

Niektórzy użytkownicy w pełni świadomie stawiają wymagania podstawowe w zakresie odporności na wysoką temperaturę, żar i ogień, wynikające z norm przedmiotowych wyrobów elektrotechnicznych, ale także w pełni świadomie stawiają wymagania dodatkowe w zakresie odporności na ogień.

Norma PN-EN 60695-2-10:2013-12E Badanie zagrożenia ogniowego - Część 2-10: Metody badań oparte na stosowaniu rozżarzonego/gorącego drutu - Urządzenie do badania rozżarzonym drutem i ogólny sposób wykonywania prób stawia niższe wymagania w zakresie odporności tworzyw sztucznych na ogień niż norma PN-EN 60695-11-10:2014-02E Badanie zagrożenia ogniowego - Część 11-10: Płomienie probiercze - Metody badania płomieniem probierczym 50 W przy poziomym i pionowym ustawieniu próbki [19].

Słuszny jest wymóg formułowany przez użytkowników spełnienia kategorii palności:

- dla kablowych rozdzielnic szafowych nn: kategorie palności tworzyw, z jakich wykonano rozłączniki bezpiecznikowe listwowe, nie gorszej niż V-2 oraz kategorie palności V-0 dla tworzywa z którego wykonano obudowę rozdzielnic, co wskazuje, że zakwalifikowano te rozdzielnice do grupy o niższym znaczeniu i świadomie wybrano niższą kategorię palności dla łączników oraz ograniczono przestrzeń pożaru do obudowy, dla której wybrano kategorię V-0,
- dla rozdzielnic niskiego napięcia zarówno stacji słupowych jak i wewnętrznych SN/nn: kategorie palności V-0 dla tworzyw z jakich wykonano rozłączniki bezpiecznikowe listwowe izolacyjne oraz dla tworzywa, z którego wykonano obudowę rozdzielnic (tylko w przypadku stacji słupowych SN/nn), co wskazuje, że zakwalifikowano te rozdzielnice do grupy o wyższym znaczeniu i świadomie wybrano wyższą kategorię palności dla samej rozdzielnic i jej wszystkich głównych elementów.

Należy prowadzić dialog techniczny z użytkownikami, aby określić grubość próbek do określania kategorii palności V-0 tworzyw sztucznych, z których wykonane są rozłączniki bezpiecznikowe listwowe izolacyjne niskiego napięcia, stosowane w rozdzielnicach nn słupowych i wewnętrznych stacji transformatorowych SN/nn. Dla ograniczenia kosztów badania palności ponoszonych przez producenta lub dostawcę jako uzasadnioną grubość próbek podlegających badaniu można przyjąć najmniejszą grubość ścianki zewnętrznej obudowy rozłącznika bezpiecznikowego listwowego niskiego napięcia.

Minimalna grubość ścianki obudowy kablowych rozdzielnic szafowych i szafek pomiarowych niskiego napięcia wymagana przez większość spółek dystrybucyjnych wynosi 3,5 mm. Aby przekonać się czy producent wykonał badania dla minimalnych grubości podanych powyżej, a nie innej, co dopuszcza norma pod warunkiem umieszczenia takiej informacji w sprawozdaniu, należy sięgnąć do sprawozdania z badania.

Literatura

- [1] Futyma K.: Rozłączniki w całości wykonane z tworzyw o klasie palności V0 – nowy standard bezpieczeństwa czy może chwyt marketingowy? Gazetka Nr 4/2016, EFEN.
- [2] Schwann M.: Badanie prefabrykowanych kablowych rozdzielnic szafowych niskiego napięcia i ich wyposażenia w zakresie zagrożenia ogniowego, Wiadomości Elektrotechniczne, Nr 3, 2017 r., s. 3-12.
- [3] Stanisław Ł., Bieda R.: Badanie palności tworzyw termoutwardzalnych, Elektrosystemy, Nr 10, 2009 r., s. 58-61.
- [4] Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 24 kwietnia 2012 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym (Dz.U.2012.647).
- [5] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane (t.j. Dz.U.2013.1409 z późn. zm.)
- [6] PN-EN 61439-1:2011P Rozdzielnice i sterownice niskonapięciowe - Część 1: Postanowienia ogólne.
- [7] PN-EN 61439-2:2011P Rozdzielnice i sterownice niskonapięciowe - Część 2: Rozdzielnice i sterownice do rozdziału energii elektrycznej.
- [8] PN-EN 61439-5:2015-02P Rozdzielnice i sterownice niskonapięciowe - Część 5: Zestawy do dystrybucji mocy w sieciach publicznych.
- [9] PN-EN 62208:2011P Puste obudowy do rozdzielnic i sterownic niskonapięciowych - Wymagania ogólne.
- [10] PN-EN 60695-1-10:2017-05E Badanie zagrożenia ogniowego - Część 1-10: Wytyczne oceny zagrożenia ogniowego wyrobów elektrotechnicznych - Wytyczne ogólne.
- [11] PN-EN 60695-1-11:2015-12E Badanie zagrożenia ogniowego - Część 1-10: Wytyczne oceny zagrożenia ogniowego wyrobów elektrotechnicznych – Ocena zagrożenia ogniowego.
- [12] PN-EN 60695-2-10:2013-12E Badanie zagrożenia ogniowego - Część 2-10: Metody badań oparte na stosowaniu rozżarzonego/gorącego drutu - Urządzenie do badania rozżarzonym drutem i ogólny sposób wykonywania prób.
- [13] PN-EN 60695-2-11:2015-02E Badanie zagrożenia ogniowego - Część 2-11: Metody badań oparte na stosowaniu rozżarzonego/gorącego drutu - Metoda badania rozżarzonym drutem palności wyrobów gotowych (GWEPT).
- [14] PN-EN 60695-2-12:2011E+A1:2014-10E Badanie zagrożenia ogniowego - Część 2-12: Metody badań oparte na stosowaniu rozżarzonego/gorącego drutu - Metoda badania współczynnika palności materiałów rozżarzonym drutem (GWFI).
- [15] PN-EN 60695-2-13:2011E+A1:2014-10E Badanie zagrożenia ogniowego - Część 2-13: Metody badań oparte na stosowaniu rozżarzonego/gorącego drutu - Metoda badania temperatury zapalenia materiałów rozżarzonym drutem (GWIT).
- [16] PN-EN 60695-11-4:2012E Badanie zagrożenia ogniowego - Część 11-4: Płomienie probiercze - Płomień 50 W - Urządzenie i metody prób sprawdzających.
- [17] PN-EN 60695-11-5:2017-08E Badanie zagrożenia ogniowego - Część 11-5: Płomienie probiercze - Metoda badania płomieniem igłowym - Urządzenie, układ do próby sprawdzającej i wytyczne
- [18] PN-EN 60695-11-10:2002P Badanie zagrożenia ogniowego - Część 11-10: Płomienie probiercze - Metody badania płomieniem probierczym 50 W przy poziomym i pionowym ustawieniu próbki (norma archiwalna).
- [19] PN-EN 60695-11-10:2014-02E Badanie zagrożenia ogniowego - Część 11-10: Płomienie probiercze - Metody badania płomieniem probierczym 50 W przy poziomym i pionowym ustawieniu próbki.
- [20] PN-EN 60947-1:2010P Aparatura rozdzielcza i sterownicza niskonapięciowa - Część 1: Postanowienia ogólne.
- [21] PN-EN 60947-1:2010P/A1:2011P Aparatura rozdzielcza i sterownicza niskonapięciowa - Część 1: Postanowienia ogólne.

- [22] PN-EN 60947-1:2010P/A2:2014-12P Aparatura rozdzielcza i sterownicza niskonapięciowa - Część 1: Postanowienia ogólne.
- [23] PN-EN 60947-3:2009P+A1:2012P Aparatura rozdzielcza i sterownicza niskonapięciowa - Część 3: Rozłączniki, odłączniki, rozłączniki izolacyjne i zestawy łączników z bezpiecznikami topikowymi.
- [24] PN-EN 60947-3:2009P/A2:2015-11P Aparatura rozdzielcza i sterownicza niskonapięciowa - Część 3: Rozłączniki, odłączniki, rozłączniki izolacyjne i zestawy łączników z bezpiecznikami topikowymi.
- [25] IEC 60707:1999 Flammability of solid non-metallic materials when exposed to flame sources - List of test methods (norma archiwalna).
- [26] PN-EN 60707:2002P Palność materiałów niemetalicznych stałych narażonych na działanie źródeł ognia - Wykaz metod badań (norma archiwalna).
- [27] PN-E-05163:2002P Rozdzielnice i sterownice niskonapięciowe osłonięte. Wytyczne badania w warunkach wyładowania łukowego, powstałego w wyniku zwarcia wewnętrznego.
- [28] PN-E-04414:1986P Materiały elektroizolacyjne stałe - Metody badania dla określenia palności w obecności źródła zapłonu (norma archiwalna).
- [29] UL 94 Standard for Tests for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances
- [30] http://www.fibox.pl/1163/Kategorifikacja%20palno%C5%9Bci_POL1.html (data odczytu 13-12-2017)
- [31] http://www.energa-operator.pl/centrum_informacji/standardy_techiczne.xml (data odczytu 13-12-2017)
- [32] Materiały pomocnicze do ćwiczeń laboratoryjnych. Ćwiczenie nr 1A. Badanie właściwości cieplnych tworzyw sztucznych. http://www.pg.gda.pl/~kkrzysz/cw1_matpom.pdf (data odczytu 13-12-2017)
- [33] <https://www.youtube.com/watch?v=AhRI68OgLQ0> (data odczytu 13-12-2017)
- [34] <http://tech-quality.com/index.php/brand/17-products/fire-testing-product/35-fire-testing> (data odczytu 13-12-2017)

