

Jacek Bułhak, Marek Abramczyk, Ewa Buchalska

Kompozytowe wstawki hamulcowe w taborze kolejowym jako ekonomiczna i przyjazna środowisku alternatywa dla wstawek żeliwnych

W ostatnich latach w Unii Europejskiej duży nacisk kładzie się na ochronę środowiska i na aspekt ekologiczny eksploatacji urządzeń technicznych. Również w zakresie transportu szynowego podjęto prace mające na celu uczynienie go mniej uciążliwym dla środowiska i bardziej komfortowym dla podróżnych. Jednym z elementów uciążliwych, szczególnie dla bezpośredniego otoczenia linii kolejowych, jest hałas. Badania wykazały, że powodem jego powstawania są między innymi hamulcowe wstawki żeliwne prowadzące w eksploatacji do poligonizacji kół, które w takim przypadku stają się źródłem hałasu. Związane z ciągłym rozwojem transportu kolejowego zwiększanie prędkości pociągów i częstotliwości kursów powoduje dalszy wzrost natężenia hałasu, zatem jego redukcja staje się jednym ze strategicznych celów kolei europejskich.

Zmniejszenie emisji hałasu poprzez likwidację przyczyny jego powstawania (poligonizacja kół) okazała się bardziej efektywna i mniej kosztowna niż budowa ścian dźwiękochłonnych przy torach. Z tego względu Zgromadzenie Generalne Wspólnoty Kolei Europejskich 6.12.1997 r. zleciło w Berlinie, z inicjatywy kolei SBB i DB, odpowiednie prace zmierzające do eliminacji i zastąpienie w transporcie kolejowym używanych do tej pory wstawek żeliwnych wstawkami kompozytowymi [1]. Uzupełniając ten plan działania w celu redukcji hałasu, podkomitet 5T, obradujący w ramach Międzynarodowego Związku Kolejowego (UIC), zlecił Europejskiemu Instytutowi Badań Kolejnictwa (ERRI) stworzenie zało-



Fot. 1. Kompozytowa wstawka hamulcowa, długości 350 mm, wykonana z materiału FR502

żeń technicznych stosowania wstawek z tworzywa sztucznego dla kolei zrzeszonych w UIC. Dla nowo budowanych wagonów przyjęto zastosowanie wstawek typu K o średnim współczynniku tarcia 0,25, natomiast w istniejących wagonach, wykorzystując istniejące układy hamulcowe, przyjęto że będzie można dokonać zamiany żeliwnych wstawek hamulcowych na wstawki typu LL, o współczynniku tarcia zbliżonym do żeliwnego i zawierającym się w przedziale 0,08–0,12.

Firmy produkujące materiały cierne od wielu lat prowadzą badania nad opracowaniem kompozytowych wstawek hamulcowych. Uzyskane materiały kompozytowe różnych firm są stosowane, na razie w ograniczonym zakresie, w wagonach towarowych i pasażerskich taboru kolejowego Unii Europejskiej. Zaawansowane programy badawcze nad wdrożeniem wstawek kompozytowych typu K do międzynarodowego ruchu towarowego są prowadzone w Niemczech, Francji, Szwajcarii oraz w Skandynawii (eksploatacja w trudnych warunkach zimowych). Wstawki kompozytowe są ponadto powszechnie używane od wielu lat w Rosji, Turcji, Egipcie, Indiach (np. w 2001 r. koleje indyjskie zakupiły ich 1,2 mln szt.) i w wielu innych krajach.

W Polsce również zostały podjęte działania w kierunku opracowania wstawek kompozytowych typu K i LL. Badania podjęła firma Frenoplast, specjalizująca się do tej pory w produkcji kompozytowych okładzin ciernych do hamulców tarczowych pojazdów szynowych. Intensywne prace badawczo-rozwojowe doprowadziły do uzyskania w 2002 r. świadectwa dopuszczenia do eksploatacji wstawek kompozytowych typu LL z materiału FR502, wydane przez Główny Inspektorat Kolejnictwa. Niedawno z pozytywnym wynikiem zakończono 6-miesięczne badania eksploatacyjne wstawek na elektrycznych zespołach trakcyjnych EN57 i EN71 w Mazowieckim i Małopolskim Zakładzie Przewozów Regionalnych – eksploatacja obserwowana trwa nadal.

W 2002 r. firma Frenoplast wraz z Politechniką Śląską uzyskała grant celowy z Komitetu Badań Naukowych na opracowanie technologii i uruchomienie produkcji wstawek kompozytowych.

Właściwości wstawek kompozytowych FR502

Wstawki kompozytowe FR502 są wstawkami typu LL o współczynniku tarcia zbliżonym do wstawek z żeliwa P10. Zostały zaprojektowane z myślą o zastąpieniu wstawek żeliwnych bez konieczności modyfikowania układu hamulcowego wózków pojazdów szynowych. Składają się z metalowego zbrojenia nadającego wstawce wytrzymałość mechaniczną oraz z kompozytowego materiału ciernego. Wstawki występują w standardowych rozmiarach, tj. o długości 250, 320 i 350 mm i gabarytowo są zgodne z normą ZN-94/PKP-3517-04 (fot. 1).

Materiał cierny wstawki stanowi kompozycję żywic syntetycznych, elastomerów, układu proszkowych modyfikatorów tarcia i wypełniaczy oraz włókien metalowych i mineralnych. Żyvice i elastomery pełnią rolę sieci przestrzennej, wiążącej pozostałe składniki kompozycji. Są nierozpuszczalne zarówno w wodzie, jak i rozpuszczalnikach organicznych, takich jak benzyna, aceton, oleje. Podobne żywice i elastomery są od kilkudziesięciu lat powszechnie stosowane w materiałach ciernych zarówno dla kolejnictwa, jak i przemysłu samochodowego oraz maszyn roboczych.

Wstawki nie zawierają azbestu, a produkty ich zużycia nie zawierają substancji toksycznych i są przyjazne dla środowiska.

Właściwości fizyko mechaniczne

Podstawowe parametry fizyko mechaniczne materiału FR502

Gęstość	[g/cm ³]	2,2
Moduł sprężystości	[N/mm ²]	6000
Twardość HRX		110
Wytrzymałość na:		
ściskanie	[N/mm ²]	110
ścinięcie	[N/mm ²]	28
zginanie	[N/mm ²]	35
odrywanie metalowego zbrojenia	[N/cm ²]	> 60

Właściwości cierne

– porównanie ze wstawkami żeliwnymi

Na rysunkach 1–3 przedstawiono porównanie właściwości ciernych wstawek kompozytowych wykonanych z materiału FR502 oraz wstawek żeliwnych P10 wykonanych według normy ZN-94/ PKP-3517-04. Wyniki uzyskano na pełnowymiarowym stanowisku do badań ciernozużyciowych w skali 1:1 [2]. Wstawki kompozytowe były badane w konfiguracji 2×Bgu, natomiast wstawki żeliwne w konfiguracji 2×Bg.

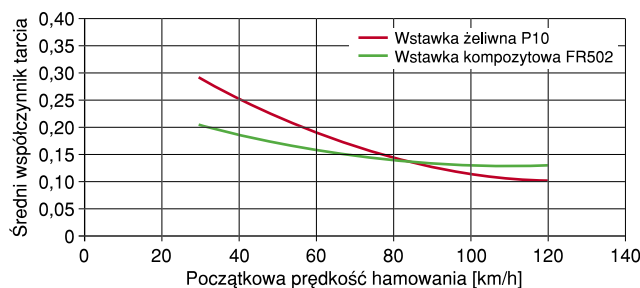
Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono wartości średniego współczynnika tarcia dla hamowań z różnych prędkości początkowych, z obciążeniem 22,5 t na oś (symulacja hamowania wagonu towarowego w stanie załadowanym). Hamowania przeprowadzono dla nacisku wstawek na koło 20 kN (rys. 1) oraz 50–60 kN (rys. 2). Na rysunku 3 przedstawiono wartości średniego współczynnika tarcia w funkcji siły nacisku wstawek na koło dla wagonu w stanie próżnym (5 t/oś) i załadowanym (22,5 t/oś), dla prędkości początkowej hamowań $v_p = 120$ km/h.

Jak wynika z rysunków wstawki żeliwne charakteryzują się znacznym spadkiem współczynnika tarcia wraz ze wzrostem prędkości początkowej hamowania: od 0,3 przy $v_p = 30$ km/h do 0,075 przy $v_p = 120$ km/h. Współczynnik tarcia zmienia się również w funkcji nacisku wstawek na koło (od 0,1 dla $F = 20$ kN do 0,075 dla $F = 50$ kN, przy $v_p = 120$ km/h) oraz ze wzrostem obciążenia osiowego (od 0,15 dla obciążenia 5 t na oś do 0,1 dla obciążenia 22,5 t na oś, przy $v_p = 120$ km/h i $F = 20$ kN). To sprawia, że skuteczność hamowania pojazdu w przypadku wstawek żeliwnych zmienia się wraz z warunkami hamowania.

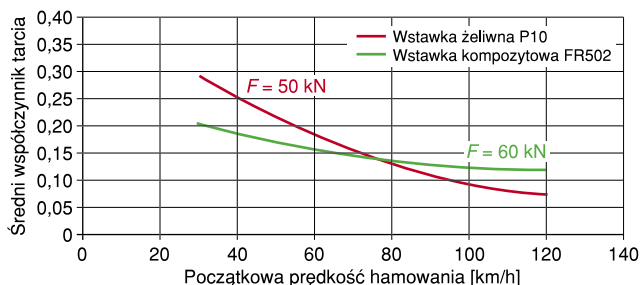
Inaczej przedstawia się sytuacja w przypadku wstawek kompozytowych – średni współczynnik tarcia nieznacznie się zmniejsza w funkcji prędkości początkowej hamowania (od 0,2 dla $v_p = 30$ km/h do 0,12 dla $v_p = 120$ km/h) i jest stabilny w funkcji nacisku wstawek na koło i obciążenia osiowego (0,12 dla $v_p = 120$ km/h). To oznacza, że dla dużych obciążeń osiowych skuteczność hamowania dla wstawki kompozytywnej przy dużych

prędkościach początkowych hamowania będzie nieco większa, przy prędkości 70–80 km/h zbliżona, natomiast przy mniejszych prędkościach będzie mniejsza niż w przypadku wstawki żeliwnej. Dzięki temu, przy zachowaniu właściwej skuteczności hamowania pojazdu, jego zestawy kołowe będą miały mniejszą skłonność do blokowania się przed zatrzymaniem, co powszechnie występuje w układach ze wstawkami żeliwnymi. Ponadto wstawka kompozytowa w porównaniu ze wstawką żeliwną wykazuje mniejszą skuteczność hamulca przy niewielkich obciążeniach osiowych, tj. w stanach próżnych, w których w dotychczasowych pojazdach występuje blokowanie kół i powstawanie płaskich miejsc na kołach (rys. 3). Stabilność współczynnika tarcia materiału kompozytowego należy zatem uznać za zjawisko pozytywne.

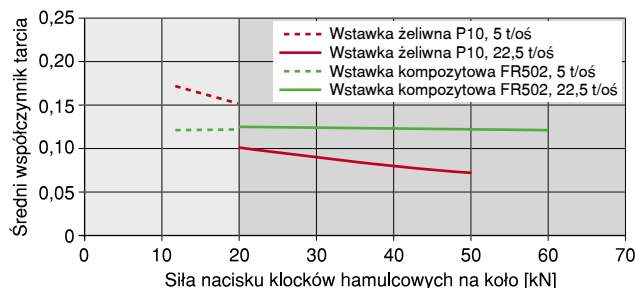
Prawidłowy dobór opisanego współczynnika tarcia nowych wstawek kompozytowych FR502 potwierdziły badania skuteczności hamowania elektrycznego zespołu trakcyjnego EN57 oraz badania eksploatacyjne.



Rys. 1. Porównanie średniego współczynnika tarcia w funkcji prędkości początkowej hamowania dla wstawek z materiału kompozytowego FR502 oraz dla wstawek z żeliwa P10; obciążenie osiowe 22,5 t, siła nacisku wstawek na koło 20 kN



Rys. 2. Porównanie średniego współczynnika tarcia w funkcji prędkości początkowej hamowania dla wstawek z materiału kompozytowego FR502 oraz dla wstawek z żeliwa P10; obciążenie osiowe 22,5 t, siła nacisku wstawek na koło 50 i 60 kN



Rys. 3. Porównanie średniego współczynnika tarcia w funkcji siły nacisku wstawek na koło dla wagonu w stanie próżnym (5 t/oś) i załadowanym (22,5 t/oś) dla wstawek z materiału kompozytowego FR502 oraz dla wstawek z żeliwa P10; prędkość początkowa hamowania $v_p = 120$ km/h

Wstawki przyjazne środowisku

Głównym celem wdrożenia nowych wstawek kompozytowych w Europie jest redukcja hałasu emitowanego podczas jazdy i hamowania pociągów wyposażonych we wstawki żeliwne. Celowość wdrożenia wstawek kompozytowych wynika również z braku ich iskrzenia podczas intensywnego hamowania. W celu sprawdzenia zachowania wstawek żeliwnych P10 i różnych wstawek kompozytowych w ekstremalnych warunkach eksploatacyjnych, na zlecenie UIC grupa robocza ERRI B126.13 przeprowadziła w 2000 r. badania porównawcze wstawek podczas zjazdu pociągu towarowego z przelęczy Św. Gotharda i Tauern [3]. Analiza wyników wykazała, że stan wstawek kompozytowych i kół po badaniach był zadowalający. Wstawki kompozytowe wytrzymały nawet ekstremalne hamowania i nie powodowały pierścieni ognia, jak hamulce ze wstawkami żeliwnymi. Poziom hałasu podczas hamowań, mierzony w odległości 7,5 m od środka toru i 1,2 m nad powierzchnią toczną szyny, był średnio o 16 dB niższy dla wstawek kompozytowych w porównaniu ze wstawkami żeliwnymi.

W Polsce badania porównawcze emisji hałasu przy zastosowaniu dwóch rodzajów wstawek zostały wykonane w 2001 r. przez Politechnikę Śląską [4]. Próby przeprowadzono na elektrycznych zespołach trakcyjnych EN57 podczas hamowania z różnych prędkości, przy czym poziom hałasu był mierzony w odległości 7 cm od wstawki. Okazało się, że poziom hałasu w przypadku hamowania wstawkami kompozytowymi FR502 jest średnio o 10 dB niższy niż w przypadku hamowania wstawkami żeliwnymi. Ponadto przy zastosowaniu wstawek nowego typu zanotowano brak występowania uciążliwych dla ucha ludzkiego „pisków” charakterystycznych dla procesu hamowania wstawkami żeliwnymi.

Przyspieszenia zmierzone na wstawce kompozytowej podczas jazdy pociągu okazały się nawet 15-krotnie mniejsze niż na wstawce żeliwnej. Oznacza to, że wstawki kompozytowe FR502 powodują zmniejszenie poziomu drgań, a w efekcie zwiększenie komfortu jazdy i większą żywotność elementów wózka.

Należy podkreślić, że wymienione obserwacje, dotyczące zmniejszenia emisji hałasu i poziomu drgań, zostały potwierdzone w trakcie półrocznej eksploatacji obserwowanej w Mazowieckim oraz Małopolskim Zakładzie Przewozów Regionalnych.

Dodatkowym atutem wstawki kompozytowej jest jej mała masa własna, trzykrotnie mniejsza od żeliwnego odpowiednika, co znacznie ułatwia montaż, transport oraz poprawia warunki bezpieczeństwa i higieny pracy pracowników kolei.

Podczas dużej intensywności hamowania pociągu wyposażonego we wstawki kompozytowe stwierdzono wydzielanie się delikatnego, specyficznego zapachu. Jest to zjawisko charakterystyczne dla kompozytowych materiałów ciernych i występuje np. w przypadku stosowania tarczowych okładzin ciernych w pojazdach szynowych czy samochodach. Podczas eksploatacji obserwowanej nie odebrano sygnałów, że zapach jest uciążliwy dla podróżnych.

Żywotność wstawki kompozytowej w porównaniu do wstawki żeliwnej w zastosowaniu w elektrycznych zespołach trakcyjnych

Na rysunku 4 przedstawiono porównanie liniowego zużycia jednostkowego wstawek żeliwnych P10 i kompozytowych wykonanych z materiału FR502, zmierzonego podczas eksploatacji obserwowanej elektrycznych zespołach trakcyjnych serii EN57 i EN71. Skład złożony z dwóch zespołach trakcyjnych serii EN57

był eksploatowany w Mazowieckim Zakładzie Przewozów Regionalnych, przy czym jeden zespół był wyposażony we wstawki kompozytowe, a drugi w żeliwne. Czterowagonowy zespół serii EN71, całkowicie wyposażony we wstawki kompozytowe, był eksploatowany jako pojedynczy przez Małopolski Zakład Przewozów Regionalnych. W obu przypadkach obserwacje trwały pół roku w warunkach letnich i zimowych.

Z rysunku wynika, że zużycie wstawek kompozytowych było od 5,6 do 7,8 razy mniejsze niż wstawek żeliwnych. Jednocześnie nie zaobserwowano nadmiernego zużycia zestawów kołowych w przypadku zastosowania nowego rodzaju wstawek; wręcz przeciwnie, koła zużywały się w mniejszym stopniu (rys. 5). Ponadto nie stwierdzono żadnych negatywnych zjawisk na kołach współpracujących ze wstawkami kompozytowymi, takich jak przegrzania, pęknięcia, nalepy i wykruszenia, w stopniu większym niż w przypadku kół współpracujących ze wstawkami żeliwnymi. Powyższe fakty pozwalają stwierdzić, że zastosowanie wstawek kompozytowych nie spowoduje skrócenia czasu życia zestawów kołowych.

W tablicy 1 porównano liczbę wymian wstawek żeliwnych i kompozytowych między kolejnymi naprawami głównymi elektrycznych zespołach trakcyjnych (po przebiegu 400 tys. km). Nawet gdyby cena wstawki kompozytowej FR502 była równa cenie wstawki żeliwnej pomnożonej przez stosunek liczby wymian wstawek kompozytowych i żeliwnych (w praktyce cena będzie niższa), efektem ekonomicznym użytkownika taboru będzie kilkakrotnie mniejsza liczba wymian oraz związana z tym mniejsza pracochłonność i czas wyłączenia taboru z ruchu, co da wymierne korzyści ekonomiczne z wprowadzenia nowego typu wstawek.

Tablica 1

Porównanie liczby wymian wstawek żeliwnych i kompozytowych między kolejnymi naprawami głównymi (co 400 tys. km) w elektrycznych zespołach trakcyjnych EN57 i EN71

	Liczba wymian wstawek	
	EN57	EN71
Wstawki żeliwne	38,0	30,4
Wstawki kompozytowe FR502	4,6	5,0

Wnioski

1. Wprowadzenie wstawek kompozytowych do eksploatacji w celu redukcji emisji hałasu jest jednym ze strategicznych celów kolei europejskich.
2. Średni współczynnik tarcia wstawek żeliwnych P10 jest silnie zależny od prędkości początkowej hamowania, obciążeń osiowych oraz nacisków wstawek na koło, natomiast w przypadku wstawek kompozytowych FR502 jest stabilny w funkcji tych wielkości. To sprawia, że zestawy kołowe pojazdu wyposażonego we wstawki kompozytowe mają mniejszą skłonność do blokowania się przed zatrzymaniem, przy jednoczesnym zachowaniu właściwej skuteczności hamowania.
3. Zastosowanie wstawek kompozytowych FR502 nie tylko eliminuje charakterystyczne „piski” podczas hamowania, ale obniża poziom emitowanego hałasu średnio o 10dB oraz znacznie obniża poziom drgań, co podnosi komfort podróżnych oraz osób przebywających w pobliżu hamującego pociągu.

4. Wstawki kompozytowe charakteryzują się brakiem iskrzenia nawet przy dużej intensywności hamowania, co zwiększa bezpieczeństwo przeciwpożarowe.

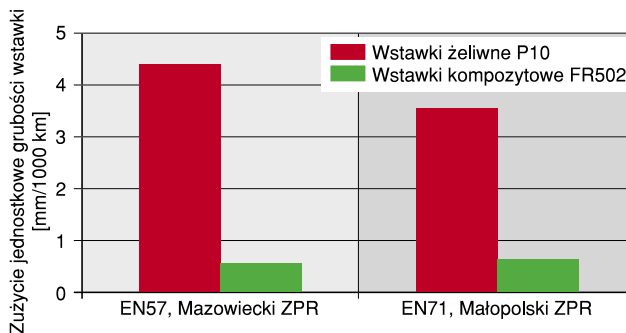
5. W trakcie dużej intensywności hamowania pociągami wyposażonymi we wstawki kompozytowe stwierdzono wydzielanie się delikatnego, specyficznego zapachu. Podczas eksploatacji obserwowanej nie odebrano sygnałów, że zapach jest uciążliwy dla podróżnych.

6. Zużycie wstawek kompozytowych zmierzone podczas półrocznych badań eksploatacyjnych na w elektrycznych zespołach trakcyjnych okazało się średnio 7-krotnie mniejsze niż wstawek żeliwnych, przy czym nie stwierdzono nadmiernego zużycia się zestawów kołowych ani innych negatywnych zjawisk. Na tej podstawie można stwierdzić, że kolej osiągnie wymierne korzyści ekonomiczne z wprowadzenia nowego typu wstawek.

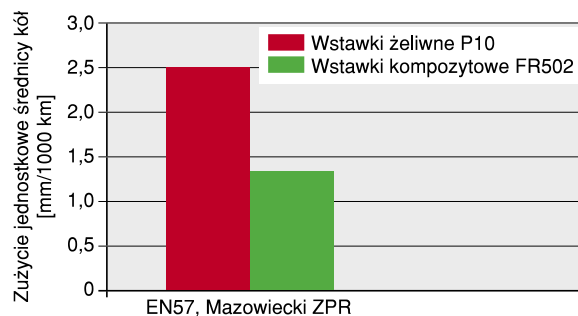


Literatura

- [1] Zagadnienie UIC 5T53. Redukcja hałasu. Zastosowanie kompozytowych wstawek klocków hamulcowych. Materiały robocze na posiedzenie komitetu C5/C12, wrzeień 2000 r.
- [2] Latoś H., Duszyński Z.: *Badania modelowe i stanowiskowe wstawek klocków hamulcowych z ZNTK Bydgoszcz*. Przegląd Mechaniczny 2/1996.
- [3] *Badania eksploatacyjne żeliwnych i kompozytowych wstawek hamulcowych*. Notatka ERRI B 126.13 o próbach na spadkach na Gothard i Tauern. 14.04.2000 r.
- [4] Sitarz M., Hełka A., Piec P., Zając G.: **Tytuł publikacji!!!** Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej 2001, seria Transport, z. 43, nr 1524.



Rys 4. Porównanie liniowego zużycia jednostkowego wstawek żeliwnych i kompozytowych w zastosowaniu w elektrycznych zespołach trakcyjnych



Rys 5. Porównanie liniowego zużycia jednostkowego średnicy zestawów kołowych współpracujących ze wstawkami żeliwnymi i kompozytowym w zastosowaniu w elektrycznych zespołach trakcyjnych



Specjalistyczne Materiały i Okładziny Cierne
FRENOPLAST BULHAK I CIEŚLAWSKI SP. J.
 Korpele 75 Strefa
 12-100 Szczytno

tel. (89) 624 97 54, fax (89) 624 97 55
 e-mail: info@frenoplast.pl, www.frenoplast.pl