

st. kpt. mgr inż. **Wojciech KLAPSA**¹
inż. **Dawid BODALSKI**¹
lic. **Sylwester SUCHECKI**¹

Przyjęty/Accepted/Принята: 30.10.2013;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 01.08.2014;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.09.2014;

BADANIA DOŚWIADCZALNE REAKCJI NA OGIEŃ KABLI ELEKTRYCZNYCH²

Reaction To Fire of Electric Cables. Experimental Research

Экспериментальные исследования реакции на огонь электрических кабелей

Abstrakt

Cel: Przedstawienie wyników badań reakcji na ogień kabli elektrycznych według normy PN-EN 60332-1-2:2010, a także dodatkowych badań ponadnormatywnych. Badania miały na celu zbadanie wpływu takich parametrów jak: średnica zewnętrzna, liczbą żył, materiał, z którego wykonano żyły, a także zastosowanie drucianego ekranu na rozprzestrzenianie ognia przez kable elektryczne.

Projekt i metody: Badania wykonano na stanowisku badawczym zgodnym z normą PN-EN 60332-1-2:2010. Jest to podstawowa norma do określenia klasy reakcji na ogień E_{ca} oraz dodatkowa w przypadku określania klas $B1_{ca}$, $B2_{ca}$, C_{ca} , D_{ca} zgodnie z klasyfikacją przedstawioną w normie klasyfikacyjnej PN-EN 13501-6. Badań dokonano na grupie kabli elektrycznych o średnicach od 7 mm do 17,5 mm, różniących się liczbą żył, a także materiałem, z którego wykonano żyły oraz powłokę zewnętrzną. Część przewodów wyposażona była również w ekran z ocynkowanych drucików. Metodykę badań rozszerzono o pomiary temperatury żył, za pomocą dwóch termopar umieszczonych wewnątrz przewodu, na końcach próbki. Oprócz testów normatywnych przeprowadzono również badania dla dwu- i trzykrotnie zwiększonych czasów przyłożenia płomienia.

Wyniki: Kable ekranowane rozprzestrzeniały ogień w znacznie większym stopniu niż ich nieekranowane odpowiedniki. W przypadku kabli ekranowanych maksymalny zasięg zwęglenia rośnie proporcjonalnie do grubości przewodu. Nie zaobserwowano znacznych różnic w rozprzestrzenianiu ognia pomiędzy kablami różniącymi się wyłącznie materiałem, z którego wykonano żyły. Największy wzrost temperatur zanotowano w przewodach o najmniejszej średnicy. Temperatury żył mierzone na końcu oddalonym o około 100 mm od miejsca przyłożenia palnika osiągnęły maksymalnie około 40°C przy normatywnym czasie przyłożenia płomienia oraz około 150°C przy trzykrotnie zwiększonej ekspozycji. Dla żadnego z badanych kabli nie zanotowano natomiast wzrostu temperatury żył w punkcie pomiarowym oddalonym o 500 mm od miejsca przyłożenia płomienia.

Wnioski: Podstawowym czynnikiem wpływającym na rozprzestrzenianie ognia przez kabel elektryczny jest materiał, z którego wykonano izolację. W przypadku kabli ekranowanych rosnący zasięg zwęglenia wraz ze wzrostem średnicy spowodowany był większą ilością palnego tworzywa poddanego oddziaływaniu płomienia. Materiał, z którego wykonano żyły, nie ma większego wpływu na rozprzestrzenianie ognia. Dla kabli o przebadanych średnicach zewnętrznych normatywny czas przyłożenia płomienia – to jest 60 sekund, wydaje się być najbardziej optymalny. Przy wydłużonych czasach ekspozycji nie zanotowano zwiększenia zasięgu zniszczeń na próbce, natomiast odnotowano spadek precyzji metody.

Słowa kluczowe: kable elektryczne, reakcja na ogień, zagrożenie pożarowe

Typ artykułu: doniesienie wstępne

Abstract

Purpose: Presentation of the results of experimental research on the reaction to fire of electric cables according to PN-EN 60332-1-2, as well as some additional tests. The aim of the study was to assess the influence of selected parameters, such as outer diameter, number of cores, the core material and the presence shielding on the fire spread through electric cables.

¹ Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego Państwowy Instytut Badawczy; ul. Nadwiślańska 213, 05-420 Józefów; wklapsa@cnbop.pl / Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute, Poland;

² Wkład procentowy w powstanie artykułu / Percentage contribution: W. Klapsa – 42%, D. Bodalski – 42%, S. Suchecki – 16%;

Project and methods: The study was performed on a testing stand, compliant with PN-EN 60332-1-2. In accordance with the typology presented in the classification standard PN-EN 13501-6, it constitutes a basic document for determining the E_{ca} class reaction to fire, and an additional one for B1_{ca}, B2_{ca}, C_{ca}, D_{ca} classes. The tests were carried out on a group of electric cables with diameter between 7 mm and 17.5 mm, differing from each other in the amount of cores, as well as, in the core and insulation's materials. Some of the cables had a screen made of galvanized wires. Testing methodology was supplemented with veins temperature measurements, carried out with the use of two thermo-couples positioned at both ends of the sample. Next to the tests based on normative methods, the authors also carried out some tests involving doubled and tripled flame exposure time.

Results: Shielded cables spread the fire in a much greater extent than their unshielded counterparts. Shielded cables' maximum charring range increases proportionally to the wire's thickness. There were no significant differences in the fire spread between the cables differing from each other in their core material. The highest temperature was recorded in case of the cables with the smallest diameter. Temperature measured at the end of the conductors located about 100 mm from the point of application of the burner reached its maximum of about 40°C during the normative flame application time, and about 150°C at a tripled application time. At the second measuring point, positioned about 500 mm from the flame application point, there were no temperature changes noticed, for none of the tested samples.

Conclusions: The main factor influencing the fire spread through an electric cable is the material of its insulation. In case of shielded cables the growth of charring range, along with the increase of cable diameter was caused by the greater amount of combustible material subjected to flame influence. The material of conductor does not have a major impact on the fire spread. For cables within tested diameters normative flame application time (i.e. 60 seconds) seems to be the most optimal. With extended exposure times there has been no significant increase of damage range, while there was a noticeable decrease of precision of the method.

Keywords: electric cables, reaction to fire, fire hazard

Type of article: short scientific report

Аннотация

Цель: Представление результатов исследований реакции на огонь электрических кабелей, проведенных согласно стандарту PN-EN 60332-1-2:2010, а также дополнительных исследований. Основной целью исследования было определение влияния таких параметров как: наружный диаметр, число проводов, материал, из которого сделаны провода, применение проволочного экрана, которые влияют на распространение огня по электрическими кабелям.

Проект и методы: Исследования были проведены на испытательной установке, соответствующей стандарту PN-EN 60332-1-2:2010. Это главный стандарт для определения класса реакции на огонь E_{ca} и дополнительный в случае определения классов B1_{ca}, B2_{ca}, C_{ca}, D_{ca} согласно классификации представленной в классификационном стандарте PN-EN 13501-6. Исследования проводились на группе электрических кабелей диаметром от 7 мм до 17,5 мм, отличающихся друг от друга количеством проводов, материалом, из которого сделаны провода, а также внешним покрытием. Часть проводов состояла также из сетки гальванизированных проволок. Методика исследований была расширена измерениями температуры проводов, с помощью двух термопар, помещенных внутри провода, на концах образца. Кроме нормативных тестов, были проведены также исследования, где время действия огня было увеличено дву- и трехкратно.

Результаты: Экранированные кабели распространяли огонь в значительно большей степени, чем их неэкранированные аналоги. В случае экранированных кабелей максимальная длина обугливания растёт пропорционально толщине провода. Значительные различия в распространении огня между кабелями, отличающимися друг от друга только материалом, из которого были сделаны провода, не были замечены. Самый большой рост температур был зафиксирован в проводах с наименьшим диаметром. Температуры проводов, измеренные на конце, при расстоянии 100 мм от места приложения горелки, составили максимально около 40°C при нормативном времени приложения огня, а также около 150°C при увеличенном воздействии в три раза. Однако для каждого из исследованных кабелей не зафиксирован рост температуры проводов в измерительном пункте, который находился на расстоянии 500 мм от места соприкосновения пламени.

Выводы: Основным фактором, влияющим на распространение огня по электрическому кабелю, является материал, из которого сделана изоляция. В случае экранированных кабелей растущая длина обугливания вместе с увеличением диаметра были вызваны большим количеством горючего материала, подверженного воздействию пламени. Материал, из которого сделаны провода, не имеет большого влияния на распространение огня. Для кабелей с исследованным внешним диаметром нормативное время прикосновения пламени – 60 секунд является наиболее оптимальным. При более длительных сроках воздействия не было зафиксировано значительного увеличения масштаба ущерба образца, в то время как было зафиксировано снижение точности метода.

Ключевые слова: электрические кабели, реакция на огонь, пожарная угроза

Вид статьи: предварительный отчет

1. Wprowadzenie

Jednym z zagadnień współczesnego budownictwa związanych z postępowaniem technologicznym oraz zapewnieniem odpowiedniej funkcjonalności jest wyposażenie budynku w infrastrukturę elektryczną oraz teleinformatyczną. Pomimo szybkiego rozwoju technologii bezprzewodowych wciąż stosuje się szerokie spektrum przewodów i kabli elektrycznych, zapewniających zasilanie oraz komunikację pomiędzy niezliczoną liczbą urządzeń elek-

trycznych oraz elektronicznych. Kable, podobnie jak inne wykorzystywane w budownictwie wyroby, podlegają ocenie w zakresie reakcji na ogień, a możliwość ich stosowania w budynkach użyteczności publicznej jest uregulowana prawnie. Wymagania stawiane są po to, aby wyroby pracowały prawidłowo w normalnych warunkach użytkowania obiektu budowlanego, jak również w sytuacji zagrożenia – pożaru lub innego miejscowego zagrożenia [1]. Badanie palności kabli elektrycznych jest szczególnie

ważne, ponieważ typ i ilość materiałów palnych występujących w pomieszczeniu jest jednym z głównych czynników wpływających na szybkość rozwoju pożaru. Szczególną uwagę należy zwrócić na usytuowanie palnych elementów wykończeniowych na ścianach i suficie pomieszczenia [2], czyli podstawowych miejscach prowadzenia kabli elektrycznych. W zakresie klasyfikacji reakcji na ogień dla kabli elektrycznych, obecnie obowiązuje Decyzja Komisji Europejskiej 2006/751/WE [3] wykonująca Dyrektywę Rady 89/106/EEG, w której przedstawiono kryteria klasyfikacji oraz metody badawcze [4], oraz norma klasyfikacyjna PN-EN 13501-6 [5].

W Zespole Laboratoriów Procesów Spalania i Wybuchowości Centrum Naukowo-Badawczego Ochrony Przeciwpożarowej – PIB wykonano serię badań kabli elektrycznych według metody określonej w standardzie PN-EN 60332-1-2:2010 [6]. Jest to podstawowe badanie do określenia klasy reakcji na ogień E_{ca} oraz badanie wstępne do określenia klas $B1_{ca}$, $B2_{ca}$, C_{ca} , D_{ca} zgodnie z wymaganiami przywołanej normy klasyfikacyjnej. Uzyskanie pozytywnego wyniku testu obliguje do wykonania znacznie bardziej skomplikowanych, pracochłonnych i kosztownych badań według normy PN-EN 50399 [7].

Testom poddano dwie grupy kabli elektrycznych występujące w tych samych konfiguracjach liczby żył – 5G1, 12G1, 18G1, 25G1, gdzie jedną z grup wyróżniało zastosowanie ekranu z ocynkowanymi drucikami. Dodatkowo porównano zachowanie kabli o tych samych parametrach, różniących się od siebie materiałem wykonania żyły (miedź lub aluminium). Na podstawie otrzymanych wyników oceniono wpływ powyższych parametrów na rozprzestrzenianie pionowe płomienia na pojedynczym kablu. Wszystkie badania rozszerzono również o pomiary temperatury żył na końcach próbki.

2. Badania

2.1. Stanowisko badawcze

Badania przeprowadzono na stanowisku przygotowanym według zaleceń standardu PN-EN 60332-1-1 [8], składającym się z trzech zasadniczych części:

- Osłony metalowej o wysokości 1200 mm (± 25 mm), szerokości 300 mm (± 25 mm) i głębokości 450 mm (± 25 mm), otwartej z przodu i wyposażonej w dwa uchwyty do mocowania próbek. Odległość między krawędziami uchwytów wynosi 550 mm (± 5 mm).
- Źródła zapalenia – palnika zgodnego z PN-EN 60695-11-2 [9] z wyjątkiem zasilania – w tym przypadku jest to propan techniczny o 95% znamionowej czystości.
- Komory wolnej od przeciągów i wyposażonej w regulowany wyciąg laboratoryjny (dygestorium).

Badania według standardu PN-EN 60332-1-2 przeprowadza się dla pojedynczego izolowanego przewodu bądź kabla o długości 600 mm (± 25 mm). Próbkę należy przymocować do dwóch poziomych uchwytów za pomocą drutu miedzianego. Dolny koniec próbki powinien znajdować się w odległości ok. 50 mm od podstawy obudowy.



Ryc. 1. Stanowisko badawcze wg PN-EN 60332-1-2

Fig. 1. Test stand according to PN-EN 60332-1-2

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

2.2. Sprawdzanie parametrów palnika

Palnik propanowy, będący źródłem zapłonu, należy ustawić tak, aby wierzchołek wewnętrznego niebieskiego stożka dotykał powierzchni próbki w odległości 475 mm (± 5 mm) od dolnej krawędzi górnego poziomego uchwytu. Palnik winien być ustawiony pod kątem 45° ($\pm 2^\circ$) do pionowej osi próbki. Stosując odpowiednie parametry przepływu powietrza – 10 l/min ($\pm 0,5$ l/min) i propanu czystego (o zawartości $> 95\%$) – 650 ml/min (± 30 ml/min) przy ciśnieniu 1 bar, powinno się uzyskać płomień o określonej mocy oraz wysokości płomienia. Wysokość płomienia powinna zawierać się w granicach $170 \div 190$ mm, natomiast wysokość niebieskiego stożka w zakresie $50 \div 60$ mm. Ustawiając parametry palnika w zakresach określonych w normie PN-EN 60695-11-2, nie udało się osiągnąć spodziewanych wysokości płomienia oraz niebieskiego stożka. Odpowiednie wysokości osiągnięto empirycznie poprzez regulację przepływów. Wymagane charakterystyki geometryczne płomienia uzyskano, regulując przepływy propanu i powietrza w przybliżeniu na odpowiednio: 600 ml/min oraz 14 l/min. Dopiero tak wyregulowany płomień poddano badaniu mocy. Układ probierczy przedstawiono na rycinie 2. Składa się on z palnika (1), bloku miedzianego z zamocowaną termoparą (2) oraz urządzenia do wskazywania temperatury i czasu (3). Na tak zestawionym układzie dokonano trzykrotnego oznaczenia czasu wzrostu temperatury bloku miedzianego od 100°C ($\pm 5^\circ\text{C}$) \div 700°C ($\pm 3^\circ\text{C}$). Czas takiego wzrostu powinien wynosić 45 s (± 5 s). Uzyskane wyniki potwierdziły wytworzenie płomienia probierczego o mocy 1 kW.



Ryc. 2. Układ do próby sprawdzającej wg PN-EN 60695-11-2 (1 – palnik, 2 – blok miedziany z termoparą, 3 – urządzenie do wskazywania temperatury i czasu)

Fig. 2. Experimental set-up according to PN-EN 60695-11-2 (1 – burner, 2 – copper block with thermocouple, 3 – time and temperature measurement device)

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

2.3. Próbkki do badań

Zgodnie ze standardem PN-EN 60332-1-2 próbkę stanowi odcinek izolowanego przewodu lub kabla o długości 600 mm (± 20 mm). Próbkki zestawiono w trzy grupy. Pierwszą (patrz tabela 1) stanowią nieekranowane kable o skręconych warstwowo, izolowanych żyłach z cienkich drucików w powłoce z PCW, w czterech wariantach różniących się liczbą żył, a więc i średnicą zewnętrzną. Oznaczenia kabli stosowane w tabelach 1, 2, 3 podano według normy PN-HD 361 S3:2002/A1:2007P [10]. Wszystkie próbki przed badaniami poddano sezonowaniu, zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 60332-1-2, to jest przez co najmniej 16 godzin w temperaturze $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ i wilgotności $(50 \pm 20)\%$.

W skład drugiego zestawu wchodziły przewody tego samego producenta o tych samych liczbach żył, w których zastosowano ekran z ocynkowanego drutu miedzianego.

Tabela 1.

Zestaw 1 – kable nieekranowane

Table 1.

Set 1 – unshielded cables

Lp. No.	Rodzaj kabla Cable type	Liczba żył Amount of cores	Średnica zewnętrzna [mm] Outer diameter [mm]	Rodzaj żyły Core type
1.	H05VV-F	5G1	7,1	Miedź/ Copper
2.	H05VV-F	12G1	10,5	Miedź/ Copper
3.	H05VV-F	18G1	12,7	Miedź/ Copper
4.	H05VV-F	25G1	14,7	Miedź/ Copper

Źródło: Opracowanie własne
Source: Own elaboration.



Ryc. 3. Zestaw 1 – kable nieekranowane

Fig. 3. Set 1 – unshielded cables

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Tabela 2.

Zestaw 2 – kable ekranowane

Table 2.

Set 2 – shielded cables

Lp. No.	Rodzaj kabla Cable type	Liczba żył Amount of cores	Średnica zewnętrzna [mm] Outer diameter [mm]	Rodzaj żyły Core type
1.	H05VC4V-F	5G1	9,5	Miedź/ Copper
2.	H05VC4V-F	12G1	13,3	Miedź/ Copper
3.	H05VC4V-F	18G1	15,5	Miedź/ Copper
4.	H05VC4V-F	25G1	17,5	Miedź/ Copper

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.



Ryc. 4. Zestaw 2 – kable ekranowane

Fig. 4. Set 2 – shielded cables

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Trzeci zestaw stanowiły odmienne przewody. Były to dwa rodzaje próbek o tym samym przekroju żyły, tym samym materiale powłoki zewnętrznej (izolacja z polietylenu usieciowanego w powłoce poliwinilowej), występujące w dwóch wariantach – o żyłach miedzianych i aluminiowych.

Tabela 3.

Zestaw 3 – kable z żyłami z aluminium i miedzi

Table 3.

Set 3 – cables with aluminum and copper cores

Lp. No.	Rodzaj kabla Cable type	Liczba żył Amount of cores	Średnica zewnętrzna [mm] Outer diameter [mm]	Rodzaj żyły Core type
1	YKXS	1x50 RMC	13,2	Miedź/Copper
2	YAKXS	1x50 RMC	12,7	Aluminium/ Aluminum

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

**Ryc. 5.** Zestaw 3 – kable z żyłami z aluminium i miedzi**Fig. 5.** Set 3 – cables with aluminum and copper cores

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

2.4. Metoda badawcza

Przygotowaną próbkę o znormalizowanej długości 600 mm (± 20 mm) zamocowano do uchwytów za pomocą drutu miedzianego tak, aby dolny koniec próbki był w odległości ok. 50 mm od podstawy obudowy. Mając skalibrowaną moc palnika oraz próbkę zamocowaną tak, jak to opisano powyżej, ustawiono palnik w taki sposób, aby czubek stożka kontrolnego (odwzorowującego niebieski stożek w płomieniu) stykał się z powierzchnią próbki. Dobraną w ten sposób pozycję roboczą palnika ustalono, ustawiając specjalny ogranicznik na przewodnicy. Następnie palnik wycofano, zdjęto stożek kontrolny, po czym podpalono i skontrolowano wysokość płomienia. Zapalony palnik przystawiono do próbki na czas zależny od jej średnicy (patrz tabela 4). Po odsunięciu palnika odczekano, aż palący się lub tłący przewód zgaśnie.

Tabela 4.

Czasy przyłożenia palnika w zależności od średnicy zewnętrznej kabla

Table 4.

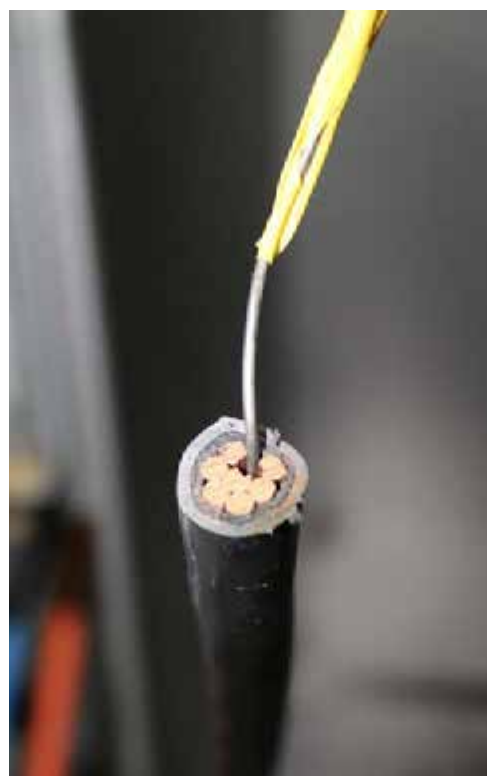
Burner reaction times depending on cable outer diameter

Zewnętrzna średnica próbki do badań [mm] Outer diameter of specimen [mm]	Czas przyłożenia palnika [s] Burner application time
$D \leq 25$	60 ± 2
$25 < D \leq 50$	120 ± 2
$50 < D \leq 75$	240 ± 2
$D > 75$	480 ± 2

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Wszystkie próbki miały średnicę zewnętrzną mniejszą niż 20 mm, a zatem zgodnie z tabelą 4 czas przyłożenia palnika wynosił dla nich 60 sekund. Dla każdej z próbek wykonano po trzy badania przy normatywnym czasie przyłożenia płomienia. Dodatkowo dla 5 przewodów wykonano badania przy czasie działania płomienia wydłużonym do 120 s i 180 s. Za wyniki badań uznaje się zmierzoną wysokość H zniszczenia (zwęglenia) próbki. Na uwagę zasługuje fakt istnienia rozbieżności w sposobie pomiaru tej odległości pomiędzy załącznikiem A do normy PN-EN 60332-1-2 a normą klasyfikacyjną PN-EN 13501-6. W pierwszym przypadku wynik pozytywny otrzymujemy, gdy odległości od dolnej krawędzi górnego uchwytu do granic obszaru zwęglonego wynoszą odpowiednio ponad 50 mm w stosunku do granicy górnej oraz poniżej 540 mm w stosunku do granicy dolnej. Norma klasyfikacyjna natomiast mówi, iż wysokość rozprzestrzenienia płomienia od miejsca przyłożenia palnika nie może przekroczyć 425 mm, nie wspominając o rozprzestrzenianiu ognia w dół. Zakres badań rozszerzono o pomiary wzrostu temperatury żyły wewnątrz kabla. Pomiaru dokonywano za pomocą dwóch termopar zamocowanych na dwóch końcach kabla. Układ taki pozwolił zbadać, do jakich temperatur rozgrzewa się żyła wewnętrzna w zależności od zastosowanego materiału (miedź lub aluminium) oraz oceniono wpływ procesu przekazywania ciepła – na drodze przewodzenia – na rozprzestrzenianie się ognia po osłonie kabla elektrycznego.

**Ryc. 6.** Termopara do pomiaru wzrostu temperatury żyły wewnętrznej**Fig. 6.** Thermocouple for measuring the core temperature increase

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

3. Wyniki badań

W tabeli 5 przedstawiono po trzy wyniki badań dla każdego z przebadanych kabli wykonane przy normatywnym czasie przyłożenia płomienia (60 s). Według normy [5] badania przeprowadzone na jednej próbce są wystarczające do celów klasyfikacji. Na potrzeby badawcze wy-

konano jednak po 3 próby dla każdego z przewodów, wyliczając współczynnik zmienności V.

$$V = \frac{s}{x} \cdot 100\%$$

gdzie:

s – odchylenie standardowe z próby

x – średnia arytmetyczna z próby

Porównanie wyników – normatywny czas przyłożenia płomienia

Tabela 5.

Table 5.

Comparison of results – normative flame application time

Lp. No.	Rodzaj kabla Cable type	Liczba żył Amount of cores	Odległość góra [mm] Upper limit [mm]	Odległość dół [mm] Lower limit [mm]	Odległość góra [mm] Upper limit [mm]	Odległość dół [mm] Lower limit [mm]	Odległość góra [mm] Upper limit [mm]	Odległość dół [mm] Lower limit [mm]	Średnia górna [mm] Average upper limit [mm]	Średnia dolna [mm] Average lower limit [mm]	Współczynnik zmienności; góra [%] Coefficient of variation; up [%]	Współczynnik zmienności; dół [%] Coefficient of variation; down [%]
			1		2		3					
1	H05VV-F	5G1	338	492	342	492	351	494	344	493	1,94%	0,23%
2		12G1	354	494	356	492	351	491	354	492	0,71%	0,31%
3		18G1	359	495	356	498	364	499	360	497	1,12%	0,42%
4		25G1	345	497	346	497	338	496	343	497	1,27%	0,12%
5	H05VC4V-F	5G1	333	496	321	494	316	492	323	494	2,70%	0,40%
6		12G1	311	497	305	496	312	498	309	497	1,23%	0,20%
7		18G1	301	490	297	492	298	499	299	494	0,70%	0,96%
8		25G1	279	492	283	494	277	495	280	494	1,09%	0,31%
9	YKXS	1x50	386	491	390	496	378	496	385	494	1,59%	0,58%
10	YAKXS	1x50	360	491	374	495	379	489	371	492	2,65%	0,62%

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Porównanie wyników – dwukrotnie dłuższy czas przyłożenia płomienia

Tabela 6.

Table 6.

Comparison of results – double flame application time

Lp. No.	Czas przyłożenia płomienia [s]	Rodzaj kabla Cable type	Liczba żył Amount of cores	Odległość góra [mm] Upper limit [mm]	Odległość dół [mm] Lower limit [mm]	Odległość góra [mm] Upper limit [mm]	Odległość dół [mm] Lower limit [mm]	Odległość góra [mm] Upper limit [mm]	Odległość dół [mm] Lower limit [mm]	Średnia górna [mm] Average upper limit [mm]	Średnia dolna [mm] Average lower limit [mm]	Współczynnik zmienności; góra [%] Coefficient of variation; up [%]	Współczynnik zmienności; dół [%] Coefficient of variation; down [%]
				1		2		3					
1	120	H05VV-F	5G1	311	501	293	495	274	492	293	496	6,31%	0,92%
2			18G1	350	507	333	490	312	490	332	496	5,73%	1,98%
3			25G1	332	500	300	490	320	491	317	494	5,10%	1,11%
4			H05VC4V-F	5G1	329	503	303	487	312	501	315	497	4,19%
5		12G1		328	502	276	492	283	495	296	496	9,53%	1,03%
6	180	H05VV-F	5G1	311	506	315	495	293	492	306	498	3,83%	2,16%
7			18G1	357	505	290	484	312	490	319	493	10,71%	2,19%
8			25G1	320	499	323	500	332	502	325	500	1,92%	0,31%
9		H05VC4V-F	5G1	327	515	297	494	282	503	302	504	7,59%	2,09%
10			12G1	284	507	285	498	300	498	290	501	3,09%	1,04%

Źródło: Opracowanie własne.

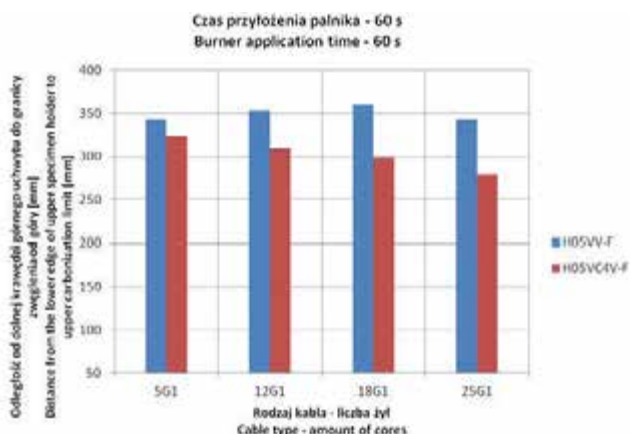
Source: Own elaboration.

Pięć przewodów poddano również badaniom przy dwu- i trzykrotnie wydłużonym czasie przyłożenia płomienia. Wyniki przedstawiono w tabeli 6.

4. Analiza wyników

Analizując różnice w otrzymanych wynikach, można zauważyć, że dla normalywnego czasu przyłożenia płomienia znacznie większe rozbieżności występują w wartościach odległości do górnej granicy zwęglenia – zgodnie z kierunkiem większego rozprzestrzeniania się ognia, osiągając wartości od 0,7% do 2,7%. W przypadku wartości do dolnej granicy zwęglenia różnice w większości przypadków nie przekraczają 1%. Odnosząc różnice w wynikach do średnicy kabla elektrycznego, łatwo zauważyć, że największe różnice wartości odległości do górnej granicy występują przy najmniejszej średnicy zarówno kabla ekranowanego, jak i nieekranowanego.

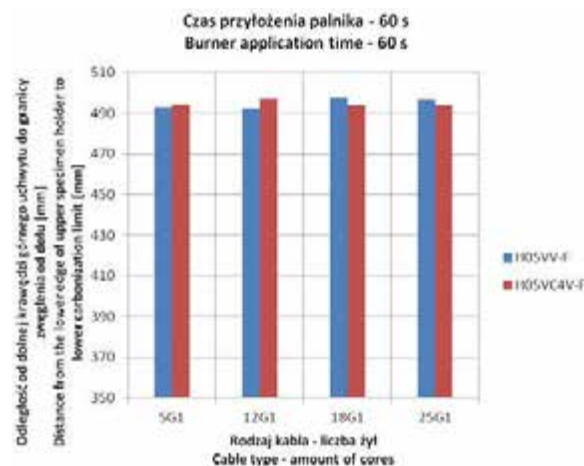
Norma wskazuje, że należy przebadać jedną próbkę i dopiero wówczas, gdy nie spełni ona wymagania, wykonuje się kolejne dwie próby, przy czym jeżeli dadzą one wynik pozytywny, to uznaje się, że kabel spełnia wymagania. W przypadku wartości odległości od dolnej krawędzi górnego uchwytu do granic obszaru zwęglonego znacznie większych od 50 mm, różnice w kolejnych seriach nie mają większego znaczenia dla końcowej klasyfikacji kabla elektrycznego pod kątem spełnienia wymagań normy. Na poniższych dwóch wykresach (ryc. 7, ryc. 8) zestawiono zmierzone odległości do granic zwęglenia w zależności od liczby żył (średnicy zewnętrznej), porównując kable ekranowane z nieekranowanymi. Analizując wykresy, należy pamiętać o fakcie, iż kabel posiada tym lepsze właściwości, im jego odległość od dolnej krawędzi górnego uchwytu do górnej granicy zwęglenia jest większa, natomiast do dolnej krawędzi zwęglenia mniejsza.



Ryc. 7. Wielkość zniszczeń w zależności od liczby żył – górna granica zwęglenia

Fig. 7. Destruction size depending on amount of cores – upper carbonization limit

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.



Ryc. 8. Wielkość zniszczeń w zależności od liczby żył – dolna granica zwęglenia

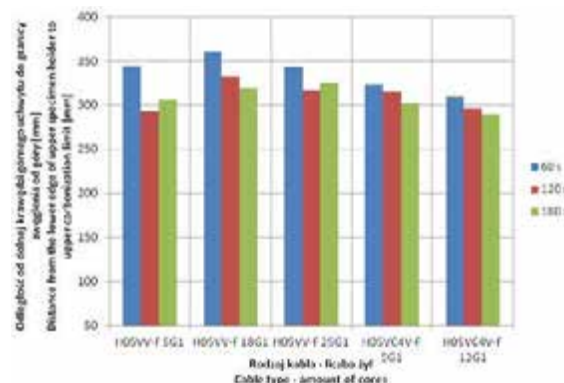
Fig. 8. Destruction size depended on amount of cores – lower carbonization limit

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Analizując oba wykresy, jednoznacznie można stwierdzić, że kable elektryczne ekranowane w znacznie większym stopniu rozprzestrzeniają płomień w stosunku do kabli nieposiadających ekranu. W przypadku wartości do górnej granicy zwęglenia dla kabla ekranowanego widać wyraźne zmniejszanie się mierzonej odległości (pogarszanie właściwości palnych) wraz ze wzrostem liczby żył, a co za tym idzie średnicy zewnętrznej. W przypadku kabli nieekranowanych odległości te wahają się w granicach precyzji badania. Odległość do dolnej granicy zwęglenia praktycznie nie zależy od rodzaju kabla ani liczby żył, a ewentualne rozbieżności również mieszczą się w granicach precyzji metody.

Najlepiej spośród przebadanych kabli zachowywały się przewody typu YKXS oraz YAKXS. W przypadku próbki kabla z żyłami aluminiowymi zauważono wprawdzie nieco większe rozprzestrzenianie płomienia, jednak są to różnice rzędu kilkunastu milimetrów, w przypadku odległości do górnej granicy zwęglenia.

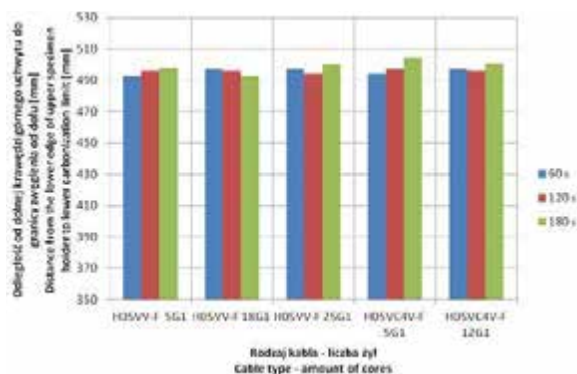
Kolejne dwa wykresy (ryc. 9, ryc. 10) przedstawiają wyniki badań przeprowadzonych na zestawie pięciu kabli przy wydłużonych czasach oddziaływania płomienia (120 s i 180 s).



Ryc. 9. Wielkość zniszczeń w zależności od czasu przyłożenia palnika, górna granica zwęglenia

Fig. 9. Destruction size depended on burner application time, upper carbonization limit

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

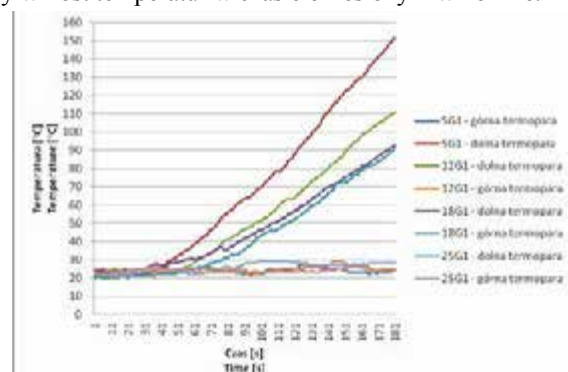


Ryc. 10. Wielkość zniszczeń w zależności od czasu przyłożenia palnika, górna granica zwęglenia

Fig. 10. Destruction size depended on burner application time, upper carbonization limit
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Badania wykazały, iż zwiększenie czasu przyłożenia płomienia negatywnie wpływa na precyzję metody. Współczynnik zmienności przy pomiarze odległości do górnej granicy zwęglenia osiąga wartość nawet 10,7%, natomiast przy odległości do dolnej granicy 2,2%. Znotowano tendencję spadkową odległości od dolnej krawędzi górnego uchwytu do górnej granicy zwęglenia pomiędzy czasem normatywnym i dwukrotnie wydłużonym (większe zniszczenia), jednak pomiędzy dwu- i trzykrotnym czasem trend ten zanika, a różnice wynoszą maksymalnie kilkanaście milimetrów. W przypadku dolnej granicy zwęglenia dla każdego z kabli odnotowano jedynie minimalne wahania parametru.

Celem zbadania wpływu przewodzenia ciepła przez żyły na rozprzestrzenianie ognia, podczas wszystkich badań dokonywano pomiarów temperatury na obu końcach odcinka kabla. Dolna termopara znajdowała się w odległości ok. 100 mm od miejsca przyłożenia palnika, natomiast górna w odległości ok. 500 mm. Na poniższym wykresie (ryc. 11) zestawiono przykładowe temperatury zarejestrowane podczas badań zestawu kabli ekranowanych H05VC4V-F o różnej liczbie żył przy czasie oddziaływania 180 s. Analizy tej zależności dokonano przy wydłużonym czasie oddziaływania palnika ze względu na nieznaczny wzrost temperatur w czasie określonym w normie.

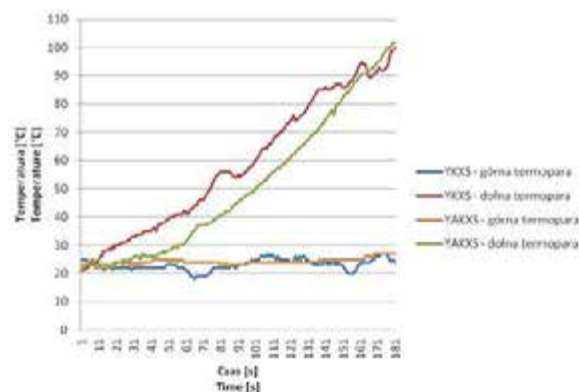


Ryc. 11. Przykładowy wykres przedstawiający wzrost temperatury żyły w czasie badania dla różnych ilości żył w kablu ekranowanym H05VCV-F

Fig. 11. Sample graph showing core temperature increase during the test for different amount of cores for shielded cables H05VCV-F

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Największy i najbardziej dynamiczny wzrost temperatury odnotowano dla kabla o najmniejszej liczbie żył. Z wykresu wynika, iż wzrost temperatury zarejestrowano jedynie na dolnej termoparze, która była w bliższej odległości od źródła ognia. Można również zauważyć, że charakterystyka wzrostu temperatury rosła liniowo. W przypadku pomiarów temperatury dla kabli różniących się materiałem, z jakiego wykonane były żyły, podobnie jak w poprzednich przypadkach zaobserwowano nagrzewanie jedynie na niewielkiej odległości od miejsca przyłożenia płomienia. Wzrost temperatury żyły miedzianej następuje wcześniej niż aluminiowej, lecz dynamika wzrostu tej drugiej ostatecznie doprowadza do zrównania się wyników po niespełna trzyminutowej ekspozycji, co zaprezentowano na rycinie 12.



Ryc. 12. Przykładowy wykres przedstawiający wzrost temperatury żyły aluminiowej i miedzianej w czasie badania

Fig. 12. Sample graph showing core temperature increase during the test for different core material (aluminum, copper)
Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Odnotowane temperatury są znacznie niższe od temperatur samozapłonu materiałów stałych, a proces przewodzenia ciepła przez żyły kabla nie ma istotnego wpływu na rozprzestrzenianie ognia po kablu. Temperatury w odległości niespełna 50 cm od miejsca przyłożenia palnika nawet przy tak długim czasie przyłożenia palnika wzrastają zaledwie o kilka stopni i nie przekraczają 30°C.

5. Wnioski

Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, że rozprzestrzenianie płomienia na pojedynczym kablu elektrycznym zależy w głównej mierze od materiału powłoki i izolacji, z której został wykonany. Średnica kabla elektrycznego (liczba żył) nie wpływa zasadniczo na wielkość rozprzestrzeniania się płomienia, niemniej jednak zauważono, że w przypadku kabli elektrycznych ekranowanych, w badanym zakresie średnic widoczny jest proporcjonalny wzrost zasięgu zwęglenia wraz ze zwiększaniem się grubości przewodu. Różnice w wartościach były jednak niewielkie, i co ważne, jedynie w minimalnym stopniu powiększające się wraz ze wzrostem czasu przyłożenia, w związku z czym można uznać, że zastosowanie ekranu cienkich ocynkowanych drucików miedzianych nie będzie wpływało znacząco na rozprzestrzenianie się ognia w warunkach pożarowych. Badania

porównawcze kabli miedzianych i aluminiowych wykazały, że sama przewodność cieplna żyły kabla elektrycznego nie odgrywa znaczącej roli w rozprzestrzenianiu się płomienia. Można również uznać, iż wydłużony czas oddziaływania źródła ognia nie ma większego wpływu na zasięg zniszczeń. Stwierdzono, że dobór czasu przyłożenia źródła ognia zastosowany w metodzie jest odpowiedni i dłuższe oddziaływanie źródła ognia nie ma uzasadnionych podstaw. Stąd wnioszek, że wielkość rozprzestrzeniania ognia dla pojedynczego kabla jest w pewnym zakresie stała dla danego materiału, z jakiego wykonana została powłoka zewnętrzna i izolacja żył. Dodatkowym wnioskiem płynącym z przeprowadzonych badań jest fakt, że wydłużony czas przyłożenia źródła zapalenia nie powoduje znacznego pogorszenia uzyskiwanych wyników. Podsumowując, nieskomplikowana metoda badawcza pokazała, że głównym czynnikiem wpływającym na rozwój pożaru jest materiał, z którego wykonano powłokę oraz izolację kabla elektrycznego.

Literatura

1. Klapsa W., Małozieć D., Suchecki S., *Badania reakcji na ogień dla kabli elektrycznych – przegląd metod badawczych*, BiTP Vol. 28 Issue 4, 2012, pp. 131-139.
2. Mroczko G., *Znaczenie aprobat technicznych dla bezpieczeństwa pożarowego obiektów budowlanych*, BiTP Vol. 24 Issue 4, 2011, pp. 87-92.
3. Decyzja Komisji z dnia 27 października 2006 r. zmieniająca decyzję Komisji 2000/147/WE wykonującą dyrektywę Rady 89/106/EEG w odniesieniu do klasyfikacji odporności wyrobów budowlanych na działanie ognia (2006/751/WE).
4. Małozieć D., Koniuch Ariadna, *Reakcja na ogień metody badań i kryteria klasyfikacji*, BiTP Vol. 17 Issue 1, 2010, pp. 63-74.
5. EN 13501-6:2014-04 (E) Fire classification of construction products and building elements – Part 6: Classification using data from reaction to fire tests on electric cables.
6. PN-EN 60332-1-2:2010 Badania palności kabli przewodów elektrycznych oraz światłowodowych Część 1-2: Sprawdzanie odporności pojedynczego izolowanego przewodu lub kabla na pionowe rozprzestrzenianie się płomienia. Metoda badania płomieniem mieszkankowym 1kW.
7. PN-EN 50399:2011 Wspólne metody badania palności przewodów i kabli – Pomiar wydzielania ciepła i wytwarzania dymu przez kable podczas sprawdzania rozprzestrzeniania się płomienia – Aparatura probiercza, procedury, wyniki.
8. PN-EN 60332-1-1:2010 Badania palności kabli przewodów elektrycznych oraz światłowodowych Część 1-1: Sprawdzanie odporności pojedynczego izolowanego przewodu lub kabla na pionowe rozprzestrzenianie się płomienia. Aparatura.
9. PN-EN 60695-11-2:2006 Badanie zagrożenia ogniowego – Część 11-2: Płomienie probiercze – Znamionowy płomień probierczy mieszkankowy 1 kW – Urządzenia, układ do próby sprawdzającej i wytyczne.
10. PN-HD 361 S3:2002/A1:2007P Klasyfikacja przewodów i kabli.

st. kpt. mgr inż. Wojciech Klapsa w 2004 r. uzyskał stopień magistra inżyniera w Szkole Głównej Służby Pożarnej w Warszawie. W 2006 r. uzyskał dyplom inż. chemii w Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie. Obecnie pełni służbę w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpożarowej Państwowym Instytucie Badawczym w Józefowie w Zespole Laboratoriów Procesów Spalania i Wybuchowości. Oficer PSP

inż. Dawid Bodalski w roku 2013 ukończył studia na Wydziale Inżynierii Produkcji Politechniki Warszawskiej. Obecnie pracuje na stanowisku młodszego specjalisty w Zespole Laboratoriów Procesów Spalania i Wybuchowości w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpożarowej – PIB w Józefowie.

lic. Sylwester Suchecki w 2010 r. ukończył studia w Wyższej Szkole Gospodarki Euroregionalnej na Wydziale Nauk Społecznych w Józefowie i uzyskał dyplom licencjata. Obecnie pracuje w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpożarowej Państwowym Instytucie Badawczym w Józefowie w Zespole Laboratoriów Procesów Spalania i Wybuchowości jako młodszy specjalista.