

Badania wyposażenia elektrycznego, elektronicznego oraz mechanicznego przeznaczonego do taboru szynowego w zakresie bezpieczeństwa pożarowego

Tests of electrical and electronic equipment intended for rolling stock in the field of fire safety



Adrian Kaźmierczak

Mgr inż.

Institut Kolejnictwa

akazmierczak@ikolej.pl



Danuta Milczarek

Mgr

Institut Kolejnictwa

dmilczarek@ikolej.pl

Streszczenie: W eksploatacji pojazdów szynowych należy zapewnić pełne bezpieczeństwo pożarowe zainstalowanych w nich urządzeń elektronicznych i elektrycznych. Projektowanie, weryfikacja oraz testowanie sprzętu elektronicznego na pokładzie taboru są znormalizowane przez normę EN 50155. Norma ta w punkcie dotyczącym zachowania się wyrobów w trakcie pożaru odnosi się do normy EN 45545-2. W artykule scharakteryzowano podejście do ich oceny pod kątem spełniania wymagań ochrony przeciwpożarowej. Przedstawiono także obszary wymagań w zakresie bezpieczeństwa pożarowego stawiane ww. urządzeniom.

Słowa kluczowe: Urządzenia elektryczne i elektroniczne; Właściwości ogniowe

Abstract: When operating rail vehicles, full fire safety of the electronic and electrical devices installed in them must be ensured. The design, verification and testing of electronic equipment on board rolling stock is standardized by the EN 50155 standard. This standard refers to the EN 45545-2 standard in the section on the behavior of products during fire. Therefore, the article characterizes the approach to their assessment in terms of meeting fire protection requirements. Areas of fire safety requirements for these devices are also presented.

Keywords: Electrical and electronic devices; Fire properties

Wstęp

Pojazdy szynowe, takie jak pociągi, tramwaje czy metro, wyposażone są w wiele różnych urządzeń elektronicznych, elektrycznych i mechanicznych, które pełnią różne funkcje. Należą do nich m.in.:

- systemy zasilania (np. akumulatory i systemy ładowania, transformatory i prostowniki, układy podtrzymywania napięcia),
- systemy sterowania napędem (np. układy falownikowe),
- systemy zarządzania ruchem (ETCS, ATP),
- komputery pokładowe do monitorowania i zarządzania różnymi funkcjami pojazdu,
- systemy komunikacyjne (urządzenia zapewniające komunikację wewnątrz pojazdu oraz z z-

- wnętrznymi systemami),
- tablice informacyjne (np. dla pasażerów),
- systemy klimatyzacji i wentylacji,
- systemy nagłośnienia,

jak również:

- biletomaty i kasowniki,
- suszarki,
- wentylatory,
- nagrzewnice elektryczne.

Urządzenia te i systemy współpracują ze sobą, aby zapewnić płynne i bezpieczne funkcjonowanie pojazdów szynowych oraz komfort podróży dla pasażerów. Muszą one spełniać określone standardy dotyczące m.in.: odporności na wibracje, zmiany temperatury i wilgotności, kompatybilności elektromagnetycznej.

Ich ocena powinna uwzględniać

- kilka kluczowych aspektów takich jak:
- funkcjonalność (np. ocena zdolności do pracy w różnych warunkach środowiskowych),
 - bezpieczeństwo (analiza systemów zabezpieczeń elektrycznych, takich jak automatyczne wyłączniki, zabezpieczenia przeciążeniowe i zwarciovowe oraz ocena ryzyka wystąpienia awarii),
 - zgodność z dokumentami odniesienia (badania wg obowiązujących norm krajowych i międzynarodowych oraz w przypadku gdy to jest wymagane, certyfikacja urządzeń).

Istotnym również z punktu widzenia bezpieczeństwa pojazdów szynowych parametrem, które musi być brane pod uwagę podczas projektowania urządzeń elektronicznych i

elektrycznych, jest spełnienie przez nie odporności ogniowej.

Wymagania w tym zakresie zawarte są w Technicznych Specyfikacjach Interoperacyjności tj.:

- Rozporządzeniu Wykonawczym Komisji (UE) 2023/1695 z dnia 10 sierpnia 2023 r. w sprawie technicznej specyfikacji interoperacyjności w zakresie podsystemów „Sterowanie” systemu kolei w Unii Europejskiej tj.: „pkt. 4.2.16. Budowa urządzeń stosowanych w podsystemach „Sterowanie”: „Podsystemy i składniki interoperacyjności „Sterowanie – urządzenia pokładowe” muszą spełniać wymagania dotyczące materiałów, o których mowa w Rozporządzeniu Komisji (UE) nr 1302/2014 (9) (TSI „Tabor – lokomotywy i tabor pasażerski”) (np. w odniesieniu do bezpieczeństwa przeciwpożarowego)” [3],
- Rozporządzeniu Wykonawczym Komisji (UE) nr 1302/2014 z dnia 18 listopada 2014 w sprawie technicznej specyfikacji interoperacyjności w zakresie podsystemu „Tabor –lokomotywy i tabor pasażerski” systemu kolei w Unii Europejskiej (z późniejszymi zmianami) tj.: „pkt. 4.2.10.2.1 każdy materiał niemetalowy stosowany w taborze powinien spełniać wymagania normy EN 45545-2. Zgodnie z powyższym dokumentem, wymagania ochrony przeciwpożarowej dotyczą również urządzeń elektrycznych i elektronicznych przeznaczonych do taboru” [4].

Projektowanie, weryfikacja oraz testowanie sprzętu elektronicznego na pokładzie taboru są znormalizowane przez normę PN-EN 50155 [5]. Również i ten dokument w pkt. 11.4 zawiera wymagania dotyczące ich odporności ogniowej tj.: „For protection against spread of fire, EN 45545-1:2013, EN 45545-2:2020 and EN 45545-5:2013+A1:2015 shall be used. Fire behaviour testing shall be in accordance with EN 45545-2:2020”.

Na podstawie ww. dokumentów, wymagania ochrony przeciwpożarowej dotyczą również urządzeń elektrycznych, elektronicznych i mechanicznych przeznaczonych do taboru szynowego.

Ocena urządzeń elektronicznych, elektrycznych i mechanicznych pod względem właściwości ogniowych jest kluczowym aspektem wpływającym na bezpieczeństwo, gdyż pozwala minimalizować ryzyko pożarów w pojazdach szynowych. Poniżej przedstawiono najważniejsze punkty, które należy wziąć pod uwagę przy ocenie tych właściwości:

1. Właściwości materiałów: użyte elementy konstrukcyjne i materiały niemetalowe wchodzące w skład urządzeń powinny być poddawane testom ogniowym zgodnie z wymaganiami PN-EN 45545-2 [1] w akredytowanych laboratoriach badawczych wg PN-EN ISO/IEC 17025 [6].
2. Bezpieczeństwo elektryczne: niewłaściwie zaprojektowane układy elektryczne mogą prowadzić do przegrzewania się i iskrzenia, co zwiększa ryzyko pożaru. Ważne jest, aby urządzenia były zgodne z normami elektrotechnicznymi oraz wyposażone w odpowiednie zabezpieczenia (np. wyłączniki przeciążeniowe).
3. Właściwe użytkowanie i konserwacja: użytkownicy powinni być świadomi prawidłowego użytkowania urządzeń elektrycznych oraz konieczności ich regularnej konserwacji.

Ocena zgodnie z normą PN-EN 45545-2

Norma PN-EN 45545-2 [1] jest normą kolejową dotycząca bezpieczeństwa pożarowego. Rozwój i rozprzestrzenienie się ognia w zatłoczonych pojazdach szynowych może prowadzić do poważnych obrażeń pasażerów i personelu pociągu. Z tego względu, wszystkie niemetalowe materiały

konstrukcyjne jak również wyposażenie elektroniczne i elektryczne oraz wyroby mechaniczne użyte w pojazdach szynowych muszą być zgodne z powyższą normą, aby zapewnić odpowiedni poziom bezpieczeństwa pasażerom i obsłudze pociągu [7].

Na rys. 1 - 6 przykłady urządzeń elektronicznych i elektrycznych, które montowane są w taborze szynowym i podlegają badaniom w zakresie właściwości ogniowych zgodnie z ww. normą.

Norma PN-EN 45545-2 [1] zawiera wymagania w zakresie właściwości ogniowych dla większości wyrobów stosowanych do budowy i wyposażenia pojazdów szynowych i zależą one od ich właściwości fizycznych, jak również od ich :

- lokalizacji wewnątrz konstrukcji,
- kształtu i rozmieszczenia,
- powierzchni ekspozowanej, masy i grubości.

Są to tzw. „wyroby wyspecyfikowane” dla których został przydzielony zestaw wymagań R (od R1 do R28) przedstawiony w Tabeli 2 normy PN-EN 45545-2 [1].

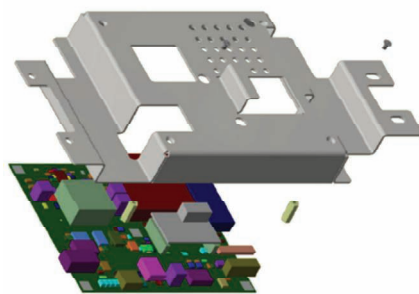
Natomiast urządzenia przewidziane do montażu w pojazdach szynowych nie zostały wyspecyfikowane ww. tabeli i nie przydzielono im konkretnego wymagania R.

W przypadku wyrobów mechanicznych lub elektrycznych umieszczonych w szafie technicznej można pominąć ich ocenę w zakresie właściwości ogniowych (zgodnie z p. 4.2 ww. normy) jeżeli szafa techniczna:

- spełnia wymagania kryterium szczelności E10 (wg definicji zawartych normie PN-EN 45545-1 [8] oraz PN-EN 45545-3 [9]) a jej objętość jest ≤ 2 m³,
- spełnia wymagania kryterium szczelności E15 i kryterium izolacji I15 dla powierzchni przylegających do obszaru pasażerskiego i obszaru dla załogi oraz kryterium szczelności E10 dla innych powierzchni, bez żadnych ogra-



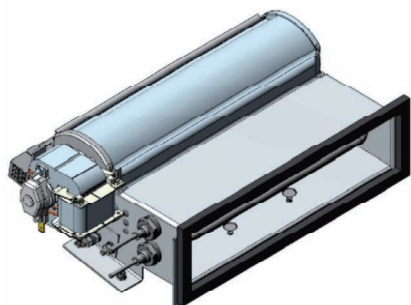
1. Kasownik



3. Zespół zasilacza



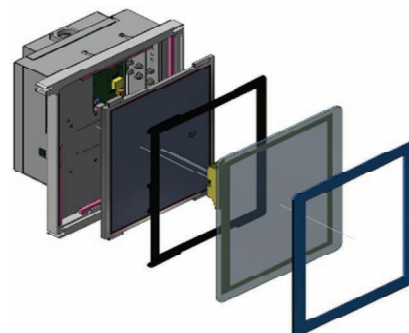
2. Biletomat



4. Nagrzewnica



5. Wyświetlacz



6. Zespół komputera panelowego

niczeń związanych z jej objętością,

- jest chroniona przez automatyczny system wykrywania i gaszenia pożaru,
- wykonana jest ze stali, aluminium lub szkła i zawiera tylko urządzenia mechaniczne lub elektryczne małej mocy, a jej objętość jest $\leq 0,1 \text{ m}^3$ (w szafie dopuszczalne są otwory zamknięte złączami lub przełącznikami),
- wykonana jest ze stali lub aluminium i jej objętość wynosi $\leq 0,5 \text{ m}^3$ (w szafie dopuszczalne są otwory w przypadku kiedy ich wielkość, dla każdej indywidualnej powierzchni szafy, jest mniejsza niż 1/1000 powierzchni nominalnej).

Natomiast w przypadku, kiedy urządzenia nie są umieszczone w szafie technicznej spełniającej ww. kryteria, należy ocenić właściwości ogniowe wszystkich materiałów niemetalowych wchodzących w skład ich budowy jako wyroby:

- niewyspecyfikowane i ocenić w zależności od narażonego obszaru (wielkość ekspozycji

powierzchni) i lokalizacji w pojeździe (zewnętrzna lub wewnętrzna)

lub

- poddać ocenie zgodnie z niżej wymienionymi regułami grupowania.

Postanowienia ogólne reguł grupowania (pkt. 4.3.1 PN-EN 45545-2 [1]) stanowią, że elementom o masie $\leq 10\text{g}$ (stykającym się wyłącznie z wyrobami wyspecyfikowanymi spełniającymi wymagania ogniowe normy [1]), nie stawia się żadnych wymagań.

W innym przypadku materiały zastosowanym do budowy urządzenia oceniane są zgodnie z zasadami grupowania, jeżeli:

- ich powierzchnie ekspozycyjne są $\leq 0,2 \text{ m}^2$,
- ich masa wynosi $> 10 \text{ g}$ lub stykają się z innym niewyspecyfikowanym materiałem,
- ich odległość w poziomie wynosi $\leq 20 \text{ mm}$, a w pionie $\leq 200 \text{ mm}$ od produktu palnego nie ocenionego jako materiał wyspecyfikowany lub niewyspecyfikowany,
- nie są one w pełni oddzielone produktem spełniającym wymóg

szczelności ogniowej (zgodnie z wymaganiami zawartymi w normie PN-EN 45545-2 pkt. 5.3.7 [1]).

Masy palne produktów z tej grupy powinny być zsumowane i ocenione zgodnie z regułami grupowania przedstawionymi w normie PN-EN 45545-2 pkt. 4.3. [1] tj. wg:

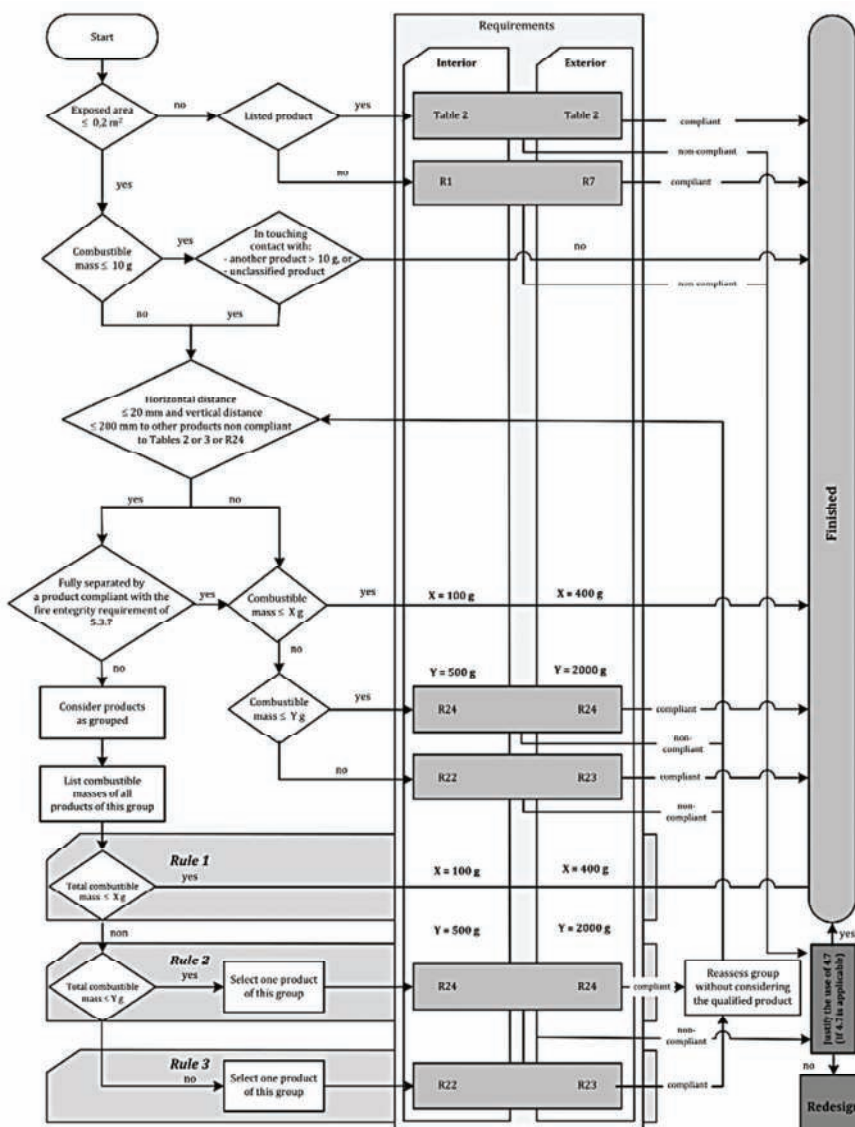
- Reguły 1: Jeżeli całkowita masa zsumowanych produktów jest:
 - $\leq 100 \text{ g}$ w urządzeniu przeznaczonym do zastosowania wewnątrz pojazdu
 - lub
 - $\leq 400 \text{ g}$ w urządzeniu przeznaczonym do zastosowania na zewnątrz pojazdu to do produktów z tej grupy nie stawia się żadnych wymagań w zakresie ich właści-

Tab. 1. Wymagania dotyczące wyrobów niewyspecyfikowanych według obszaru ekspozycyjnego oraz lokalizacji w pojeździe

| Obszar ekspozycyjny | Lokalizacja | Zestaw wymagań wg PN-EN 45545-2 |
|-------------------------|-------------|---------------------------------|
| $> 0,20 \text{ m}^2$ | we wnętrzu | R1 |
| $> 0,20 \text{ m}^2$ | na zewnątrz | R7 |
| $\leq 0,20 \text{ m}^2$ | we wnętrzu | R22 |
| $\leq 0,20 \text{ m}^2$ | na zewnątrz | R23 |

Tab. 2. Reguły grupowania wg PN-EN 45545-2 [1]

| Całkowita masa grupowanych elementów | Zastosowanie | Wymagania | Reguły grupowania |
|--------------------------------------|--------------------------|--------------------|-------------------------------|
| $m < 10g$ | na zewnątrz lub wewnątrz | brak | postanowienia ogólne wg 4.3.1 |
| $m < 100g$ | wewnątrz | brak | Reguła 1 wg 4.3.2 |
| $m < 400g$ | na zewnątrz | | |
| $100g < m < 500g$ | wewnątrz | R24 | Reguła 2 wg 4.3.3 |
| $400g < m < 2000g$ | na zewnątrz | | |
| $m > 500g$ | wewnątrz | zgodnie z Tabelą 1 | Reguła 3 wg 4.3.4 |



7. Proces oceny – reguły grupowania

wości ogniowych.

- Reguły 2: Jeśli całkowita masa palna zgrupowanych produktów przekracza limity określone w Regule 1, ale
 - $\leq 500 g$ w urządzeniu przeznaczonym do zastosowania wewnątrz pojazdu
 - lub
 - $\leq 2000 g$ w urządzeniu prze-

znaczonym do zastosowania na zewnątrz pojazdu należy przebadać jeden produkt palny z tej grupy zgodnie z wymaganiem R24 wg PN-EN 45545-2 [1].

W przypadku spełnienia przez ten produkt wymagania R24, nie należy brać go pod uwagę do dalszej oceny tej grupy. Pozostałe produkty z

tej grupy powinny zostać poddane ponownej ocenie zgodnie z postanowieniami ogólnymi reguł grupowania.

- Reguły 3: Jeśli całkowita masa palna zgrupowanych produktów przekracza limity określone w Regule 2, należy przebadać jeden produkt palny z tej grupy zgodnie z wymaganiami dla produktów niewyspecyfikowanych wg tabeli 1.

Jeśli produkt jest zgodny z wymaganiami Tabeli 1, nie należy brać go pod uwagę do dalszej oceny tej grupy. Pozostałe produkty z tej grupy powinny zostać poddane ponownej ocenie zgodnie z postanowieniami ogólnymi reguł grupowania.

Zestawienie ww. reguł grupowania, wykorzystywanych podczas oceny urządzeń, zostało przedstawione w tabeli 2. natomiast rys. 7 zawiera proces oceny z ich zastosowaniem.

Natomiast rysunek 7 zawiera proces oceny wyposażenia z zastosowaniem reguł grupowania.

Najczęściej ocenianymi pod względem właściwości ogniowych materiałami wchodzącymi w skład wyposażenia elektronicznego, elektrycznego lub mechanicznego są:

- powłoki malarskie, przeznaczone do malowania obudowy stalowej lub aluminiowej,
- tworzywa sztuczne przeznaczone m.in. na: obudowy urządzeń, płytki drukowane, uszczelki, styczniki, rezystory, złącza, końcówki kablowe, tulejki,
- przewody elektryczne i ich osłony,
- tworzywa sztuczne przeznaczone na izolacje i izolatory, masy termoprzewodzące,
- folie polaryzacyjne przeznaczone do matryc wyświetlaczy.

W celu zapobiegania sytuacjom, w których suma mas części niemetalowych w badanych urządzeniach przekracza progi wymagające badań

w zakresie właściwości ogniowych, dobrą praktyką jest takie zaprojektowanie wyposażenia, aby można przy jego budowie wykorzystać maksymalną ilość materiałów spełniających wymagania w zakresie właściwości ogniowych. Przede wszystkim dotyczy to tych elementów, które występujących w dużej ilości i masie, szczególnie w przypadku rozwiązań opartych na podzespołach.

Ocena zgodnie z normą PN-EN 45545-5

Norma PN-EN 45545-5 [2] koncentruje się na wymaganiach bezpieczeństwa pożarowego dotyczących sprzętu elektrycznego w pojazdach szynowych mając na celu ochronę pasażerów i załogi w przypadku pożaru na pokładzie. Dokument ten zawiera szereg wymagań konstrukcyjnych, które muszą być spełnione przez urządzenia aby:

- zmniejszyć ryzyko powstania pożaru zarówno podczas ich eksploatacji, jak i w wyniku usterki technicznej i/lub nieprawidłowego działania urządzenia,
- zapewnić, że wyposażenie awaryjne będzie nadal funkcjonować do czasu ewakuacji pasażerów i załogi.

W ocenie urządzeń zgodnie z ww. normą należy zwrócić między innymi na:

- zabezpieczenia przed przeciążeniem (np. zastosowanie bezpieczników/wyłączników, brak niezabezpieczonych obwodów),
- rodzaj zastosowanej obudowy wyposażenia (np. spełnienie wymagań jako bariera przeciwpożarowa, zapewnienie odpowiedniego stopnia ochrony przed wpływami zewnętrznymi oraz przed dotknięciem części czynnych urządzenia),
- połączenia (np. spełnienie wymagań ochrony przeciwporażeniowej),

- temperaturę powierzchniową (sprawdzenie dotyczy np. rezystorów i urządzeń grzewczych).

Spełnienie przez urządzenia elektryczne wymagań w zakresie bezpieczeństwa pożarowego są jednym z elementów podlegających weryfikacji podczas oceny pojazdów szynowych.

Podsumowanie

Aby standardy bezpieczeństwa pożarowego były zachowane wszystkie komponenty niemetalowe wchodzące w skład urządzeń elektrycznych, elektronicznych oraz mechanicznych powinny być poddawane rzetelnej analizie zgodnie z wytycznymi zawartymi w normie PN-EN 45545-2 [1] oraz PN-EN 45545-5 [2]. Jeżeli ocena wyposażenia jest przeprowadzona zgodnie z przedstawioną procedurą, wówczas można uznać, że jest on zgodny z nadrzędnymi wymaganiami materiałowymi określonymi w pkt 4.2.10.2.1 TSI Loc & Pas (1302/2014 (UE)) [4] oraz w pkt 4.2.16 TSI CCS (2023/1965 (UE)) [5].

Podsumowując, przy ocenie urządzeń elektrycznych pod kątem właściwości ogniowych kluczowe jest przestrzeganie norm, stosowanie materiałów o odpowiednich właściwościach, przeprowadzanie testów oraz zapewnienie użytkownikom wiedzy na temat bezpiecznego ich użytkowania. ◀

Materiały źródłowe

- [1] PN-EN 45545-2+A1:2024-04 Kolejnictwo. Ochrona przeciwpożarowa w pojazdach szynowych. Część 2: Wymagania dla materiałów i elementów w zakresie właściwości palnych.
- [2] PN-EN 45545-5+A1:2016-01 Kolejnictwo. Ochrona przeciwpożarowa w pojazdach szynowych. Część 5: Wymagania w zakresie

bezpieczeństwa pożarowego dotyczące wyposażenia elektrycznego, z uwzględnieniem wyposażenia stosowanego w trolejbusach, autobusach prowadzonych torem i pojazdach na poduszce magnetycznej.

- [3] Rozporządzenie Wykonawcze Komisji (UE) 2023/1695 z dnia 10 sierpnia 2023 r. w sprawie technicznej specyfikacji interoperacyjności w zakresie podsystemów „Sterowanie” systemu kolei w Unii Europejskiej.
- [4] Rozporządzenie Wykonawcze Komisji (UE) nr 1302/2014 z dnia 18 listopada 2014 w sprawie technicznej specyfikacji interoperacyjności w zakresie podsystemu „Tabor –lokomotywy i tabor pasażerski” systemu kolei w Unii Europejskiej (z późniejszymi zmianami).
- [5] PN-EN 50155:2022-05 Zastosowania kolejowe. Tabor. Wyposażenie elektroniczne.
- [6] PN-EN ISO/IEC 17025:2018-02 Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących.
- [7] J. M. Radziszewska – Wolińska, A. Kaźmierczak, Implementation of EU Requirements in the Field of Fire Safety of Passenger Rolling Stock, EJERS, European Journal of Engineering Research and Science, Vol. 4, No. 12, December 2019.
- [8] PN-EN 45545-1:2013-07 Kolejnictwo. Ochrona przeciwpożarowa w pojazdach szynowych. Część 1: Postanowienia ogólne.
- [9] PN-EN 45545-3:2024-08 Kolejnictwo. Ochrona przeciwpożarowa w pojazdach szynowych. Część 3: Wymagania w zakresie odporności ogniowej barier przeciwpożarowych.