

# Kable i przewody elektryczne przeznaczone do taboru szynowego

Damian MAJCHRZYK<sup>1</sup>, Izabela TARKA<sup>2</sup>

## Streszczenie

W artykule przedstawiono właściwości kabli elektrycznych istotne z punktu widzenia zastosowania w taborze szynowym. Szczególnie skupiono się na ich właściwościach palno-dymowych ponieważ statystyki pokazują, że kable mogą stanowić istotny element wpływający na bezpieczeństwo pożarowe w środkach transportu. Scharakteryzowano obowiązujące w Polsce wymagania prawne dotyczące metod badawczych dla kabli stosowanych w taborze szynowym. Opisano stanowiska i procedury testów wykonywanych zgodnie z tymi wymaganiami w Laboratorium Badań Materiałów i Elementów Konstrukcji Instytutu Kolejnictwa.

**Słowa kluczowe:** kable i przewody elektryczne, bezpieczeństwo pożarowe, właściwości ogniowe, metodyki badawcze

## 1. Wstęp

W obecnych czasach coraz większą uwagę przywiązuje się do problemów dotyczących środowiska naturalnego. W związku tym rośnie rola transportu kolejowego, który charakteryzuje się mniejszym zużyciem energii i mniejszą emisją CO<sub>2</sub> niż inne środki transportu [3]. To z kolei powoduje, że zwiększa się zapotrzebowanie na materiały, wyroby, urządzenia i technologie wykorzystywane do budowy taboru szynowego. Jedną z takich grup wyrobów są kable i przewody elektryczne.

Pomimo szybkiego rozwoju technologii bezprzewodowych, w taborze szynowym wciąż stosuje się duże ilości przewodów i kabli elektrycznych. Mają one szerokie zastosowanie, poczynając od kabli zasilających przez sterownicze po kable wykorzystywane do transmisji danych. Wyroby te muszą spełniać wiele wymagań specyficznych dla taboru szynowego, spośród których szczególną uwagę przykłada się do wymagań związanych z bezpieczeństwem. Opracowano nowe metody badań i kryteria oceny w tym zakresie, co w konsekwencji przyczyniło się do rozwoju nowych produktów. Zaistniała potrzeba takiej konstrukcji przewodów i kabli stosowanych w pojazdach szynowych, która zmniejszy ryzyko zagrożenia ludzi i poprawi ogólny stan bezpieczeństwa w taborze szynowym. W przypadku kabli doprowadziło to do opracowania bezhalogenowych materiałów izolacyjnych i powłokowych, dzięki czemu jest możliwe jednoczesne zapewnienie wysokiego poziomu ochrony zdrowia ludzkiego, środowiska naturalnego i bezpieczeństwa pożarowego [4].

## 2. Właściwości kabli istotne z punktu widzenia zastosowania w taborze szynowym

Ze względu na pełnione funkcje w taborze szynowym możemy wyróżnić trzy grupy kabli i przewodów elektrycznych: zasilające, sterownicze i kable do transmisji danych (magistralne, koncentryczne, światłowodowe). Każda z tych grup charakteryzuje się pewnym specyficznym i najważniejszym dla ich zastosowania zestawem właściwości spośród ogólnych cech, jakimi powinny charakteryzować się kable stosowane w taborze szynowym.

Wymagania dotyczące właściwości kabli, szczególnie istotnych z punktu widzenia ich wykorzystania w pojazdach szynowych określono w normach przedmiotowych. W tych dokumentach zawarto również wymagania dotyczące instalacji sieci kablowych w pojazdach kolejowych oraz wytyczne w zakresie bezpiecznej eksploatacji przewodów kolejowych. Analiza tych wymagań pozwala stwierdzić, że do najważniejszych właściwości kabli stosowanych w taborze szynowym należą:

- 1) właściwości mechaniczne:
  - odporność na uderzenie w niskiej temperaturze,
  - odporność na ścieranie,
  - odporność na rozdzieranie,
  - giętkość,
  - przyczepność izolacji,
  - odporność na nacinanie;

<sup>1</sup> Mgr inż.; były pracownik Instytutu Kolejnictwa.

<sup>2</sup> Mgr inż.; Instytut Kolejnictwa, Laboratorium Badań Materiałów i Elementów Konstrukcji; e-mail: itarka@ikolej.pl.

- 2) właściwości elektryczne:
  - rezystancja żył,
  - wytrzymałość elektryczna izolacji i powłoki kabla (badanie kompletnego przewodu napięciem probierczym, próba napięciowa),
  - rezystancja izolacji i powłoki (w tym rezystancja powierzchniowa);
- 3) odporność na starzenie:
  - starzenie termiczne (wpływ na: podatność na nawijanie kabla oraz wytrzymałość elektryczną i właściwości mechaniczne – wydłużenie przy zerwaniu, odporność na nacisk, odporność na pęknięcie pod naprężeniem, skurcz izolacji),
  - odporność na działanie ozonu (wpływ na strukturę izolacji oraz na jej wytrzymałość elektryczną);
- 4) odporność na działanie cieczy (olej mineralny i olej napędowy, kwasy, zasady, absorpcja wody) – wpływ na strukturę kabla i wytrzymałość elektryczną izolacji);
- 5) właściwości palno-dymowe:
  - odporność na rozprzestrzenianie płomieni wzdłuż wiązek kabli,
  - toksyczność produktów pirolizy lub spalania materiału izolacji lub powłoki.

Ponadto, kable stosowane w taborze szynowym powinny również charakteryzować się niską masą ze względu na powszechne dążenie do obniżenia masy taboru szynowego oraz możliwie małymi wymiarami i dużą elastycznością z uwagi na coraz mniejszą ilość miejsca dostępnego do instalacji kabli. W związku z tym szczególnym zainteresowaniem, w kontekście zastosowania w taborze szynowym, cieszą się kable o zmniejszonej grubości izolacji. Innymi istotnymi cechami kabli stosowanych w pojazdach kolejowych są: łatwość montażu oraz niskie wymagania konserwacyjne, duża wydajność energetyczna, a także w przypadku niektórych zastosowań, zdolność do podtrzymania swoich funkcji w trakcie pożaru oraz skuteczna ochrona elektromagnetyczna i interoperacyjność rozumiana jako spełnienie wymagań pod względem zastosowania kabli w systemach ERTMS i ETCS [13].

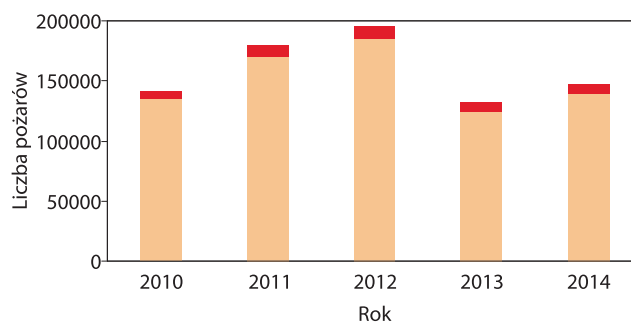
W zależności od funkcji kabla w taborze szynowym pewne jego właściwości, mają szczególnie duże znaczenie, np. w przypadku kabli zasilających w lokomotywach elektrycznych i dieslowskich istotna jest ich odporność na działanie oleju napędowego i mineralnego oraz na działanie podwyższonych temperatur. Kable połączeniowe do przenoszenia energii z pantografu do transformatora powinny charakteryzować się dużą elastycznością, małymi wymiarami oraz odpornością na ścieranie i odpornością na działanie czynników zewnętrznych [13]. Natomiast w przypadku kabli stosowanych w awaryjnych systemach zasilania, łączności, oświetlenia i alarmowania, bardzo ważną cechą jest ich zdolność do podtrzymania swoich funkcji w trakcie pożaru. Wysoka temperatura żył przewodów i kabli powoduje wzrost ich rezystancji. Duża rezystancja żył skutkuje

z kolei dużymi spadkami napięć, które mogą doprowadzić do przerwy w funkcjonowaniu zasilanych urządzeń i systemów. W trakcie pożaru pogarszają się ponadto parametry izolacji żył (zmniejsza się rezystancja izolacji). Materiał izolacji staje się plastyczny, zmianie mogą ulec odległości między żyłami doprowadzając do zwarcia [1].

Niezależnie od rodzaju kabli, bardzo ważną cechą jest bezpieczeństwo ich stosowania. Znajduje to odzwierciedlenie w wymaganiach dotyczących ich wytrzymałości mechanicznej i odporności na działanie różnych czynników zewnętrznych. W ostatnich latach dużo uwagi poświęcono zagrożeniu pożarowemu związanemu z właściwościami palno-dymowymi materiałów izolacyjnych i powłokowych kabli oraz z toksycznością związków uwalnianych podczas ich spalania.

### 3. Ryzyko pożarowe związane z zastosowaniem kabli w taborze szynowym

Pożary w środkach transportu publicznego, w ostatnich latach, są zjawiskiem stosunkowo rzadkim [6]. Potwierdzają to dane statystyczne Komendy Głównej Państwowej Straży Pożarnej (rys. 1) z których wynika, że w Polsce w latach 2010–2014 pożary w środkach transportu stanowiły około 5% wszystkich pożarów w skali roku [25].



Rys. 1. Udział pożarów w środkach transportu w całkowitej liczbie pożarów w Polsce w latach 2010–2014 [25]: ■ pozostałe obiekty (użyteczności publicznej, mieszkalne, produkcyjne, magazynowe, lasy, uprawy, inne); ■ środki transportu

Analiza struktury pożarów w środkach transportu pozwala wnioskować, że na tle alternatywnych środków lokomocji, kolej jest jednym z bezpieczniejszych pod względem zagrożenia pożarem, tablica 1

Mimo małej częstotliwości występowania pożarów w taborze szynowym, istnieje duże ryzyko – przy braku odpowiednich środków zapobiegawczych, że ich skutki mogą być bardzo dotkliwe ze względu na dużą liczbę narażonych pasażerów i utrudnione warunki ewakuacji oraz ratowania, w szczególności, kiedy pożar powstanie w porze nocnej lub podczas przemieszczania się pociągu w tunelu

[5]. Należy pamiętać przy tym, że na poziom bezpieczeństwa pożarowego w pojazdach szynowych ma wpływ zarówno odpowiednia konstrukcja pojazdu, jak i właściwości stosowanych materiałów [8]. Ze względu na powszechne dążenie do obniżenia masy taboru szynowego, w celu zmniejszenia zużycia energii i emisji CO<sub>2</sub> przez ten środek transportu, w jego budowie stosuje się coraz większą ilość wyrobów zawierających lekkie materiały niemetalowe [2]. Materiały izolacyjne kabli coraz bardziej zwiększają ogólną masę materiałów niemetalowych w pociągu [5, 6]. Materiały te oprócz wielu zalet, mają jednak dużą wadę – palność i związane z nią ryzyko pożaru.

Dane statystyczne Komendy Głównej Państwowej Straży Pożarnej wskazują, że w Polsce jedną z głównych przyczyn pożarów w środkach transportu w latach od 2010 r. do 2014 r. były wady urządzeń i instalacji elektrycznych, a w szczególności wady przewodów, instalacji elektrycznych i odbiorników, wyłączając urządzenia grzewcze, tablica 2 [25].

Na rysunku 2 przedstawiono przyczyny pożarów w środkach transportu tylko dla 2014 r., ponieważ udział poszczególnych przyczyn pożaru w całkowitej liczbie tych zdarzeń

w środkach transportu w poprzednich latach (2010–2013) był bardzo podobny. Niestety na podstawie ogólnodostępnych danych KG PSP nie można przeanalizować przyczyn pożarów w samym taborze szynowym w Polsce. Przedstawione statystyki pokazują jednak, że kabli w istotny sposób wpływają na bezpieczeństwo pożarowe w środkach transportu. Potwierdzają to bardziej szczegółowe dane statystyczne dotyczące innych państw, zgodnie z którymi izolacja kabli stanowi często pierwszy element ulegający zapłonowi podczas pożaru [5, 6, 12].

Najczęstszymi przyczynami zapalenia się instalacji elektrycznych są: iskrzenie, zwarcia i przegrzanie kabli prowadzące do zapłonu izolacji kabli uszkodzonych i kabli znajdujących się w sąsiedztwie [7]. Ryzyko związane z zastosowaniem kabli w taborze szynowym polega również na tym, że stanowią one jedną z dróg rozprzestrzeniania się ognia [6]. Ponadto, jak wspomniano wcześniej, kabli wnoszą dodatkowy, stosunkowo duży, wkład w całkowitą ilość materiałów niemetalowych występujących w pociągu, stanowiących paliwo do procesu spalania w trakcie pożaru [6, 7]. Izolacja i powłoka kabli podczas spalania jest także źródłem dymu

Tablica 1

Struktura pożarów w środkach transportu w Polsce w latach 2010–2014 [według 25]

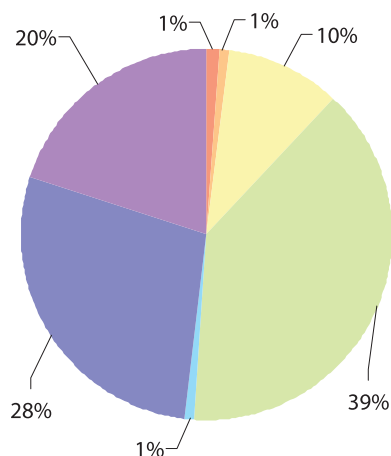
Rodzaj transportu	Liczba pożarów				
	2010	2011	2012	2013	2014
Transport kolejowy	168 (1,9%)	175 9 (2,1%)	160 (1,9%)	114 (1,5%)	114 (1,4%)
Transport drogowy	8671 (97,7%)	8436 (97,6%)	8126 (97,6%)	7665 (98,1%)	8106 (98,3%)
Transport lotniczy	3 (0,03%)	3 (0,03%)	2 (0,02%)	2 (0,03%)	4 (0,05%)
Transport morski	37 (0,4%)	26 (0,3%)	40 (0,5%)	34 (0,4%)	22 (0,3%)
Razem	8876	8637	8326	7813	8242

Tablica 2

Przyczyny pożarów w środkach transportu w Polsce w latach 2010–2014 [25]

Przyczyna pożaru	Rok				
	2010	2011	2012	2013	2014
Nieostrożność osób dorosłych przy posługiwaniu się ogniem otwartym, w tym papierosy, zapalaki	112	113	117	78	89
Nieostrożność osób dorosłych przy prowadzeniu prac pożarowo-niebezpiecznych	72	68	62	43	48
Wady urządzeń i instalacji elektrycznych, w szczególności przewody, osprzęt oświetlenia, odbiorniki bez urządzeń grzewczych	1259	1088	1031	926	850
Wady środków transportu	3044	2893	2944	2964	3237
Nieprawidłowa eksploatacja środków transportu	168	139	146	118	108
Inne przyczyny	573	594	569	550	515
Nieustalone	2432	2503	2303	2128	2261
Pozostałe	1219	1237	1151	1006	1137

zawierającego toksyczne i korozyjne gazy, który ogranicza również widoczność, utrudniając tym samym ewakuację i akcję ratowniczą [1, 2]. Powyższe fakty przyczyniły się do rozwoju wymagań w zakresie bezpieczeństwa pożarowego dla kabli i w konsekwencji do opracowania nowych [5].



Rys. 2. Przyczyny pożarów w środkach transportu w Polsce w 2014 r. [25]: ■ nieostrożność osób dorosłych przy posługiwaniu się ogniem otwartym, w tym papierosy, zapalaki; ■ nieostrożność osób dorosłych przy prowadzeniu prac pożarowo-niebezpiecznych; ■ wady urządzeń i instalacji elektrycznych, w szczególności przewodów, osprzętu, oświetlenia; ■ wady środków transportu; ■ nieprawidłowa eksploatacja środków transportu; ■ nieustalone; ■ pozostałe, inne

Współczesna filozofia bezpieczeństwa w taborze szynowym dąży do ograniczenia potencjalnych strat przez stosowanie takich materiałów i rozwiązań projektowych, które hamują rozprzestrzenianie się ognia i zachowują zdolności funkcjonalne zasadniczych części systemu podczas pożaru. Kable stosowane w taborze szynowym muszą zapewniać niski poziom całkowitego ryzyka pożarowego, co obejmuje minimalizację prawdopodobieństwa powstania i rozprzestrzeniania się pożaru, jak również minimalizację jego skutków dla ludzi i urządzeń [13]. Bierze się przy tym pod uwagę zarówno właściwości ogniowe (temperatura zapłonu, samogaśnięcie itp.), jak i właściwości pożarowe (gęstość dymów, toksyczność produktów spalania itp.), które muszą spełnić określone wymagania, co ma zapewnić obniżenie całkowitego poziomu ryzyka pożarowego. Materiały izolacyjne i powłokowe kabli, podobnie jak inne materiały, elementy konstrukcyjne, wykończeniowe czy elementy wyposażenia w taborze szynowym powinny charakteryzować się następującymi cechami [1, 8, 13]:

- trudnozapalnością,
- małą zdolnością do rozprzestrzeniania ognia,
- gwarantować podczas spalania małą emisję dymów, substancji toksycznych i drażniących oraz powodujących korozyję, co osiąga się zazwyczaj przez stosowanie materiałów o niskiej zawartości związków halogenopochodnych,
- niską zawartością metali ciężkich.

Uszkodzenia powstałe bezpośrednio w wyniku działania ognia nie są zwykle główną przyczyną utraty życia ludzi. Znacznie bardziej niebezpieczna jest emisja gęstego dymu zawierającego gazy o działaniu drażniącym i toksycznym.

Halogeny (np. chlor, fluor, brom), pomimo że obniżają palność niektórych tworzyw sztucznych są uważane za substancje, których obecność zdecydowanie zwiększa poziom całkowitego ryzyka pożarowego. W strefie pożaru, gdzie ogień jest podtrzymywany przez inne palące się materiały, tworzywa sztuczne zawierające halogeny rozkładają się, wydzielając toksyczne gazy. Tworzące się wówczas związki halogenów z wodorem (chlorowodór, fluorowodór, bromowodór) wykazują bardzo silne działanie drażniące i toksyczne dla ludzi oraz powodują uszkodzenia aparatury elektronicznej, szczególnie po zetknięciu z wodą gaśniczą (korozję aparatury elektronicznej i konstrukcji budowlanych). Tworzywa sztuczne zawierające halogeny pod wpływem ognia wydzielają ponadto bardzo dużo gęstego dymu, który w znacznym stopniu ogranicza widoczność, utrudniając ewakuację ludzi z płonącego pociągu. Tworzywa sztuczne zawierające halogeny stanowią również zagrożenie dla środowiska naturalnego z uwagi na trudności z ich utylizacją [1, 8, 13].

Lobby konsumenckie i organizacje proekologiczne, wywierając presję na przemysł elektrotechniczny, skłoniły do poszukiwania bezhalogenowych alternatyw w technologiach produkcji wyrobów o zmniejszonej palności. W wyniku wprowadzenia bezhalogenowych technologii, w tym także w przemyśle kablowym, jest możliwe jednoczesne zadbanie o wysoki poziom ochrony zdrowia, bezpieczeństwa pożarowe i nie obciążanie środowiska naturalnego. Materiały bezhalogenowe są już oferowane do wszystkich typowych zastosowań z użyciem tworzyw termoplastycznych i termoutwardzalnych. Kable o niskiej zawartości halogenopochodnych w materiale izolacyjnym charakteryzują się niską toksycznością, niską korozyjnością i niską emisją dymu.

#### 4. Przegląd wymagań w zakresie właściwości ogniowych dotyczących kabli stosowanych w taborze szynowym

Bardzo ważną rolę w rozwoju bezpiecznych dla zdrowia ludzkiego i środowiska naturalnego wyrobów, w tym również kabli, odgrywają uwarunkowania prawne, wymuszające stosowanie określonych rozwiązań. Dotychczas wszystkie standardy techniczne na terenie poszczególnych państw były domeną narodowych regulacji prawnych. W wyniku tego różne kraje Unii Europejskiej mają odmienne, własne prawodawstwo regulujące zagadnienia bezpieczeństwa przeciwpożarowego w taborze szynowym, jak np. wymagania dla materiałów i wyrobów są określone w następujących zestawach norm:

- brytyjskie normy BS6853 [14], GM/RT2130 [15],
- francuskie normy NF F 16-101:1988 [16] i NF F 16-102/1992 [17],
- niemiecka norma DIN 5510-2:2009 [18] łącznie z pomiarami toksyczności,
- hiszpańska norma DT-PCI/5 A [19],
- polskie normy PN-K-02511:2000 [10] i PN-K-02502:1992 [20].

W związku z tym w celu ujednoczenia prawa i standardów technicznych w zakresie bezpieczeństwa pożarowego w taborze szynowym w marcu 2013 r. opublikowano i wprowadzono do stosowania dokument EN 45545-2 [9], który zawiera wymagania w zakresie właściwości ogniowych materiałów i wyrobów, w tym również kabli i przewodów elektrycznych, stosowanych w pojazdach szynowych. Norma ta była opracowana przez Europejski Komitet Normalizacyjny (CEN) na podstawie już istniejących przepisów dotyczących bezpieczeństwa przeciwpożarowego w taborze szynowym, opracowanych przez poszczególne państwa europejskie, jak i Międzynarodowy Związek Kolei (UIC) oraz na podstawie prac badawczych sponsorowanych przez CEN [11]. Wszystkie państwa członkowskie UE mają trzy lata na wdrożenie wymienionej normy.

W normie PN-EN 45545-2:2013 [9] dokonano rozróżnienia pomiędzy kablami i przewodami wewnątrz (grupa wyrobów EL1A) i na zewnątrz (grupa wyrobów EL1B) pojazdu szynowego, w stosunku do których stosuje się inne zestawy wymagań (odpowiednio R15 i R16), co przedstawiono w tablicach 3 i 4.

Tablica 3

### Klasyfikacja kabli i zakres stosowanych wymagań według PN-EN 45545-2:2013 [9]

Nr wyrobu	Nazwa	Wymaganie
EL1A	Kable stosowane wewnątrz pojazdu	R15
EL1B	Kable stosowane na zewnątrz pojazdu	R16

## 5. Możliwości badawcze Instytutu Kolejnictwa w zakresie oceny właściwości ogniowych kabli i przewodów stosowanych w taborze szynowym

Przygotowując się do wejścia w życie wymagań normy EN 45545-2:2013 [9] w zakresie oceny kabli i przewodów elektrycznych, Laboratorium Badań Materiałów i Elementów Konstrukcji Instytutu Kolejnictwa zakupiło nowoczesną aparaturę umożliwiającą przeprowadzenie testów zgodnie z wytycznymi ww. normy. Zakupu dokonano w ramach inwestycji własnych oraz ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego Województwa Mazowieckiego w projekcie MJWPU nr RPMA.01.01.00-14-013/10. Laboratorium wystąpiło również o potwierdzenie w PCA kompetencji badawczych w obszarze obejmującym testy wykonywane według wymagań norm wyszczególnionych w tablicy 4 (za wyjątkiem toksyczności). Badania właściwości ogniowych kabli i przewodów elektrycznych przeprowadzane w Laboratorium LK obejmują następujące metodyki:

Tablica 4

### Zakres badań koniecznych do wykonania dla zestawu wymagań R15 i R16 według EN 45545-2:2013 [9]

Metoda badania	Parametr		HL1 <sup>1)</sup>		HL2 <sup>2)</sup>		HL3 <sup>3)</sup>	
			R15	R16	R15	R16	R15	R16
EN 60332-1-2 [21]	długość niespalonej części próbki, [mm]	minimum	Długość spalonej części ≤ 540 mm i długość niespalonej części > 50 mm					
EN 60332-3-24 [22] (dla d* ≥ 12 mm)	wysokość zwęglonej strefy z przodu i z tyłu [m]	maksimum	2,5		2,5		2,5	
EN 50305 [23] (dla 6 mm < d* < 12 mm)	wysokość zwęglonej strefy z przodu i z tyłu [m]	maksimum	2,5		2,5		2,5	
EN 50305 [23] (dla d* ≤ 6 mm)	wysokość zwęglonej strefy z przodu i z tyłu [m]	maksimum	1,5		1,5		1,5	
EN 61034-2 [24]	transmitancja, [%] <sup>4)</sup>	minimum	25	–	50	25	70	50
EN 50305 [23]	wskaźnik toksyczności ITC	maksimum	10		10		6	

\*d – Średnica kabla

<sup>1), 2), 3)</sup> Poziomy zagrożenie wyznaczone z uwzględnieniem kategorii eksploatacyjnych i projektowych, wykorzystywane do klasyfikacji wymagań.

<sup>4)</sup> Wskazuje, jaka część promieniowania padającego została przepuszczona przez substancję (dym).

1. EN 60332-1-2:2010: Badania palności kabli i przewodów elektrycznych oraz światłowodowych. Część 1-2: Sprawdzenie odporności pojedynczego izolowanego przewodu lub kabla na pionowe rozprzestrzenianie się płomienia. Metoda badania płomieniem mieszkankowym [21].  
W tym badaniu, pionowo zamocowany w komorze badawczej przewód elektryczny poddaje się działaniu odpowiednio wykalibrowanego płomienia palnika propanowego w czasie od 60 do 480 s. w zależności od średnicy kabla. Po tym czasie mierzy się zwęgloną długość próbki w odniesieniu do odległości od górnego i dolnego uchwytu (rys. 3).



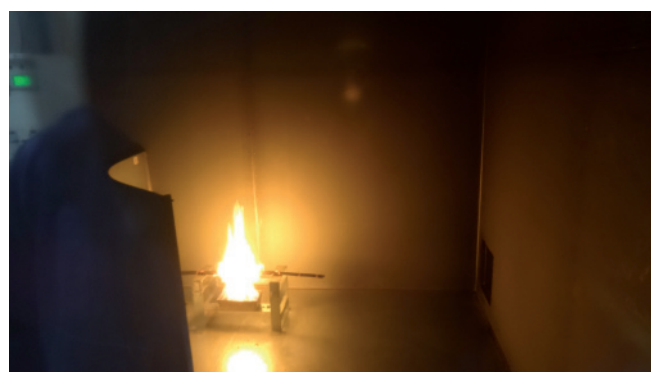
Rys. 3. Pojedynczy przewód elektryczny w trakcie testu [fot. I. Tarka]

2. EN 60332-3-24:2009: Badania palności kabli i przewodów elektrycznych oraz światłowodowych. Część 3-24: Sprawdzenie odporności na pionowe rozprzestrzenianie się płomienia wzdłuż pionowo zamontowanych wiązek kabli i przewodów – Kategoria C (średnica kabli  $\geq 12$  mm) [22].
3. EN 50305:2010: Kolejnictwo. Przewody do pojazdów szynowych o szczególnej odporności na palenie. Metody badań. (średnica kabli  $\leq 12$  mm – p. 9.1 Sprawdzenie odporności na rozprzestrzenianie płomienia) [23].  
W tych metodach wiązki kabli są układane i mocowane na specjalnej drabinie o długości 5 m ustawionej pionowo w komorze badawczej. Na tak przygotowaną próbkę oddziałuje palnik propanowy przez 20 min. Długość wiązki, liczba tworzących ją kabli i sposób jej mocowania zależą od średnicy przewodów a w szczególności od objętości materiałów niemetalowych izolacji. Po odsunięciu palnika mierzona jest wysokość zwęglonej strefy po obu stronach wiązki (rys. 4).
4. EN 61034-2:2010: Pomiar gęstości dymów wydzielanych przez palące się przewody lub kable w określonych warunkach. Część 2: Metoda badania i wymagania [24].  
Oznaczenie polega na oddziaływaniu płomienia, którego źródłem jest mieszanina alkoholi (etylowego i metylo-

wego) na próbki przewodów elektrycznych umieszczonych w komorze badawczej. Sposób montowania i liczba odcinków zależą od ich średnicy. W trakcie badania mierzone jest osłabienie wiązki światła przechodzącej w górnej części pomieszczenia badawczego a system rejestrujący wyznacza na tej podstawie transmitancję światła (rys. 5).



Rys. 4. Wiązka kabli poddawana badaniu na rozprzestrzenianie się płomienia [fot. I. Tarka]



Rys. 5. Kable elektryczne w trakcie pomiaru intensywności dymienia [fot. I. Tarka]

Opisane badania pokazują, że Laboratorium Badań Materiałów i Elementów Konstrukcji dostosowuje swoje możliwości badawcze w zakresie właściwości palno-dymowych do oceny przewodów elektrycznych zgodnie z wymaganiami UE określonymi w normie EN 45545-2 [9].

Porównanie wymagań R15 i R16 (tablica 4) pozwala stwierdzić, że podczas oceny zgodności kabli stosowanych wewnątrz i na zewnątrz pojazdu szynowego wykorzystuje się te same metody badań i bierze się pod uwagę te same parametry charakteryzujące właściwości palno-dymowe. Również wartości dopuszczalne tych parametrów, w przypadku większości metod badawczych wykorzystywanych przy ocenie kabli, są identyczne dla zestawu wymagań R15

i R16. Jedyna różnica pomiędzy tymi dwiema grupami wymagań to różne wartości dopuszczalne transmitancji zmierzonych według EN 61034-2 [24], które są znacznie wyższe (bardziej rygorystyczne) dla kabli stosowanych wewnątrz pojazdu szynowego niż w przypadku kabli stosowanych na zewnątrz. Jest to uzasadnione ze względu na znacznie większe zagrożenie powodowane przez dym wydzielający się w zamkniętej przestrzeni pojazdu szynowego. Na uwagę zasługuje również fakt, że jeżeli dwa kable o różnych średnicach, jednak o takim samym składzie, spełniają dane wymagania, to uznaje się, że kable tego samego rodzaju (o tym samym składzie) i średnicach pośrednich również spełniają to wymagania (typoszeregi kabli).

## 6. Podsumowanie

Kable i przewody elektryczne, pomimo rozwoju technologii bezprzewodowych, wciąż stanowią bardzo istotny element każdego pojazdu szynowego. Ze względu na specyficzne warunki eksploatacji w taborze szynowym, muszą one spełniać wiele charakterystycznych dla nich wymagań, spośród których na przestrzeni ostatnich lat szczególne znaczenie zyskały wymagania dotyczące bezpieczeństwa, w tym bezpieczeństwa pożarowego. Przyczyniło się to do stworzenia specyficznych dla taboru szynowego wymagań dotyczących właściwości palno-dymowych materiałów izolacyjnych kabli i przewodów, opracowania metod badań tych wyrobów oraz ostatecznie, do opracowania nowych oraz bezpiecznych dla zdrowia ludzkiego i środowiska naturalnego kabli o obniżonej palności i małej toksyczności produktów pirolizy i spalania ich materiałów izolacyjnych, a także powłokowych (kable bezhalogenowe).

Wymagania dotyczące palności, zarówno kabli jak i innych materiałów niemetalowych stosowanych w taborze szynowym, stale ewoluują. Wskutek tego, różne przepisy obowiązujące w poszczególnych krajach Unii Europejskiej są zastępowane nowymi wymaganiami określonymi w normie EN 45545-2:2013 [9], obowiązującej w całej Unii Europejskiej.

W porównaniu do polskiej normy PN-K-02511:2000 [10] nowa norma europejska wymaga stosowania bardziej zaawansowanych metod badań w znacznie wyższym stopniu odzwierciedlających warunki panujące podczas rzeczywistego pożaru. Ponadto parametry mierzone podczas tych badań, brane pod uwagę przy ocenie zgodności z normą EN 45545-2:2013 [9], lepiej i bardziej kompleksowo odzwierciedlają zagrożenie pożarowe związane z zastosowaniem kabli w taborze szynowym niż parametry mierzone w badaniach na zgodność z PN-K-02511:2000 [10]. To z kolei powoduje, że wyniki badań według EN 45545-2:2013 [9] są bardziej użyteczne do celów inżynierii pożarowej przy ocenie ryzyka i zagrożenia pożarowego, i tym samym ostatecznie pozwalają na projektowanie pojazdów transportu

publicznego zapewniającego z dużym stopniem pewności bezpieczeństwo pożarowe.

## Bibliografia

1. Barasiński A., Czaja P.: *Zachowanie się przewodów i kabli elektrycznych w pożarach*, Prace Naukowe Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie, Technika, Informatyka, Inżynieria Bezpieczeństwa, 2013.
2. Brzozowski S., Radziszewska-Wolińska J.M.: *Modelowanie spalania kabli metodą FDS*, Problemy Kolejnictwa 159, 2013.
3. BS 6853:1999: Code of practice for fire precautions in the design and construction of passenger carrying trains.
4. Chiba H., Nishiguchi M., Kumasaka T.: *Development of Lightweight Halogen-free Electric Wire for Railway Rolling Stock*, International Wire & Cable Symposium, Proceedings of the 60th IWCS Conference, 2011.
5. DIN 5510-2:2009 (2009-05): Preventive fire protection in railway vehicles – Part 2: Fire behaviour and fire side effects of materials and parts – Classification, requirements and test methods.
6. DT-PCI/5 A: Directriz técnica para reacción al fuego de los materiales de decoración e interiorismo de vehículos destinados al transporte de viajeros.
7. GM/RT 2130 GMRT2130: Vehicle Fire, Safety and Evacuation.
8. Haponiuk J.: *Zagrożenia związane ze stosowaniem materiałów zawierających halogeny*, sympozjum techniczne „Bezpieczeństwo pożarowe w taborze szynowym. Kable i osłony kablów”, 2005.
9. Hirschler M.M.: *Fire testing of electrical cables for public transportation*, Journal of ASTM International, nr 10, 2005.
10. Hirschler M.M.: *Fire Testing of Electrical Cables in Transportation Environments: Trains, Ships and Aircraft*, Eleventh Ann. Conference on Recent Advances in Flame Retardancy of Polymeric Materials, May 22–24, 2000, Stamford.
11. Keski-Rahkonen O., Mangs J., Turtola A.: *Ignition of and Fire Spread on Cables and Electronic Components*, VTT Building and Transport, 1999.
12. Kwasigroch M., Szczepanik J.: *Filozofia bezpieczeństwa pożarowego – wczoraj i dziś*, TTS Technika Transportu Szynowego, nr 7–8, 2005.
13. NF F 16-101:1988: Rolling Stock – Fire Behaviour – Materials Choosing.
14. NF F 16-102/1992: Railway Rolling Stock – Fire Behaviour – Materials Choosing, Application For Electric Equipments.
15. PN-EN 45545-2:2013: Kolejnictwo – Ochrona przeciwpożarowa w pojazdach szynowych – Część 2: Wymagania dla materiałów i elementów w zakresie właściwości palnych.

16. PN-EN 50305:2010: Kolejnictwo – Przewody do pojazdów szynowych o szczególnej odporności na palenie – Metody badań.
17. PN-EN 60332-1-2:2010: Badania palności kabli i przewodów elektrycznych oraz światłowodowych – Część 1-2: Sprawdzanie odporności pojedynczego izolowanego przewodu lub kabla na pionowe rozprzestrzenianie się płomienia – Metoda badania płomieniem mieszkankowym 1 kW.
18. PN-EN 60332-3-24:2009: Badania palności kabli i przewodów elektrycznych oraz światłowodowych – Część 3-24: Sprawdzenie odporności na pionowe rozprzestrzenianie się płomienia wzdłuż pionowo zamontowanych wiązek kabli lub przewodów – Kategoria C.
19. PN-EN 61034-2:2010: Pomiar gęstości dymów wydzielanych przez palące się przewody lub kable w określonych warunkach – Część 2: Metoda badania i wymagania.
20. PN-K-02502:1992: Tabor kolejowy – Podatność na zapalenie siedzeń wagonowych – Wymagania i badania.
21. PN-K-02511:2000: Tabor kolejowy – Bezpieczeństwo przeciwpożarowe materiałów – Wymagania.
22. Markos S., Shurland M.: *Comparison of the U.S. and European Approaches to Passenger Train Fire Safety*, 2<sup>nd</sup> International Fire in Vehicles (FIVE) Conference, Chicago, IL, September 28, 2012.
23. Steen-Hansen A. et al.: *Conditions for Nordic harmonisation of fire classification of cables. Proposal of implementation of the new European classification system in the building regulations*, SINTEF NBL as Fire development and mitigation, 2013.
24. Stelmasiewicz A., Szczepanik J.: *Współczesne kable do taboru szynowego*, TTS Technika Transportu Szynowego 11, 12, 2004.
25. [www.kgppsp.gov.pl](http://www.kgppsp.gov.pl).