

Rozwój przytwierdzenia sprężystego typu SB3

W artykule scharakteryzowano najważniejsze badania toru na podkładach betonowych z przytwierdzeniem SB3, począwszy od badań na odcinkach doświadczalnych, poprzez badania trwałości i niezawodności w ekstremalnych warunkach eksploatacyjnych okręgu doświadczalnego, aż do badań na liniach o dużych prędkościach. Opisano modyfikacje i udoskonalenia części składowych przytwierdzenia, będące praktyczną realizacją wniosków z badań. Zaproponowano także niektóre kierunki dalszego rozwoju przytwierdzenia.

Badania na odcinkach doświadczalnych

Koncepcja przytwierdzenia sprężystego SB3 powstała w Centrum Naukowo-Technicznym Kolejnictwa w końcu 1979 r. Dzięki aktywnemu współdziałaniu ówczesnych kierownictw Ministerstwa Komunikacji, Kolejowych Zakładów Nawierzchniowych (obecnie SKAMO) i Wytwórni Podkładów Strunobetonowych w Goczałkowie, już w 1981 r. ułożono w silnie obciążonym torze stacyjnym towarowej obwodnicy Warszawy pierwszy odcinek doświadczalny z przytwierdzeniem sprężystym SB3. Również w 1981 r. zarejestrowano przytwierdzenie SB3 w polskim Urzędzie Patentowym (patent nr 128477 pt. „Urządzenie łączące szynę z podporą, zwłaszcza betonową”).

Obiecujące wyniki wstępnej eksploatacji spowodowały, że prace nad rozwojem przytwierdzenia SB3 uległy znacznej intensyfikacji zarówno w zakresie doskonalenia konstrukcji, jak i tworzenia nowych technologii produkcji części składowych oraz technologii budowy i utrzymania torów. Szczególnie istotny wkład w rozwój przytwierdzenia wniosła Wytwórnia Podkładów Strunobetonowych „Kolbet” w Suwałkach. Efektem wspólnych wysiłków było wybudowanie w 1983 r. na jednej z najbardziej obciążonych linii kolejowych w Polsce kolejnego odcinka doświadczalnego o długości 600 m. Jakość toru na tym odcinku była zdecydowanie lepsza, niż na odcinku prototypowym z 1981 r. Należy podkreślić, że oba odcinki są eksploatowane do dnia dzisiejszego.

Kolejnym etapem próbnego wdrażania przytwierdzenia SB3 były następne odcinki doświadczalne, lokalizowane w latach 1983–1987 we wszystkich Dyrekcjach Okręgowych Kolei Państwowych, m.in. w celu zapoznania personelu odpowiedzialnego za utrzymanie torów z nową konstrukcją nawierzchni. Prowadzono również szkolenie personelu liniowego w zakresie montażu i demontażu przytwierdzenia. Zbierano także wszelkie uwagi na temat stanu nawierzchni z przytwierdzeniem SB3. Zakład Dróg Kolejowych CNTK wykonał kilka obszernych prac badawczych, dotyczących oceny pracy przytwierdzenia na silnie obciążonych liniach PKP. Inicjatorem tych prac, autorem metodyki badań i oceny wyników był m.in. prof. Henryk Bałuch.

W 1986 r. na światowej wystawie wynalazków EUREKA w Brukseli przytwierdzenie SB3 zdobyło srebrny medal.

Badania trwałości i niezawodności

W 1986 r. rozpoczęto badania trwałości i niezawodności przytwierdzenia SB3 w trudnych warunkach eksploatacyjnych okręgu doświadczalnego VNIIZT w Szczerbince koło Moskwy. Odcinek doświadczalny z seryjnie produkowanymi częściami składowymi przytwierdzenia i typowymi podkładami betonowymi z WPS „Kolbet” w Suwałkach wybudowano w łuku o promieniu 600 m. Badania trwałości prowadzono przy obciążeniu toru pociągiem próbnym o masie 10 tys. t i naciskach osi 270 kN, jadącym z prędkością 65–70 km/h. Warto podkreślić, że śmiałą decyzję o dopuszczeniu w badaniach tak dużych, niespotykanych w krajach Europy Zachodniej naciskach osi, podjął prof. Henryk Bałuch. W czasie badań minimalne temperatury powietrza dochodziły do -40°C . W tych warunkach przytwierdzenie SB3 wykazało trwałość większą od oczekiwanej, określonej na 800 Tg przy dopuszczalnym uszkodzeniu 5% części składowych. Podjęto decyzję o kontynuowaniu badań aż do przejścia obciążenia 1200 Tg, jednak przyrost uszkodzeń części składowych, zwłaszcza łapek sprężystych, był w tym przedziale obciążeń niewielki. Po przejściu tego obciążenia zaledwie 0,97% łapek sprężystych, z ułożonych 1132 łapek, uległo uszkodzeniom (deformacje trwałe i tylko jedno pęknięcie), przy czym w trakcie badań 3-krotnie wymieniano szyny. Kierujący badaniami J. F. Szwarc z VNIIZT stwierdził [10], że „...badania przytwierdzeń SB3 w warunkach okręgu doświadczalnego VNIIZT wykazały dużą trwałość i niezawodność zarówno całej konstrukcji przytwierdzenia, jak i jego poszczególnych części składowych oraz podkładów betonowych. W warunkach eksploatacyjnych PKP, gdzie istnieją mniejsze naciski osi i mniejsze natężenia przewozów niż na okręgu doświadczalnym, trwałość badanych konstrukcji będzie większa. Ponadto wiele uszkodzeń części składowych przytwierdzenia i podkładów betonowych stwierdzono w rejonach styków szyn i spawu szyn przejściowych. W torach bezстыkowych na PKP uszkodzeń takich praktycznie nie będzie ...”.

W latach 1993–1995 na okręgu doświadczalnym w Szczerbince trwały nadal jazdy po odcinku doświadczalnym z przytwierdzeniem SB3, aż do przejścia obciążenia 2184,3 Tg bez istotnych przyrostów uszkodzeń części składowych.

Zdecydowanie pozytywne wnioski z badań poligonowych na okręgu w Szczerbince stały się podstawą do podjęcia w końcu 1991 r. decyzji o powszechnym zastosowaniu od 1.01.1992 r. na całej sieci PKP podkładów betonowych z przytwierdzeniem SB3. Spowodowało to konieczność przystosowania wszystkich wytwórni podkładów strunobetonowych do nowej produkcji oraz uruchomienia masowej produkcji kotew, łapek sprężystych i elementów z tworzyw sztucznych. Zakup nowoczesnych linii technologicznych do produkcji podkładów betonowych zaowocował uzyskaniem wysokiej jakości podkładów zarówno pod względem wytrzymałości, jak i odchyłek wymiarowych.

Badania na okręgu w Szczerbince wykazały także pewne mankamenty niektórych części składowych przytwierdzenia, a zwłaszcza zbyt małą trwałość dociskowych wkładek izolacyjnych i możliwość powstawania trwałych deformacji łapek sprężystych przy ich montażu i demontażu. Ujawnienie tych mankamentów spowodowało podjęcie szeroko zakrojonych prac badawczych i wdrożeniowych nad udoskonaleniem konstrukcji części składowych przytwierdzenia i doborem odpowiednich materiałów.

Badania laboratoryjne dla Komitetu ORE D170

W 1989 r. w CNTK przeprowadzono na zlecenie Komitetu ORE D170 laboratoryjne badania przytwierdzeń SB3 według jednolitej metodyki, która później została wprowadzona do projektu normy europejskiej. Takie same badania wykonano w innych krajach z brytyjskim przytwierdzeniem Pandrol, francuskim Nabla i niemieckim Skl 14 [6]. Metodyka obejmowała badania dynamiczne podkładu, badania przytwierdzeń przy skośnym obciążeniu z dwoma kątami przyłożenia siły ($\text{tg}\alpha = 0,6$ i $\text{tg}\alpha = 0,4$), badania oporu podłużnego, oporu na skręcanie i badania rezystancji elektrycznej. Wyniki testów nie wykazały żadnych niepokojących zjawisk. Przytwierdzenie SB3 przeniosło bez uszkodzeń 3 mln cykli obciążeń zmęczeniowych w dwóch wariantach sił pionowych i poziomych. Opór podłużny i opór na skręcanie mieściły się w zakresie wartości wymaganych, zbliżonych do wartości uzyskanych dla innych rodzajów przytwierdzeń.

Badania przy dużych prędkościach jazdy

W 1990 r. przeprowadzono na jednej z najważniejszych linii kolejowych PKP porównawcze badania [11] oddziaływań dynamicznych, spokojności jazdy, naprężeń w szynach i poziomu hałasu w nawierzchni na podkładach drewnianych z przytwierdzeniem typu K i nawierzchni na podkładach betonowych z przytwierdzeniem SB3, przy prędkościach jazdy do 175 km/h. Wyniki badań wykazały, że

- przyspieszenia pionowe ramy wózka wagonu pasażerskiego typu 4 Anc są mniejsze w torze na podkładach betonowych, a przyspieszenia pionowe pudła i maźnicy wagonu są praktycznie jednakowe na obu odcinkach;
- naprężenia w szynach oraz sprężyste przemieszczenia szyn i podkładów są mniejsze w torze na podkładach betonowych;

- poziom hałasu wewnątrz wagonu pasażerskiego jest zdecydowanie niższy przy jeździe po torze z podkładem betonowym.

Wyniki badań i dodatkowych analiz, przeprowadzonych m.in. przez prof. Henryka Bałucha [3], oraz prac nad modelowaniem odchyłek wymiarowych szerokości toru przy zakładanej dokładności produkcji podkładów betonowych i części składowych przytwierdzenia [8, 9], stały się podstawą podjęcia decyzji o zastosowaniu podkładów betonowych z przytwierdzeniem SB3 na Centralnej Magistrali Kolejowej, na której maksymalna prędkość eksploatacyjna wynosi obecnie 160 km/h, z realnymi perspektywami zwiększenia w niezbyt odległej przyszłości do 200 km/h.

W 1994 r. na odcinku doświadczalnym toru z przytwierdzeniem SB3, ułożonym na Centralnej Magistrali Kolejowej, przeprowadzono badania [5] oddziaływań dynamicznych toru i taboru przy prędkościach jazdy do 250 km/h podczas jazdy pociągu ETR 460 Pendolino. Mierzono parametry niezbędne do określenia zachowania się pojazdu z punktu widzenia dynamiki jazdy.

W szczególności wykonano pomiary:

- stabilności na podstawie przyspieszeń poprzecznych ramy wózka, prędkości i nierównoważonego przyspieszenia bocznego;
- wzajemnych oddziaływań toru i pojazdu na podstawie sił poprzecznych na styku koło–szyna na pierwszym wózku i sił pionowych na styku koło–szyna, obliczonych na podstawie ugięcia głównej sprężyny i wartości siły poprzecznej na osi;
- komfortu jazdy na podstawie poprzecznych, pionowych i podłużnych przyspieszeń mierzonych w środku pojazdu, z przodu pierwszego wózka i z tyłu tylnego wózka.

Wykonano 13 jazd próbnych, poczynawszy od prędkości rozkładowej na CMK, tj. 160 km/h. Po każdej próbie podejmowano decyzję o zwiększeniu prędkości na podstawie bieżącej analizy parametrów następujących parametrów, wpływających na bezpieczeństwo jazdy:

- przyspieszeń poprzecznych na czterech wózkach,
- sił poprzecznych na styku koło–szyna na pierwszym wózku,
- sumy sił poprzecznych na dwóch osiach pierwszego wózka.

Badania zakończono po osiągnięciu maksymalnej prędkości jazdy 250,1 km/h. Na podstawie pomierzonych wartości przyspieszeń pionowych i poprzecznych pudła wagonu obliczono wskaźniki W_z spokojności jazdy oraz tzw. czas zmęczenia, czyli czas, po upływie którego przeciętny pasażer, poddany określonym drganiom pudła wagonu, zacznie odczuwać dyskomfort jazdy. Dla prędkości 220 km/h obliczone wskaźniki dla środka wagonu W_z wyniosły 2,11 dla przyspieszeń pionowych i 2,10 dla przyspieszeń poprzecznych. Dla bardzo dobrego komfortu jazdy wartość tego wskaźnika nie powinna przekraczać 2,5. Obliczony minimalny czas zmęczenia dla drgań pionowych wyniósł 20,6 h, a dla drgań poprzecznych 42,7 h. Na podstawie tego wskaźnika komfort jazdy można ocenić jako dobry, gdy czas zmęczenia jest dłuższy niż 20 h dla drgań pionowych i 10 h dla drgań po-

przeznaczonych. Badania wykazały, że wartości oddziaływań dynamicznych mieściły się w granicach dopuszczalnych dla bardzo dobrego komfortu jazdy.

Nowsze wyniki badań dynamicznych właściwości toru na podkładach drewnianych i betonowych wraz z ich wykorzystaniem do identyfikacji parametrów modelu teoretycznego toru kolejowego opublikowali W. Groll, T. Gąsiński, T. Szolc i Z. Krzysztofik [7].

Zastosowanie przytwierdzenia SB3 poza torami PKP

Przytwierdzenie SB3 zostało próbnie zastosowane na dwóch odcinkach doświadczalnych kolei butgarskich w łukach o promieniach 300–600 m. Badania wykazały dobrą pracę przytwierdzeń, zaś zużycie szyn zmniejszyło się dwukrotnie w stosunku do nawierzchni z tradycyjnym przytwierdzeniem typu K. Od 2000 r. przytwierdzenie SB3 jest szeroko stosowane na kolejach ukraińskich. Od 10 lat przytwierdzenie SB3 znajduje zastosowanie w torach tramwajowych wielu polskich miast zarówno w wersji z szyną kolejową, jak i szyną rowkową.

Udoskonalone części składowe przytwierdzenia

Wnioski z badań trwałościowych na okręgu doświadczalnym w Szczerbince oraz z badań na liniach PKP o dużej prędkości wskazały kierunki niezbędnego rozwoju konstrukcji części składowych przytwierdzenia. W 1998 r., po serii badań laboratoryjnych i eksploatacyjnych, rozpoczęto stosowanie przekładek kształtowych typu PKW, których obie powierzchnie są ukształtowane w postaci wypukłości i zagłębień, opisanych funkcjami sinusoidalnymi i kosinusoidalnymi. Zastąpiły one uprzednio stosowane przekładki o płaskich powierzchniach, których duża sztywność statyczna, równa około 1200 MN/m, nie odpowiadała wymaganiom stawianym przekładkom na liniach o dużych prędkościach.

Poliuretanowe przekładki kształtowe mają sztywność statyczną w przedziale obciążeń 15–90 kN wynoszącą około 35 MN/m, wzrastającą w czasie eksploatacji do około 50 MN/m i pozostającą przez cały czas eksploatacji w przedziale wartości dopuszczalnych określonych na 30–80 MN/m.

Podobne wartości sztywności statycznej wykazują przekładki sprężyste, stosowane przez przodujące zarządy kolejowe, również na liniach o bardzo dużych prędkościach. Przykładowo, przekładki typu 47V5144-13 firmy Pandrol, stosowane na kolejach brytyjskich mają sztywność statyczną 37,5 MN/m, zaś przekładki typu Zw 700, stosowane przez koleje niemieckie mają sztywność statyczną 45 MN/m. Przeprowadzone przez CNTK badania wykazały, że poliuretanowe przekładki kształtowe wykazały pełną przydatność eksploatacyjną zarówno pod względem zmian sztywności statycznej, jak i trwałości oraz odkształceń trwałych. Ich właściwości użytkowe odpowiadają przekładkom stosowanym przez przodujące zarządy kolejowe na liniach o dużych prędkościach. Właściwości przekładek kształtowych stały się przedmiotem zainteresowań brytyjskiej firmy Pandrol, która na odcinku doświadczalnym w Norwegii przeprowadziła badania porów-

nawcze odkształceń nawierzchni z tradycyjnymi przekładkami tej firmy i z przekładkami kształtowymi.

Wnioski z tych badań wskazują na możliwość zastosowania przekładek kształtowych w przytwierdzeniach typu Pandrol Fast-Clip [1].

Przekładki kształtowe są opatentowane w Polsce (patent nr 182 966 „Amortyzująca przekładka zwłaszcza podszynowa”). Nowe badania modelowe wpływu przekładek (w tym przekładek kształtowych) na właściwości dynamiczne toru opublikowali R. Bogacz, A. Kamiński i T. Krzyżyński [4]. Szczegółowe badania właściwości przekładek kształtowych przeprowadziła Wojskowa Akademia Techniczna [2].

W wyniku badań na okręgu w Szczerbince stwierdzono konieczność zwiększenia promienia zaokrąglającego łapkę sprężystą na styku z wkładką izolacyjną ze względu na duże naprężenie przy montażu, a zwłaszcza demontażu łapki, zbliżające się niebezpiecznie do granicy sprężystości stali, z której jest wykonana łapka. Efektem prac projektowych i technologicznych są nowe łapki typów SB4 i SB7, zmniejszające naprężenia montażowe o około 13% w stosunku do łapki SB3. Oba typy łapek przeszły pomyślnie badania laboratoryjne (w tym badania zmęczeniowe przy 5 mln cykli obciążeń) oraz badania eksploatacyjne na odcinkach doświadczalnych i zostały przyjęte do stosowania. Łapka SB4 jest przedmiotem polskiego patentu nr 182453 pt. „Łapka sprężysta do mocowania szyn”, łapka SB7 jest zgłoszona jako wzór użytkowy nr 110709 pt. „Łapka sprężysta”. Oczywiście łapki sprężyste SB3 pozostaną w torach, ale nie będą już produkowane.

W celu zmniejszenia naprężeń kontaktowych na styku łapki z wkładką oraz lepszego dostosowania górnej powierzchni wkładki izolacyjnej do zwiększonego promienia nowych łapek sprężystych zaprojektowano i wdrożono od 1998 r. poliamidowe wkładki izolacyjne typu WKW, zastępujące poprzednio stosowane wkładki z płaską górną powierzchnią. Wkładki WKW mają górną powierzchnię wklęsłą, dzięki czemu naprężenia stykowe są mniejsze o około 17% w stosunku do starych wkładek. Krzywizny wklęsłości wkładek zostały dostosowane do promieni łapek SB4 i SB7, ale również mogą współpracować z łapkami SB3. Dzięki takiemu ukształtowaniu wkładki, jej trwałość uległa zwiększeniu, co jest praktyczną realizacją jednego z wniosków z badań na okręgu w Szczerbince. Nowy kształt wkładek izolacyjnych ułatwia także montaż łapek sprężystych.

Udoskonalone części składowe przytwierdzenia SB3 są ujęte w zatwierdzonych warunkach technicznych i mają aprobaty techniczne oraz świadectwa dopuszczenia do eksploatacji.

Kierunki dalszego rozwoju

Szerokie możliwości zastosowania przekładek kształtowych, wymagające jednak wykonania niezbędnych prób i badań, istnieją w rozjazdach na podrozjazdnicach betonowych. Przy zastosowaniu przekładek kształtowych zarówno pod płytami żebrowymi, jak i pod tokami jezdnyimi można uzyskać statyczną sztywność podparcia rzędu 17 MN/m, a więc wartość zbliżoną do uzyskiwanej w rozjazdach niemieckich, przezna-

czonych do dużych prędkości. Dalszym rozwinięciem tego tematu byłoby zaprojektowanie zmiennej sztywności podparcia rozjazdu na jego długości, związane ze zmienną sztywnością części stalowych rozjazdów. W zakresie materiałowym warto poszukiwać materiałów tańszych od poliuretanu i podjąć próby zastosowania kształtowych przekładek gumowych.

Wydaje się celowe wdrożenie nowego kształtu kotwy ze zmodyfikowanym łbem, umożliwiającym łatwiejszy i mniej energochłonny montaż i demontaż łapki sprężystej. Przeprowadzone przez CNTK wstępne badania wykazały, że wdrożenie tego pomysłu Wytwórni Podkładów Strunobetonowych w Mirosławiu Ujskim mogłoby nastąpić bardzo szybko.



Literatura

- [1] A „Sine” of Things to Come? The Journal of Pandrol Rail Fastenings. Track Report, 1998.
- [2] *Badania pełne przekładek poliuretanowych PKW 60 A1 oraz PKW 60 K1 na zgodność z Tymczasowymi Warunkami Technicznymi nr ZPTS-1/97 oraz badania porównawcze cech użytkowych różnych rozwiązań konstrukcyjnych przekładek podszynowych nie eksploatowanych i po eksploatacji.* Praca Wojskowej Akademii Technicznej nr 97/10/AWAT/97. Warszawa 1998.
- [3] Bałuch H., Oczykowski A.: *Możliwości i skutki zastosowania na CMK podkładów betonowych.* Drogi Kolejowe 7/1990.
- [4] Bogacz R., Kamiński A., Krzyżyński T.: *On influence of pad features on dynamic of a railway track.* Engineering transactions 48/2000.
- [5] Cejmer J.: *Opracowanie wytycznych techniczno-technologicznych budowy i utrzymania nawierzchni kolejowej przy prędkości $V = 200-250$ km/h.* Praca CNTK nr 2013/22. Warszawa 1995.
- [6] *Dimensionnement des divers elements constitutifs de la voie. Normalisation des caractéristique et des essais d'homologation. Etude de caractéristique des systèmes de fixation et méthodes d'essais.* European Rail Research Institute, D170, RP 2, Utrecht: 1989.
- [7] Groll W., Gąsiński T., Szolc T., Krzysztofik Z.: *Doświadczalne badania własności dynamicznych i statycznych toru kolejowego w warunkach Polskich Kolei Państwowych.* Problemy Kolejnictwa 2002, zeszyt 134.
- [8] *Metody projektowania przytwierdzeń szyn do podkładów.* Temat CPBP 02.19.06.03. Warszawa 1988.
- [9] Oczykowski A.: *Podkłady betonowe na liniach PKP przystosowanych do dużych prędkości.* Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej 36/1993.
- [10] Szwarc J. F.: *Wyniki poligonowych badań przytwierdzeń sprężystych SB3 na okręgu doświadczalnym VNIIZT (ZSRR).* Drogi Kolejowe 3/1991.
- [11] Zielińska-Lis K.: *Badania przytwierdzeń SB3 przy prędkościach 140–160 km/h.* Praca CNTK nr1177/27. Warszawa 1991.

