

## Publikacje pracowników Laboratorium Badań Materiałów i Elementów Konstrukcji Instytutu Kolejnictwa w czasopiśmie „Materials Research Proceedings”

Informację opracował Adrian KAŻMIERCZAK<sup>1</sup>

### Streszczenie

Czasopismo „Materials Research Proceedings”, wydawane przez „Materials Research Forum LLC” opublikowało w tomie 5/2018, materiały konferencyjne pt. „Terotechnology, 10th Conference of Terotechnology, 18–19 October 2017, Kielce, Poland”. Konferencja była zorganizowana przez Politechnikę Świętokrzyską, Polskie Naukowo-Techniczne Towarzystwo Eksploatacyjne oraz Targi Kielce. W księdze konferencyjnej opublikowano m.in. dziesięć artykułów autorstwa pracowników Laboratorium Badań Materiałów i Elementów Konstrukcji Instytutu Kolejnictwa. Artykuły dotyczą zagadnień inżynierii materiałowej i bezpieczeństwa w transporcie kolejowym. W informacji przedstawiono streszczenia tych artykułów w języku polskim.

**Słowa kluczowe:** inżynieria materiałowa, bezpieczeństwo konstrukcji, transport szynowy, zagrożenia, prace badawcze, infrastruktura kolejowa, bezpieczeństwo pożarowe, inżynieria bezpieczeństwa



Seria wydawnicza: Materials Research Proceedings, Volume 5 (2018)

Wydawca: Materials Research Forum LLC, Millersville, USA

Rok wydania: 2018

Liczba stron: 253

ISBN 978-1-945291-80-7

Wydawnictwo „Materials Research Forum LLC” opublikowało w czasopiśmie „Materials Research Proceedings” tom 5/2018 materiały konferencyjne, pt. „Terotechnology, 10th Conference of Terotechnology, 18–19 October 2017, Kielce, Poland”. Konferencja była zorganizowana przez Politechnikę Świętokrzyską, Polskie Naukowo-Techniczne Towarzystwo Eksploatacyjne oraz Targi Kielce. W księdze konferencyjnej czasopisma opublikowano m.in. dziesięć artykułów autorstwa pracowników Laboratorium Badań Materiałów i Elementów Konstrukcji Instytutu Kolejnictwa.

W artykułach dotyczących zagadnień inżynierii materiałowej i bezpieczeństwa w transporcie kolejowym, przedstawiono wybrane zagadnienia i wyniki badań materiałów, elementów i składników z dziedziny terotechniki, tj. technologię instalacji, konserwacji, diagnostyki technicznej, materiałoznawstwa, niezawodności, trybologii i bezpieczeństwa technicznego. W informacji, streszczenia tych artykułów zamieszczono w języku polskim.

### **Ireneusz Mikłaszewicz, Marcin Czarnecki: Przyczynk do powstania pęknięć szyn typu *head-checking* (Cause for Cracking of Head-Check Rails)**

Jedną z wad szyn powstających podczas eksploatacji, wpływających na bezpieczeństwo ruchu, jest wada typu nadpęknięcie (*head-checking*). Autorzy tego artykułu przedstawili przyczyny jej powstawania (np. pęknięcie) oraz czynniki wpływające na jej wzrost. Stwierdzili, że współpraca pojazdu z szyną i kształtowanie powierzchni tocznej spowodowanej obciążeniem, a także wynikające z tego obciążenia szyn spowodowane przez dynamikę taboru kolejowego, są przyczyną pęknięć typu *head-checking* szyn. W artykule przedstawiono również wpływ udarności na pęknięcia szyn oraz przeanalizowano mechanizm powstawania nadpęknięć szyn, a szczególnie pierwszy etap umocnienia warstwy powierzchniowej w zakresie granicy plastyczności z równoczesnym działaniem naprężeń. Na

<sup>1</sup> Mgr inż.; Instytut Kolejnictwa, Laboratorium Badań Materiałów i Elementów Konstrukcji; akazmierczak@ikolej.pl.

podstawie analizy stwierdzono, że do produkcji szyn należy stosować gatunek stali z wysoką granicą sprężystości i plastyczności Re przy zachowaniu aktualnych parametrów wydłużenia i przewężenia stali. Autorzy stwierdzają, że umożliwi to wydłużenie początkowego okresu tworzenia się wad, a także przedłuży trwałość eksploatacyjną szyn.

**Jolanta Maria Radziszewska-Wolińska, Izabela Tarka:**  
**Wpływ warstw wzmacniających i powłok lakierniczych na właściwości dymowe laminatów na bazie wybranych żywic winyloestrowych i poliestrowych** (*The Influence of Reinforcing Layers and Varnish Coatings on the Smoke Properties of Laminates Based on Selected Vinyl Ester and Polyester Resins*)

Szerokie zastosowanie laminatów poliestrowo-szklanych w transporcie szynowym wynika z ich dużej odporności na działanie czynników środowiskowych i związków chemicznych, łatwości przetwórstwa, estetyki oraz dobrych właściwości mechanicznych przy stosunkowo niskiej cenie. Żywice poliestrowe niestety charakteryzują się również dużą palnością i intensywnym dymieniem podczas spalania. Spowodowane jest to m.in. dużą zawartością styrenu używanego do ich usieciowania, dlatego w celu zwiększenia bezpieczeństwa ich użytkowania poddaje się je modyfikacjom i stosuje różne środki uniepalniające.

Autorzy ocenili wpływ modyfikacji laminatów winyloestrowo-szklanych i poliestrowo-szklanych, przeznaczonych dla taboru szynowego, na ich właściwości dymowe podczas spalania. W artykule zaprezentowano wyniki badań laminatów zastosowanych jako „przekładki” warstwy sztywnych pianek PCV, biokompozyty korkowe oraz warstwy o strukturze plastra miodu. Na potrzeby porównań dokonano również modyfikacji powierzchni przez nałożenie powłok lakierniczych: Nuvovern WR Emailack i powłoki MIPA.

W artykule porównano właściwości dymowe uniepalnionych laminatów poliestrowo-szklanych z warstwami wzmacniającymi, laminatów z powłokami malarskimi, w stosunku do laminatów bazowych, niemodyfikowanych. Otrzymane parametry odniesiono do wymagań obowiązujących w taborze szynowym. Wyniki zestawiono z wynikami badań palno-dymowych dla poliwęglanu, który jako materiał konstrukcyjny i wyłożeniowy jest często stosowany w taborze kolejowym (nowym i modernizowanym).

Na podstawie badań oraz analiz wykazano, że dla laminatów na bazie żywicy winyloestrowej pokrycie podwójną warstwą uniepalnionego żelkotu istotnie obniża ilość wydzielanego dymu, natomiast każda modyfikacja pogarsza właściwości dymowe. Jedynie wprowadzenie warstw Soric XF lub pianki DIV PCV zwiększa ilość wydzielanego dymu w takim zakresie, że uzyskane wartości parametrów D<sub>5</sub> i VOF4 spełniają wymagania normy PN-EN 45545-2:2013+A1:2015: Kolejnictwo. Ochrona przeciwpożarowa w pojazdach szynowych. Część 2: Wymagania dla materiałów i elementów w zakresie właściwości palnych. W odniesieniu do laminatów na bazie żywicy poliestrowej sprawdzono, że w każdym z przypadków modyfikacja w niewiel-

kim stopniu pogarsza właściwości dymowe i umożliwia zastosowanie tych kompozytów w taborze.

**Dariusz Kowalczyk:** **Analiza przyczyn pęknięć spawów termitowych szyn tramwajowych typu 60R2** (*Analysis of the Causes of the Cracks in the Thermit Welds of the Tram Rails Type 60R2*)

Wymagania stawiane złączom szynowym stosowanym przy budowie dróg kolejowych według przepisów i norm europejskich według norm PN EN 14578-1:2007 Kolejnictwo. Tor. Zgrzewanie iskrowe szyn. Część 1: Zgrzewanie nowych szyn ze stali gat. R220, R260, R260Mn i R350HT w ogrzewalniach oraz PN EN 14578-2:2009 Kolejnictwo. Tor. Zgrzewanie iskrowe szyn. Część 2: Zgrzewanie nowych szyn ze stali gatunku R220, R260, R260Mn i R350HT zgrzewarkami torowymi poza zgrzewalnią, wskazują na konieczność przeprowadzania badań potwierdzających poprawność technologii produkcji i jakości wyrobu. Zakres sprawdzeń obejmuje: ocenę prostoliniowości, makro- i mikrostruktury materiału, przeprowadzenie badań twardości materiału, badań zmęczeniowych i badań nieniszczących magnetyczno-proszkowych. W artykule zwrócono uwagę, że w przypadku rozwiązań stosowanych w infrastrukturze tramwajowej, istnieją wymagania stawiane szynom zgodnie z normą PN-EN 14811+A1:2010 Kolejnictwo. Tor. Szyny specjalne. Szyny rowkowe i związane z nimi profile konstrukcyjne, natomiast w przypadku złączy szynowych z przeznaczeniem do budowy torowisk tramwajowych, nie ma precyzyjnych zapisów takich wymagań, a ich zakres jest określany przez zlecniodawcę. W świetle dość często występujących problemów związanych z pękaniem szyn i złączy szynowych w torowiskach tramwajowych, wydaje się zasadne wprowadzenie wymaganych badań w celu poprawy bezpieczeństwa w transporcie szynowym, ograniczenia występujących pęknięć w nowo budowanych i remontowanych torowiskach, a także obniżenia kosztów związanych z naprawami podczas eksploatacji. W artykule przedstawiono i opisano przykłady pękniętych złączy szynowych w torowiskach tramwajowych, a także dokonano analizy symulacji obciążeń MES szyn o profilach 60E1 i 60R2.

**Paweł Kowalik, Danuta Milczarek:** **Detergenty do mycia taboru kolejowego** (*Detergents for Washing of Rolling Stock*)

Podczas mycia taboru kolejowego, elementy konstrukcyjne są narażone na działanie agresywnych substancji znajdujących się w środkach myjących. Pudła wagonów oraz elementy podwozia narażone są na działanie tych substancji. Skład środków myjących powinien w jak najmniejszym stopniu oddziaływać na elementy konstrukcyjne taboru przy jednoczesnym usuwaniu zanieczyszczeń. Zewnętrzne części wagonów zawierają elementy wykonane ze stali (poszycie) pokrytej powłoką malarską, szkła (szyby), gumy (uszczelki i wałki w przejściach międzywagonowych), tworzyw sztucznych, żeliwa i metali kolorowych, głównie stopów aluminium: około 85% powierzchni zewnętrznej wagonów stanowią powłoki malarskie, a około 12% szy-

by. W artykule opisano kwaśne i alkaliczne środki myjące oraz rodzaj usuwanych zanieczyszczeń. Opisano także ich wpływ na powłoki malarskie oraz elementy konstrukcyjne taboru kolejowego. Przedstawiono rodzaj zanieczyszczeń występujących podczas eksploatacji taboru kolejowego oraz mytych elementów wagonu.

W artykule przedstawiono również zakres badań i wymagań dla preparatów myjących przeznaczonych do mycia taboru kolejowego, a także wyniki badań wraz z interpretacją i wnioskami. Na podstawie badań, autorzy publikacji stwierdzili, że wprowadzane do stosowania preparaty systematycznie modyfikowane przez producentów wpłynęły na wydłużenie żywotności eksploatowanych pojazdów szynowych, zmniejszenie wpływu korozyjności na środowisko oraz zmniejszenie kosztów eksploatacji. Przebadane środki myjące stosowane do taboru szynowego (o odczynie kwaśnym i alkalicznym) w większości przypadków wykazują niewielkie działanie agresywne na materiały eksploatacyjne taboru szynowego i spełniają w tym zakresie wymagania DN 001/07 (Dokument Normatywny DN 001/07 Środki myjące przeznaczone do zewnętrznego i wewnętrznego mycia taboru szynowego, CNTK/IK, 2007).

**Jolanta Maria Radziszewska Wolińska, Adrian Kaźmierczak: Właściwości ogniowe tapicerki a odporność ogniowa całego fotela** (*Fire Properties of Upholstery and Fire Resistance of the Complete Passenger Seat*)

Odpowiedni dobór materiałów stosowanych do budowy foteli kolejowych, przyczynia się znacząco do zapewnienia odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa, a także zmniejszenia zagrożenia pożarowego (*hazards level*) całego fotela kolejowego. Fotele pasażerskie w taborze szynowym stanowią znaczną część gęstości obciążenia ogniowego (GOO) i mogą być elementem potencjalnego zagrożenia pożarowego z powodu narażenia na różnego typu akty wandalizmu w tym również podpalenia, zaproszenia ognia, awarii systemu ogrzewania, a także zwarcia instalacji elektrycznych. W celu minimalizacji tych zagrożeń, podjęto próbę zapewnienia odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa pożarowego ustanawiając poszczególne kategorie zagrożeń dla taboru kolejowego przypisanego do danej kategorii eksploatacyjnej wynikającej z infrastruktury kolejowej. Do głównych zagrożeń będących skutkiem pożaru fotela kolejowego można zaliczyć m.in. gęstość wytwarzanego dymu, toksyczność gazów oraz emisję ciepła wydzielanego w wyniku spalania.

W artykule zaprezentowano i opisano wyniki badań laboratoryjnych określających właściwości ogniowe kompletnych siedzeń kolejowych, a także systemy tapicerskie użyte do ich budowy. Wyniki uzyskane przy użyciu kalorymetru meblowego i kalorymetru stożkowego zostały szczegółowo przeanalizowane w celu określenia wzajemnych zależności między nimi. Na podstawie przeprowadzonych badań wykazano, że kryteria klasyfikacji systemów tapicerskich i siedzeń pasażerskich muszą być ponownie zweryfikowane pod względem dopuszczalnych wartości. Pod-

kreślono także duży wpływ doboru materiałów na inicjację i rozwój potencjalnego pożaru w pojeździe kolejowym.

**Jolanta Maria Radziszewska-Wolińska, Danuta Milczarek: Badania ogniowe materiałów niemetalowych przeznaczonych na ściany i sufity w taborze szynowym** (*Fire Tests of Non-Metallic Materials for Walls and Ceilings in Rolling Stock*)

Dynamiczny rozwój transportu szynowego wymusza na producentach taboru stosowanie coraz to nowszych rozwiązań technicznych i materiałowych. Powiązane jest to z koniecznością zapewnienia bezpieczeństwa w środkach transportu kolejowego, w tym bezpieczeństwa pożarowego. W wyniku tych zmian, zaistniała potrzeba opracowania nowych i modyfikacji już istniejących materiałów stosowanych w pojazdach szynowych, które zmniejszają ryzyko zagrożenia ludzi i poprawiają ogólny stan bezpieczeństwa.

W przypadku zaistnienia pożaru, istotnym zagrożeniem dla pasażerów jest rozprzestrzenianie się płomienia po powierzchni oraz szybkość wydzielanego ciepła powstałego w wyniku spalania materiałów stosowanych do wyłożenia ścian i sufitów pojazdów szynowych, co przyczynia się m.in. do ograniczenia ewakuacji. W związku z tym, materiały używane do budowy taboru, muszą być poddawane badaniom według normy ISO 5658-2:2006 Reaction to fire tests – Spread of flame – Part 2: Lateral spread on building and transport products in vertical configuration oraz normy ISO 5660-1:2015 Reaction to fire tests. Heat release, smoke production and mass loss rate. Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method) and smoke production rate (dynamic measurement). Jest to konieczne w celu spełnienia wymagań normy PN-EN 45545-2:2013+A1:2015 Kolejnictwo – Ochrona przeciwpożarowa w pojazdach szynowych – Część 2: Wymagania dla materiałów i elementów w zakresie właściwości ogniowych.

W artykule przedstawiono i opisano metodykę badań, a także zaprezentowano wyniki z badań ogniowych kompozytów, produkowanych na bazie żywicy poliestrowej, proponowanych do stosowania w transporcie szynowym. Wykazano, że osiągnięcie zamierzonych celów, takich jak zmniejszenie masy lub poprawa estetyki powierzchni, znacząco zmienia parametry związane z emisją ciepła i rozprzestrzenianiem płomienia. W związku z tym, w zakresie wprowadzanych zmian wymaga się przeprowadzenia badań kontrolnych dotyczących bezpieczeństwa przeciwpożarowego. Badania laminatów poliestrowo-szklanych na bazie różnych żywic poliestrowo-szklanych potwierdziły wpływ grubości na wielkość krytycznego strumienia ciepła (CFE) oraz maksymalną średnią szybkość wydzielania ciepła (MARHE). Wzrost grubości badanych próbek poprawiał zarówno wartość parametru CFE, jak i MARHE.

Modyfikacje laminatów mające na celu poprawę estetyki powierzchni przez naniesienie powłoki lakierowej, powodują pogorszenie ich właściwości ogniowych w zakresie krytycznego strumienia ciepła (CFE), natomiast parametr MARHE ulega poprawie. Modyfikacje laminatów, mające na

celu poprawę ich właściwości fizyko-chemicznych i zmniejszenia masy przez dodanie wewnętrznej warstwy pianki, wpływają na pogorszenie parametru MARHE, przy czym parametr CFE nie ulega zmianie.

**Łukasz Antolik, Andrzej Zawisza: Wpływ rodzaju zbrojenia na wytrzymałość podkładów strunobetonowych** (*Influence of Reinforcement on the Strength of the Concrete Sleepers*)

W polskiej infrastrukturze, podkłady strunobetonowe są najczęściej stosowanym wyrobem do budowy rusztu torowego, a jednocześnie są bardzo odpowiedzialnym elementem drogi kolejowej utrzymującym odpowiedni prześwit toru. W większości, producenci podkładów strunobetonowych stosują zatwierdzoną technologię bazującą na zbrojeniu za pomocą prętów gładkich z tarczą oporową. W zależności od dopuszczalnego obciążenia oraz maksymalnej prędkości, stosowane są różne typy podkładów strunobetonowych (np. PS-83, PS-93 lub PS-94). Polski największy Zarządca infrastruktury wymaga, aby stosowane podkłady strunobetonowe były produkowane zgodnie z zaaprobowaną technologią oraz z zatwierdzonych materiałów. Ponieważ są producenci, którzy proponują kompletną technologię produkcji z użyciem alternatywnych sposobów i rodzajów zbrojenia, w artykule podjęto temat porównania wytrzymałości podkładów w warunkach laboratoryjnych oraz w warunkach eksploatacyjnych. Za przykład posłużył powszechnie stosowany w budowie dróg szynowych w Polsce podkład typu PS-94, zbrojony na dwa różne sposoby. Na podstawie przeprowadzonych badań w warunkach laboratoryjnych, autorzy artykułu stwierdzają, że podkłady PS-94 zbrojone splotem, są co najmniej tak samo wytrzymałe jak powszechnie stosowane podkłady typu PS-94 zbrojone zgodnie z technologią zatwierdzoną przez zarządcę infrastruktury.

Przeprowadzone badania eksploatacyjne w zakresie przeniesionego obciążenia około 20 Tg potwierdziły wysoką trwałość wyrobów i bezproblemową eksploatację. Nie pojawiły się w tym przypadku pęknięcia charakterystyczne dla podkładów bez tarcz oporowych, które w wielu przypadkach pojawiają się na wczesnym etapie eksploatacji.

**Robert Bińkowski: Wpływ lokalnego uplastycznienia w otoczeniu odkształceń sprężystych na wytrzymałość zmęczeniową elementów konstrukcji** (*Influence of the Local Plasticise Zone in the Elastic Deformation Environment on the Fatigue Strength of the Construction Elements*)

W artykule przedstawiono zagadnienie przepiężenia elementów konstrukcji oraz jego wpływ na wzrost wytrzymałości zmęczeniowej na przykładzie haka ciąglowego wchodzącego w skład urządzenia sprzęgającego pojazdy szynowe. Analizę wykonano na podstawie symulacji komputerowych

MES oraz podczas badań stanowiskowych haka z wykorzystaniem pomiarów tensometrycznych. Badania zobrazowały wpływ przepiężenia elementów konstrukcyjnych na ich wytrzymałość zmęczeniową w dalszej eksploatacji. W artykule przedstawiono analizę zagadnienia z wykorzystaniem metody elementów skończonych, zestawiono wyniki prób stanowiskowych, a także opisano wpływ efektu przepiężenia na wytrzymałość zmęczeniową. Analizę przepiężenia haka wykonano podczas standardowych badań zmęczeniowych prowadzonych w Laboratorium Badań Materiałów i Elementów Konstrukcji Instytutu Kolejnictwa, wymaganych przy dopuszczeniu do eksploatacji wyrobów na kolei.

**Dariusz Kowalczyk: Analiza termiczna MES dla spawanych termicznie przewodnic tramwajowych typu 60R2 i 60E1** (*FEM Thermal Analysis of Thermal Weldings of Tramway Rails, 60R2 and 60E1 Type*)

W wielu nowo budowanych torowiskach tramwajowych po oddaniu ich do eksploatacji, pojawiają się pęknięcia w szynach tramwajowych w obszarach łączenia szyn metodą termitową. W artykule przedstawiono i opisano przykłady pękniętych złączy szynowych w torowiskach tramwajowych. Wykonano analizy termiczne metodą FEM chłodzenia spawów / złączy termitowych szyn tramwajowych 60R2 i 60E1. Dokonano obserwacji mikrostruktury szyn i złączy spawanych w obszarze strefy wpływu ciepła. W świetle dość często występujących problemów związanych z pękaniem szyn i złączy szynowych w torowiskach tramwajowych, wydaje się zasadne wprowadzenie badań trwałości i jakości wykonywanych połączeń złączy szynowych w celu poprawy bezpieczeństwa w transporcie szynowym, ograniczenia występujących pęknięć w nowo budowanych i remontowanych torowiskach, a także obniżenia kosztów związanych z naprawami podczas eksploatacji.

**Jolanta Maria Radziszewska-Wolińska: Dobór elementów systemów tapicerskich** (*Selection of Components of Upholstery Systems*)

W artykule opisano metody badawcze i wyniki testów właściwości dymowych zmodyfikowanej elastycznej pianki poliuretanowej i systemu tapicerskiego, realizowane w projekcie KOLEJMAT w Instytucie Kolejnictwa. Opisano przeprowadzone badania mające na celu dobranie takiego składu materiałów wchodzących do budowy fotela pasażerskiego, które zapewnią odpowiednie bezpieczeństwo pożarowe taboru pasażerskiego. Wykazano wpływ ognioodporności włókniny na proces spalania pianek grafitowych i nie-grafitowych. Przedstawiono wyniki badań szybkości emisji ciepła, właściwości dymowych i toksyczności. Spośród przebadanych układów wybrano dwa najlepsze systemy tapicerskie.

Informację opracowano na podstawie publikacji „Terotechnology, 10th Conference of Terotechnology”, 18–19 October 2017, Kielce, Poland, zamieszczonej w czasopiśmie „Materials Research Proceedings”, 2018/5.