

Adam Osiak

Uwarunkowania techniczne zastosowania kompozytowych wstawek hamulcowych w wagonach towarowych

Ochrona przed hałasem emitowanym przez środki transportu nabiera coraz większego znaczenia w Unii Europejskiej, czego wyrazem są zmiany prawodawstwa w tym zakresie. Dlatego koleje europejskie podjęły działania w celu opracowania efektywnych technicznie i ekonomicznie środków ograniczenia emisji hałasu i wdrożenia ich dla uzyskania w niedługiej perspektywie istotnej redukcji hałasu. Jednym z głównych źródeł hałasu w zakresie prędkości konwencjonalnych jest toczenie się kół po szynach. Hałas ten natęża się wraz ze zwiększeniem błędów kształtu i chropowatości powierzchni toczyń kół oraz nierówności i chropowatości powierzchni szyn. Żeliwne wstawki hamulcowe, powszechnie stosowane w hamulcach klockowych wagonów towarowych, powodują większą chropowatość powierzchni toczyń kół niż wstawki z materiałów kompozytowych. Zastąpienie żeliwnych wstawek wstawkami z kompozytów prowadzi do znacznego obniżenia poziomu hałasu emitowanego w ruchu towarowym – o 8–10 dB(A) przy prędkości 100 km/h.

Aspekty prawne

W wyczulonej na ochronę środowiska Europie, ekonomiczne cele transportu kolejowego będą mogły zostać trwale osiągnięte jedynie pod warunkiem znacznego zmniejszenia w stosunku do obecnego stanu szkodliwych oddziaływań na środowisko – w przypadku utrzymania dotychczasowego poziomu przewozów, bądź nie zwiększenia szkodliwych oddziaływań tego transportu na środowisko – w przypadku jego rozwoju. Hałas obok zużycia energii i emisji zanieczyszczeń odgrywają przy tym dominującą rolę w ocenie zagrożeń kolei dla środowiska.

Realizując politykę ekologiczną, poszczególne państwa europejskie określają progi dopuszczalnych emisji, obowiązujące również koleje, a stanowiące przeszkodę w realizacji zadań gospodarczych, które nakazują intensyfikację międzynarodowych przewozów kolejowych, utrudniając tym samym umacnianie pozycji kolei na rynku transportowym. Równocześnie pojawiają się kolejne żądania dotyczące ograniczania ruchu kolejowego, podobne do tych, które istnieją od dawna w transporcie drogowym, tj. zakazy przewozów nocą, w święta i w dni wolne od pracy, ograniczenia prędkości itp., które mogą spowodować poważne ograniczenia zdolności przewozów kolejowych.

W skali europejskiej działania te znalazły wyraz między innymi w Zielonej Księdze Komisji Europejskiej COM 94/550 *Przyszła polityka w zakresie hałasu* z 1994 r., gdzie skrytykowano nadmierne poziomy hałasu emitowanego przez transport kolejowy i wyznaczono kierunki działania, oraz w dyrektywie o hałasie w środowisku nr 2002/49/EC Komisji Europejskiej z czerwca 2002 r.,

obowiązującej w wszystkie kraje Unii Europejskiej, w której ustalono maksymalne wartości dopuszczalnego długotrwałego natężenia dźwięku w otoczeniu lotnisk, dróg lądowych i linii kolejowych, z uwzględnieniem dni tygodnia i pory doby i zobowiązano państwa członkowskie do sporządzenia i aktualizacji w ustalonych terminach „map hałasu” dla lotnisk, dróg i linii kolejowych o określonym natężeniu ruchu oraz do ustanowienia planów działania dla redukcji hałasu, na jaki narażone jest społeczeństwo. Ponadto podjęto działania w celu ustalenia dopuszczalnych granic hałasu wytwarzanego przez kolejowe pojazdy szynowe. Zadanie zdefiniowania takich granic zlecono AEIF (*Association Européenne pour l'Interopérabilité Ferroviaire* – Europejskie Zrzeszenie dla Interoperacyjności Kolei), w ramach prac nad opracowaniem projektów Technicznych Standardów Interoperacyjności kolei. W pierwszej kolejności ustalono graniczne wartości emisji hałasu dla taboru pasażerskiego dużych prędkości (TSI HS dotyczących taboru dużych prędkości z 2002 r. – decyzja Komisji 735/2002), a następnie – dla taboru konwencjonalnego (TSI CR Noise dotyczących hałasu w konwencjonalnym taborze szynowym z 2004 r. – decyzja Komisji 446/2004).

Redukcja hałasu stanowi zatem strategiczny priorytet kolei europejskich. Dlatego Zgromadzenie Ogólne Wspólnoty Kolei Europejskich (CER-GEB-CCFE), z inicjatywy kolei SBB i DB, zdecydowało w grudniu 1997 r. o podjęciu przez koleje europejskie działań w celu zmniejszenia hałasu w przewozach towarowym, zharmonizowanych z decyzjami UE odnośnie redukcji hałasu, dotyczących:

- budowania nowych wagonów towarowych z hamulcami klockowymi wyposażonymi w kompozytowe wstawki hamulcowe typu K;
- stosowania w istniejących wagonach towarowych kompozytowych wstawek hamulcowych zamiennych ze wstawkami żeliwnymi zamiast wstawek żeliwnych (wstawki LL);
- stosowania w wagonach towarowych innej konstrukcji hamulca niż hamulce klockowe (m.in. hamulców tarczowych), prowadzących do zmniejszenia emitowanego hałasu;
- opracowania wymagań odnośnie wstawek typu K i następnie typu LL, wsparcia prac badawczo-rozwojowych materiałów typu K i LL oraz homologacji kilku gatunków wstawek każdego typu.

Kierunki prace badawczych

Międzynarodowy Związek Kolei UIC rozpoczął prace nad projektem badawczo-rozwojowym *Redukcja hałasu – Zastosowanie kompozytowych wstawek hamulcowych w wagonach towarowych* w styczniu 1998 r. Jest on prowadzony przez Podkomisję „Hamulce”, siłami odpowiednich grup studyjnych i problemowych oraz Grupy Roboczej ERRI B126.13 „Kompozytowe wstawki ha-

mulcowe” i grup w ramach Komitetu Ekspertów ERRI B169, zajmującego się kołami jezdnyymi i ich współdziałaniem z torem, składających się z reprezentantów zainteresowanych kolei (po zakończeniu działalności ERRI – działających w UIC).

Uwzględniając stan rozwoju poszczególnych typów materiałów ciernych i doświadczenia eksploatacyjne z tymi materiałami, jak również rokowania odnośnie możliwości opracowania kompozytowych materiałów ciernych typu K oraz materiałów ciernych w pełni zamiennych ze wstawkami żeliwnymi, przewidziano dwie drogi rozwoju materiałów ciernych do hamulców klockowych wagonów towarowych, które miałyby zastąpić żeliwne wstawki hamulcowe.

1. W pierwszej kolejności dalszy rozwój materiałów typu K, o nominalnym współczynniku tarcia równym 0,25 [7], tj. znacznie wyższym niż wstawek żeliwnych, ale mniej zróżnicowanym w funkcji prędkości hamowania i obciążeń. Materiały te przeznaczone byłyby przede wszystkim na wstawki hamulcowe do wagonów nowo budowanych, ze względu na możliwość uwzględnienia ich charakterystyki ciernej już na etapie projektowania hamulców. W przypadku zastosowania wstawek typu K w istniejących wagonach, konieczne byłoby przeprojektowanie hamulców i wprowadzenie w nich zmian.

2. Opracowanie wymagań odnośnie materiałów typu LL, o charakterystyce ciernej zbliżonej do charakterystyki wstawek żeliwnych i rozwój takich materiałów, które mogłyby zastąpić wstawki żeliwne, w miarę możliwości bez konieczności wprowadzania zmian w układach hamulcowych wagonów. Materiały te mogłyby być stosowane zarówno w wagonach istniejących, jak i nowo budowanych.

Główną przyczyną hałasu w europejskim transporcie kolejowym są przewozy towarowe, a w drugiej kolejności ruch na liniach dużych prędkości i następnie na liniach wewnątrz miast. Jednym z głównych źródeł hałasu emitowanego przez pojazdy szynowe w zakresie prędkości konwencjonalnych jest hałas toczenia kół po szynach (rys. 1). Hałas ten jest tym większy, im większe są błędy i nieregularności kształtu powierzchni toczyń kół (niekołowość, mimośrodowość, wielobocność, płaskie miejsca) oraz chropowatości tych powierzchni, jak również – nierówności i chropowatości powierzchni toczyń szyn.

Najprostszym i bezpośrednim sposobem zmniejszenia hałasu toczenia jest zmniejszenie chropowatości współpracujących powierzchni. W przypadku taboru z hamulcami ciernymi z żeliwnymi

wstawkami hamulcowymi i normalnie utrzymanego toru, chropowatość kół dominuje nad chropowatością szyn. Chociaż wynikowy hałas emitowany jest przez tor i koła, najlepszym sposobem zmniejszenia hałasu jest zmniejszenie chropowatości oraz błędów kształtu powierzchni toczyń kół. Jedynie w przypadku taboru z hamulcami tarczowymi i normalnie (tj. dobrze) utrzymanego toru, chropowatość kół i toru są tego samego rzędu i ograniczenie emisji hałasu najlepiej można uzyskać przez zmniejszenie chropowatości szyn, w wyniku zintensyfikowanego utrzymania toru, często nazywanego „szlifowaniem akustycznym” [4].

Żeliwne wstawki hamulcowe, powszechnie stosowane w wagonach towarowych, jak również w taborze pasażerskim starej generacji, powodują powstawanie drobnych nalepów oraz wyrwań materiału na powierzchniach toczyń kół, w wyniku mikrozespań materiałów wstawek i kół w czasie hamowania, i tym samym zwiększają chropowatość tych powierzchni toczyń.

Zmniejszenie chropowatości powierzchni toczyń kół można uzyskać przez rozdzielenie funkcji biegowej i funkcji hamowania, tj. np. przez zastosowanie hamulców tarczowych w miejsce hamulców klockowych. Dla uniknięcia poligonizacji kół, prowadzącej do wzrostu hałasu toczenia, konieczne jest wyposażenie hamulca w bardzo czułe (elektroniczne) urządzenia przeciwoślizgowe.

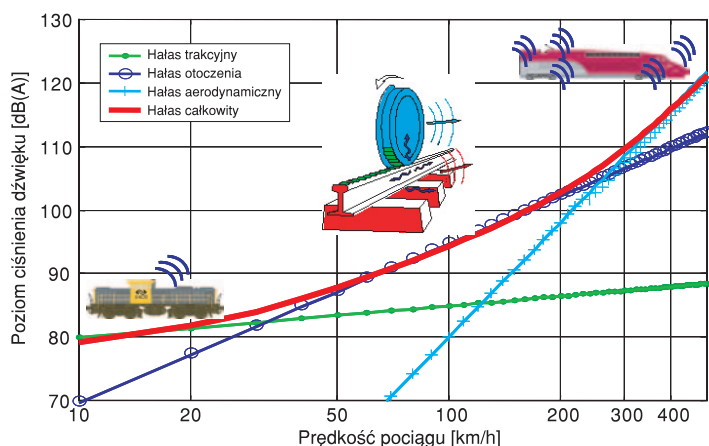
Jak wykazały badania, zastąpienie żeliwnych wstawek hamulców klockowych wstawkami z kompozytowych materiałów ciernych (z materiałów organicznych albo ze spieków proszków metali) prowadzi do wygładzenia powierzchni toczyń kół i w konsekwencji do znacznego obniżenia poziomu emitowanego hałasu (redukcja emisji hałasu pociągu towarowego jadącego z prędkością 100 km/h o 8–10 dB(A)) [4].

Oszacowanie całkowitych kosztów pokazuje, że w przypadku kolejowych przewozów towarowych najbardziej efektywnym ekonomicznie sposobem zmniejszenia poziomu emitowanego hałasu, jest zastąpienie żeliwnych wstawek hamulców klockowych wstawkami kompozytowymi. Budowa wagonów z hamulcami tarczowymi, a zwłaszcza przebudowa hamulców klockowych na tarczowe, są rozwiązaniami o wiele droższymi [4].

Powszechne zastosowanie wstawek z materiałów kompozytowych w układach hamulcowych wagonów towarowych będzie ingerencją w system sprawdzony w wieloletniej eksploatacji i dlatego wymaga uprzedniego zbadania wielu zagadnień i znalezienia rozwiązań technicznych, dla zapewnienia bezpieczeństwa ruchu, tj. zagwarantowania:

- wymaganej skuteczności hamulców we wszystkich warunkach meteorologicznych;
- braku negatywnego wpływu wstawek hamulcowych na funkcjonowanie urządzeń zabezpieczenia ruchu kolejowego (bocznikowanie obwodów prądów szynowych);
- właściwej geometrii kontaktu koła z szyną;
- bezpieczeństwa przed wykołaceniem (dynamika wzdłużna) mieszanych składów pociągów, złożonych z wagonów hamowanych wstawkami kompozytowymi oraz wagonów ze wstawkami żeliwnymi;
- braku nadmiernych przeciążeń termicznych kół jezdnych w przypadku awarii hamulca.

Ekonomicznym warunkiem powodzenia programu przebudowania wagonów towarowych ze wstawek żeliwnych we wstawki kompozytowe będzie niezwiększenie kosztów cyklu życia wagonów towarowych (LCC – całkowite koszty zakupu, eksploatacji



Rys. 1. Źródła i poziomy hałasu emitowanego przez pojazdy kolejowe w funkcji prędkości [4]

i utrzymania wagonów oraz utylizacji ich podzespołów i materiałów).

Charakterystyki różnych typów wstawek hamulcowych Żeliwne wstawki hamulcowe

Wagony towarowe kolei UIC wyposażone są najczęściej w hamulce klockowe z żeliwnymi wstawkami hamulcowymi. W ciągu wielu lat konstrukcja i działanie tych hamulców podlegały dostosowywaniu do zmieniających się parametrów ruchu i warunków zastosowań. Hamulce te są niezawodne i tanie oraz wystarczające pod względem energetycznym w dotychczasowych zastosowaniach (ruch z obciążeniami osiowymi do 22,5 t i prędkościami do 120 km/h). Hamulce klockowe są w dużym stopniu zestandaryzowane, aby możliwa była ich szybka, niezawodna i bezpośrednia obsługa w ruchu międzynarodowym.

Żeliwo zostało zastosowane jako materiał cierny w hamulcach pojazdów kolejowych przed wielu laty i, poza pewnymi modyfikacjami składu, nie było istotnie zmieniane. Stosowane w ruchu międzynarodowym standardowe wstawki z żeliwa gatunku P10, cechują się własnościami typowymi dla tego materiału – współczynnik tarcia jest silnie zależny od mocy hamowania, tj. od stanu załadowania wagonu i prędkości początkowej hamowania (jest większy w hamowaniach w stanie próżnym i z mniejszych prędkości, a mniejszy w stanie ładownym i w hamowaniach z większych prędkości), a ponadto zmienny w funkcji chwilowej prędkości hamowania – zwiększa się ze spadkiem prędkości pojazdu, najsilniej przed zatrzymaniem. Jednocześnie materiał ten cechuje stosunkowo małą zmienność właściwości ciernych w niekorzystnych warunkach atmosferycznych takich, jak obecność wody bądź śniegu w obszarze tarcia oraz niskie temperatury – co jest jego pozytywną cechą. Kontrola jakości produkcji żeliwnych wstawek hamulcowych jest łatwa i szybka i nie wymaga czasochłonnych badań trybologicznych (wystarczą badania składu i struktury) [9].

Kompozytowe wstawki hamulcowe typu K

Kompozytowe wstawki hamulcowe typu K używane są na niektórych kolejach już od wielu. Jednak ze względu na ich niekorzystne cechy, takie jak nadmierne obciążenia termomechaniczne kół oraz duża zależność właściwości ciernych od warunków atmosferycznych, dalsze rozpowszechnianie starych materiałów typu K w ruchu międzynarodowym, poza dotychczasowymi zastosowaniami, zostało zakazane [7].

W wyniku intensywnych prac badawczo-rozwojowych, prowadzonych w ostatnich latach w ramach programu UIC dotyczących ograniczenia hałasu, opracowano nowe wymagania odnośnie tych materiałów i doprowadzono do powstania kilku materiałów nowej generacji, które osiągnęły pełną dojrzałość do zastosowania i zostały dość dobrze zbadane w eksploatacji [1]. Opracowano także nowe wytyczne projektowania wagonów towarowych ze wstawkami typu K, ich eksploatacji, nadzoru i utrzymania [5].

Własności kompozytowych wstawek hamulcowych typu K są odmienne niż wstawek żeliwnych. Materiały te mają współczynnik tarcia na około dwukrotnie wyższym poziomie niż wstawki żeliwne (nominalny średni współczynnik tarcia 0,25), o bardziej płaskiej charakterystyce – mniej zależny od obciążenia i prędkości hamowania. Powoduje to, że wstawki typu K nie są zamienne ze wstawkami żeliwnymi (nie mogą zostać zastosowane w istniejących wagonach bez odpowiedniego dopasowania układów hamulco-

wych). Dlatego też wstawki typu K przeznaczone są przede wszystkim do zastosowania w wagonach nowo budowanych oraz przebudowywanych w zakresie równoważnym budowie nowego wagonu [5].

Dotychczas UIC czasowo dopuściło do stosowania w ruchu międzynarodowym dwa gatunki wstawek typu K z materiałów organicznych [5]. Gatunek Cosid 810 nie budzi zastrzeżeń. Drugi dopuszczony gatunek (Becorit 929-1) zdaniem kolei skandynawskich ma niezadawalające właściwości cierne w warunkach zimowych i, jak się okazało, może nadmiernie przeciążać termicznie koła w przypadku nieprawidłowej pracy (niewyluzowania) hamulca. Trzeci gatunek (Jurid 816) nie uzyskał homologacji z powodu negatywnych wyników badań oddziaływania na urządzenia zabezpieczenia ruchu kolejowego (możliwość braku bocznikowania obwodów torowych).

Producenci pracują nad nowymi materiałami o poprawionych własnościach trybologicznych, ale wymagają one wszechstronnego zbadania i potwierdzenia ich właściwości w eksploatacji.

Wraz z rozwojem większej ilości materiałów typu K, możliwe będzie zawężenie dopuszczalnych tolerancji współczynników tarcia, w celu uzyskania pełnej zamienności wyrobów (dotychczas skuteczność hamulców wagonów danego typu konstrukcyjnego wyznaczana jest z określonym gatunkiem wstawek, bez gwarancji 100% spełnienia wymagań z innym gatunkiem).

Kompozytowe wstawki typu L

Kompozytowe wstawki typu L są specjalnym wyrobem o bardzo niskim współczynniku tarcia (ok. 0,12), na poziomie współczynnika tarcia wstawek żeliwnych przy małych obciążeniach, jednak o bardziej płaskiej charakterystyce w funkcji nacisków osiowych i prędkości. Ta cecha predestynuje wstawki typu L do zastosowania w taborze pasażerskim (stosunkowo małe zróżnicowanie obciążeń), ale powoduje, że nie nadają się one wprost – bez zmian w hamulcach – do zastosowania w istniejących wagonach towarowych. Trwają prace UIC nad opracowaniem wymagań homologacyjnych dotyczących wstawek typu L do hamulców tarczowo-klockowych do wagonów pasażerskich.

Kompozytowe wstawki typu LL

Alternatywą dla wstawek żeliwnych w hamulcach klockowych istniejących wagonów towarowych mają być kompozytowe wstawki typu LL, o charakterystyce współczynnika tarcia bardzo zbliżonej do charakterystyki wstawek z żeliwa P10. Ma to umożliwić zastąpienie wstawek żeliwnych bez konieczności wprowadzania jakichkolwiek zmian w układach hamulcowych wagonów.

Aby było to możliwe, współczynniki tarcia wstawek typu LL powinny być zbliżone do współczynników tarcia żeliwa gatunku P10, tj. cechować się dużym zróżnicowaniem wartości w zależności od nacisków osiowych, prędkości początkowych hamowania i parametrów ruchu.

Dodatkowym utrudnieniem w zastosowaniu kompozytowych wstawek hamulcowych jest fakt, że wraz z zmniejszeniem chropowatości powierzchni tocznych kół, spada współczynnik przyczepności kół do szyn. Jak stwierdzono, zjawisko to jest bardziej dotkliwe w przypadku wstawek typu LL z materiałów organicznych, niż w przypadku wstawek typu K (tłumaczy się to dodatkowym efektem smarowania powierzchni tocznych kół przez składniki materiału obniżające współczynnik tarcia do wymaganego poziomu). Stawia to dodatkowe wymagania, co do przebiegów

współczynnika tarcia podczas hamowań tak, aby nie dochodziło do utraty przyczepności kół do szyn i w efekcie do poślizgów kół (szczególnie szkodliwych na początku hamowania, przy większych prędkościach), powodujących powstawanie płaskich miejsc.

Ze względów bezpieczeństwa ruchu, od materiałów kompozytowych wymaga się ponadto małej zależności współczynnika tarcia od warunków atmosferycznych (wilgoć, śnieg, niskie temperatury).

Rozwój wstawek typu LL był przedmiotem projektu Eurosabot zrealizowanego w ramach piątego Programu Ramowego UE i zakończonego w 1999 r. bez doprowadzenia do powstania wstawek nadających się do zastosowania. Obecnie prace badawczo-rozwojowe dotyczące wstawek LL prowadzone są w projekcie Euro Rolling Silently (ERS) – również w ramach wspomnianego Programu Ramowego UE, przy współfinansowaniu przez UIC, z udziałem europejskich kolei, producentów materiałów ciernych i instytucji naukowo-badawczych.

Zaoferowane przez producentów materiały pierwszej generacji nie spełniły postawionych wymagań. Spośród materiałów drugiej generacji, na podstawie badań stanowiskowych oraz poligonowych prób hamulcowych, do badań eksploatacyjnych w ruchu S wybrano dwa gatunki – jeden ze spieków proszków metali (Cosid C952) i jeden materiał organiczny (ICER/Becorit IB80). Roczna eksploatacja nadzorowana wstawek tych gatunków nie ujawniła nieprawidłowości. Badania hamulcowe w warunkach zimowych potwierdziły bezpieczeństwo eksploatacji tych gatunków wstawek, podobnie jak badania wpływu na funkcjonowanie obwodów torowych (pozytywne w przypadku gatunku ze spieków metali, ale niejednoznaczne w przypadku gatunku IB80). W przypadku obydwóch gatunków, pomiary wykazały zmniejszenie emitowanego hałasu toczenia o 7–8 dB(A) w stosunku do takich samych wagonów wyposażonych we wstawki żeliwne.

W wyniku pozytywnych wyników stanowiskowych badań trybologicznych oraz poligonowych badań hamulcowych i badań bocznikowania obwodów torowych, w styczniu 2005 r. rozpoczęto badania eksploatacyjne drugiego materiału spiekanego (Jurid PM132) oraz następcy tego materiału organicznego o lepszej charakterystyce cierniej (ICER/Becorit IB116).

W styczniu 2005 r. Podkomisja UIC „Układy Biegowe i Hamulce” podjęła decyzję o czasowym dopuszczeniu, na okres dwóch lat, do stosowania w wagonach do ruchu „S” w komunikacji międzynarodowej, w ramach umowy RIV, dwóch gatunków kompozytowych wstawek hamulcowych typu LL – jednego ze spieków proszków metali (Cosid C952) i nowego materiału organicznego (ICER/Becorit IB116). Decyzję tę zatwierdziło Forum Technika i Badania UIC (dotychczas Komisja Technika i Badania), w lutym 2005 r.

Przygotowywane są poligonowe próby hamulcowe, a następnie badania eksploatacyjne wymienionych trzech gatunków wstawek w wagonach do ruchu SS. Trwają też prace badawczo-rozwojowe nad dalszymi gatunkami wstawek LL [6].

Homologacja materiałów ciernych

Międzynarodowe wymagania odnośnie żeliwnych wstawek hamulcowych określono w Karcie UIC 832 [10]. Dopuszczenia wstawek żeliwnych różnych producentów do stosowania na kolejach dokonywane jest przez zainteresowane koleje, albo przez odpowiednie narodowe organa decyzyjne.

Materiały cierne z materiałów kompozytowych (okładziny do hamulców tarczowych oraz wstawki hamulców klockowych) muszą zostać dopuszczone (homologowane) przez Międzynarodowy Związek Kolei UIC do stosowania w hamulcach pojazdów użytkowanych w ruchu międzynarodowym, bądź przez odpowiednie urzędy narodowe do stosowania na liniach kolejowych danego kraju.

Wynikiem tych projektów badawczych dotyczących rozwoju kompozytowych wstawek hamulcowych typu K i LL ma być opracowanie nowych wymagań homologacyjnych i doprowadzenie do homologacji kilku materiałów ciernych każdego typu. Dalsze materiały cierne będą rozwijane i homologowane staraniem zainteresowanych producentów i współpracujących z nimi kolei.

Zasady homologacji wstawek i okładzin ciernych hamulców podlegają obecnie zmianom w związku z unijnymi uregulowaniami prawnymi w dziedzinie kolejnictwa.

Problemy techniczne

związane z zastosowaniem wstawek kompozytowych

Zastąpienie wstawek żeliwnych w hamulcach klockowych wagonów towarowych materiałami kompozytowymi jest ingerencją w system hamulcowy, optymalizowany i sprawdzony w eksploatacji przez wiele lat i dlatego wymaga kompleksowego zbadania pod różnymi względami. Problemami technicznymi wymagającymi rozwiązania są:

- spadek właściwości ciernych materiałów organicznych w warunkach mokrych oraz zaśnieżenia (skłonność do poślizgu wodnego), co powoduje konieczność badań stanowiskowych każdego materiału ciernego według specjalnego programu „mokrego” oraz kosztownych poligonowych badań hamulcowych w warunkach zimowych w Skandynawii (duże ilości lotnego śniegu przy ujemnych temperaturach) – do czasu opracowania i walidacji odpowiedniego programu „zimowego” stanowiskowych badań homologacyjnych;
- inna charakterystyka przebiegu chwilowego współczynnika tarcia na początku hamowania w przypadku wstawek kompozytowych niż żeliwnych, co powoduje zagrożenie występowania poślizgów kół w warunkach wilgoci i oszronienia szyny – konieczność postawienia dodatkowych wymagań odnośnie przebiegu chwilowego współczynnika tarcia w trakcie hamowań z różnymi parametrami;
- zmniejszenie współczynnika przyczepności kół do szyn w stosunku do wstawek żeliwnych (mniejsze w przypadku wstawek typu K, większe w przypadku wstawek LL);
- możliwość negatywnego wpływu na działanie urządzeń sygnalizacji zajętości toru (zanik bocznikowania obwodów prądowych) – konieczność badania każdego gatunku wstawek pod kątem współdziałania z urządzeniami SRK używanymi na sieci kolejowej, na której mają być one zastosowane (badania poligonowe do czasu opracowania i walidacji innej metodyki badań);
- zwiększone (o ok. 30%) obciążenia cieplne kół w wyniku hamowania kompozytowymi wstawkami z materiałów organicznych, co może powodować luzowanie obręczy kół obręczowanych, bądź nadmierne przeciążenia termiczne kół monoblokowych, zwłaszcza w ruchu SS, prowadzące do powstawania pęknięć cieplnych na powierzchniach tocznych oraz wzrostu naprężeń w wieńcach i w konsekwencji – niebezpieczeństwa pęknięcia bądź ich odkształceń i zmiany rozstawu kół zestawu kołowego;

- nadmierna odporność termiczna wstawek kompozytowych i ich większa agresywność termomechaniczna w stosunku do kół – brak efektu bezpiecznika, polegającego na zużywaniu się wstawek bez nadmiernego wzrostu temperatury, w przypadku wadliwej pracy (niewyluzowania) hamulca;
- zwiększone zużycie powierzchni tocznych kół, co wymaga częstszego reprofilowania i skraca okresy eksploatacji kół, a przez to zaburza istniejące systemy utrzymania wagonów i negatywnie wpływa na całkowite koszty wdrożenia systemu;
- skłonność materiałów ciernych do powstawania wtrąceń metalicznych, mogących powodować rowkowania powierzchni tocznych kół;
- odmienne charakterystyki cierne wstawek typu K w stosunku do wstawek żeliwnych, co może ujemnie wpływać na zachowanie dynamiczne mieszanych składów pociągów, złożonych z wagonów hamowanych wstawkami kompozytowymi oraz żeliwnymi;
- niepełna zamienność wstawek różnych gatunków tego samego typu (K albo LL); oznacza to konieczność dalszego zacieśnienia dopuszczalnych tolerancji współczynników tarcia materiałów typów K i LL, wraz z rozwojem większej liczby materiałów, dla uzyskania ich zamienności;
- bardziej skomplikowana bieżąca kontrola właściwości ciernych poszczególnych partii produkcyjnych niż wstawek żeliwnych (konieczne trybologiczne badania stanowiskowe);
- niedostatecznie rozpoznane i zakwalifikowane rodzaje uszkodzeń, skutkujące przedwczesnymi wymianami wstawek kompozytowych;
- klinowe zużycie wstawek z materiałów organicznych – potrzeba optymalizacji przekładni hamulcowej przy kole;
- ustalenie obliczeniowej metodyki wstępnego określania masy hamującej wagonu za pomocą współczynnika k .

Badania

Badania stanowiskowe

Badania stanowiskowe mają na celu wstępne rozpoznanie właściwości trybologicznych wyrobów oraz ich selekcję do poligonowych badań hamulcowych w wagonach według Karty UIC 544-1 i następnie badań hamulcowych w warunkach zimowych oraz badań eksploatacyjnych.

W ramach prowadzonych prac badawczo-rozwojowych opracowano następujące programy badań stanowiskowych kompozytowych wstawek hamulcowych:

- zasadnicze programy homologacyjne dla każdego typu wstawek (K i LL);
- program do oceny właściwości trybologicznych wstawek typu LL w hamowaniach odpowiadających warunkom poligonowych prób hamulcowych pojedynczego wagonu dla wyznaczenia skuteczności hamulca wagonu;
- projekt programu do rozpoznawania właściwości ciernych wstawek typu K w warunkach zimowych;
- program do sprawdzania skłonności materiałów do tworzenia wtrąceń metalicznych.

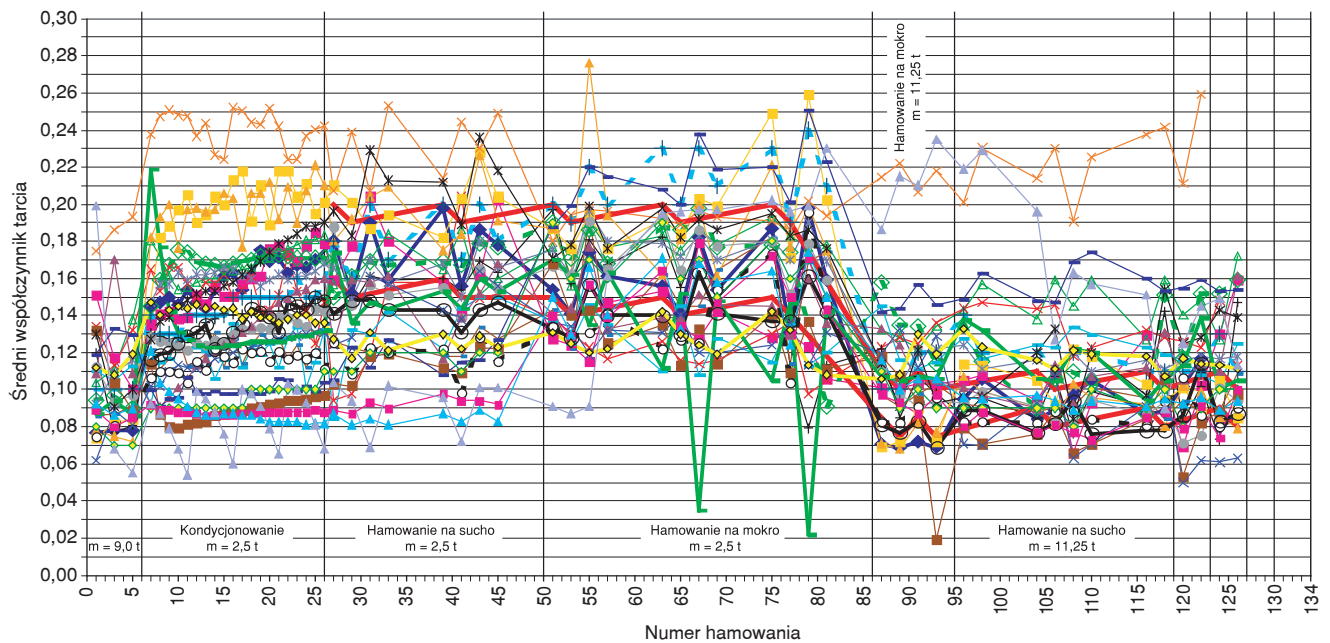
Program badawczy nr 1 dla kompozytowych wstawek hamulcowych o wysokim współczynniku tarcia (typu K) oraz Program badawczy nr 2 dla kompozytowych wstawek hamulcowych o bardzo niskim współczynniku tarcia (typu LL) są podstawowymi programami homologacyjnymi planowanymi do projektu nowego wydania Karty UIC 541-4 dla wstawek klocków hamulcowych z materiałów kompozytowych (organicznych bądź ze spieków

proszków metali) odpowiednich typów, przeznaczonych do wagonów towarowych do ruchu SS (S/SS) z prędkością maksymalną 120 km/h. Służą one do badania właściwości trybologicznych wstawek (poziomy i zmiany średnich współczynników tarcia, przebiegi chwilowych współczynników tarcia, zużycie, odporność na obciążenia termiczne, skłonności do powstawania uszkodzeń) w hamowaniach z parametrami odpowiadającymi warunkom zastosowania w wagonach towarowych. Programy realizuje się z klockami hamulcowymi w układzie 2Bg albo 2Bgu, tj. z dwoma wstawkami długości 320 mm i szerokości 80 mm albo z czterema wstawkami o długości 250 mm (z dwustronnym hamowaniem koła) i z kołem jezdny o grubości wieńca odpowiadającej połowie dopuszczalnego zużycia. Przed rozpoczęciem właściwych programów badawczych wykonuje się hamowania docierające wstawki hamulcowe, do uzyskania przylegania wstawek, na nabiegających krawędziach i co najmniej 85% powierzchni. Programy zawierają hamowania nagłe oraz hamowania ze zmniejszonymi naciskami klocków w warunkach suchych, z prędkości 100, 30, 120 i 60 km/h, w stanie próżnym (masa hamowana 2,5 t/koło) i ładowym (11,25 t/koło). Cztery hamowania z wymienionych prędkości w stanie ładowym, z temperaturami początkowymi podwyższonymi do 110–120°C, mają na celu zbadanie odporności wyrobu na *fading* (spadek współczynnika tarcia pod wpływem temperatury), natomiast hamowania symulujące zjazd z przełęczą św. Gotharda w stanie ładowym (hamowanie ciągłe z mocą 45 kW, utrzymujące stałą prędkość 70 km/h w czasie 34 min, zakończone hamowaniem do zatrzymania) – zdolność do bezpiecznej pracy na liniach górskich (ocenie podlegają poziom i zmiany współczynnika tarcia oraz zużycie i ewentualne wypalenia). Programy zawierają również hamowania na mokro w stanie próżnym (łącznie 36 hamowań do zatrzymania – nagłych i ze zmniejszoną siłą nacisku) i ładowym (8 hamowań nagłych), analogiczne, jak hamowania w stanie suchym, dla rozpoznania właściwości ciernych wstawek w obecności wody. Zraszanie pary ciekiej odbywa się zgodnie z wymaganiami określonymi w drugim wydaniu Karty UIC 541-4, tj. za pomocą jednego natryskiwacza umieszczonego nad kołem, zraszającego ciągle całą powierzchnię toczną koła (bez obrzeża), z wydatkiem wody 14 l/h – w trakcie hamowań „mokrych” i podczas schładzania koła po hamowaniach. Dla zmniejszenia poziomu naprężeń własnych w wieńcu koła i ograniczenia niebezpieczeństwa pęknięcia koła, po blokach najcięższych hamowań dodano piętnastominutowe hamowania ciągłe z mocą 10 kW, w celu kontrolowanego schłodzenia koła (czwarte hamowanie ma na celu osuszenie okładzin po hamowaniach mokrych).

Na rysunku 2 przedstawiono wyniki badań różnych gatunków wstawek typu LL pierwszej generacji według programu nr 2.

Program badawczy nr 3 jest programem homologacyjnym dla wstawek typu K, przeznaczonych do wagonów towarowych do ruchu SS o prędkości maksymalnej 140 km/h w stanie próżnym i 120 km/h w stanie ładowym (nacisk osiowy 18 t), wyposażonych w pojedyncze klocki jednowstawkowe.

Program nr 4 służy do wstępnego rozpoznania skłonności wstawek kompozytowych typu K i LL do tworzenia wtrąceń metalicznych. Warianty programu umożliwiają testowanie wstawek pod kątem przydatności zastosowania w pojedynczych (tylko wstawki K) i podwójnych klockach jedno- i dwuwstawkowych. Właściwy program (po dotarciu wstawek) zawiera 64 hamowania na mokro, w stanie próżnym, z małymi naciskami, z prędkości



Rys. 2. Wyniki badań stanowiskowych pierwszej generacji wstawek typu LL według programu 2, na tle wymaganego pasma wartości (granice w kolorze czerwonym); hamowania z prędkości 100 km/h i 120 km/h [2]

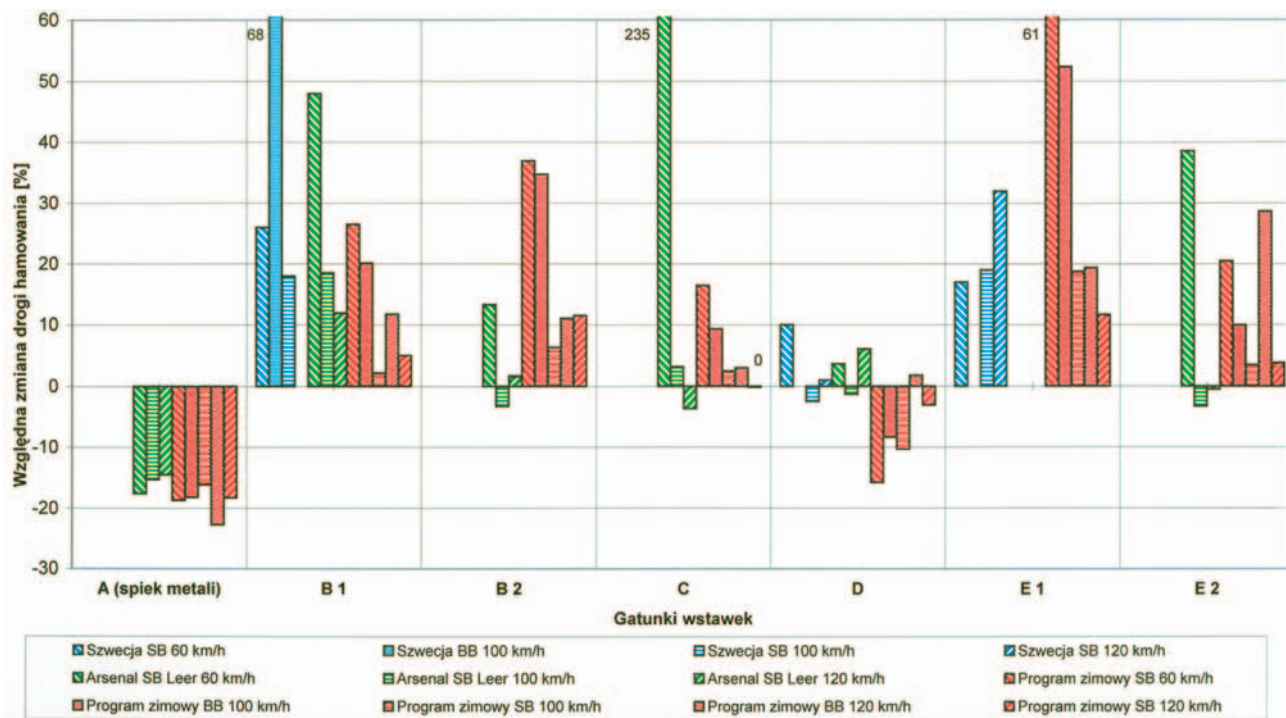
30, 60 i 100 km/h, w dwóch grupach oraz hamowania ciągłe z małą mocą (15 kW) w czasie 10 i 20 min, rozdzielone hamowaniami w stanie suchym. Program kończy 12 hamowań pełnych w stanie ładownym, na sucho, dla rozpoznania zdolności do usuwania powstałych wtrąceń. Warunki badania (wentylacja, temperatura, przerwy w badaniach) i zraszania koła są takie same, jak w programach podstawowych. Po każdym bloku hamowań dokonuje się rejestracji (zdjęcia) stanu powierzchni ciernej wstawek, kształtu i położenia ewentualnych wtrąceń metalicznych, których nie usuwa się w trakcie badania, a na koniec – także ilościowej oceny tych zjawisk (powierzchnia, albo procent powierzchni wstawek). Na rysunku 3 przedstawiono fotografię wstawki z materiału typu K, podatnego na powstawanie wtrąceń metalicznych w eksploatacji, po badaniu według programu nr 4.

Projekt programu homologacyjnego nr 5 (wcześniej oznaczonego jako nr 1A) do rozpoznawania właściwości ciernych wstawek typu K w surowych warunkach zimowych (definiowanych jako duża ilość lotnego śniegu i temperatura poniżej 0°C) został opracowany z uwzględnieniem doświadczeń uzyskanych przy



Rys. 3. Wygląd wstawek z materiału typu K, skłonnego do tworzenia wtrąceń metalicznych, po badaniach stanowiskowych według programu nr 4 „Powstawanie wtrąceń metalicznych” [2]

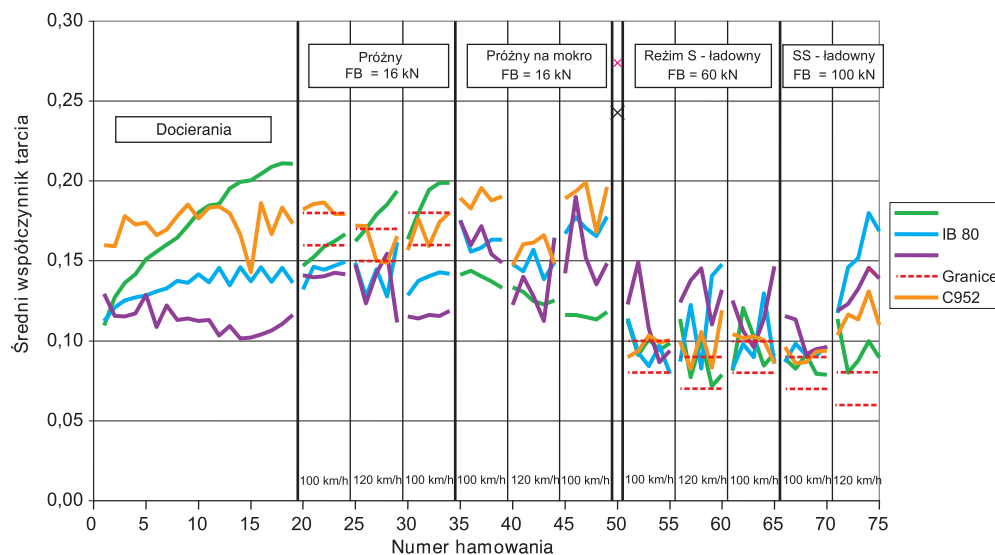
tworzeniu i weryfikacji programu dla organicznych wstawek do hamulców tarczowych przeznaczonych do surowych warunków zimowych (program 3B z Karty UIC 541-3). Program zawiera hamowania do zatrzymania w warunkach suchych i mokrych, z prędkości 30, 60, 100 i 120 km/h, z naciskami 7 i 9 kN i z masą 2,5 t, co odpowiada hamowaniom służbowym i pełnym wagonu towarowego w stanie próżnym. W programie nr 5 (nr 1A) zmodyfikowano warunki zraszania pary ciernej w stosunku do programu nr 1. Zwilżanie koła następuje za pomocą dwóch zraszaczy ustawionych po jednym przed każdym klockiem hamulcowymi (zgodnie z kierunkiem obrotu koła), tuż przed krawędzią nabiegającą pierwszej wstawki hamulcowej tak, aby cała ilość natryskiwanej wody dostawała się w szczelinę między kołem i wstawkami hamulcowymi. O połowę zwiększono przy tym wydatek wody natryskiwanej na koło – do 23 l/h (po 11,5 l/h dla każdego natryskiwacza). Aby zapobiec nadmiernemu wydłużeniu czasu schładzania koła po hamowaniach do wymaganej temperatury początkowej, co mogłoby prowadzić do nadmiernego nasączenia wstawek wodą, a przez to prowadzić do poślizgu wodnego, ustalono temperaturę natryskiwanej wody na +10°C do +15°C. Wprowadzenie zmian warunków zraszania, w stosunku do warunków programu nr 1, miało zapewnić dostarczenie wystarczającej ilości wody w obszar tarcia pary ciernej w celu odwzorowania warunków jej pracy w warunkach zaśnieżenia. Program testowano z sześcioma gatunkami kompozytowych wstawek hamulcowych z materiałów organicznych o różnych właściwościach ciernych w warunkach zimowych i z jednym gatunkiem ze spieku proszku metali. Weryfikacja programu nr 5, na podstawie wyników poligonowych badań hamulcowych w warunkach zimowych oraz badań hamulcowych wagonu na stanowisku rolkowym w komorze klimatycznej z symulacją warunków zimowych, była negatywna (rys. 4) [3]. Dlatego kontynuowane są prace nad zasadami badania właściwości ciernych wstawek kompozytowych w warunkach zimowych i nowym programem stanowiskowym do weryfikacji właściwości ciernych wstawek kompozytowych w warunkach zimowych.



Rys. 4. Badania hamulcowe w warunkach zimowych w Szwecji i w Arsenale oraz badania stanowiskowe według projektu programu zimowego. Względne zmiany dróg hamowania w śniegu lub na mokro w stosunku do warunków suchych [3]

W celu zmniejszenia pracochłonności i kosztów poligonowych badań hamulcowych wstawek typu LL opracowano stanowiskowy program badawczy „Warunki oceny hamulca”. Program ten umożliwia wstępną selekcję gatunków wstawek, które nie spełnią ciężkich warunków poligonowych badań hamulcowych. Program zawiera hamowania o parametrach hamowań z badań poligonowych wagonów w celu wyznaczenia skuteczności hamulca, tj. hamowania nagłe w stanie próżnym i ładowym z prędkości 100 i 120 km/h, z siłami nacisków właściwymi dla wagonów do ruchu S i SS. Układ programu jest odmienny niż pozostałych programów stanowiskowych – każde hamowanie jest powtarzane pięciokrotnie. Jedną z wersji programu zawiera również hamowania na mokro w stanie próżnym (rys. 5). W warunkach oceny wyników zdefiniowano granice dopuszczalnych wartości średniego współczynnika tarcia dla poszczególnych hamowań (oddzielnie dla wstawek w układzie 2Bg i 2Bgu – tabl. 1), kryterium powtarzalności wyników (średniego współczynnika tarcia) oraz kryteria stabilności i przebiegów chwilowych współczynników tarcia (rys. 6), do oszacowania zagrożenia występowania poślizgów kół w eksploatacji.

Trwają prace nad opracowaniem i weryfikacją stanowiskowych programów do badania wpływu materiału wstawek na bocznicowanie obwodów torowych oraz na obciążenia termomechaniczne kół.



Rys. 5. Przykładowe wyniki badań stanowiskowych wstawek typu LL według programu „Warunki oceny hamulca” [2]

Wyznaczenie skuteczności hamulca

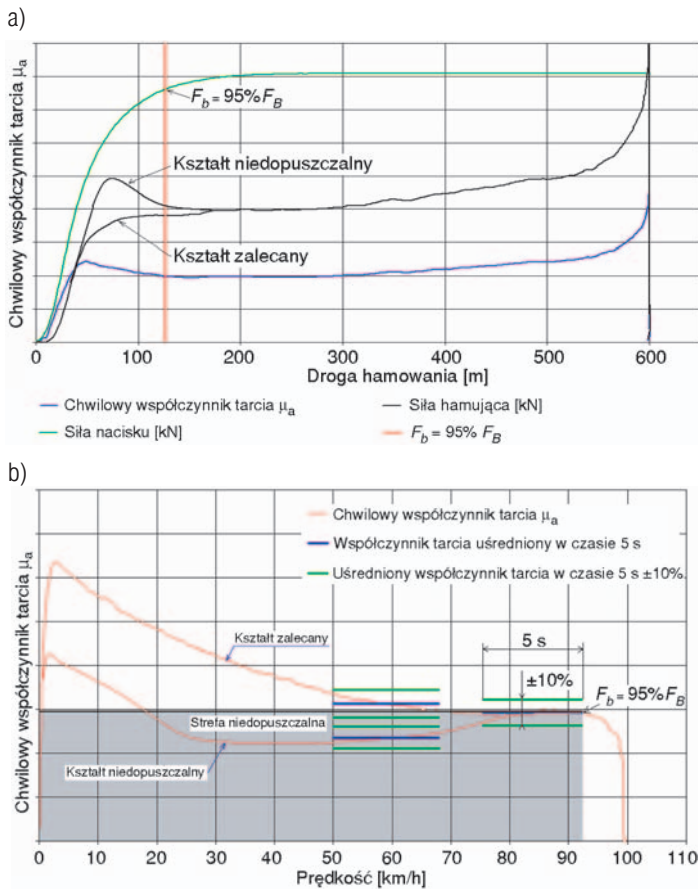
1. Poligonowe badania hamulcowe pojedynczego wagonu

Podstawowym celem poligonowych badań hamulcowych pojedynczych wagonów, wyposażonych w kompozytowe wstawki typu K bądź LL badanych gatunków, jest ustalenie skuteczności hamulców tych wagonów (wyznaczenie mas hamujących). Innymi celami badań było:

- porównanie różnych gatunków wstawek i różnych układów klocków: pojedynczy klocek jednowstawkowy, podwójne klocki jedno- albo dwuwstawkowe;
- określenie sił nacisku klocków niezbędnych dla poszczególnych klocków i obciążeń (wagon hamowany w reżimie S i SS);

- ocena zachowania się wstawek kompozytowych w hamowaniach w obecności wody (wydłużenia dróg hamowania, przyczepność kół do szyn).

2. Metoda określania masy hamującej za pomocą współczynnika k Czwarte wydanie Karty UIC 544-1 [9] umożliwia wyznaczenie mas hamujących wagonów towarowych wyposażonych we wstawki



Rys. 6. Kryteria oceny przebiegu chwilowego współczynnika tarcia w badaniach wstawek typu LL według programu „Warunki oceny hamulca”, do oceny prawdopodobieństwa wystąpienia poślizgów kół [2]
a) na początku hamowania, b) w trakcie hamowania

Tablica 1

Wymagane (dla prędkości 100 i 120 km/h) oraz pożądane (dla prędkości 30 i 60 km/h) wartości średniego współczynnika tarcia wstawek typu LL w badaniach stanowiskowych, w warunkach suchych; dwustronne hamowanie koła klockami dwuwstawkowymi [2]

Symulowane obciążenie	v_0 [km/h]	F_B [kN]	μ_m min	μ_m max
Wagony próżne do ruchu S i SS (obciążenie 2,5 t na koło)	30	16	0,30	0,36
	60	16	0,21	0,23
	100	16	0,17	0,19
	120	16	0,16	0,18
Wagon ładowny do ruchu S (obciążenie 11,25 t na koło)	30	60	0,19	0,23
	60	60	0,12	0,15
	100	60	0,09	0,11
Wagon ładowny do ruchu SS (obciążenie 11,25 t na koło)	120	60	0,08	0,10
	30	100	0,18	0,21
	60	100	0,11	0,13
(obciążenie 11,25 t na koło)	100	100	0,08	0,10
	120	100	0,07	0,09

ki z żeliwa P10, na drodze obliczeniowej, na podstawie współczynnika k , bez konieczności weryfikacji tak ustalonych mas hamujących w poligonowych próbach hamulcowych pojedynczego wagonu albo składu pociągu o długości 500 m.

Według tej metody, masa hamująca wagonu jest równa:

$$B_{(t)} = \frac{k \times \Sigma F_{dyn}}{9,81}$$

gdzie:

- k – wyznaczony empirycznie współczynnik bezwymiarowy, którego wartość zależy od układu klocków ($2 \times B_g$ lub $2 \times B_{gu}$) i od sumy sił nacisków dynamicznych klocków (wartości współczynników podano w karcie [9]);
- ΣF_{dyn} [kN] – suma sił nacisków dynamicznych wszystkich klocków (w ruchu).

Metoda jest prosta i łatwa w zastosowaniu. W obliczeniach pomija się:

- czas wdrożenia hamowania nagłego, wynikający z działania hamulca pneumatycznego,
- czas napełniania cylindra hamulcowego,
- współczynnik tarcia między wstawką i kołem,
- opory ruchu wagonu.

W celu umożliwienia przeprowadzania wstępnych obliczeń hamulców wagonów towarowych ze wstawkami typu K podjęto prace celem wyznaczenia współczynników k dla takich wagonów, na podstawie wyników prób hamulcowych pojedynczych wagonów. Dotychczasowe wyniki są następujące [1]:

- dla wagonów do ruchu S, wyposażonych we wstawki typu K w układzie klocków $2 \times B_g$, można znaleźć pewną zależność między masą hamującą wagonu i sumarycznym naciskiem wstawek hamulcowych; słaba korelacja (poniżej 0,8) wynika prawdopodobnie z różnic charakterystyk ciernych gatunków wstawek pierwszej i drugiej generacji oraz z różnic w budowie wagonów;
- stwierdzono tendencję obniżenia wartości współczynnika tarcia gatunków wstawek K drugiej generacji w stosunku do gatunków pierwszej generacji, co jeszcze bardziej oddala je od skuteczności wstawek homologowanych według wymagań Karty 541-4 z 1990 r. [8]; wymaga to uwzględnienia przy wyznaczaniu skuteczności hamulców wagonów i zamiennym stosowaniu wstawek różnych generacji i gatunków;
- do ustalenia metody obliczania skuteczności hamulców wagonów wyposażonych we wstawki K niezbędne jest dysponowanie większą bazą wyników prób hamulcowych, co umożliwi zmniejszenie wpływu typu wagonu na wyniki prób oraz uwzględnienie innych konfiguracji wstawek.

3. Skuteczność hamowania wstawek K w warunkach mokrych oraz wykorzystanie przyczepności kół do szyn

W celu ustalenia skuteczności hamulców wagonów wyposażonych we wstawki typu K kilku gatunków oraz zbadania przyczepności kół do szyn przeprowadzono poligonowe próby hamowań wagonów z natryskiwaniem wody na koła (na czas prób wagony wyposażono w urządzenia przeciwoślizgowe). W wyniku prób stwierdzono, że [1]:

- właściwości cierne wszystkich trzech badanych gatunków wstawek kompozytowych pogarszają się w obecności wody w stosunku do warunków suchych;

- utrata skuteczności hamowania jest na ogół umiarkowana, jednak w kilku przypadkach wydłużenie drogi hamowania jest znaczące (o 19–20%);
- wstawki z żeliwa P10 wykazują w tych samych warunkach zmniejszenie dróg hamowania: o 12% – w hamowaniach z prędkości 50 km/h, o 11% – z prędkości 100 km/h i o 4% – z prędkości 120 km/h;
- nie zarejestrowano przypadków zadziałania urządzeń przeciwpoślizgowych podczas hamowań w warunkach mokrych wstawkami żeliwnymi;
- w przypadku niektórych gatunków wstawek K dochodziło do wielokrotnego zadziałania urządzeń przeciwpoślizgowych podczas hamowań w stanie częściowo załadowanym, ze zraszaniem kół wodą, bądź w deszczu;
- poziom przyczepności kół do szyn w warunkach mokrych jest niższy w przypadku kół hamowanych wstawkami kompozytowymi niż wstawkami żeliwnymi;
- utrata przyczepności jest wyraźniejsza w przypadku większych nacisków osiowych;
- niższy poziom przyczepności przy użyciu wstawek kompozytowych wynika prawdopodobnie z ich działania wygładzającego i z efektu smarującego ściernych materiałów wiążących kompozytów; duża częstość prób i wykonywanie ich w tych samych miejscach mogły mieć niekorzystny wpływ na gromadzenie się produktów ściernia na kołach i na szynach.

Jazdy badawcze na liniach ze spadkami

W celu zbadania bezpieczeństwa ruchu na długich i dużych spadkach pociągów towarowych wyposażonych we wstawki kompozytowe typu K przeprowadzono próby całopociągowe na alpejskich liniach św. Gotharda w Szwajcarii oraz Tauern w Austrii. Przedmiotem badań były:

- prawidłowość działania hamulców;
- odporność wstawek na obciążenia cieplne (brak wypaleń i nadmiernego zużycia);
- stabilność współczynnika tarcia;
- odporność kół na powstawanie uszkodzeń termomechanicznych (niedopuszczalne naprężenia własne, trwałe deformacje);
- zużycia kół hamowanych wstawkami kompozytowymi w porównaniu do zużycia kół hamowanych wstawkami żeliwnymi;
- poziomy emitowanego hałasu toczenia.

W pierwszej kolejności przeprowadzono próby na południowym zjeździe z przełęczy św. Gotharda z jednorodnym pociągiem towarowym wyposażonym we wstawki kompozytowe typu K jednego gatunku. Wykonano 37 jazd badawczych, co stanowi obciążenie znacznie przewyższające średnią liczbę przejazdów europejskich wagonów przez linie z dużymi i długimi spadkami. Pociąg długości około 600 m i masie 1487 t, złożony z wagonów do ruchu S, odpowiadał – pod względem masy i długości – większości pociągów kursujących na tej linii. Próby prowadzono z progresywnym wzrostem obciążeń cieplnych, aby uzyskać jednoznaczne dane dotyczące termomechanicznego zachowania się kół i wstawek oraz przydatności poszczególnych metod hamowania do prowadzenia pociągów wyposażonych we wstawki kompozytowe. Przeprowadzono hamowania metodą:

- „zęby piły” (prędkość pociągu utrzymywana jest w określonych granicach – po rozpędzeniu się składu pod wpływem siły grawitacji do maksymalnej dopuszczalnej prędkości na

danym odcinku wdrażane jest hamowanie służbowe, utrzymywane aż do spadku prędkości do wartości ustalonej tak, aby uzyskać żądany czas przejazdu), z użyciem hamulca dynamicznego lokomotywy;

- regulacyjną (hamowanie ciągłe z takim sterowaniem hamulcem, aby uzyskać stałą, na danym odcinku, prędkość zjazdu) i hamulcem dynamicznym lokomotywy;
- „zęby piły” bez hamulca dynamicznego lokomotywy;
- regulacyjną bez hamulca dynamicznego lokomotywy.

Podsumowanie wyników badań

■ Moce hamowań składu pociągu metodą „zęby piły” były wyrównane na całym zjeździe. Przy metodzie regulacji obserwowano nierównomierny rozkład mocy hamowania, rozpoznawany przez duże rozbieżności wyników poszczególnych prób.

■ Zaobserwowano wystąpienie wyższych temperatur wieńców kół hamowanych wstawkami kompozytowymi i wyraźnie wyższych temperatur na powierzchniach tocnych tych kół niż w przypadku wstawek żeliwnych. Wyższe temperatury wieńców kół zwiększają obciążenia termomechaniczne tarcz kół i tym samym powodują powstawanie dużych rozciągających naprężeń własnych. W badanych kołach nie zanotowano jednak niebezpiecznego poziomu resztkowych naprężeń własnych. Wyższe temperatury na powierzchniach tocnych kół wywołują wystąpienie zmiennych powierzchniowych obciążeń termomechanicznych. Podczas badań nie stwierdzono jednak żadnych widocznych uszkodzeń powierzchni tocnych kół. Do oceny oddziaływania i skutków tych naprężeń w dłuższym okresie w niektórych zarządach kolejowych powołano specjalne służby, badające następstwa zjazdów z przełęczy górskich w większych liczbach pojazdów.

■ Nawet w wagonie poddanym największemu obciążeniu, całkowite zużycie wstawek po wszystkich przejazdach nie przekroczyło 30% ich całkowitej grubości.

■ W żadnym przypadku nie doszło do rozgorzenia materiału ciernego.

■ Wyniki pomiarów dynamicznych sił stycznych klocków hamulcowych nie wykazały, w żadnym przypadku, ani podczas hamowania na spadku, ani podczas hamowania pełnego na końcu zjazdu, istotnych niestabilności przebiegu współczynnika tarcia.

■ Zaobserwowano złuszczenia i wtrącenia metalu we wstawkach hamulcowych, co w żadnym przypadku nie spowodowało jednak uszkodzenia powierzchni tocnych kół. Badania eksploatacyjne powinny wykazać na ile jest to zjawisko poważne.

■ Przy jeździe z prędkością 80 km/h, bez hamowania pociągu wyposażonego we wstawki K uzyskano zmniejszenie emisji hałasu o około 10 dB (A) w stosunku do pociągu ze wstawkami żeliwnymi.

Wyniki prób i wypływające z nich wnioski odnośnie bezpieczeństwa uznano za zadowalające – umożliwiające dopuszczenie do eksploatacji nadzorowanej wstawki typu K o własnościach ciernych zbliżonych do właściwości wstawek użytych w badaniach, we współpracy z kołami typów zastosowanych podczas badań.

W drugiej kolejności przeprowadzono próby z niejednorodnym pociągiem złożonym z wagonów do ruchu S i SS, wyposażonych we wstawki kompozytowe typu K kilku gatunków oraz we wstawki żeliwne, na południowych zjazdach z przełęczy św. Gotharda i Tauern. Celem prób było zbadanie dynamicznego zachowania się niejednorodnego pociągu oraz obciążeń termome-

chanicznych kół i wstawek. Do badań użyto wstawki typu K, pozytywnie ocenione w badaniach stanowiskowych i w badaniach hamulcowych z odczepianiem wagonu. Pociąg o długości całkowitej około 600 m i masie około 1330 t (wliczając w to dwa niehamowane wagony pomiarowe i lokomotywę) składał się z 30 wagonów 4-osioowych, pochodzących z różnych zarządów kolejowych. Ogółem zrealizowano 53 przejazdy próbne z różnymi procentami mas hamujących, stosując różne metody hamowania.

- Okazało się, że do osiągnięcia takiego samego opóźnienia jak w przypadku pociągu hamowanego wyłącznie wstawkami żeliwnymi potrzebne były nieco większe spadki ciśnienia w przewodzie głównym.

- W przypadku regulacyjnej metody hamowania, z powodu odcińków poziomych na szlaku i na stacjach, na obydwu zjazdach nie udało się zachować stałej prędkości przejazdu.

- Prowadzenie pociągu było bezpieczne na obu liniach.

- Podczas hamowań na spadkach oraz hamowań do zatrzymania na końcu trasy nie zanotowano ani jednego przypadku gwałtownego zmniejszenia współczynnika tarcia (utruty hamowności) lub rozgorzenia wstawek hamulcowych typu K.

- Wystąpiło wydłużenie dróg pierwszych hamowań w stosunku do wymaganych wartości, co było spowodowane niewystarczającym stanem dotarcia wstawek.

- Hamowania pneumatyczne w nastawieniu P z hamowaniami elektrodinamicznymi lokomotywą wykazały daleko idące dotrzymanie wymaganych wartości dróg hamowania, uwzględniając różne możliwości hamulców dynamicznych lokomotyw SBB i ÖBB.

- Maksymalne temperatury na powierzchniach toczyń kół wagonów z hamulcami do ruchu SS były wyraźnie wyższe niż w przypadku hamulców S. Najniższe temperatury zarejestrowano, zgodnie z oczekiwaniami, ze wstawkami żeliwnymi.

- W przeciwieństwie do wstawek żeliwnych, przy hamowaniu wstawkami K wystąpiły zmienne oddziaływania termomechaniczne na powierzchnie toczyń kół.

- Pomiary wykazały obniżenie poziomu emisji hałasu o około 10 dB (A) w stosunku do pociągu ze wstawkami żeliwnymi.

Badania z pociągiem niejednorodnym wykazały, że możliwe jest stosowanie wstawek kompozytowych przy zachowaniu wszystkich wymogów bezpieczeństwa, nawet w ekstremalnych warunkach eksploatacyjnych, na liniach z dużymi i długimi spadkami. Nie pozwala to jednak na dokonanie globalnej oceny całego systemu wstawek kompozytowych – jak stwierdzono, może to nastąpić dopiero w wyniku oceny większej liczby różnych wyrobów na podstawie badań stanowiskowych i poligonowych oraz odpowiednio długiej eksploatacji nadzorowanej.

Analogiczne badania planowane są z pociągiem wyposażonym we wstawkę typu LL.

Badania charakterystyk hamowania wstawek kompozytowych w warunkach zimowych

Do rozpoznania właściwości ciernych poszczególnych gatunków wstawek w obecności wody i w warunkach zimowych przeprowadzono następujące próby i badania:

- badania stanowiskowe według podstawowego programu nr 1 dla kompozytowych wstawek hamulcowych typu K, zawierającego hamowania na sucho i na mokro, w stanie próżnym i tadowym, z parametrami hamowań pełnych i ze zmniejszonymi siłami naci-

sku klocków; badania wykonywano na stanowiskach należących do kolei i na stanowiskach producentów;

- poligonowe porównawcze badania hamulcowe składu pociągu wyposażonego we wstawkę typu K jednego gatunku, w warunkach suchych i w warunkach zimowych w Szwecji (w 1999 r.);

- badania w ujemnych temperaturach, na stanowiskach hamulcowych producentów (w latach 2000 i 2001);

- próby stanowiskowe ze zwiększonym wydatkiem wody (w 2001 r.);

- porównawcze badania hamulcowe z pojedynczym wagonem wyposażonym w kompozytowe wstawkę hamulcowe różnych gatunków, na rolkowym stanowisku hamulcowych w komorze klimatycznej stacji badawczej w Wiedniu, w warunkach suchych w dodatniej temperaturze, w warunkach suchych w temperaturze -10°C oraz z zaśnieżaniem par ciernych w temperaturze -10°C (w 2001 r. – z kilkoma gatunkami wstawek K i LL oraz żeliwnymi, a w 2003 r. – ze wstawkami typu K);

- uproszczone poligonowe próby hamulcowe grupy 5 wagonów wyposażonych we wstawkę typu K dwóch gatunków i niehamowanej lokomotywy, w warunkach zimowych w Szwecji (w 2002 r.);

- badania stanowiskowe siedmiu gatunków wstawek K (jeden, ze spieków metali, w obydwóch długościach wstawek), według „Programu zimowego dla kompozytowych wstawek hamulcowych typu K” na stanowisku kolejowym, w latach 2002 i 2003;

- uproszczone poligonowe próby hamulcowe grup 5 wagonów wyposażonych we wstawkę typu LL dwóch gatunków i niehamowanej lokomotywy, w warunkach zimowych w Szwecji (w 2004 r.).

Te, zakrojone na szeroką skalę, badania wstawek kompozytowych typu K z materiałów organicznych bądź spiekanych, z symulacją warunków zimowych oraz w warunkach zimowych umożliwiły wyselekcjonowanie kilku gatunków wstawek do dalszych badań i doprowadziły do następujących konkluzji [1].

1. Przy ocenie czynników wpływających na właściwości hamulcowe należy rozróżnić warunki mokre i warunki zimowe. Warunki mokre, w postaci deszczu, nie wywołują znaczącego obniżenia współczynnika tarcia. Warunki zimowe, charakteryzujące się silnymi opadami lotnego śniegu i temperaturami bliskimi zeru oraz zawirowaniami śniegu przy wysokich prędkościach hamowania, stanowią przypadek ekstremalny.

2. Ujemna temperatura otoczenia nie powoduje znaczących zmian współczynnika tarcia.

3. Udowodniono, że możliwe jest osiągnięcie zadowalających właściwości hamulcowych w warunkach zimowych, w hamowaniach, przy których dokonuje się oceny hamulców wagonów towarowych (100 i 120 km/h), nie tylko ze wstawkami kompozytowymi ze spieków proszków metali, ale także z materiałów organicznych (rys. 4).

4. W przypadku hamowań służbowych oraz hamowań z niższych prędkości, przy stosowaniu materiałów organicznych w pewnych przypadkach należy liczyć się z wydłużeniem dróg hamowania (nawet powyżej 50%).

5. Wstawkę ze spieków metali charakteryzują się przyrostami właściwości ciernych w wilgoci oraz śniegu, w całym zakresie prędkości – zachowują się więc podobnie jak wstawkę żeliwne i dlatego nie powinny powodować żadnych problemów eksploatacyjnych w warunkach zimowych.

6. W razie oblodzenia powierzchni ciernych wstawek należy spodziewać się przypadków poważnego wydłużenia dróg hamowania,

niezależnie od rodzaju materiału ciernego. Ponieważ powierzchnia koła współpracującego ze wstawką kompozytową jest bardziej gładka, prędkość usuwania warstwy lodu będzie w tym przypadku mniejsza niż w przypadku wstawek żeliwnych.

7. Dopuszczalne w badaniach stanowiskowych spadki współczynnika tarcia na mokro (maksymalnie o $\pm 15\%$ od wartości w stanie suchym [7]) skutkują dużo większymi wydłużeniami dróg hamowania wagonów w poligonowych badaniach hamulcowych w warunkach zaśnieżenia. Dlatego wartości te powinny zostać ograniczone – szczególnie jeśli chodzi o dopuszczalne obniżenie współczynnika tarcia (proponycja: $-5\%/+15\%$). Dla mniejszych prędkości prób (do 80 km/h) można by dopuścić większe tolerancje współczynnika tarcia na mokro, bądź zastosować inne warunki zraszania pary cierniej.

8. Do czasu ustalenia w karcie UIC 541-4 programu badań stanowiskowych, pozwalającego jakościowo ocenić właściwości ciernie wyrobu w warunkach zimowych, dla homologacji wstawek typu K proponuje się obowiązek udowadniania ich właściwości ciernych w warunkach zimowych, na drodze prób poligonowych bądź w komorze klimatycznej.

9. W przyszłości homologowane powinny być jedynie gatunki wstawek spełniające wymagania we wszystkich warunkach pogodowych.

10. Należy utrzymać konstrukcyjną rezerwę hamowności wagonów ze wstawkami K, określoną w *Wytocznych zastosowania kompozytowych wstawek hamulcowych typu K do wagonów towarowych* [5] do czasu, aż wszystkie używane wstawki typu K będą miały zadowalające właściwości ciernie w warunkach zimowych.

11. W każdym przypadku używania kompozytowych wstawek hamulcowych należy przestrzegać zalecenia Kart UIC 410 i 421, dotyczące zimowej eksploatacji i obsługi hamulców pneumatycznych.

Ostatnie zimowe badania hamulcowe, zrealizowane przez Green Cargo (Szwecja) z wersją rozwojową homologowanego materiału typu K, kiedy doszło do dużego oblodzenia wstawek (rys. 7) i w konsekwencji do niedopuszczalnego wydłużenia dróg hamowania wskazują, że istnieją jeszcze problemy do rozwiązania dla zapewnienia bezpieczeństwa ruchu wagonów wyposażonych w kompozytowe wstawki typu K z materiałów organicznych w różnych warunkach zimowych.

Wyniki uproszczonych poligonowych badań hamulcowych grup pięciu wagonów, wyposażonych we wstawki typu LL, dwóch gatunków (materiał organiczny ICER/Becorit IB80 oraz ze spieków metali Cosid C952) oraz niehamowanej lokomotywy, zrealizowanych w północnej Szwecji w pierwszej połowie 2004 r., oceniono następująco [2].

1. Oba badane wyroby wykazują nieznaczne różnice dróg hamowania w badaniach zimowych w stosunku do badań referencyjnych, w przypadku gatunku organicznego – skrócenie dróg hamowania o 6% (w stanie próżnym) do 13% (w stanie ładowym), a w przypadku materiału spiekowego – średnie wydłużenie dróg hamowania o 3% do 5%. Porównanie wyników z wynikami badań organicznych wstawek typu K pozwala przypuszczać, że obydwa gatunki LL mogą zostać ocenione, jako niekrytyczne pod względem zachowania zimowego.

2. Wyniki poligonowych badań hamulcowych gatunku IB80 są zgodne jakościowo z wynikami wcześniejszych badań stanowiskowych, ale różnią się co do wartości – skrócenie dróg hamowania w warunkach zimowych jest mniejsze niż zwiększenie



Rys. 7. Oblodzenie klocków hamulcowych z organicznymi wstawkami kompozytowymi typu K podczas badań hamulcowych w warunkach zimowych w północnej Szwecji; widoczna warstwa lodu między kołem i wstawkami [2]

współczynnika tarcia na mokro w badaniach stanowiskowych. Brak takiej zgodności wyników w przypadku gatunku C952 – w przeciwieństwie do wyraźnego zwiększenia współczynnika tarcia w badaniach stanowiskowych na mokro w hamowaniach, w śniegu stwierdzono nieznaczne wydłużenie dróg hamowania, tj. zmniejszenie współczynnika tarcia.

3. Stwierdzono zgodność wyników badań grup wagonów Tamns przy prędkości 100 km/h, wyposażonych w obydwa gatunki wstawek, z wynikami poligonowych badań skuteczności hamulca pojedynczego wagonu przeprowadzonych przez SBB z DB. Wyniki z wagonami Rs w stanie próżnym i ładowym osiągnęły jedynie 70% lub 76% wartości procentu mas hamujących wynikających z napisów hamulcowych, co wymaga wyjaśnienia.

4. Stwierdzona w badaniach zwiększona tendencja gatunku IB80 do powstawania płaskich miejsc wymaga szczególnej obserwacji w badaniach eksploatacyjnych.

Wyniki tych badań uznano za zadowalające i pozwalające na dopuszczenie do badań eksploatacyjnych. Stanowiły one także podstawę, oprócz wyników badań stanowiskowych, badań hamulcowych z pojedynczym wagonem (rys. 8), pomiarów hałasu, badań wpływu na bocznikowanie obwodów torowych i eksploatacji obserwowanej, do czasowego dopuszczenia do stosowania w wagonach do ruchu międzynarodowego w styczniu 2005 r. gatunku ze spieków metali oraz następcy materiału organicznego.

Próby eksploatacyjne wstawek kompozytowych

W 2000 r. Międzynarodowy Związek Kolei UIC dopuścił czasowo, na 3 lata, do prób eksploatacyjnych w ruchu RIV trzy gatunki wstawek typu K (Becorit 929-1, Cosid 810 oraz Jurid 816 – wszystkie z materiałów organicznych). Celem dopuszczenia było zebranie doświadczeń nt. zachowania się wstawek K i kół w różnorodnych warunkach eksploatacyjnych, na podstawie szerszej bazy danych oraz rozpowszechnienie wstawek typu K.

W ramach czasowego dopuszczenia do ruchu RIV, we wstawki typu K wyposażono około 3500 wagonów różnych właścicieli, natomiast szczegółowym badaniom eksploatacyjnym poddano 85 wagonów z sześciu kolejowych przedsiębiorstw transportowych (KPT).

Doświadczenia z trzyletniej eksploatacji nadzorowanej kilku gatunków wstawek (gatunki nie spełniające oczekiwań wycofano z eksploatacji, wprowadzając w ich miejsce inne; przebiegi wagonów od 30 tys. km do 300 tys. km; zastosowanie głównie w ruchu mieszanym; podwójne klocki jedno- i dwuwstawkowe) podsumowano następująco [1].

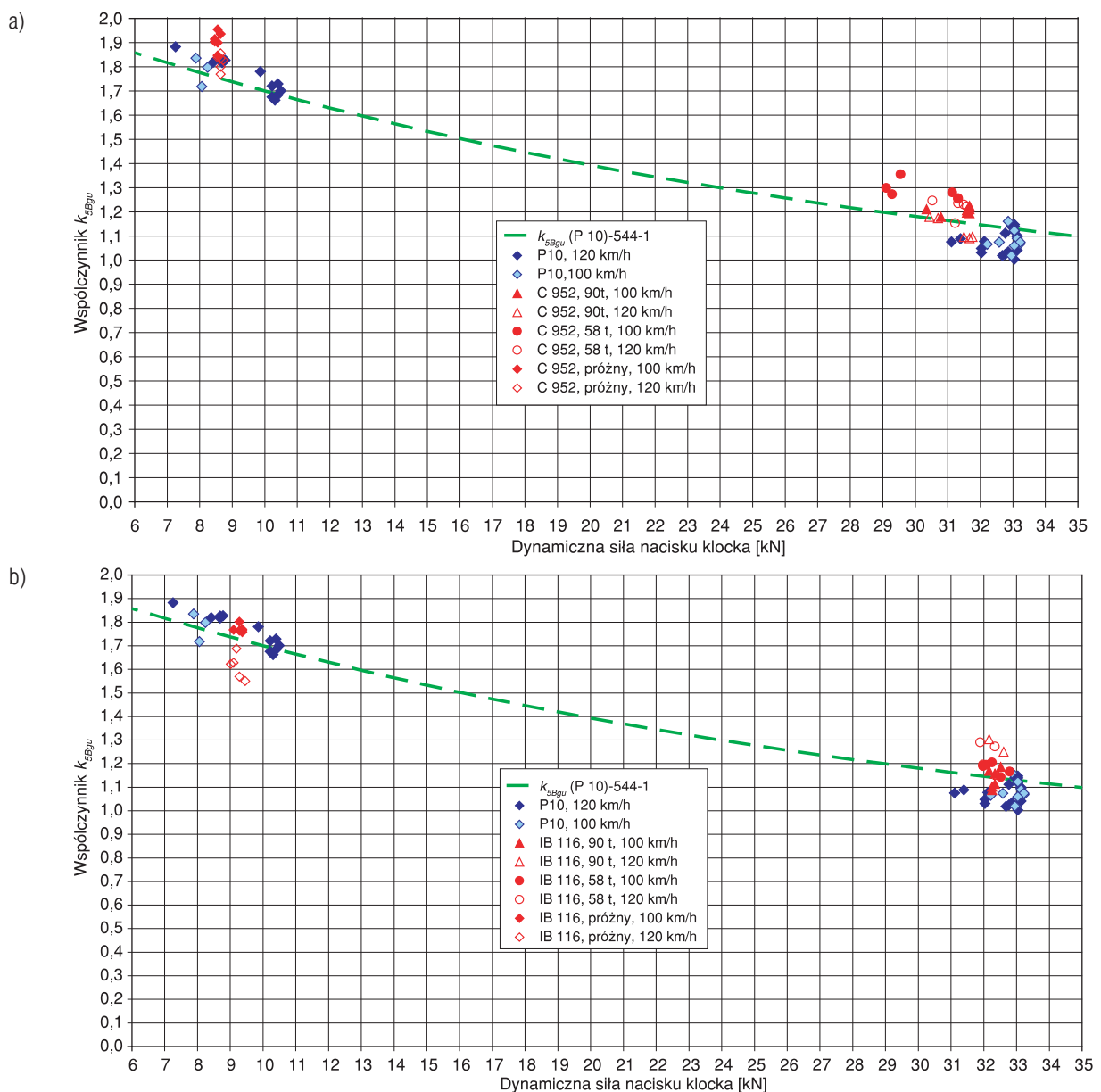
1. Wstawki hamulcowe typu K:

- odporność wstawek typu K na zużycie jest znacznie większa niż wstawek z żeliwa P10 (od 1,7 do ponad 3 razy);
- różnice w konstrukcji hamulców oraz warunków eksploatacji wagonów powodują duże rozrzuty zużycia tego samego gatunku wstawek; dalsze różnice wynikają ze specyfiki docierania się różnych gatunków wstawek na nowych albo świeżo przetoczonych kołach;
- nie stwierdzono znaczącego wpływu na zużycie wstawek K różnych konfiguracji klocków hamulcowych (2×Bg lub 2×Bgu);

- z wyjątkiem jednego wyrobu, wyłączonego z badań z powodu dużej tendencji do tworzenia wtrąceń metalicznych, wszystkie pozostałe gatunki wstawek prezentowały zadowalające wyniki pod względem awaryjności;
- niesprawności funkcjonowania hamulca pneumatycznego mogą powodować termiczne uszkodzenia wstawek hamulcowych, wymagających ich wymiany lub nawet wymiany koła;
- ze względu na niedostateczną jeszcze wiedzę odnośnie oceny uszkodzeń wstawek kompozytowych, wymiana wstawek K odbywa się, zgodnie z dotychczasowymi kryteriami oceny zużycia i uszkodzeń wstawek żeliwnych, co często powoduje ich przedwczesną wymianę, bez osiągnięcia potencjalnych granic zużycia.

2. Koła:

- wszystkie koła hamowane badanymi wstawkami K wykazują zwiększone zużycie powierzchni tocznej, skutkujące od 1,7 do



Rys. 8. Wyniki poligonowych badań hamulcowych wagonów wyposażonych we wstawki typu LL ze spieków proszków metali oraz z materiału organicznego w porównaniu z wynikami ze wstawkami żeliwnymi i teoretyczną krzywą dla wstawek żeliwnych według Karty UIC 544-1 [6]

a) materiał spiekany typu LL, b) materiał organiczny typu LL

2,6 razy szybszym przyrostem wysokości obrzeża niż w przypadku hamowania wstawkami żeliwnymi;

- różnice wyposażenia hamulcowego wagonów i warunków eksploatacji mają znaczący wpływ na zużycie tego samego wyrobu;
- nie stwierdzono wpływu typu klocków hamulcowych (jedno- albo dwuwstawkowe) oraz typu koła na wielkość zużycia kół;
- nie zaobserwowano żadnej różnicy w rozwoju naprężeń własnych w kołach hamowanych wstawkami kompozytowymi w stosunku do kół hamowanych wstawkami z żeliwa;
- nie stwierdzono istotnych różnic odnośnie uszkodzeń kół hamowanych wstawkami K w stosunku do wstawek żeliwnych;
- brak nadzwyczajnych uszkodzeń wstawek (wykruszenia, pęknięcia, wtrącenia metaliczne) bądź kół (płaskie miejsca, wykruszenia, nadpęknięcia termiczne, powstawanie żłobków) – z wyjątkiem jednego gatunku wycofanego z dalszej eksploatacji;
- niepewność oceny nieznanymi dotychczas postaciami zużycia i uszkodzeń mogą zwiększyć czasy postoju wagonów;
- do odtworzenia pełnego profilu koła hamowanego wstawkami kompozytowymi konieczne będzie prawdopodobnie głębsze toczenie koła, co może powodować zmniejszenie przebiegów do wymiany kół.

Obciążenia termomechaniczne

W postępowaniu homologacyjnym kół monoblokowych, według procedury określonej w Karcie UIC 510-5 [6], sprawdzana jest między innymi odporność kół na obciążenia termomechaniczne w wyniku hamowania hamulcami klockowymi. W pierwszej kolejności wykonuje się stanowiskowe próby hamulcowe – 10 hamowań ciągłych utrzymujących prędkość 60 km/h w czasie 45 min, z mocą zależną od średnicy koła – i tym samym dopuszczalnych obciążeń. Hamowania realizowane są za pomocą dwóch wstawek z żeliwa P10, długości 320 mm. Moce hamowań odpowiadają największym mocom w przypadku awarii hamulca klockowego ze wstawkami żeliwnymi. Dla kół o średnicy nominalnej z zakresu 840–1000 mm jest to moc 50 kW. Dopuszczalne odkształcenia koła ustalono na maksymalnie + 3 mm/–1 mm w stanie gorącym oraz +1,5 mm/–0,5 mm w stanie zimnym. Dopuszczalny wzrost naprężeń własnych w wieńcu nowego koła określono na maksymalnie + 200 MPa (rozciąganie), a w wieńcu koła przetoczonego na grubość dopuszczalnego zużycia – maksymalnie + 275 MPa.

Kolejne etapy obejmują badania stanowiskowe odporności koła na propagację pęknięcia oraz próby hamowań ciągłych na linii.

Podczas hamowania ciągłego z mocą 50 kW, utrzymującego prędkość 60 km/h, w czasie 45 min, wstawki żeliwne ulegają zużyciu przy temperaturze wieńca koła nie przekraczającej 750°C. Wstawki żeliwne odgrywają więc rolę „bezpieczników” nie przeciążając nadmiernie cieplnie kół (spełniających wymagania Karty UIC 510-5) – poziom naprężeń własnych spowodowanych nadzwyczajnymi obciążeniami termomechanicznymi (np. z powodu nie wyluzowania hamulca) nie przekracza poziomu naprężeń wywołanych normalnymi hamowaniami ciągłymi występującymi w eksploatacji. Nie ma więc potrzeby wdrażania żadnych szczególnych przepisów dotyczących utrzymania kół (homologowanych zgodnie z Kartą UIC 510-5), hamowanych żeliwnymi wstawkami hamulcowymi.

Jak wykazały badania całopociągowe na liniach alpejskich, przy stosowaniu wstawek kompozytowych typu K obciążenia termomechaniczne kół w normalnych hamowaniach ciągłych nie różnią się istotnie od obciążeń wywołanych przez wstawki żeliwne.

Jednakże, w przypadku wyjątkowych obciążeń spowodowanych uszkodzeniem hamulca, zachowanie się pary ciernej koło/kompozytowe wstawki typu K jest odmienne. Degradacja wstawek kompozytowych może nastąpić przy temperaturze wyższej niż wstawek żeliwnych (temperatury od 700°C do 950°C na głębokości 9 mm pod powierzchnią toczną koła i od 450°C do 700°C w strefie przejściowej wieńca w tarczę koła), a to oznacza, że przy wyższych obciążeniach termomechanicznych kół – w ekstremalnych przypadkach to koło, a nie wstawka, działa jak bezpiecznik.

W wyniku tych konstatacji utrzymano obowiązek nadzoru kół w eksploatacji, niezależnie od ich typu, według wymagań RIV i Karty UIC 510-2, jak również wprowadzono obowiązek badania poszczególnych gatunków wstawek pod względem obciążeń termomechanicznych kół, według opracowanego projektu programu badawczego. W dalszej perspektywie gatunki wstawek nie spełniające wymienionych wymagań powinny zostać zastąpione przez gatunki nie przeciążające kół. Ma to na celu podniesienie bezpieczeństwa i umożliwić rezygnację z nadzoru kół w eksploatacji.

Zużycie koła i geometria kontaktu koła z szyną

Znacznie większe zużycia powierzchni tocznych kół hamowanych wstawkami typu K niż żeliwnymi powoduje szybszy przyrost wysokości obrzeża oraz szybsze przekroczenie geometrycznych parametrów wymaganych dla bezpiecznej współpracy koła z szyną. Jako środek zapobiegawczy proponuje się zastosowanie profilu koła z obrzeżem pocienionym do ok. 30 mm, co może zrównoważyć wspomniane niekorzystne zjawisko, bez szkodliwego wpływu na spokojność jazdy.

Do definitywnego ustalenia pozostaje pocieniony profil koła (jego koordynaty), zalecany do współpracy ze wstawkami kompozytowymi.

Wpływ wstawek kompozytowych na przyczepność kół do szyn

Przy stosowaniu wstawek kompozytowych, szczególnie z materiałów organicznych, następuje zmniejszenie współczynnika przyczepności kół do szyn. Skutkuje to zwiększeniem zagrożenia występowania poślizgów kół podczas hamowań nagłych, zwłaszcza w reżimie SS, w stosunku do wstawek żeliwnych. Zmniejszenie przyczepności kół hamowanych wstawkami kompozytowymi do szyn można wytłumaczyć przede wszystkim wygładzeniem powierzchni tocznych kół. Innymi przyczynami mogą być produkty ścierania wstawek:

- przylegające do powierzchni tocznych kół,
- zalegające na powierzchniach szyn, w połączeniu z wilgocią.

Wymagania odnośnie skuteczności hamulców wagonów towarowych powodują określone zapotrzebowanie na przenoszenie siły hamowania na styku koło–szyna. Z określonych w Karcie UIC 543 wymaganych procentów mas hamujących, dla hamowań nagłych z prędkości 100 i 120 km/h, wynikają opóźnienia hamowania. Opóźnienia te mogą zostać osiągnięte tylko wówczas, gdy współczynniki tarcia tocznego kół po szynach będą większe niż wartość wynikająca z wymagań Karty 543 [1]:

Stan załadowania	λ [%]	a_m [m/s ²]	τ_m potrzebny
Próżny	100–125	0,790–0,956	0,080–0,097
Częściowo załadowany	100–105	0,790–0,823	0,080–0,084
Ładowny	65–84	0,558–0,684	0,057–0,070

Wieloletnie doświadczenia pokazują, że współczynniki tarcia toczenia kół po szynach (a dokładnie – bezwymiarowe „obliczeniowe współczynniki tarcia toczonego”) przy prędkościach 100–120 km/h, wynoszą:

- 0,12 – przy stosowaniu wstawek żeliwnych;
- 0,10 – przy używaniu wstawek ze spieków proszków metali;
- 0,08 – przy stosowaniu organicznych wstawek hamulcowych typu K.

Jak widać, przy zastosowaniu wstawek z materiałów organicznych rzeczywisty i wymagany współczynnik przyczepności są tej samej wielkości i brak jest rezerwy. Krytyczne są przy tym stany „próżny” i „częściowo załadowany”. W stanach tych nieprzekroczenie rzeczywistej przyczepności, i tym samym ograniczenie niebezpieczeństwa poślizgów kół, jest możliwe jedynie przy zaprojektowaniu hamulców w dolnych granicach wymaganych skuteczności (rys. 9).

Pozytywne doświadczenia eksploatacyjne z nowo budowanymi wagonami wyposażonymi we wstawki typu K wykazują, że możliwe jest zmieszczenie się w zawężonych granicach. Poważniejszymi zadaniami mogą być przebudowy istniejących wago-

nów towarowych pod kątem zastosowania wstawek kompozytowych typu K bądź LL, między innymi ze względu na stan przekładni hamulcowej.

Wpływ produktów ścierania na obwody torowe

Jak stwierdzono, zastosowanie kompozytowych wstawek hamulcowych może negatywnie wpływać na bocznikowanie obwodów torowych i tym samym na działanie urządzeń SRK. Dlatego tymczasowo wprowadzono obowiązek badania oddziaływania wstawek kompozytowych na urządzenia SRK, w przypadku których stwierdzono takie problemy (na SNCF). Ponadto podjęto prace inwentaryzacyjne europejskich urządzeń SRK oraz działania mające na celu opracowania stanowiskowej metody badań wstawek pod tym kątem.

Wpływ na dynamikę wzdłużną pociągu

W trakcie hamowań nagłych pociągu z niskich prędkości (rzędu 30 km/h) lub o krótkim czasie nacisku klocków, szczególnie w nastawieniu P, powstaje wzdłużna siła ściskająca na zderzakach. Wynika to z faktu, że hamulec pneumatyczny UIC, podczas hamowań z krótkim czasem działania wywołuje żądany efekt hamowania jedynie w przedniej części pociągu. Pomimo braku równoczesności ustalenia się sił hamujących w całym składzie pociągu, może nastąpić zarówno zmniejszenie, jak i zwiększenie wzdłużnych sił ściskających.

Jednym ze znanych sposobów pozwalających znacznie zredukować wzdłużne siły ściskające jest sztuczne zwiększanie czasu wzrostu sił hamujących w przedniej części składu pociągu, przez wybranie nastawienia G dla hamulca lokomotywy (tzw. hamulec G/P), bądź ewentualnie również dla pierwszych pięciu wagonów (tzw. „długa lokomotywa”).

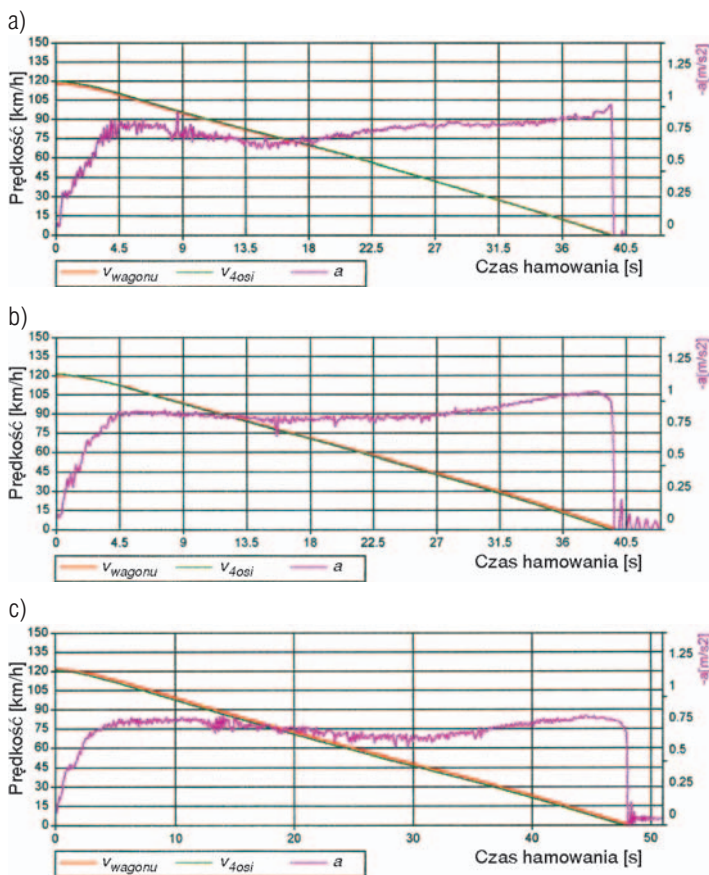
Przeprowadzone badania i obliczenia symulacyjne doprowadziły do wniosku, że wprowadzenie do eksploatacji wstawek typu K, o stabilnym przebiegu współczynnika tarcia, będzie miało następujący wpływ na dynamikę wzdłużną pociągów towarowych eksploatowanych w nastawieniu P [1]:

- w przypadku pociągów jednorodnych wyposażonych we wstawki typu K, poziom sił na zderzakach będzie znacznie mniejszy, co sprawi, że można będzie zwiększyć masę pociągów w nastawieniu G/P, ustaloną obecnie na 1200 t (karta UIC 421);
- w okresie przejściowym, przy mieszanym wyposażeniu wagonów we wstawki K i wstawki żeliwne, z losową liczbą wagonów ze wstawkami kompozytowymi, zwłaszcza, jeśli ich liczba sięgałaby około połowy składu pociągu, obecność wagonów ze wstawkami K mogłaby wywołać zmniejszenie sił wzdłużnych – w przypadku umieszczenia ich w początku składu, albo znaczne zwiększenie sił – przy umiejscowieniu wagonów ze wstawkami typu K w tylnej części pociągu.

Wpływ na prawdopodobieństwo wykolejenia mógłby być złagodzony albo poprzez wyłączenie próżnych wagonów dwuosioowych (z wyjątkiem czoła lub końca składu), albo poprzez ograniczenie masy pociągu w reżimie G/P

Dostosowanie przepisów

Jednym z wyników prac badawczo-rozwojowych dotyczących wstawek typu K jest analiza aktualności przepisów RIV oraz Kart UIC ze wskazaniem niezbędnych zmian.



Rys. 9. Opóźnienia hamowania w badaniach hamulcowych wagonu wyposażonego we wstawki typu K i wynikające z nich zapotrzebowanie na obliczeniowy współczynnik tarcia toczonego kół po szynach [1]

- a) wagon próżny, 120 km/h: $a_m = 0,797 \text{ m/s}^2 \rightarrow \tau_m \approx 0,081$; b) wagon częściowo załadowany; 120 km/h: $a_m = 0,803 \text{ m/s}^2 \rightarrow \tau_m \approx 0,082$; c) wagon ładowny; 120 km/h: $a_m = 0,683 \text{ m/s}^2 \rightarrow \tau_m \approx 0,070$

Dalsze działania

Kilka gatunków kompozytowych wstawek hamulcowych o wysokim (typu K) oraz niskim współczynniku tarcia (typu LL) osiągnęło dojrzałość umożliwiającą ich tymczasowe dopuszczenie do komunikacji międzynarodowej, ale nie oznacza to zakończenia prac badawczych dotyczących całego systemu wagonów towarowych ze wstawkami kompozytowymi. Aby wstawki kompozytowe mogły być dla potencjalnych klientów pełnowartościową alternatywą wstawek żeliwnych, konieczne są i realizowane są następujące prace:

- opracowanie wytycznych zastosowania wstawek typu LL;
- badania całopociągowe na liniach górskich oraz płaskich dotyczących hamowania oraz dynamiki wzdłużnej składu wyposażonego we wstawki typu LL;
- rozwój dalszych gatunków wstawek typu LL do różnych przypadków zastosowania (hamulce do ruchu S i SS);
- opracowanie i walidacja nowego programu stanowiskowego „Warunki zimowe“ dla wstawek typu K (i LL);
- opracowanie procedury homologacyjnej wstawek kompozytowych w zakresie bocznikowania obwodów torowych;
- ograniczenie odporności termicznej wstawek kompozytowych, dla zapobiegania uszkodzeń kół w przypadku zablokowania hamulca;
- opracowanie nowego wydania Karty UIC 541-4, w celu ustanowienia przepisu dotyczącego homologacji wstawek typu K i LL;
- nowelizacja Karty UIC 543 pod kątem stosowania zmodyfikowanych zaworów rozrządczych (zawory z załamaną charakterystyką) w wagonach towarowych do ruchu SS ze wstawkami K;
- optymalizacja sterowania samoczynnej zmiany hamowności w funkcji obciążenia dla wagonów hamowanych wstawkami K;
- opracowanie i ustanowienie zasad obliczania skuteczności hamulców wagonów ze wstawkami typu K (a w przyszłości także dla wstawek typu LL), analogicznych jak dla wagonów ze wstawkami żeliwnymi P10;
- badania przyczepności do szyn kół hamowanych wstawkami kompozytowymi, w celu ograniczenia zjawiska poślizgów kół i powstawania płaskich miejsc;
- ustalenie środków w celu zagwarantowania powtarzalnej jakości wstawek kompozytowych;
- zdefiniowanie kryteriów oceny wstawek kompozytowych w eksploatacji i w utrzymaniu (katalog uszkodzeń);
- kontynuacja analizy i oceny wyników badań eksploatacyjnych w zakresie zużycia kół i geometrii kontaktu koło–szyna, zwłaszcza dla dużych przebiegów między reprofiliacjami kół;
- ustalenie na podstawie reprezentatywnej liczby wagonów i gatunków wstawek kosztów cyklu życia (LCC) wagonów ze wstawkami kompozytowymi typu K i LL.

Podsumowanie

Ochrona społeczeństwa przed hałasem emitowanym przez środki transportu nabiera coraz większego znaczenia w Unii Europejskiej, czego wyrazem są zmiany prawodawstwa w tym zakresie. Dlatego koleje europejskie podjęły działania w celu opracowania efektywnych technicznie i ekonomicznie środków ograniczenia emisji hałasu i wdrożenia ich na kolejach, dla uzyskania w niedługiej perspektywie istotnej redukcji hałasu. Jednym z głównych źródeł hałasu w zakresie prędkości konwencjonalnych jest toczenie się kół po szynach. Hałas ten natęża się wraz ze wzrostem

błędów kształtu i chropowatości powierzchni toczyń kół oraz nierówności i chropowatości powierzchni szyn. Żeliwne wstawki hamulcowe, powszechnie stosowane w hamulcach klockowych wagonów towarowych, powodują większą chropowatość powierzchni toczyń kół niż wstawki z organicznych materiałów kompozytowych, bądź ze spieków proszków metali. Zastąpienie wstawek żeliwnych wstawkami z kompozytów prowadzi do znacznego obniżenia poziomu hałasu emitowanego w ruchu towarowym (o 8...10 dB(A), przy prędkości 100 km/h).

Ze względu na charakterystyki ciernie materiałów kompozytowych, możliwe są dwie drogi postępowania do wdrożenia w hamulcach klockowych wagonów towarowych wyrobów zastępujących konwencjonalne wstawki żeliwne.

1. W pojazdach nowych – zastosowanie wstawek z materiałów typu K, o nominalnym współczynniku tarcia równym 0,25, tj. znacznie wyższym niż współczynnik tarcia wstawek żeliwnych, ale mniej zróżnicowanym w zależności od prędkości hamowania i obciążeń niż w przypadku wstawek żeliwnych, z odpowiednim dopasowaniem układu hamulcowego na etapie jego projektowania.

2. W wagonach już eksploatowanych – zastosowanie wstawek typu LL, o charakterystyce cierniej zbliżonej do charakterystyki wstawek żeliwnych, które mogłyby zastąpić konwencjonalne wstawki z żeliwa szarego, możliwie bez konieczności wprowadzania jakichkolwiek zmian w układach hamulcowych wagonów.

Wdrożenie wstawek kompozytowych do stosowania w wagonach towarowych wymaga uprzedniego zbadania i rozwiązania wielu problemów natury technicznej:

- zagwarantowanie wymaganej skuteczności hamulca (drogi hamowania);
- zapewnienia bezpiecznych dróg hamowania we wszystkich warunkach meteorologicznych;
- zagwarantowanie braku negatywnego wpływu kompozytowych wstawek hamulcowych na funkcjonowanie urządzeń zabezpieczenia ruchu kolejowego (bocznikowanie obwodów prądów szynowych);
- zapewnienie bezpieczeństwa ruchu mieszanych składów pociągów, złożonych z wagonów hamowanych wstawkami kompozytowymi oraz wagonów ze wstawkami żeliwnymi (dynamika wzdłużna mieszanych składów pociągów);
- zagwarantowanie właściwej geometrii kontaktu kół z szynami i nie przeciążania termicznego koła jezdnego w przypadku awarii (zablokowania) hamulca;
- nie zwiększenie całkowitych kosztów zakupu, utrzymania i eksploatacji wagonów towarowych (koszty LCC).

Rozległe i kompleksowe prace badawczo-rozwojowe z udziałem producentów materiałów ciernych dla kolejnictwa, kolei europejskich i instytucji naukowych doprowadziły do rozwoju nowej generacji materiałów ciernych typu K, co umożliwiło czasowe dopuszczenie do międzynarodowej eksploatacji dwóch gatunków.

Przeprowadzone prace wykazują, że możliwe jest wdrożenie do stosowania w hamulcach klockowych pociągów towarowych wstawek hamulcowych z materiałów kompozytowych (zarówno ze spieków metali, jak i organicznych), przy zapewnieniu bezpiecznego funkcjonowania całego systemu eksploatacji pojazdów i ruchu kolejowego.

Prace badawczo-rozwojowe nowoczesnych materiałów typu LL są daleko zaawansowane. W wyniku tego UIC dopuściło w lutym 2005 r. dwa gatunki wstawek typu LL (jeden ze spieków me-

tali i jeden organiczny) do komunikacji RIV, w celu zdobycia doświadczeń eksploatacyjnych u większej liczby zainteresowanych użytkowników.



Literatura

- [1] ERRI B126/RP33 Fragen des Bremswesens – Einsatz von Verbundstoffbremssohlen in Güterwagen – Zusammenfassender Bericht K-Sohlen, Utrecht Januar 2004.
- [2] Materiały Grupy Roboczej ERRI/UIC B126.13 *Kompozytowe wstawki hamulcowe do wagonów towarowych*.
- [3] Osiak A.: *Porównawcza ocena wyników badań stanowiskowych, badań poligonowych w warunkach zimowych oraz badań w komorze klimatycznej RTA w Wiedniu celem zbadania przydatności programu stanowiskowego do oceny właściwości hamulcowych kompozytowych wstawek hamulcowych w warunkach zimowych*. PKP CARGO S.A., Warszawa 2004 (praca nie publikowana).
- [4] Status and options for the reduction of noise emission from the existing European rail freight, wagon fleet – including a third-party assessment of the UIC/UIP/CER Action Program Noise reduction in Freight Traffic. Final Report, AEA Technology Rail BV, Utrecht, January 2004
- [5] UIC – Frage 4.04.501 Lärmreduzierung – Einbau von Verbundstoffsohlen in Güterwagen – Baurichtlinie V-BKS (K), 2. Ausgabe, UIC-Unterausschuss 04 Bremswesen, Juni 2002.
- [6] UIC – Frage 5-110 Lärmreduzierung – Einbau von Verbundstoffbremsklotzsohlen – Beschlussantrag zur vorläufigen Freigabe von Verbundstoff-Bremsklotzsohlen Typ „LL“ (niedriger Reibwert) für den internationalen Verkehr, Stand 27.01.2005.
- [7] UIC-Kodex, Merkblatt 510-5V Technische Zulassung von Vollrädern, 1. Ausgabe, Februar 2003.
- [8] UIC-Kodex, Merkblatt 541-4 VE Bremse – Bremsen mit Bremsklotzsohlen aus Verbundstoff, 2. Ausgabe vom 01.10.1990.
- [9] UIC-Kodex, Merkblatt 544-1V Bremse – Bremsleistung, 4. Ausgabe, Mai 2004.
- [10] UIC-Kodex, Merkblatt 832V Technische Lieferbedingungen für Bremsklotzsohlen aus Phosphorgusseisen für Triebfahrzeuge und Wagen, 3. Ausgabe, Januar 2004.

Autor
mgr inż. Adam Osiak
Centrala PKP CARGO S.A.

➤ Dokończenie ze s. 40

- [8] Januszewski J.: *Comparison of Visibility and Geometry of Galileo and GPS 27 satellites constellation*. Reports on Geodesy, no 2(62), ISSN 0867-3179, Warsaw 2002.
- [9] Januszewski J.: *System GPS i inne systemy satelitarne w nawigacji morskiej*. Fundacja Rozwoju Akademii Morskiej, Gdynia 2004.
- [10] Kaplan E.D.: *Understanding GPS Principles and Applications*. Boston London, Artech House Publishers 1996.
- [11] Seeber G.: *Satellite Geodesy*. de Gruyter, Berlin New York 2003.
- [12] *Telematics Solutions for People, for Business, for Government*. Thales Telematics SAS, Malakoff 2003.
- [13] Troegl J.T. others: *EGNOS and LEO for Telematics Applications in the Inland Waterway Segment – Project MUTIS*. The European Navigation Conference GNSS 2004, Rotterdam 2004.
- [14] Zunker H.: *Road Transport and Maritime EGNOS Application Terminals*. The European Navigation Conference GNSS 2004, Rotterdam 2004.

Autor
prof. Jacek Januszewski
Akademia Morska w Gdyni

➤ Dokończenie ze s. 42

Komitet OSŻD wydaje w języku chińskim, niemieckim i rosyjskim w ciągu roku 6 numerów czasopisma *Biuletyn OSŻD*. Zawiera on informacje o działalności OSŻD, artykuły na aktualne tematy związane z problemami doskonalenia i rozwoju transportu kolejowego oraz dotyczące wymiany doświadczeń w zakresie eksploatacji, wdrażania nowej techniki i technologii a także dróg podnoszenia wskaźników ekonomicznych pracy kolei. Wydawane są również po rosyjsku, chińsku, niemiecku i angielsku sprawozdania z działalności OSŻD oraz podstawowe dane statystyczne dotyczące transportu kolejowego, jak również rozkład jazdy pociągów „Europa – Azja”.



Nazwy elementów struktury organizacyjnej OSŻD są jedynie tłumaczeniem tekstu rosyjskiego, umiejscowienie poszczególnych nazw jest zgodne z oryginałem wziętym z Internetu www.osjd/images/schemaosjd.gif

Autor
mgr inż. Franciszek Krawczyk