

Rola aktywnych systemów zabezpieczeń przeciwpożarowych w zapewnieniu akceptowalnego poziomu bezpieczeństwa taboru szynowego

Adrian KAŻMIERCZAK¹

Streszczenie

W artykule przedstawiono zagadnienia dotyczące aktywnych systemów bezpieczeństwa pożarowego, opartych na gaszeniu wodą, stosowanych w taborze szynowym. Szczegółowo opisano podejście do aktywnych metod ochrony przed pożarem i jego gaszenia, a także podejście do aktywnych metod ochrony przed pożarem i jego gaszenia. Zaprezentowano aktualne normy, przepisy i wymagania regulujące stosowanie aktywnych systemów ochrony przeciwpożarowej pojazdów szynowych w Unii Europejskiej. Przeprowadzono analizę elementów wpływających na wydajność, praktyczność oraz koszty systemów gaśniczych przy oczekiwanej skuteczności działania. Przedstawiono kierunki rozwoju, które są podejmowane w celu opracowania narzędzi do oceny wielkości zagrożenia i jego zapobiegania.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo pożarowe, tabor szynowy, wymagania, aktywne systemy zabezpieczeń przeciwpożarowych

1. Wstęp

Bezpieczeństwo pożarowe taboru kolejowego w Unii Europejskiej uregulowane jest wieloma przepisami przeciwpożarowymi. Większość obowiązujących wymagań z zakresu ochrony przeciwpożarowej dotyczy biernej ochrony przeciwpożarowej, a więc rozwiązań konstrukcyjnych, materiałów i ich doboru, a także podręcznego sprzętu gaśniczego oraz jego ilości w zależności od rodzaju pojazdu kolejowego. Zwiększona świadomość i powszechność stosowania aktywnych systemów zabezpieczeń w taborze kolejowym spowodowała konieczność wypracowania, na poziomie europejskim przepisów standaryzujących aktywne systemy ochrony przeciwpożarowej, które będą podstawą do oceny zgodności przy dopuszczaniu pojazdów szynowych do eksploatacji. Obecnie, stałe urządzenia gaśnicze są dojrzałą technologią, stosowaną szczególnie w krajach, w których wybudowano wiele tuneli kolejowych oraz w krajach, w których kwestie bezpieczeństwa pożarowego są priorytetem.

Stosowane rozwiązania w zakresie aktywnych systemów zabezpieczeń ze względu na brak norm i wytycznych, w których byłyby określone kryteria projektowe i eksploatacyjne, znacząco się od siebie różnią pod względem technologicznym i wydajnościowym. Brak takich

wytycznych, które określałyby procedurę oceny systemów aktywnych, wpływa niekorzystnie na system ochrony przeciwpożarowej pojazdów szynowych. Wymagania z zakresu ochrony przeciwpożarowej w sektorze kolejowym określono w następujących dokumentach:

- Techniczne Specyfikacje Interoperacyjności (TSI) dla pojazdów kolejowych,
- Infrastruktury w sieci transeuropejskiej (TEN) [1–2],
- serii norm EN 45545 „Zastosowania kolejowe. Ochrona przeciwpożarowa pojazdów szynowych” [3–9],
- EN 50553 „Zastosowania kolejowe – Wymagania dotyczące zdolności do jazdy w przypadku pożaru na pokładzie” [10].

Wymagania dotyczące aktywnej ochrony przeciwpożarowej w pojazdach kolejowych są jedynie określone powierzchownie w dwóch dokumentach. Większość wymagań zawartych w serii norm EN 45545 opiera się na doborze materiałów pod względem właściwości palno-dymowych i rozwiązaniach konstrukcyjnych.

2. Aktywne systemy zabezpieczeń

Stale urządzenia gaśnicze są aktywnym sposobem walki z pożarem w pojazdach szynowych.

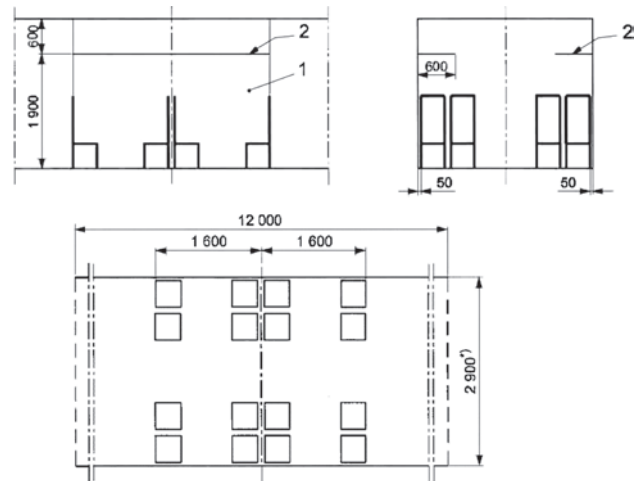
¹ Mgr inż.; Instytut Kolejnictwa, Laboratorium Badań Materiałów i Elementów Konstrukcji; e-mail: akazmierczak@ikolej.pl.

Instalowane są w celu poprawy zarówno bezpieczeństwa życia, jak i zdrowia oraz mienia. W porównaniu do konwencjonalnych pasywnych środków zabezpieczeń, technologia systemów wykrywająco-gaszących umożliwia efektywną walkę z ogniem. W zależności od zastosowanej technologii, systemy gaśnicze różnią się między sobą poziomem zaawansowania oraz innowacyjnością. Systemy gaśnicze stosowane w taborze szynowym można podzielić ze względu na rodzaj czynnika gaszącego na:

- gazowe,
- mgłowe (niskociśnieniowa i wysokociśnieniowa mgła wodna),
- aerozole.

Przed uznaniem skuteczności systemów gaśniczych, muszą one być przetestowane w pełnowymiarowych testach ogniowych. Standaryzacja w zakresie systemów zabezpieczeń na poziomie Unii Europejskiej jest bardzo czasochłonna, kosztowna i najprawdopodobniej w najbliższym czasie nie zostanie opracowany dokument regulujący, w sposób szczególny, wytyczne inżynierskie dla takich systemów w pojazdach szynowych. Do czasu opracowania oficjalnego dokumentu, w celu ujednoczenia podejścia systemów gaśniczych, należy prowadzić doświadczalne badania ogniowe w pełnej skali.

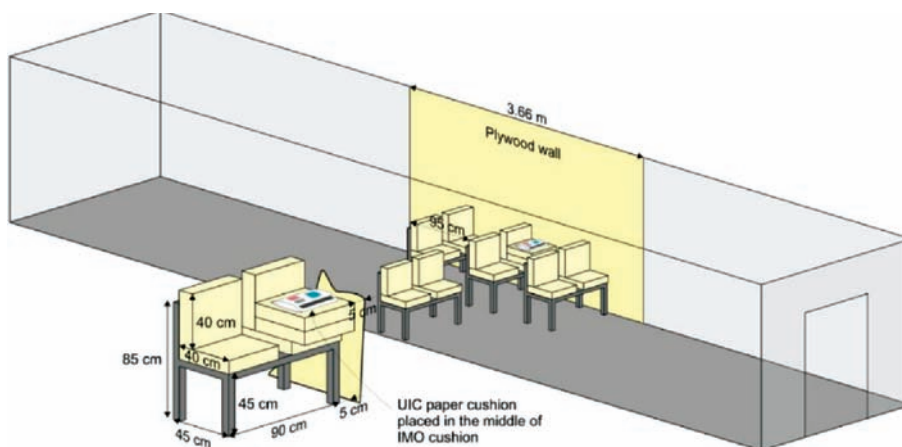
Brak oficjalnego dokumentu obowiązującego w Unii Europejskiej określającego metodykę badawczą dla systemów przeznaczonych do zabezpieczenia pojazdów szynowych spowodował, że w dwóch regionach wcześniej opracowano dokumenty regulujące ocenę systemów gaśniczych. W krajach niemieckojęzycznych (Niemcy, Szwajcaria i Austria) opublikowano wytyczne ARGE [11–13], natomiast we Włoszech ustanowiono normę UNI 11565 [14], która bardzo szczegółowo opisuje poszczególne elementy składowe wyposażenia badawczego (rys. 1, 2).



Rys. 1. Rzut pomieszczenia według UNI 11565 [14] do przeprowadzania badań dużej skali (*mock-up test*)

Zakres normy UNI 11565 [14] obejmuje wymagania funkcjonalne i wydajnościowe, które muszą być spełnione wraz z kryteriami na etapie projektowania, instalowania, walidacji i konserwacji systemów wykrywania i gaszenia pożaru w pojazdach szynowych. Określone są również założenia do przeprowadzania testów z uwzględnieniem możliwych miejsc zapłonu, spowodowanych wandalizmem lub awarią, zlokalizowanych w najbardziej niekorzystnym położeniu do szybkiego wykrycia pożaru, a także mogą być potencjalnym miejscem do pozostawienia bagażu lub innych przedmiotów przewożonych przez pasażerów. Stosowane źródła dymu to bloczki pianki poliuretanowej lub skalibrowany i używany zgodnie z wymaganiami normy EN 50553, generator dymu z grzałką [10]. Testy przeprowadza się w trzech powtórzeniach dla każdego wariantu umiejscowienia źródła dymu.

Wytyczne ARGE część 2 „Gaszenie pożarów w pojeździe” [12] koncentrują się na ocenie systemów



Rys. 2. Widok pomieszczenia według ARGE – Part 2 [12] do przeprowadzania badań dużej skali (*mock-up test*)

przeciwpożarowych wykrywająco-gaszących w pojazdach kolejowych przez ustalenie minimalnych wymagań. Zgodnie z wytycznymi ARGE, system gaśniczy musi być powiązany z systemem detekcji, który automatycznie uruchamia system gaśniczy po wykryciu zagrożenia. Zasadność przeprowadzania takich testów, w szczególności dla systemów mgłowych (tabl. 1), wynika z konieczności określenia wszystkich funkcji takiego systemu.

Do podstawowych korzyści stosowania wodnych systemów gaszących można zaliczyć:

- brak konieczności dodawania jakichkolwiek substancji poprawiających skuteczność gaśniczą,
- minimalny wpływ na organizm ludzki, co umożliwia rozpoczęcie gaszenia, bez czekania na ewakuację ludzi z chronionych przestrzeni,
- wysoką skuteczność działania,
- nie oddziałuje negatywnie na środowisko naturalne,
- brak konieczności zapewnienia szczelności chronionego pomieszczenia, jak jest to wymagane w przypadku instalacji urządzeń gaśniczych gazowych,
- efektywne chłodzenie.

Wodne systemy gaszące w pojazdach szynowych są bardzo skuteczną formą ochrony przeciwpożarowej i w pełni bezpieczną dla ludzi, chronionych obiektów oraz środowiska. Wykorzystując doskonałe właściwości gaśnicze wody, pozwalają one skutecznie zwalczać pożary minimalną ilością wody, co do minimum ogranicza wielkość szkód i czas przestoju.

3. Podstawowe zasady działania technologii z wykorzystaniem wysokociśnieniowej mgły wodnej

Aby ogień mógł się swobodnie rozwinąć, a także mógł być podtrzymany, muszą być zagwarantowane (w odpowiednich proporcjach) następujące czynniki:

- wystąpienie materiału palnego,
- energia niezbędna do rozpalania, źródło zapłonu,
- utleniacz (O₂).

W celu skutecznego ugaszenia pożaru, przynajmniej jeden czynnik musi być usunięty z procesu spalania. Przerwanie procesu spalania z reguły osiąga się za pomocą chłodzenia, a co za tym idzie, usunięcia energii lub przez redukcję tlenu. Mgła gasi pożary kroplami wody małej średnicy. W zależności od zastosowania, wielkość kropeł mieści się w przedziale od około 20 µm do 200 µm. Wielkość kropeł jest podstawowym parametrem systemów gaśniczych mgłowych, mającym wpływ na pochłanianie ciepła (chłodzenie) i w efekcie odparowywanie wody (rys. 3). Wysokociśnieniowe systemy gaszące mają bardzo dużą skuteczność działania, a do ugaszenia / zduszenia pożaru potrzebują niewielkich ilości wody.

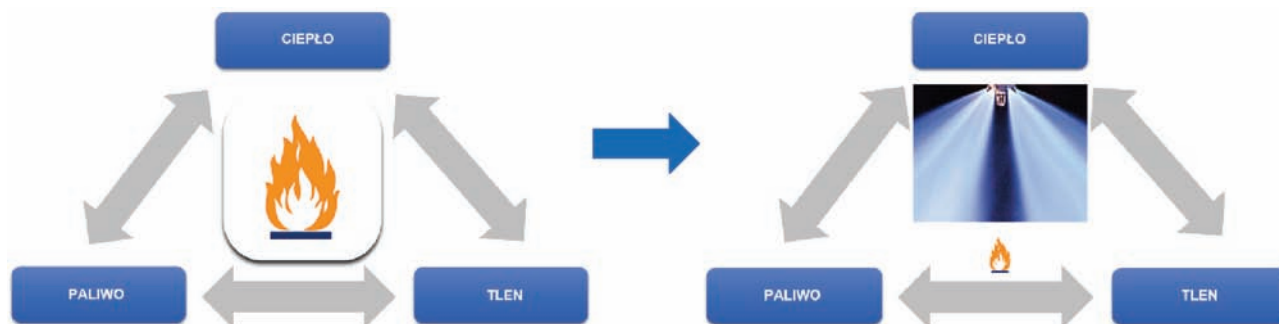
Dzięki rozproszeniu wody pod wysokim ciśnieniem, powierzchnia reakcji wykorzystywana do chłodzenia procesu spalania jest znacznie większa. W rezultacie wysokociśnieniowe systemy gaśnicze mogą szybko oraz efektywnie zredukować energię z pożaru.

Tablica 1

Podstawowe zalety stosowania wodnych systemów gaszących

Wymaganie	Funkcja	Efekt
Poprawa warunków ewakuacji	<ul style="list-style-type: none"> • natychmiastowe schładzanie ognia i otaczającego środowiska, • ograniczenie wytwarzania dymu – poprawa widoczności, • wiązanie cząsteczek dymu z kroplami wody, 	<ul style="list-style-type: none"> • pasażerowie mają bezpieczniejsze warunki na ewakuację oraz lepsze warunki przeżywalności w przypadku znalezienia się w pułapce,
Poprawa dostępności dla służb ratowniczych	<ul style="list-style-type: none"> • ograniczenie szybkości uwalniania ciepła (HRR), • natychmiastowe schłodzenie ognia i otaczającego środowiska, • ograniczenie wytwarzania dymu – poprawa widoczności (SPR, TSR), • blokowanie promieniowania cieplnego, 	<ul style="list-style-type: none"> • służby ratownicze mają ułatwiony dostęp do źródła ognia w celu ugaszenia pożaru, • znaczne zwiększenie bezpieczeństwa straży pożarnej,
Zapobieganie rozprzestrzenieniu się ognia	<ul style="list-style-type: none"> • ograniczenie szybkości wydzielania ciepła, • natychmiastowe schłodzenie ognia i otaczającego środowiska, • blokowanie promieniowania cieplnego, 	<ul style="list-style-type: none"> • ogień ograniczony do miejsca wystąpienia pożaru,
Ograniczenie uszkodzeń pojazdu	<ul style="list-style-type: none"> • natychmiastowe schłodzenie ognia i otaczającego środowiska, • blokowanie promieniowania cieplnego, 	<ul style="list-style-type: none"> • zabezpieczenie konstrukcji pojazdu,

[Opracowanie własne].



Rys. 3. Trójkąt spalania [opracowanie własne]

Dzięki wysokiemu efektowi chłodzenia, systemy wysokociśnieniowe skutecznie gaszą ogień, natomiast przebywający w najbliższym otoczeniu ludzie i wyposażenie jest chronione przed działaniem promieniowania cieplnego, a to z kolei zmniejsza ryzyko rozprzestrzeniania pożaru materiałów palnych. Wysoki efekt chłodzenia uzyskuje się głównie przez rozproszenie wody na bardzo drobne kropelki, przez co powierzchnia odbioru energii cieplnej kropek wody z pożaru jest wielokrotnie większa. Dzięki temu możliwe jest również tworzenie skutecznych przegród (kurtyn wodnych) przez mgłą wodną dla elementów konstrukcyjnych, wyłazieniowych itp. wewnątrz pojazdu szynowego. W wyniku odparowania wody z pożaru zwiększa ona swoją objętość około 1620-krotnie [18], przez co następuje wyparcie powietrza z tlenem, bez którego pożar nie jest podtrzymywany. Powstaje lokalny efekt inertyzacji² ograniczony do miejsca występowania pożaru. Wysokociśnieniowe systemy mgły wodnej zużywają bardzo małą ilość wody, przez co straty spowodowane zalaniem i zniszczeniem wyposażenia są ograniczone, a to z kolei przekłada się na szybsze przywrócenie uszkodzonego składu do eksploatacji. Zastosowanie wody w systemach mgłowych do celów gaśniczych, a więc środka najbardziej naturalnego i dostępnego, jest również w pełni bezpieczne dla ludzi i przyjazne dla środowiska (tabl. 2).

Tablica 2

Wybrane parametry fizyczne wody

Woda	
Ciepło właściwe wody, C_p [J/kg·K], ciecz, (warunki standardowe)	4181
Ciepło właściwe pary wodnej, C_{pv}	1870
Ciepło parowania wody [J/kg]	2257

Oprócz głównych efektów gaśniczych systemów mgłowych należy wspomnieć, że cząsteczki sadzy i rozpuszczalne w wodzie gazy spalinowe są częściowo wypłukiwane i wiązane przez drobne kropelki wody. Powoduje to istotne zredukowanie zadymienia oraz zmniejszenie toksyczności dymu, co jest niezwykle ważne w razie konieczności ewakuacji ludzi. Do podstawowych elementów systemu wysokociśnieniowej mgły wodnej możemy zaliczyć:

- zbiornik wody,
- niskociśnieniowy rurociąg ssący,
- zestaw filtrów,
- zestaw pompowy,
- wysokociśnieniowy rurociąg tłoczny,
- kolektor zaworów strefowych i zawory strefowe,
- wysokociśnieniowe rurociągi dystrybucyjne (rurociągi wodne),
- dysze mgłowe.

Koncepcja gaszenia pożarów w pojazdach szynowych z wykorzystaniem aktywnych systemów zabezpieczeń opiera się zwykle na dwóch podstawowych celach:

- całkowite zgaszenie pożaru przez inertyzację i chłodzenie lub
- kontrolę, tłumienie i zminimalizowanie rozprzestrzeniania się ognia przez obniżenie temperatury w miejscu pożaru w celu umożliwienia załodze i służbom ratowniczym podjęcie akcji gaśniczej.

4. Niskociśnieniowe systemy mgły wodnej

Niskociśnieniowe systemy mgły wodnej umożliwiają uzyskanie mgiełki o bardzo małych kropelkach (średnica 25–75 μm) za pomocą niskiego ciśnienia (4 bary) lub średniego ciśnienia (do 16 barów).

² Inertyzacja – jest to częściowe lub całkowite zastępowanie powietrza lub palnej atmosfery przez obojętny gaz. Jest to bardzo skuteczna metoda zapobiegania wybuchom / pożarom i jest rozważana np. wtedy, gdy ryzyko wybuchowe lub pożarowe nie może być wyeliminowane przez inne środki.

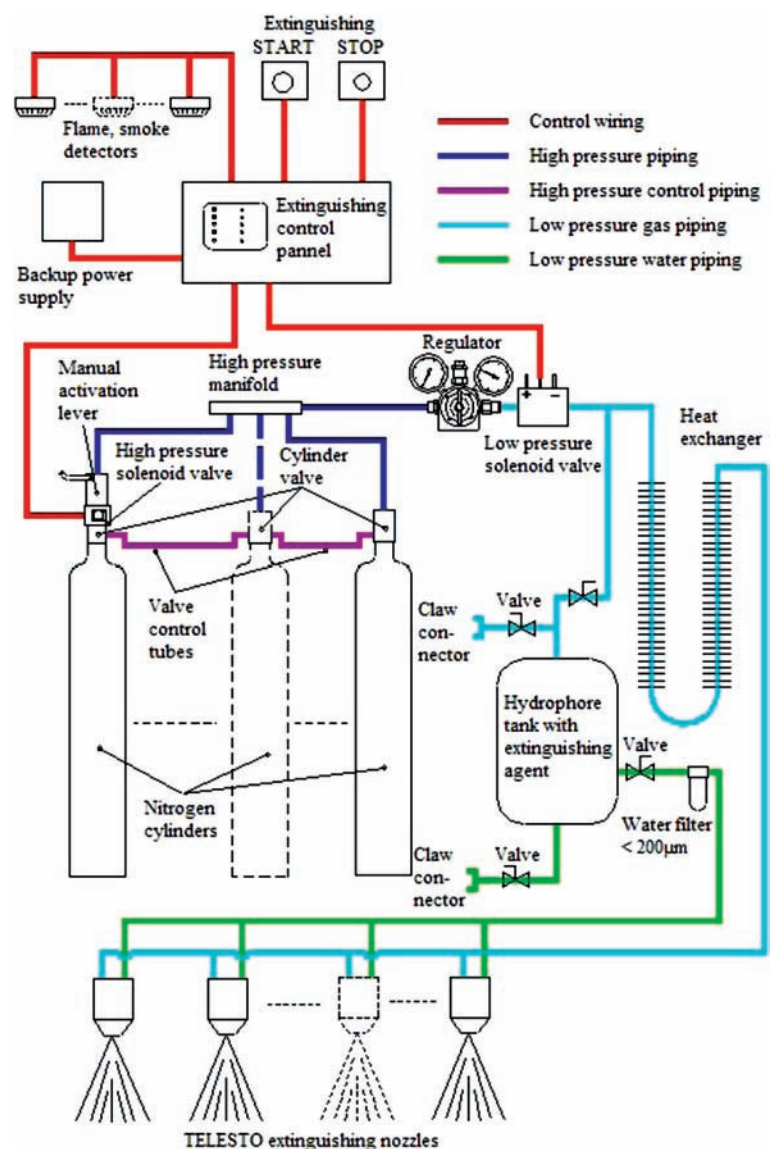
Rozpylona mgła wodna pod odpowiednim ciśnieniem ma doskonałe właściwości gaśnicze pod warunkiem, że krople są odpowiednio małe, a mgła jest dostarczana pod odpowiednim ciśnieniem. Jeżeli jednak krople są zbyt duże, mgła traci swoje właściwości, a woda spada na ziemię. Jeśli mgła ma zbyt niską energię kinetyczną, kropelki będą wyłapywane przez konwekcyjne strumienie ognia i zabierane z pożaru. Niskociśnieniowe systemy dostarczają mgłę wodną o optymalnej średnicy kropeł (około 25 μm), przy bardzo dużej prędkości. Przykładowy schemat instalacji systemu SUGM przedstawiono na rysunku 4. Do podstawowych korzyści stosowania niskociśnieniowej mgły wodnej można zaliczyć:

- maksymalną skuteczność mgły dzięki dużej powierzchni parowania drobnych kropeł,
- szybkie rozprowadzanie mgły wodnej dzięki optymalnej energii kinetycznej,

- brak pęknięć w konstrukcji, obudowach, elementach stalowych i ceramicznych spowodowanych działaniem systemu – mgła nie powoduje szoku termicznego,
- brak szkód spowodowanych zalaniem,
- sprawność i bezpieczeństwo instalacji dzięki niskim ciśnieniom.

5. Wnioski

Intensywny rozwój transportu kolejowego, a co się z tym wiąże również nowych technologii z zakresu zabezpieczeń przeciwpożarowych, przyczynia się do ciągłego podnoszenia poziomu bezpieczeństwa. Aktywne systemy ochrony przeciwpożarowej, w szczególności systemy wykrywania i gaszenia pożaru, należą do innowacyjnych podsystemów



Rys. 4. Przykładowy schemat instalacji systemu SUGM zasilanego z butli gazowych i zbiornika wody [17]

wprowadzanych od lat w pojazdach szynowych, co bezpośrednio wpływa na bezpieczeństwo ludzi. Aktywne systemy gaszące w pojazdach szynowych coraz częściej są instalowane na prośbę zamawiających, jako dodatkowe zabezpieczenie w wyniku przeprowadzonych kalkulacji finansowych (stosunek korzyści do ceny). Koszty systemów przeciwpożarowych stanowią znikomy procent w porównaniu do wartości całego pojazdu i niosą przy tym istotne podniesienie poziomu bezpieczeństwa.

Alternatywą do zabezpieczania całych przestrzeni pasażerskich są systemy FCCS (ang. *Fire Containment and Control System*), których zadaniem jest wykrycie za pomocą czujek ewentualnego pożaru i ograniczenie jego rozprzestrzeniania przez określony czas za pomocą instalacji kurtyn mgły wodnej o skuteczności porównywalnej do drzwi przeciwpożarowych. Prace nad tą normą obecnie zakończyły się tylko opracowaniem projektu raportu technicznego CEN/TR 17532:2020 [15].

Trzeba jednak pamiętać, że postęp techniczny to nie tylko udoskonalenie istniejących już rozwiązań, ale także dostosowywanie ich do występującego ryzyka w przestrzeni kolejowej. W tym celu należy kontynuować prace nad doskonaleniem metod badawczych, które będą odpowiadały bieżącemu zapotrzebowaniu w taborze szynowym.

Literatura

1. Rozporządzenie Komisji (UE) NR 1299/2014 z dnia 18 listopada 2014 r. dotyczące technicznych specyfikacji interoperacyjności podsystemu „Infrastruktura” systemu kolei w Unii Europejskiej.
2. Rozporządzenie Komisji (UE) NR 1302/2014 z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie technicznej specyfikacji interoperacyjności odnoszącej się do podsystemu „Tabor – lokomotywy i tabor pasażerski” systemu kolei w Unii Europejskiej.
3. PN-EN 45545-1:2013: Kolejnictwo. Ochrona przeciwpożarowa pojazdów szynowych – Postanowienia ogólne.
4. PN-EN 45545-2:2021: Kolejnictwo. Ochrona przeciwpożarowa pojazdów szynowych – Wymagania dla materiałów i elementów w zakresie właściwości ogniowych.
5. PN-EN 45545-3:2013: Kolejnictwo. Ochrona przeciwpożarowa pojazdów szynowych – Wymagania w zakresie odporności ogniowej barier przeciwpożarowych.
6. PN-EN 45545-4:2013: Kolejnictwo. Ochrona przeciwpożarowa pojazdów szynowych – Wymagania w zakresie bezpieczeństwa pożarowego przy projektowaniu pojazdów szynowych.
7. PN-EN 45545-5+A1:2016: Kolejnictwo. Ochrona przeciwpożarowa pojazdów szynowych. Wymagania w zakresie bezpieczeństwa pożarowego dotyczące wyposażenia elektrycznego z uwzględnieniem wyposażenia stosowanego w trolejbusach, autobusach szynowych i pojazdach na poduszce magnetycznej.
8. PN-EN 45545-6:2013: Kolejnictwo. Ochrona przeciwpożarowa pojazdów szynowych – Systemy przeciwpożarowe.
9. PN-EN 45545-7:2013: Kolejnictwo. Ochrona przeciwpożarowa pojazdów szynowych – Wymagania bezpieczeństwa pożarowego dla instalacji cieczy palnych i gazów.
10. PN-EN 50553:2012/A2:2020 Zastosowania kolejowe. Wymagania dotyczące zdolności do jazdy w przypadku pożaru na pokładzie taboru.
11. ARGE Guideline – Part 1. “Fire detection in railway vehicles”. Functional assessment for positioning fire detectors in passenger and staff areas, electrical cabinets and in areas with combustion engines.
12. ARGE Guideline – Part 2 “Fire fighting in railway vehicles” Functional assessment for the efficiency of fire suppression and extinguishing systems in passenger and staff areas, electric cabinets and in areas with combustion engines.
13. ARGE Guideline – Part 3 “System functionality of fire detection and fire fighting systems in railway vehicles” Specification of minimum requirements and guideline for qualification of fire protection technology.
14. UNI 11565 Railway vehicles – design, installation, validation and maintenance of fire detection and extinguishing systems to be utilized in rail vehicles – general principles
15. CEN/TR 17532:2020 Railway applications – Fire protection on railway vehicles – Assessment of fire containment and control systems for railway vehicles.
16. High-pressure Water Mist Active Firefighting Systems: First Testing Experiences According to Italian Standard UNI 11565.
17. Pikulski K.: *Low Pressure Water Mist Fire Protection System*, Problemy Kolejnictwa, 2016, z. 160.
18. Roguski J., Zbrożek P., Czerwieńko D.: *Wybrane aspekty stosowania w obiektach budowlanych urządzeń gaśniczych na mgłę wodną*, Monografie CNBOP-PIB 2012, Józefów, 2012.