

Dr inż. Andrzej Oczykowski

BADANIA I ROZWÓJ PRZYTWIERDZENIA SPRĘŻYSTEGO SB

SPIS TREŚCI

1. Wprowadzenie
2. Badania przytwierdzenia
3. Rozwój konstrukcji przytwierdzenia
4. Podsumowanie

STRESZCZENIE

W artykule opisano prace badawcze i rozwojowe, które doprowadziły do wdrożenia i powszechnego zastosowania na sieci PKP nawierzchni na podkładach betonowych z przytwierdzeniem sprężystym SB. Najwcześniej ułożone odcinki doświadczalne z tym przytwierdzeniem są eksploatowane od przeszło 25 lat. Scharakteryzowano podjęte przez COBiRTK (obecnie Instytut Kolejnictwa) prace projektowe, badania eksploatacyjne na odcinkach próbnych, badania laboratoryjne dla Komitetu ORE D170, badania trwałości na okręgu doświadczalnym w Szczербince, badania oddziaływań dynamicznych i hałasu na linii Warszawa – Poznań, badania przy dużych prędkościach (do 250 km/h) na Centralnej Magistrali Kolejowej (CMK). Przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych wymaganych przez Unię Europejską w zakresie interoperacyjności kolei dużych prędkości.

Opisano kierunki doskonalenia konstrukcji i technologii produkcji części składowych przytwierdzenia, w tym podkładów betonowych z kotwami, łapek sprężystych, przekładek podszynowych i wkładek izolacyjnych. Przedstawiono rozwiązania nawierzchni z przytwierdzeniem sprężystym SB w specjalnych miejscach: na mostach, przejazdach w poziomie szyn, torach tramwajowych i torach na podkładach drewnianych.

Opisano narzędzia do ręcznego i zmechanizowanego montażu i demontażu przytwierdzenia. Przedstawiono najważniejsze działania zmierzające do zapewnienia wysokiej jakości części składowych przytwierdzenia.

1. WPROWADZENIE

Koncepcja przytwierdzenia sprężystego SB3 powstała w końcu 1979 r. w Centralnym Ośrodku Badań i Rozwoju Techniki Kolejnictwa (od 1987 r. Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa i od 2010 r. Instytut Kolejnictwa). Przytwierdzenie to uzyskało z dniem 15 maja 1981 r. patent na wynalazek nr 128 477, wydany przez polski Urząd Patentowy na rzecz PKP, COBiRTK, Warszawa, Polska.

Celem prac projektowych, konstrukcyjnych i badawczych było stworzenie niezawodnego przytwierdzenia sprężystego w miejsce powszechnie stosowanego na PKP materiałowłonnego i kosztownego w eksploatacji przytwierdzenia typu K, wzorowanego na konstrukcji niemieckiej. Przytwierdzenie typu K składa się z 34 elementów konstrukcyjnych na każdym podkładzie, o łącznej masie około 20 kg. Śruby wymagają okresowego dokręcania, co zwiększa koszty utrzymania toru. Trwałość niektórych części, a zwłaszcza pierścieni sprężystych jest niewielka, co sprzyja szybkiemu pogarszaniu się stanu toru. Duża liczba części składowych przytwierdzenia typu K powoduje trudności w uzyskiwaniu wymaganej szerokości toru z dokładnością ± 2 mm. Przytwierdzenie typu K na podkładach betonowych może być stosowane do prędkości jazdy nie większych niż 120 km.

W efekcie prac wykonywanych przez COBiRTK z udziałem licznych polskich zakładów przemysłowych wprowadzono do eksploatacji nowoczesne, bezśrubowe przytwierdzenie szyn do podkładów betonowych, charakteryzujące się dużą trwałością w eksploatacji i przystosowane do dużych prędkości jazdy. Częściami konstrukcyjnymi węzła przytwierdzenia są:

- dwie kotwy z żeliwa sferoidalnego, zabetonowane w podkładzie strunobetonowym, służące do mocowania ramion łapek sprężystych w otworach zamkniętym i otwartym i zapewniające wymaganą szerokość toru oraz dostateczny opór na boczne przesunięcie szyn,
- dwie łapki sprężyste z okrągłego pręta, zapewniające wymagany docisk szyny do podkładu oraz możliwość sprężystego odkształcania się szyny w płaszczyźnie poziomej pod wpływem sił bocznych,
- dwie wkładki izolacyjne z poliamidu, zapewniające przekazywanie nacisku łapek sprężystych na stopkę szyny z jednoczesnym zwiększeniem oporu szyny na przesunięcia podłużne oraz gwarantujące wymaganą rezystancję pomiędzy szyną i podkładem,
- przekładka z wysokiej jakości tworzywa sztucznego, zapewniająca zwiększenie oporu szyny na przesunięcia podłużne oraz przekazywanie nacisku stopki szyny na podkład, zdolna do pochłaniania energii (zmniejszenie oddziaływań dynamicznych) oraz tłumienie drgań.

W 1981 roku ułożono w silnie obciążonym torze pierwszy odcinek doświadczalny z przytwierdzeniem SB3. Pomimo, że jakość części składowych przytwierdzenia na tym

odcinku była niska, to obiecujące wyniki wstępnej eksploatacji spowodowały intensyfikację prac w zakresie doskonalenia konstrukcji, technologii produkcji części składowych oraz budowy i utrzymania torów. W 1983 roku w Południowej Dyrekcji Okręgowej Kolei Państwowych, na szlaku jednej z najbardziej obciążonych linii kolejowych w Polsce, wybudowano kolejny odcinek doświadczalny. Podkłady betonowe zostały wyprodukowane przez Wytwórnę Podkładów Strunobetonowych „Kolbet” w Suwałkach, a łapki sprężyste przez Kolejowe Zakłady Nawierzchniowe w Skalmierzycach.

Kolejnym etapem próbnego wdrażania przytwierdzenia SB3 były następne odcinki doświadczalne [1, 2], 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 w zakresie montażu i demontażu przytwierdzenia. Zbierano wszelkie uwagi na temat stanu nawierzchni z przytwierdzeniem SB3. Zakład Dróg Kolejowych CNTK wykonał kilkanaście obszernych prac badawczych [4, 13, 15, 19], dotyczących m.in. parametrów przytwierdzenia, trwałości w trudnych warunkach eksploatacyjnych, porównania oddziaływań dynamicznych i hałasu w torze na podkładach drewnianych i w torze na podkładach betonowych z przytwierdzeniem SB3, zachowania się taboru podczas jazd z dużymi prędkościami oraz parametrów systemu przytwierdzenia w aspekcie wymagań interoperacyjności. Prowadzono również prace nad metodami projektowania przytwierdzeń sprężystych [6, 9].

Na Światowej Wystawie Wynalazków „Eureka”, zorganizowanej w 1986 r. w Brukseli, przytwierdzenie SB3 zdobyło srebrny medal przyznany na rzecz Centralnego Ośrodka Badań i Rozwoju Techniki Kolejnictwa, wówczas jednostki organizacyjnej Polskich Kolei Państwowych. Zdecydowanie pozytywne wyniki wszystkich badań toru na podkładach betonowych z przytwierdzeniem SB3 stały się podstawą podjęcia decyzji o powszechnym zastosowaniu na PKP od dnia 01.01.1990 r. podkładów betonowych z przytwierdzeniem SB3. W dniu 23.02.1990 r. Naczelny Zarząd Utrzymania Kolei pismem KD 4-720/3/90 zatwierdził do stosowania opracowanie CNTK pt. „Dokumentacja techniczna przytwierdzenia sprężystego (typ SB3) szyn do podkładów betonowych”, wykorzystujące wyniki pracy [12].

Po rozpoczęciu powszechnego stosowania, w CNTK na podstawie wyników przeprowadzonych badań kontynuowano prace nad doskonaleniem konstrukcji przytwierdzenia, a zakłady produkcyjne usprawniały technologię produkcji i dobierały nowe materiały konstrukcyjne. W miejsce łapek SB3 pojawiły się łapki SB4 i SB7, przekładki płaskie zastąpiono kształtowymi, wprowadzono udoskonalone kotwy z żeliwa sferoidalnego i wkładki izolacyjne o zmodyfikowanym kształcie. Przytwierdzenie SB3 zastąpiono systemem przytwierdzenia SB o lepszych parametrach technicznych.

2. BADANIA PRZYTWIERDZENIA

2.1. Badania dla Komitetu ORE D170

W 1989 roku w CNTK przeprowadzono na zlecenie Komitetu ORE D170 (Międzynarodowe Biuro Prób i Badań z siedzibą w Utrechcie – Holandia) badania laboratoryjne przytwierdzeń SB3 według jednolitej metodyki, która później została wprowadzona z drobnymi modyfikacjami do normy europejskiej EN 13146 (1÷8). Takie same badania wykonano w innych krajach z brytyjskim przytwierdzeniem *Pandrol*, francuskim *Nabla* i niemieckim *Skf*. Badaniom poddano podkłady betonowe z przytwierdzeniem sprężystym SB3 z seryjnej produkcji.

Program prób obejmował:

- badania dynamiczne podkładu,
- badania przy skośnym obciążeniu,
- badania oporu podłużnego,
- badania oporu na skręcanie,
- badania izolacji elektrycznej.

Badania dynamiczne polegały na obciążeniu monoblokowego podkładu za pomocą belki z 4 łapami nachylonymi do pionu pod kątem α ($\text{tg } \alpha = 0,63$). Stanowisko badawcze umożliwiało przykładanie do stopki szyny siły pionowej działającej ku górze. Podkład opierał się na sprężystej macie o sztywności statycznej $0,26 \text{ N/mm}^3$. Częstotliwość przyłożenia siły wynosiła 300 cykli na minutę.

Badania przy skośnym obciążeniu polegały na obciążaniu odcinka szyny przymocowanej do podkładu za pomocą przytwierdzenia SB3. Podkład był nachylony do poziomu, wskutek czego obciążenie pulsujące było przykładane skośnie do osi pionowej szyny pod kątem, którego tangens był równy 0,6 lub 0,4.

Badania oporu podłużnego – do szyny przytwierdzonej do jednego lub dwóch podkładów, przykładano siłę działającą wzdłuż osi podłużnej szyny i mierzono przemieszczenia podłużne w funkcji tej siły. Siłę przykładano skokowo lub w sposób ciągły. Ponadto w części badań zmieniano za każdym pomiarem przytwierdzenie na nowe, a w pozostałych badaniach stosowano te same przytwierdzenia.

Badania oporu na skręcanie – wywoływano skręcanie odcinka szyny przymocowanej do podkładu za pomocą przytwierdzenia SB3 i określano opór przytwierdzenia przeciw skręcaniu, jako zależność pomiędzy kątem skręcenia i momentem potrzebnym do odchylenia szyny o ten kąt.

Izolację elektryczną badano, określając rezystancję po zanurzeniu podkładu na 10 minut w wodzie i wysychaniu przez 2 minuty na powietrzu. Wyniki testów [13] nie wykazały żadnych niepokojących zjawisk. Przytwierdzenie SB3 przeniosło bez uszkodzeń 3 mln cykli obciążeń zmęczeniowych w 2 wariantach sił pionowych i poziomych.

Opór podłużny i opór na skręcanie mieściły się w zakresie wartości wymaganych, zbliżonych do wartości uzyskanych dla innych badanych przytwierdzeń.

2.2. Badania trwałości

W styczniu 1987 roku rozpoczęto badania trwałości przytwierdzenia SB3 w trudnych warunkach eksploatacyjnych na okręgu doświadczalnym WNIIŽT (Wszeczwiązkowy Instytut Naukowo-Badawczy Transportu Kolejowego Federacji Rosyjskiej) w Szczerbince koło Moskwy [15]. Na tym okręgu istniały ekstremalne warunki eksploatacji, umożliwiające szybkie ujawnienie zalet i wad przytwierdzeń SB3 oraz ocenę trwałości w eksploatacji zarówno całej konstrukcji przytwierdzenia, jak i poszczególnych części składowych oraz podkładów betonowych.

Przedmiotem badań były łapki sprężyste SB3, poliuretanowe, płaskie przekładki podszynowe, poliamidowe wkładki izolacyjne, kotwy oraz podkłady betonowe przystosowane do szerokości toru 1 520 mm, wyprodukowane przez Wytwórnię Podkładów Strunobetonowych „Kolbet” w Suwałkach. Badania prowadzono na odcinku o długości 162,5 m, położonym w łuku o promieniu 600 m. Ułożono na nim 6 przęseł torowych szyn UIC 60 o długości po 25 m oraz jedno przęśło przejściowe o długości 12,5 m. Na każdym przęśle wbudowano 44 podkłady betonowe oraz 2 zsunięte podkłady drewniane z przytwierdzeniem typu K pod stykami szyn. Rozstaw podkładów odpowiadał 1 840 podkładom/km. Taka konstrukcja toru ze stykami na podkładach drewnianych była typowa dla badań na okręgu w Szczerbince, gdzie ze względu na prawdopodobieństwo częstej wymiany szyn i podkładów nie stosuje się toru bezstykowego. Ogółem na odcinku doświadczalnym ułożono: 283 podkłady betonowe z 1 132 kotwami, 1 132 łapek sprężystych i wkładek izolacyjnych oraz 566 przekładek podszynowych.

Badaną konstrukcję nawierzchni ułożono w łuku o promieniu 600 m i poddano obciążeniu typowym taborom kolei rosyjskich, czyli sześćoosiowych i czteroosiowych wagonów towarowych o naciskach osi 270 kN, większym niż dopuszczony na PKP nacisk 225 kN. Nacisk osi lokomotywy elektrycznej wynosił 230 kN. Prędkość jazdy pociągu wahała się od 65 do 70 km/h. W początkowym okresie badań masa pociągu równała się 10 000 ton, a od października 1987 r. – 12 000 ton. Tak duża masa pociągu umożliwiała obciążenie odcinka doświadczalnego przewozami 250÷300 Tg rocznie (z uwzględnieniem niezbędnych przerw w ruchu pociągu, związanych z utrzymaniem toru i taboru, prowadzeniem badań itp.). Jazdy odbywały się przeważnie w nocy. Badania poligonowe przytwierdzeń SB3 na okręgu w Szczerbince trwały kilka lat, czyli odbywały się zarówno w warunkach letnich, jak i zimowych (zimą temperatura dwukrotnie spadała poniżej -30°C i zbliżała się do -40°C).

Podstawowym celem badań poligonowych było określenie rodzaju i liczby uszkodzeń części składowych przytwierdzenia SB3 do przejścia obciążenia 800 Tg, a także określenie zmian siły docisku łapek sprężystych w okresie badań. W celu określenia

odkształceń geometrycznych badanej nawierzchni w procesie eksploatacji, okresowo wykonywano pomiary następujących parametrów:

- wichrowatość i nierówności podłużne (za pomocą wagonu pomiarowego),
- szerokość toru i przechyłka (co 50 Tg),
- pomiar strzałek w płaszczyźnie poziomej (co 100–150 Tg).

Codziennie prowadzono oględziny badanej konstrukcji w celu stwierdzenia powstawania i rozwoju uszkodzeń poszczególnych części składowych przytwierdzenia. Zmiany siły docisku łapek sprężystych badano co 100–150 Tg. Najważniejsze roboty bieżącego utrzymania, wykonywane w trakcie badań, polegały na pojedynczej wymianie uszkodzonych części składowych nawierzchni: szyn, podkładów betonowych, wkładek izolacyjnych i przekładek.

Zamieszczone w raporcie końcowym wyniki badań zawierają następujące stwierdzenia:

1. Okresowe pomiary szerokości toru S i przechyłki toru h wykazały następujące zależności średnich wartości tych parametrów od przeniesionego obciążenia Q :

$$\bar{S} = 1518,71 + 3,3925 \lg Q,$$

$$\bar{h} = 71,85 + 0,0161 Q.$$

Niewielkie przyrosty tych parametrów w funkcji przeniesionego obciążenia wskazują na dobrą pracę przytwierdzeń w łuku o promieniu 600 m, poddanych działaniu znacznych sił bocznych. W pierwszym okresie eksploatacji, gdy następowała stabilizacja toru, stwierdzono największą intensywność przyrostu szerokości toru, a w miarę wzrostu przeniesionego obciążenia ta intensywność zmalała. Po przeniesieniu obciążenia 800 Tg średnia szerokość toru wzrosła z 1 519 mm do 1 528 mm, czyli o 9 mm. Przyrost przechyłki miał charakter liniowy z intensywnością 1,61 mm/100Tg. Na podstawie pomiarów wagonem nierówności podłużnych i wichrowatości, stan toru na odcinku doświadczalnym oceniono jako dobry w całym okresie badań przytwierdzeń.

2. Zaobserwowano dwa rodzaje uszkodzeń łapek sprężystych:
 - złamanie ramienia łapki, przemieszczającego się po górnej powierzchni kotwy; w czasie badań tylko jedna łapka uległa złamaniu, co odpowiada 0,09% ogólnej liczby ułożonych łapek,
 - odkształcenie trwałe łapki, uniemożliwiające ponowny montaż w torze, powstające bądź w czasie eksploatacji, bądź podczas wielokrotnego montażu i demontażu łapki przy wymianie uszkodzonych szyn; w okresie badań takim odkształceniom uległo 0,88% liczby pierwotnych łapek. W sprawozdaniu z badań stwierdzono, że łapki sprężyste przytwierdzenia SB3 odznaczają się dużą trwałością i niezawodnością.
3. Stwierdzono dwa rodzaje uszkodzeń wkładek izolacyjnych:
 - pęknięcie, a następnie rozkruszenie,

- zużycie, przeważnie na styku wkładek ze stopką szyny.

Uszkodzenia wkładek były bardziej intensywne w początkowym okresie eksploatacji, gdy ujawniły się wady produkcyjne (pory, puste przestrzenie itp.). W czasie badań uszkodzeniu uległo 10,87% wkładek z pierwotnej liczby 1 132 sztuk, przy czym wystąpiła duża niejednorodność uszkodzeń wkładek na poszczególnych przęsłach toru. Średnia intensywność uszkodzeń wkładek izolacyjnych wyniosła 1,35% na 100 Tg przeniesionego obciążenia. Największy wpływ na trwałość wkładek izolacyjnych miały duże siły poziome, rozpychające toki szynowe.

4. Stan przekładek podszynowych oceniano podczas systematycznych oględzin oraz przy pojedynczej lub ciągłej wymianie szyn i kwalifikowano do jednej z trzech grup:
- stan dobry: niewielkie ślady starcia,
 - stan zadowalający: znaczne starcia przy braku pęknięć i rozerwań; przekładki pozostawały w torze,
 - stan niezadowalający: rozerwania, przetarcia na całej grubości; takie przekładki były wymieniane.

Rozkład uszkodzeń przekładek na poszczególnych przęsłach torowych był wysoce niejednorodny. Średnio w okresie badań uszkodzeniu uległo 33,57% liczby początkowo ułożonych przekładek, czyli średnia intensywność uszkodzeń wyniosła 4,31% na 100 Tg. W praktyce oznacza to, że zastosowane płaskie, sztywne przekładki poliuretanowe były najłabszą częścią składową badanego przytwierdzenia.

5. Zaobserwowano dwa rodzaje pęknięć podkładów betonowych:
- w części środkowej,
 - w strefie kotew.

Po przejściu obciążenia 800 Tg stwierdzono, że pęknięcia w części środkowej wystąpiły w 5,65%, a pęknięcia w strefie kotew w 1,41% liczby pierwotnie ułożonych podkładów. Zwiększona liczba uszkodzeń podkładów wystąpiła w strefie spawanych styków szyn przejściowych, gdzie wskutek nierówności powierzchni tocznej szyn miały miejsce zwiększone oddziaływania dynamiczne taboru. Pęknięcia w części środkowej podkładów były spowodowane głównie odmiennymi warunkami pracy w torze o szerokości 1 520 mm, podczas gdy podkład był zaprojektowany dla torów o szerokości 1 435 mm. Oceniono, że wskutek eksploatacji w torze szerokim, powstawał w części środkowej podkładu większy o około 20% moment zginający.

6. Stwierdzono, że zmiany sił docisku łapek sprężystych były wywołane głównie dwiema przyczynami:
- trwałym odkształceniem łapek,
 - zużyciem i odkształceniem przekładek podszynowych i wkładek izolacyjnych.

We wnioskach z badań stwierdzono, że spadek siły docisku następował stosunkowo wolno, co oznacza, że w warunkach eksploatacyjnych PKP, znacznie łagodniejszych niż na okręgu w Szczerbince, intensywność spadku siły docisku łapek sprężystych będzie mniejsza.

We wnioskach zawartych w raporcie końcowym stwierdzono, że badania przytwierdzeń SB3 w warunkach okręgu doświadczalnego do przejścia obciążenia 800 Tg wykazały dużą trwałość i niezawodność zarówno całej konstrukcji przytwierdzenia, jak i jego poszczególnych części składowych oraz podkładów betonowych. W warunkach eksploatacyjnych PKP, przy mniejszych naciskach osi i mniejszym natężeniu przewozów, należało oczekiwać, że trwałość badanej konstrukcji będzie większa. Na okręgu w Szczerbinie wiele uszkodzeń części składowych przytwierdzenia i podkładów betonowych stwierdzono w rejonach styków i spawów szyn przejściowych. W bezстыkowych torach PKP takich uszkodzeń praktycznie nie będzie, co oznacza, że intensywność uszkodzeń będzie mniejsza niż stwierdzono w badaniach, a nakłady robocizny na wymianę uszkodzonych części będą niewielkie. Wdrożenie SB3 na sieci PKP spowoduje zmniejszenie nakładów na bieżące utrzymanie nawierzchni.

Po przejściu obciążenia 800 Tg przedłużono umowę o prowadzenie badań poligonowych przytwierdzeń SB3 na okręgu w Szczerbinie, aż do przejścia obciążenia 1 200 Tg. Wyniki obserwacji po zakończeniu przedłużonych badań, w niewielkim stopniu odbiegały od uzyskanych przy obciążeniu 800 Tg. W latach 1993–1995 odcinek doświadczalny PKP był nadal eksploatowany bez żadnych niepokojących zjawisk, aż do przejścia obciążenia 2 184,3 Tg. Wtedy wybudowano z toru badaną konstrukcję, gdyż na jej miejsce zaplanowano ułożenie innego toru do badań. Przeniesione obciążenie specjaliści rosyjscy uznali za wynik rekordowy, w historii okręgu doświadczalnego nigdy wcześniej nie uzyskiwany.

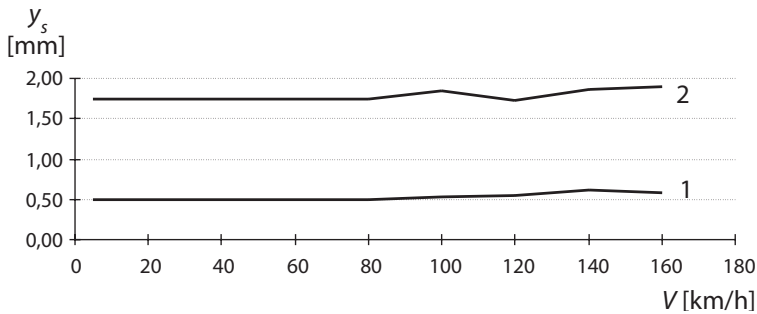
2.3. Badania oddziaływań dynamicznych i hałasu

W 1995 r. w torze nr 2 linii Warszawa – Poznań, przeprowadzono porównawcze badania nawierzchni na podkładach drewnianych z przytwierdzeniem typu K i nawierzchni na podkładach betonowych z przytwierdzeniem SB3 przy prędkościach jazdy do 175 km/h. Porównywano oddziaływania dynamiczne, spokojność jazdy, naprężenia i poziom hałasu [19]. Odcinki doświadczalne ułożono w maju 1989 r. podczas naprawy głównej nawierzchni, wykonywanej przez ten sam pociąg zmechanizowany. Podtorze na obu odcinkach było praktycznie jednakowe. Odcinek na podkładach betonowych miał długość 461 m, odcinek porównawczy na podkładach drewnianych długość 584 m.

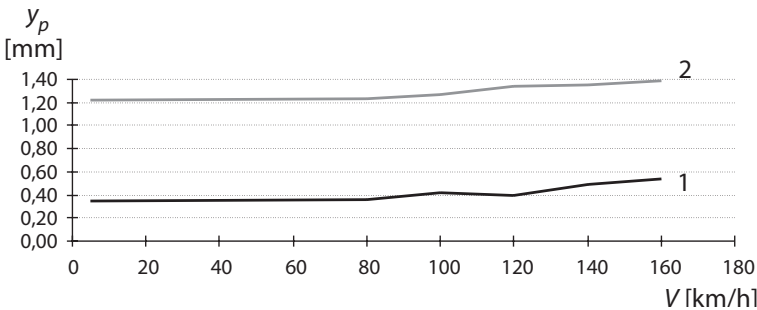
Na obu odcinkach, w dniu 7 marca 1990 r., czyli po około 9 miesiącach eksploatacji, określono stan toru za pomocą drezyny pomiarowej EM-120, przyjmując parametry oceny dla prędkości 160 km/h. Stan toru na podkładach drewnianych był gorszy ze względu na większą liczbę usterek poszczególnych klas i większą łączną długość tych usterek. Stwierdzono duże, dochodzące do 8 mm, zwężenia szerokości toru. Gorsze było także wzajemne położenie toków szynowych w płaszczyźnie pionowej i wichrowatość. Natomiast nierówności pionowe i poziome toru na obu odcinkach były podobne.

Wyniki badań dynamicznych, prowadzonych do prędkości 175 km/h, czyli największej prędkości, jaką mogła uzyskać lokomotywa EP-05, były następujące:

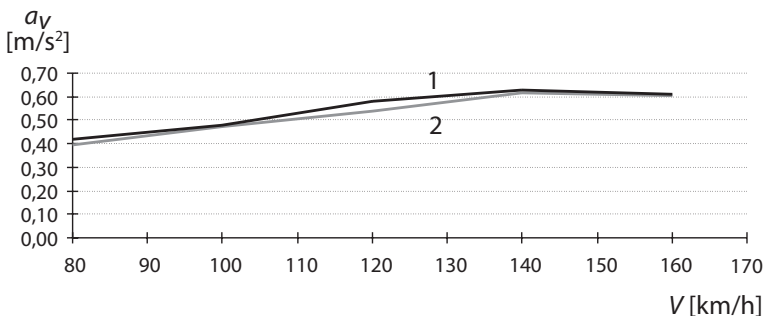
- pionowe, sprężyste ugięcia szyn (rys. 1) i podkładów (rys. 2) oraz naprężenia w stopce szyny pod działaniem nacisków kół lokomotywy były znacznie mniejsze w torze na podkładach betonowych z przytwierdzeniem SB3, przyspieszenia pionowe i poziome pudła wagonu (rys. 3 i 4) były praktycznie jednakowe na obu odcinkach,
- poziom hałasu wewnątrz wagonu pasażerskiego był niższy w torze na podkładach betonowych: o 5 dB przy prędkości 100 km/h i o 4 dB przy prędkości 175 km/h (rys. 5).



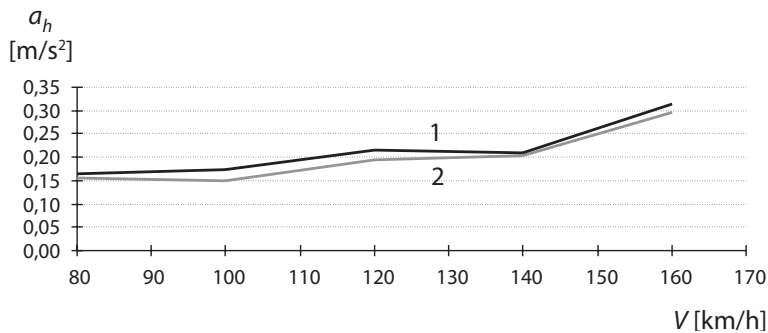
Rys. 1. Pionowe ugięcia szyn y_s : 1) tor na podkładach betonowych z przytwierdzeniem SB3, 2) tor na podkładach drewnianych z przytwierdzeniem K



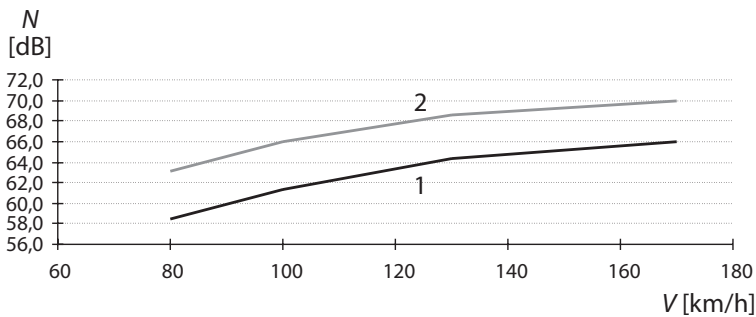
Rys. 2. Pionowe ugięcia podkładów y_p : 1) tor na podkładach betonowych z przytwierdzeniem SB3, 2) tor na podkładach drewnianych z przytwierdzeniem K



Rys. 3. Wartości średnie pionowych przyspieszeń pudła wagonu a_v : 1) tor na podkładach betonowych z przytwierdzeniem SB3, 2) tor na podkładach drewnianych z przytwierdzeniem K



Rys. 4. Wartości średnie poziomych przyspieszeń a_h pudła wagonu: 1) tor na podkładach betonowych z przytwierdzeniem SB3, 2) tor na podkładach drewnianych z przytwierdzeniem K



Rys. 5. Poziom hałas N wewnątrz wagonu pasażerskiego: 1) tor na podkładach betonowych z przytwierdzeniem SB3, 2) tor na podkładach drewnianych z przytwierdzeniem K

Wyniki opisanych badań dynamicznych wraz z wynikami wcześniej przeprowadzonych badań trwałości (punkt 2.2) umożliwiły uzasadnienie wniosku o możliwości zastosowania podkładów betonowych z przytwierdzeniem SB3 na Centralnej Magistrali Kolejowej, zamiast poprzednio stosowanej nawierzchni na podkładach drewnianych z przytwierdzeniem K [3]. Sformułowano również wymagania dotyczące części składowych nawierzchni na CMK (podkładów betonowych, przytwierdzeń i posypki). Wskazano kierunki prac badawczych, konstrukcyjnych i wdrożeniowych zmierzających do:

- wyprodukowania udoskonalonych przekładek podszytowych o większej zdolności pochłaniania energii, zmniejszających sztywność nawierzchni na podkładach betonowych (w badaniach trwałości na okręgu w Szczercbinie i w badaniach dynamicznych na linii Warszawa – Poznań stosowano płaskie przekładki poliuretanowe o dużej sztywności),
- poprawy wytrzymałości wkładek izolacyjnych, które w opisanych badaniach były słabym elementem przytwierdzenia SB3,
- skonstruowania udoskonalonych narzędzi do montażu i demontażu łapek sprężystych; narzędzia te powinny ułatwić wykonywanie wymienionych czynności oraz zmniejszyć naprężenia i odkształcenia występujące podczas tych operacji w celu uniknięcia deformacji łapek.

Realizację tych zaleceń opisano w dalszej części artykułu.

Wprowadzenie nawierzchni na podkładach betonowych z przytwierdzeniem SB3 na liniach o dużych prędkościach wywołało potrzebę zwrócenia uwagi na zagadnienia podtorza w technologii napraw głównych [10]. W szczególności postawiono wymagania dotyczące spadku poprzecznego torowiska, konieczności wykonania umocnionych kliniec lub odsiewkami ław o odpowiednich wymiarach i pochyleniach oraz zapewnienia należytego odwodnienia toru. Stało się możliwe uzyskanie wymaganej grubości warstwy podsypki pod podkładami z dopuszczalną odchyłką 2 cm. Prawidłowo wykonane podtorze oraz właściwy kształt i dobra jakość warstwy podsypki stały się gwarancją zapewnienia nośności, umożliwiającej przejście zwiększonych oddziaływań dynamicznych toru na podkładach betonowych.

Zastosowanie podkładów betonowych na liniach dużych prędkości pociągnęło za sobą konieczność ograniczenia oddziaływań dynamicznych w miejscach połączeń szyn przez przestrzeganie warunku, że nierówności pionowe zgrzein i spawów nie mogą być większe niż 0,3 mm na długości 1 m. Wdrożono również szlifowanie szyn specjalnymi pociągami, w celu zmniejszenia początkowych nierówności i usuwania falistego zużycia. Wprowadzono odchyłki dopuszczalne w geometrycznym położeniu toru, ograniczające nadwyżki dynamiczne w torze na podkładach betonowych.

2.4. Badania przy dużych prędkościach jazdy

W maju 1994 r. na odcinku doświadczalnym toru z przytwierdzeniem SB3, ułożonym na Centralnej Magistrali Kolejowej, przeprowadzono badania oddziaływań dynamicznych toru i taboru przy prędkościach jazdy do 250 km/h. Szyny typu 60 E1 wyprodukowane w 1992 r., były ułożone w 1992 r. na podkładach betonowych z przytwierdzeniem SB3. Na odcinku znajdował się jeden łuk o promieniu 4 984 m oraz dwa rozjazdy UIC 60-1:18,5-1200. Szyny zostały poddane w 1993 r. procesowi szlifowania przez firmę SPENO. Odchyłki parametrów geometrycznych toru kształtowały się w granicach założonych dla eksploatacji z prędkością rozkładową 200 km/h. Syntetyczny wskaźnik jakości toru J , obliczany na podstawie pomiarów drezyną EM-120 dla kilometrowych odcinków, wynosił 1,1–1,4, a dla kilometra z rozjazdami – 1,8.

W maju 1994 r. odbyły się jazdy próbne pociągami ETR-460 *Pendolino* w celu określenia dynamiki (przyspieszeń i sił) wózków i pudeł wagonów przy różnych prędkościach. Mierzono parametry niezbędne do określenia zachowania się pojazdu z punktu widzenia dynamiki jazdy. W szczególności wykonywano:

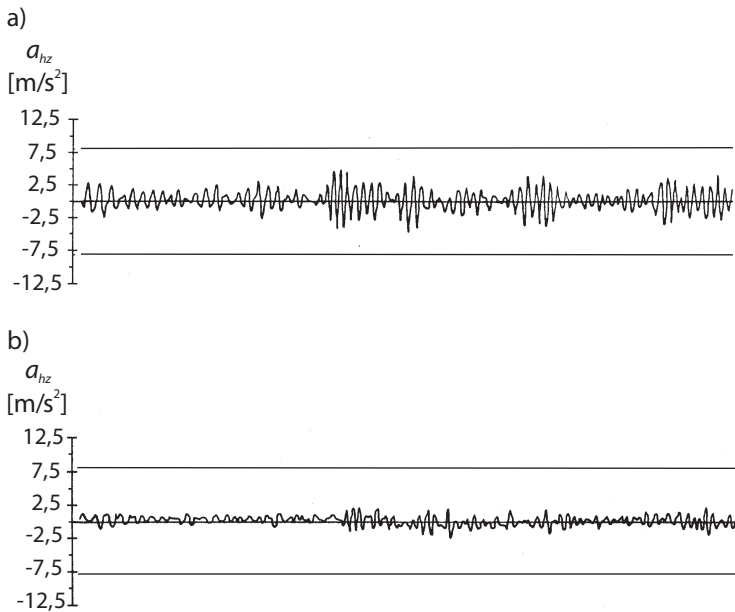
- pomiary stabilności pojazdu – na podstawie przyspieszeń poprzecznych na ramie wózka, prędkości i niezrównoważonego przyspieszenia bocznego,
- pomiary wzajemnych oddziaływań – sił poprzecznych na styku koło – szyna na pierwszym wózku i sił pionowych na styku koło – szyna, obliczanych na podstawie ugięcia głównej sprężyny oraz wartości poprzecznej siły działającej wzdłuż osi,

- pomiary 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, począwszy od prędkości rozkładowej na CMK, tj. 160 km/h. Prędkość jazdy przy każdej następnej próbie zwiększano stopniowo aż do osiągnięcia 250 km/h. Maksymalna prędkość, z jaką jechał pociąg ETR 460: 250,1 km/h, jest do dziś rekordem prędkości na sieci PKP. Decyzja o zwiększeniu prędkości była podejmowana w czasie prób na podstawie analizy następujących parametrów decydujących o bezpieczeństwie jazdy:

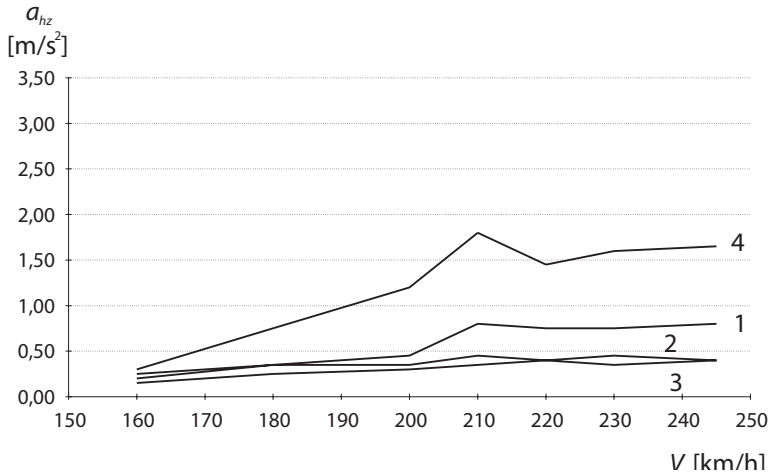
- przyspieszeń poprzecznych na czterech wózkach,
- sił poprzecznych prowadzących Y na styku koło – szyna na pierwszym wózku,
- sumy sił poprzecznych Y na dwóch osiach pierwszego wózka.

Przykładowe wykresy przyspieszeń poprzecznych ramy zestawu kołowego dla prędkości jazdy 245 km/h przedstawiono na rysunku 6. Karta UIC 515 określa stabilność jazdy na podstawie następującego kryterium: wartości 6 kolejnych pików przyspieszeń poprzecznych na ramie zestawu kołowego nie mogą przekroczyć 8 m/s^2 w zakresie częstotliwości 4 – 8 Hz. Z rysunku 6 wynika, że wartości dopuszczalne nie zostały przekroczone. Widoczna różnica w poziomie wartości przyspieszeń wynika z tego, że pierwsza część odcinka doświadczalnego miała szyny szlifowane pociągiem SPENO.



Rys. 6. Przyspieszenia poprzeczne a_{hz} na ramie zestawów kołowych pierwszego wagonu pociągu ETR 460 przy prędkości 245 km/h: a) pierwszy wózek, b) drugi wózek

Na rysunku 7 przedstawiono sumaryczny wykres wartości skutecznych przyspieszeń poprzecznych na ramie zestawów kołowych w funkcji prędkości.

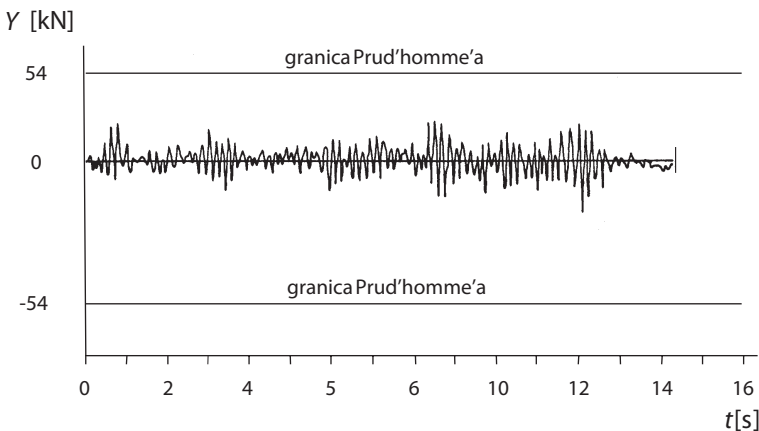


Rys. 7. Wartości skuteczne (RMS) przyspieszeń poprzecznych a_{hz} na ramach zestawów kołowych pociągu ETR 460; pierwszy wagon: 1) pierwszy wózek, 2) drugi wózek; drugi wagon: 3) pierwszy wózek, 4) drugi wózek

Oprócz stabilności zestawów kołowych określono również kryterium torowe (kryterium Prud'homme'a). Dla pociągu ETR-460 *Pendolino* przyjęto graniczną wartość:

$$\lim \sum Y_{(2m)} = 54 \text{ kN.}$$

Na rysunku 8 przedstawiono wykres wartości sumy sił poprzecznych dla drugiej osi pierwszego wózka w funkcji czasu przebiegu przy prędkości 245 km/h na odcinku z dwoma rozjazdami. Były to największe wartości zmierzone podczas wszystkich jazd doświadczalnych, jednak znacznie mniejsze od wartości dopuszczalnych.



Rys. 8. Wartości sumy sił Y w funkcji czasu t dla drugiej osi pierwszego wózka pociągu ETR 460 przy prędkości 245 km/h

Na podstawie wartości przyspieszeń pionowych i poprzecznych pudła wagonu obliczono w funkcji drogi wskaźniki spokojności jazdy W_z przy prędkościach 160–220 km/h. Czujniki przyspieszeń umieszczono w pierwszym wagonie nad czopem skrzytu pierwszego i drugiego wózka oraz w połowie długości wagonu. Komfort jazdy określa się jako bardzo dobry, gdy wartość tego wskaźnika nie przekracza poziomu 2,5 [16]. W tablicy 1 podano średnie wartości wskaźnika W_z dla przyspieszeń pionowych i przyspieszeń poprzecznych pudła wagonu.

Tablica 1

Średnie wartości wskaźnika W_z dla przyspieszeń pionowych i poprzecznych pudła wagonu pociągu ETR 460

Prędkość [km/h]	Przyspieszenia pionowe [m/s ²]	Przyspieszenia poprzeczne [m/s ²]
160	2,02	1,81
180	2,10	2,07
200	2,12	2,05
220	2,37	2,21

Innym wskaźnikiem komfortu jazdy jest dopuszczalny czas oddziaływania na organizm ludzki drgań pionowych i poprzecznych (*fatigue time* – czas zmęczenia). Jest on używany do określenia czasu, po którym przeciętny pasażer poddany określonym drganiom pudła wagonu zacznie odczuwać dyskomfort jazdy. Komfort jazdy można ocenić jako dobry, gdy czas zmęczenia jest dłuższy niż 10 godzin dla przyspieszeń poprzecznych i 20 godzin dla przyspieszeń pionowych. Tablice nr 2 i 3 przedstawiają średnie wskaźniki W_z dla przyspieszeń pionowych i poprzecznych, uzyskane dla jazd z prędkościami od 160 do 220 km/h wraz z obliczonymi czasami zmęczenia.

Tablica 2

Średnie wskaźniki W_z i czasy zmęczenia dla jazdy pociągiem ETR 460: drgania pionowe

Prędkość [km/h]	Nad I wózkiem		W środku wagonu		Nad II wózkiem	
	W_z	Czas zmęczenia [h]	W_z	Czas zmęczenia [h]	W_z	Czas zmęczenia [h]
160	2,17	35,7	2,16	37,2	2,18	34,8
180	2,26	28,7	2,30	26,7	2,26	29,2
200	2,37	22,6	2,33	24,6	2,35	23,8
220	2,34	23,9	2,41	20,6	2,48	17,6

Tablica 3

**Srednie wskaźniki W_z i czasy zmęczenia dla jazdy pociągiem ETR 460:
drżania poprzeczne**

Prędkość [km/h]	Nad I wózkiem		W środku wagonu		Nad II wózkiem	
	W_z	Czas zmęczenia [h]	W_z	Czas zmęczenia [h]	W_z	Czas zmęczenia [h]
160	1,90	73,0	1,92	68,7	1,92	69,5
180	2,11	41,4	2,12	41,2	2,15	37,7
200	2,15	37,7	1,96	62,6	2,17	36,2
220	2,38	21,9	2,10	42,7	2,16	38,0

Na podstawie wyników badań można sformułować następujące wnioski:

- wartości oddziaływań dynamicznych, pomierzone podczas jazdy pociągu ETR-460 *Pendolino*, mieściły się w granicach dopuszczalnych, przyjętych dla bardzo dobrego komfortu jazdy, w zakresie prędkości do 220 km/h dla przyspieszeń pudła wagonu i wskaźnika W_z oraz do 245 km/h dla przyspieszeń poprzecznych zestawów kołowych,
- w żadnym wypadku nie zostały przekroczone parametry decydujące o bezpieczeństwie jazdy.

W maju 2009 r. w torze nr 1 szlaku Psary – Góra Włodowska Centralnej Magistrali Kolejowej przeprowadzono jazdy pomiarowe lokomotywy *Europrinter ES-64U4 „Husarz”*; wyprodukowanej dla PKP Intercity S.A. przez firmę Siemens [5]. Pociąg pomiarowy był złożony z dwóch lokomotyw *Europrinter* oraz trzech wagonów typu Z1. Badania prowadzono w celu uzyskania przez lokomotywę świadectwa dopuszczenia do eksploatacji, wydawanego przez Urząd Transportu Kolejowego. Największa prędkość osiągnięta podczas jazdy pomiarowych wyniosła 235 km/h. Jest to jak dotychczas największa prędkość uzyskana na sieci PKP przez pociąg prowadzony lokomotywą. Poprzedni rekord prędkości takiego pociągu, osiągnięty w kwietniu 1999 r., wyniósł 222 km/h. Podczas jazdy pomiarowych badano przyspieszenia w poszczególnych punktach pojazdu, współpracę pantografu z siecią trakcyjną, charakterystyki prądowe na podstacji oraz oddziaływania pojazdu na urządzenia sterowania ruchem kolejowym.

Wyniki opisanych badań wskazują, że tor na podkładach betonowych z przytwierdzeniem SB umożliwia bezpieczną jazdę z dobrymi parametrami przy prędkościach co najmniej 250 km/h.

2.5. Badania interoperacyjności systemu przytwierdzenia

System przytwierdzenia szyn do podkładów został uznany przez Unię Europejską jako składnik interoperacyjności kolei i w związku z tym musi spełniać wymagania zawarte w dokumentach wydanych przez Komisję Europejską. Tymi dokumentami są m.in.:

- Dyrektywa Rady 96/48/WE z dnia 23 lipca 1996 r. w sprawie interoperacyjności transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości (Dz.U. L 235 z 17.9.1996, s. 6 – 24, Polskie Wydanie Specjalne: Rozdział 17 Tom 017 P. 152 – 170),
- Dyrektywa 2001/16/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 19 marca 2001 r. w sprawie interoperacyjności transeuropejskiego systemu kolei konwencjonalnych (Dz.U. L 110 z 20.4.2001, s. 1 – 27. Polskie Wydanie Specjalne: Rozdział 13 Tom 26 P. 243 – 269),
- Decyzja 2002/732/EC Komisji z dnia 30 maja 2002 r. dotycząca specyfikacji technicznej interoperacyjności (TSI) podsystemu infrastruktury transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości, określonej w art. 6 ust. 1 dyrektywy Rady 96/48/WE (Dz.U. L 245 z 12.9.2002, s. 143 – 279. Polskie Wydanie Specjalne Rozdział 13 Tom 30 P. 149 – 288),
- Obligatoryjne normy europejskie, powoływane w TSI, a w szczególności siedem norm europejskich PN-EN 13481 (1÷7):2004 „Kolejnictwo – Tor – Wymagania eksploatacyjne dla systemów przytwierdzeń”, uzupełnionych ośmioma normami europejskimi PN-EN 13146 (1÷8): 2003(U) „Kolejnictwo – Tor – Metody badania systemów przytwierdzeń”.

Normy serii 13481 precyzują wymagania, które powinny spełnić systemy przytwierdzeń do podkładów drewnianych, betonowych i stalowych, do nawierzchni bezpodsypkowych i do rozjazdów. Ujednolicone sposoby badań i kryteria jednolitej oceny dowolnych systemów przytwierdzeń opisują normy serii 13146. Dotyczą one następujących badań:

- określenie oporu podłużnego szyny,
- określenie oporu na skręcanie,
- określenie tłumienia obciążeń dynamicznych,
- badanie efektu obciążeń powtarzalnych,
- określenie rezystencji,
- badanie wpływu skrajnych warunków środowiskowych,
- określenie siły docisku,
- badania eksploatacyjne.

Metodyka badań oraz wymagania w większości pochodzą z wcześniejszych prac Komitetu ORE D170 (pkt. 2.1.). W 2005 r. przeprowadzono w akredytowanych laboratoriach Centrum Naukowo-Technicznego Kolejnictwa badania systemu przytwierdzenia sprężystego SB, zgodnie z metodyką opisaną w normach serii 13146. Wyniki oceniono według wymagań normy PN-EN 13481–2:2003 „Systemy przytwierdzeń do podkładów betonowych” [4].

Częściami składowymi zgłoszonego do badań przez firmę INBEX Sp. z o.o systemu przytwierdzenia były: kotwa żeliwna SB3/7, przekładka kształtowa P6094, elektroizolacyjna wkładka dociskowa WKW 60, łapka sprężysta SB7. Pobieranie próbek do badań przeprowadzono sposobem losowym „na ślepo” zgodnie z normą PN-83/N-03010, liczność próbek była zgodna z normą PN-EN 13482–2: 2004, badane części składowe przytwier-

dzenia były odcenowane prawidłowo. We wszystkich badaniach obowiązywał jedno-stopniowy plan badania, normalny rodzaj kontroli S-2 oraz akceptowany poziom jakości AQL = 2,5%. Badane przytwierdzenie było montowane na podkładzie strunobetonowym PS-94. Wyniki badań zestawiono w tablicy 4.

Tablica 4

**Wyniki badań przytwierdzenia SB według norm serii 13 146
na tle wymagań normy 13481 cz. 2**

Badany parametr		Wartość uzyskana	Wartość wymagana
Opór podłużny szyny [kN]		17,5	7; 9 w torach dla prędkości ≥ 250 km/h
Opór na skręcanie [kNm]		1,49	1
Tłumienie obciążeń dynamicznych [%]		57,47	Niskie ≤ 15 średnie 15 – 30 wysokie ≥ 30
Siła docisku [kN]		24,6	16
Zmniejszenie parametrów po działaniu obciążeń powtarzalnych [%]	Opór podłużny	17,1	≤ 20
	Siła docisku	17,1	≤ 20
	Sztywność statyczna	19,1	≤ 25
Rezystancja [k Ω]		27,71	5
Odporność na skrajne warunki środowiskowe: natrysk solny przez 300 godzin		Nie stwierdzono trudności w demontażu i montażu	Możliwość demontażu i ponownego montażu przytwierdzenia zwykłymi narzędziami

Ponadto zleceniodawca badań przedstawił obliczenia pokazujące maksymalną zmienność statycznej szerokości toru, która może pochodzić od analizowanego systemu przytwierdzenia. Obliczenia uwzględniały nominalne wymiary przekroju poprzecznego szyny oraz każde możliwe położenie szyny w zespole przytwierdzenia. Na podstawie przedstawionego rysunku można było stwierdzić, że zmienność szerokości toru nie przekracza ± 1 mm. Przeprowadzono również badania odporności kotew na trwające 3 minuty obciążenie pionowe 60 kN. Po usunięciu obciążenia nie stwierdzono pęknięć betonu w strefie kotew, ani uszkodzeń kotew.

Na podstawie przeprowadzonych w CNTK badań stwierdzono, że wszystkie badania przytwierdzenia SB zakończyły się wynikiem pozytywnym. System spełnia więc wymagania normy [14], gdyż parametry techniczne znacznie przekraczają wymagania. System SB wykazuje wysokie tłumienie oddziaływań dynamicznych, a jego parametry po działaniu obciążeń powtarzalnych gwarantują dużą trwałość w eksploatacji.

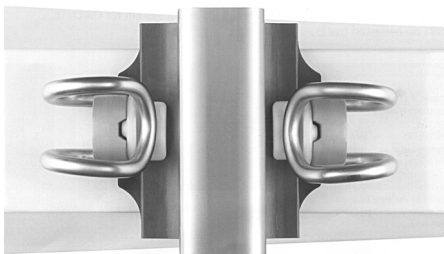
3. ROZWÓJ KONSTRUKCJI PRZYTWIERDZENIA

Opisane w rozdziale 2 badania laboratoryjne, poligonowe i eksploatacyjne przyczyniły się do rozwoju konstrukcji SB. Wnioski z tych badań wskazywały na potrzebę modyfikacji części składowych przytwierdzenia pod względem kształtu, doboru materiałów i technologii produkcji oraz przystosowania do zmechanizowanych napraw i utrzymania nawierzchni. Powszechne zastosowanie przytwierdzenia wywołało potrzebę dostosowania konstrukcji do szczególnych miejsc toru, np. mostów, przejazdów w poziomie szyn, a także do zapewnienia możliwości stosowania w torach tramwajowych. Przytwierdzenie SB3, na którym przeprowadzono większość badań, zastąpiono nowszymi rozwiązaniami z łapkami sprężystymi SB4 lub SB7 o korzystniejszych parametrach (rys. 9). Modyfikacji uległy także inne części składowe przytwierdzenia. Przykładem nowego rozwiązania jest pokazane na rysunku 10 przytwierdzenie sprężyste SB-W1 [7], w którym zastosowano nową przekładkę PWE (rys. 20).

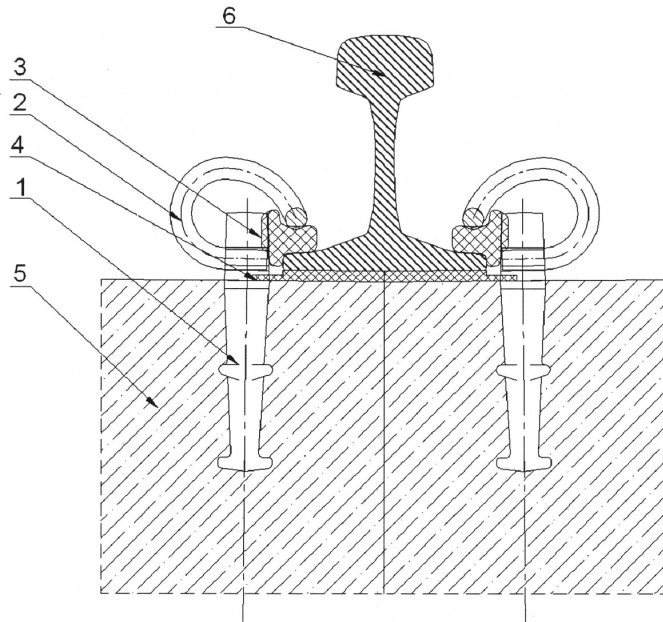
a)



b)



Rys. 9. Przytwierdzenie z łapką sprężystą SB4: a) widok ogólny, b) szczegół



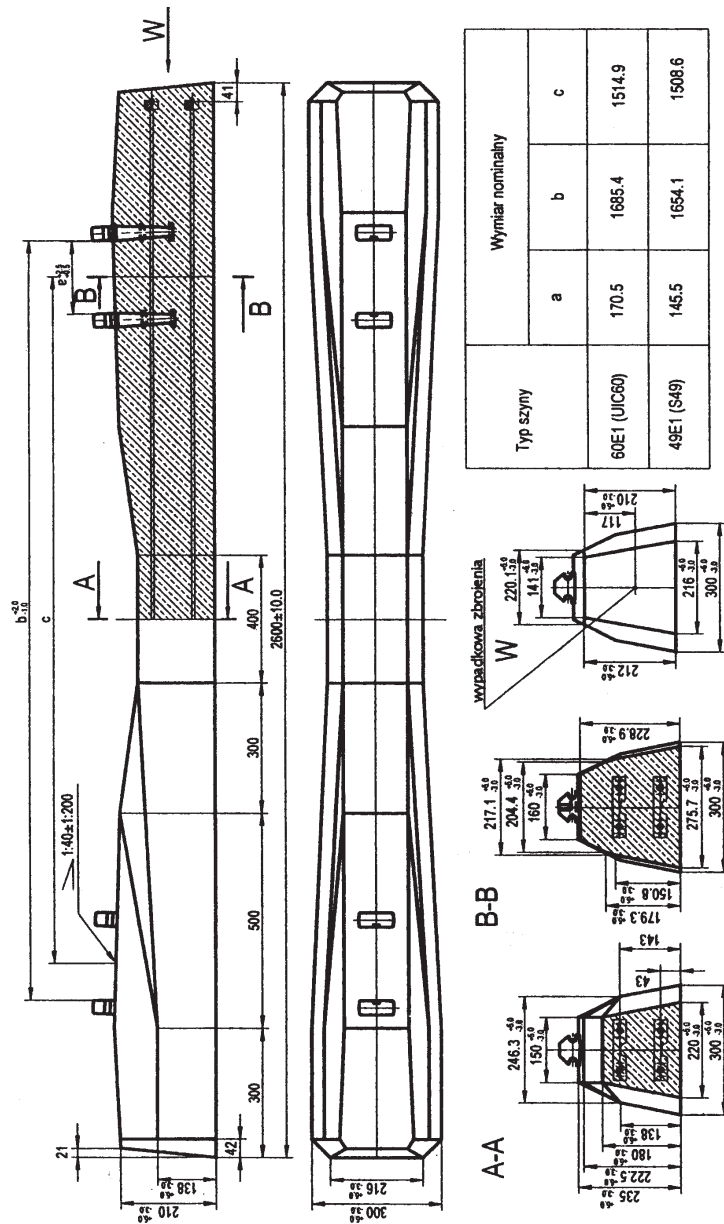
Rys. 10. Schemat przytwierdzenia sprężystego SB-W1: 1) kotwa SB3/3, 2) łapka sprężysta SB4, 3) wkładka izolacyjna WKW 60, 4) przekładka podszynowa PWE, 5) podkład betonowy PS-93 lub PS-94, 6) szyna 60 E 1

3.1. Podkłady betonowe

Pierwsze odcinki torów z przytwierdzeniem SB3 były układane w torach z produkowanymi wówczas podkładami INBK-7, sprężonymi splotami o średnicy 7,5 mm z wykorzystaniem zasady przyczepności betonu do zbrojenia. Wytrzymałość tych podkładów była zróżnicowana ze względu na niezbyt jeszcze wysoką klasę betonu i trudny do kontroli sposób sprężania. Wraz ze zmianą technologii produkcji, polegającą na odejściu od długich torów produkcyjnych i zastąpieniu ich formami oporowymi, pojawiły się nowoczesne podkłady PS-93 i PS-94, wykonywane z betonu klasy C50/60, sprężone ośmioma prętami o średnicy 7 mm, ze stali o wytrzymałości 1 670 N/mm², główkowanymi i naciąganimi za pomocą płytek czołowych. Zapewniło to trwałe sprężenie podkładu w ciągu całego procesu eksploatacji, co potwierdziły zarówno doświadczenia PKP, jak i innych zarządów kolejowych (Niemcy, Włochy, Hiszpania), gdzie takie rozwiązanie było zastosowane wcześniej niż na PKP.

Taki sposób sprężania jest korzystniejszy od uprzednio stosowanej technologii wykorzystującej przyczepność betonu do strun, gdyż zapewnia stałość siły sprężającej, eliminuje strefę niepełnego sprężenia w pobliżu końców podkładu, ogranicza wielkość strat początkowej siły sprężającej oraz chroni pręty sprężające przed korozją. Gwarantuje także niezawodne umocowanie kotew w podkładzie. Produkowane są również podkłady PS-83 zbrojone 56 strunami o średnicy 2,5 mm, ze stali o wytrzymałości 1 863 N/mm²,

pogrupowanymi w 14 splotów. W technologii produkcji wykorzystuje się przy sprężeniu przyczepność betonu do zbrojenia, co przy dużej liczbie splotów zapewnia wymaganą wielkość siły sprężającej. Na rysunku 11 pokazano podkład PS-94 powszechnie stosowany w torach z przytwierdzeniem SB.



Rys. 11. Podkład strunobetonowy PS-94

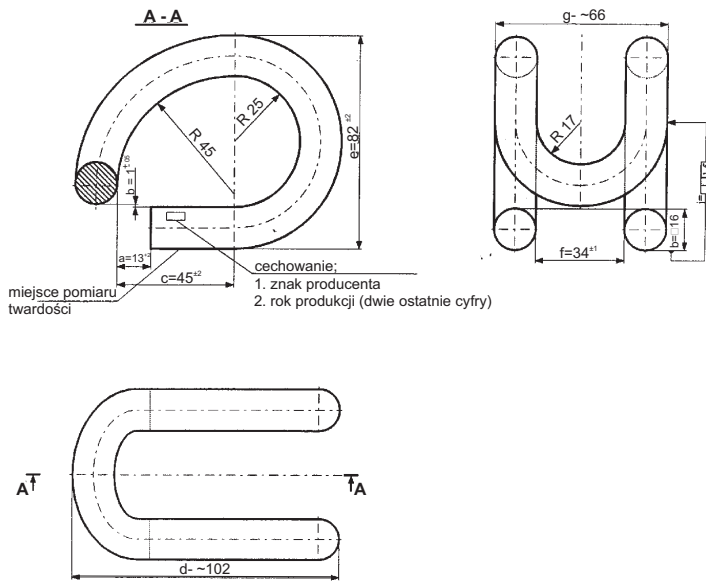
Wymienione podkłady, to znaczy PS-93, PS-94 i PS-83 są produkowane również z rozstawem kotew odpowiadającym szerokości toru 1 520 mm. Podkład PS-94 jest również produkowany w odmianie przystosowanej do układania odbojnic na mostach i wiaduktach. Do mocowania odbojnic służą dodatkowe dyble z tworzywa sztucznego.

W technologii produkcji podkładów strunobetonowych z przytwierdzeniem SB dużą uwagę zwraca się na zapewnienie odpowiedniego rozstawu kotew przytwierdzenia, gwarantującego wymaganą szerokość toru. Skonstruowano precyzyjne przymiary i szablony stosowane do kontroli jakości położenia kotew w gotowych podkładach. Dużą uwagę poświęcono też skonstruowaniu niezawodnych gniazd do mocowania kotew w formach, zapewniających niezmiennność położenia kotew w trakcie produkcji podkładu (zwłaszcza przy wibrowaniu podkładów), jak i odpowiedni rozstaw kotew. Precyzyjne „Warunki techniczne wykonania i odbioru podkładów i podrozdnic strunobetonowych” szczegółowo określają wymagania, które muszą spełniać podkłady.

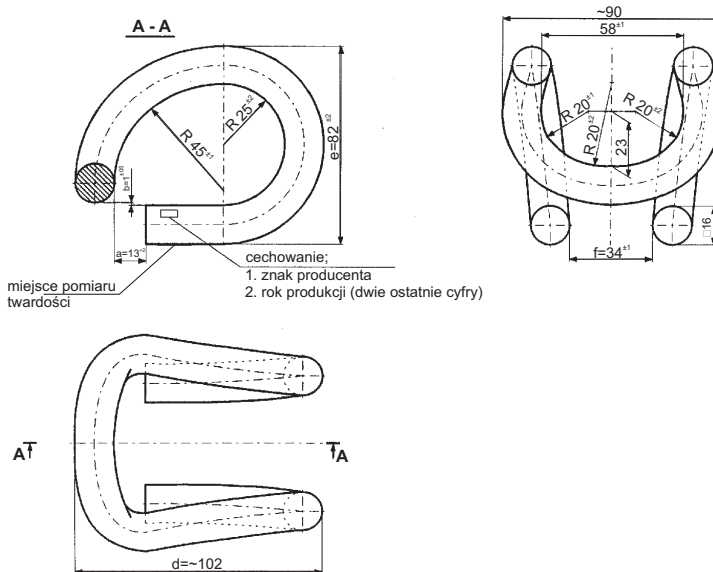
3.2. Łapki sprężyste

Badania poligonowe na okręgu w Szczerbince wykazały, że podczas montażu i demontażu łapek SB3 naprężenia w przekroju położonym w osi symetrii łapki, niebezpiecznie zbliżają się do granicy sprężystości stali. Ponadto w zmontowanym przytwierdzeniu występują duże naprężenia we wkładce izolacyjnej na styku z łapką SB3, które mogą powodować, zwłaszcza we wkładkach z wadami materiałowymi, pęknięcia w czasie montażu lub w początkowym okresie eksploatacji.

W 1996 r. przeprowadzono analizę porównawczą naprężeń w łapce SB3 (zaokrąglonej promieniem 33 mm) i w hipotetycznej łapce zaokrąglonej promieniem 46 mm, powstających podczas montażu łapki i działających na wkładkę izolacyjną. Obliczenia wykonane według zasad wytrzymałości materiałów (pręty silnie zakrzywione, naprężenia stykowe) wykazały, że zwiększenie promienia łapki z 33 mm do 46 mm zmniejsza naprężenie rozciągające w łapce o około 15% i naprężenie stykowe we wkładce izolacyjnej o około 20%. Korzystniejszy stan naprężeń w łapce i wkładce dociskowej przyczynił się do opracowania łapki o symbolu SB4. Nowa łapka uzyskała ochronę patentową [11]. W 2003 r. przytwierdzenie z łapką SB4 uzyskało wyróżnienie na Międzynarodowych Targach Kolejowych TRAKO. W materiałach informacyjnych firmy Vossloh Skamo [8], producenta łapki SB4, stwierdza się, że przytwierdzenie sprężyste SB-4 (oprócz Skl 12 i Skl 14) charakteryzuje się *dużą sprężystością, a także możliwością stosowania na liniach o wysokich prędkościach i dużych obciążeniach*. Na rysunku 12 pokazano łapkę SB3, a na rysunku 13 – łapkę SB4.



Rys. 12. Łapka sprężysta SB3

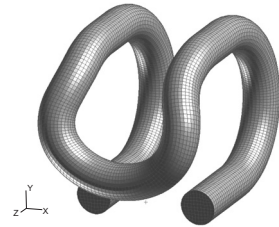


Rys. 13. Łapka sprężysta SB4

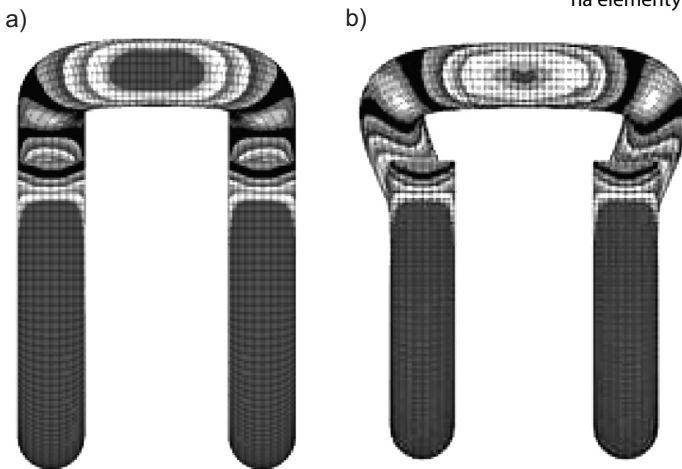
W 2000 r. firma Interfrez Sp. z o.o. z Tarnowa opracowała konstrukcję łapki sprężystej SB7 w celu zmniejszenia dużych naprężeń montażowych oraz poprawy współpracy z wkładką izolacyjną. Nowa łapka przeszła pomyślnie badania laboratoryjne (w tym

badania zmęczeniowe pod wpływem 5 mln. cykli obciążeń) oraz badania eksploatacyjne na odcinkach doświadczalnych i została przyjęta do stosowania.

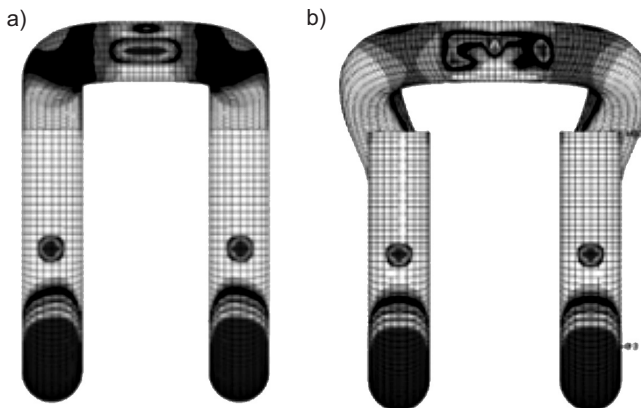
Dla tej łapki przeprowadzono analizy naprężeń z wykorzystaniem metody elementów skończonych (MES). Na rysunku 14 pokazano podział łapki SB7 na elementy skończone, na rysunku 15 rozkład naprężeń zredukowanych w łapkach SB3 i SB7, a na rysunku 16 rozkłady nacisków w łapkach SB3 i SB7 na styku z wkładką izolacyjną. Rysunek 17 przedstawia łapkę SB7.



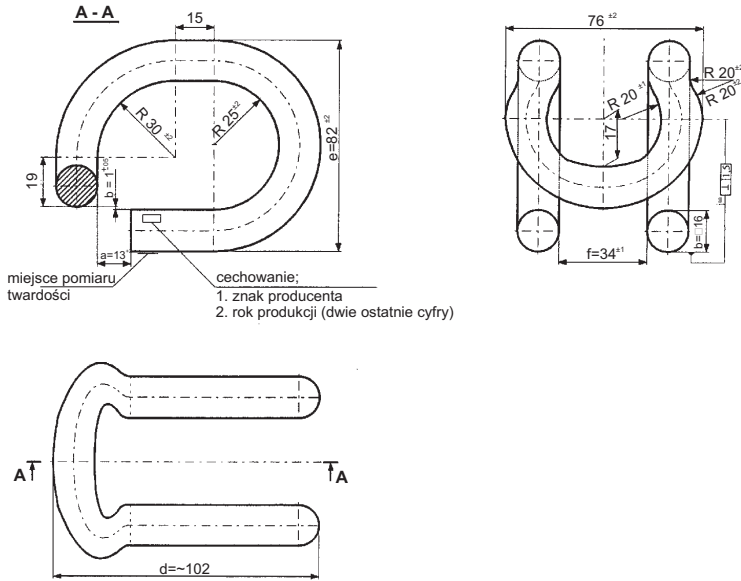
Rys. 14. Podział łapki SB7 na elementy skończone



Rys. 15. Rozkłady naprężeń zredukowanych: a) łapka SB3, b) łapka SB7

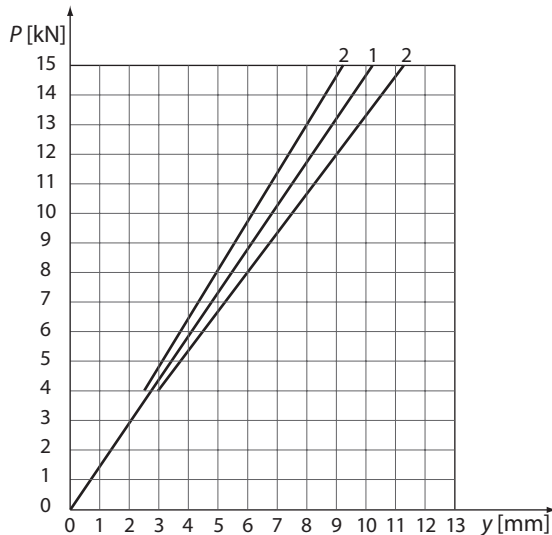


Rys. 16. Rozkłady nacisków w strefie kontaktu z wkładką WKW 60: a) łapka SB3, b) łapka SB7



Rys. 17. Łapka sprężysta SB7

Rysunki 15 i 16 pokazują korzystny wpływ zwiększenia promienia łuku, łączącego ramiona łapki. Łapki SB3, SB4 i SB7 są w pełni kompatybilne ze sobą i z pozostałymi częściami składowymi przytwierdzenia. Mają też jednakowe charakterystyki sprężyste (rys. 18). Z chwilą uruchomienia produkcji łapek SB4 i SB7 produkcja i stosowanie łapek SB3 zakończyła się, jednak znajdują się one w wielu torach sieci PKP.



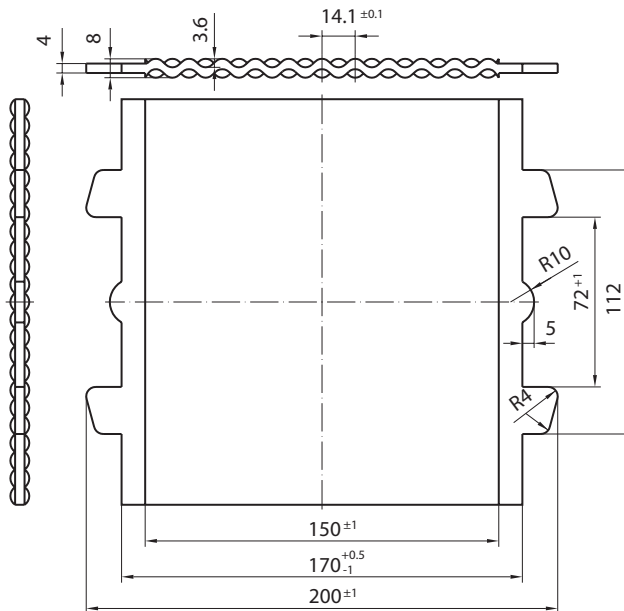
Rys. 18. Charakterystyka sprężystości łapek typu SB: 1) wartość średnia, 2) graniczne wartości dopuszczalne, P – siła nacisku łapki, y – ugięcie łapki

Szczegółowe wymagania dotyczące łapek sprężystych SB zawierają warunki techniczne [18]. Dopuszczono w nich m.in. możliwość wykonywania łapek z prętów walcowanych na gorąco (łapki SB3 były wykonywane wyłącznie z droższych, trudnodostępnych prętów ciągnionych).

3.3. Przekładki podszynowe

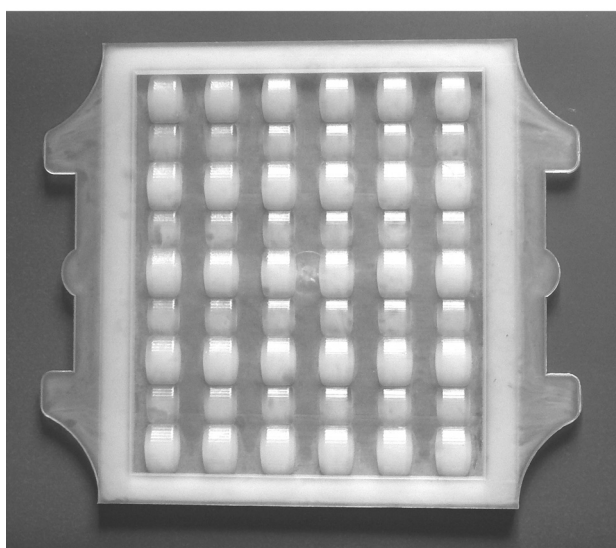
Praktycznie do 2000 r. w przytwierdzeniu stosowano płaskie przekładki podszynowe, wykonywane początkowo z polietylenu o małej gęstości, a później z poliuretanu. Ich wadą była duża sztywność statyczna (około 1 200 MN/m), która nie zapewnia odpowiedniego tłumienia oddziaływań dynamicznych, zwłaszcza na liniach o dużych prędkościach. Należy jednak podkreślić, że płaskie przekładki były stosowane w badaniach trwałości na okręgu doświadczalnym w Szczerbince oraz w badaniach oddziaływań dynamicznych na linii Warszawa – Poznań oraz CMK, a wyniki tych badań były dobre.

Od 1988 r., po serii badań laboratoryjnych i eksploatacyjnych, rozpoczęto stosowanie tzw. przekładek kształtowych, których powierzchnie są ukształtowane w postaci wypukłości i zagłębień opisanych funkcjami sinusoidalnymi i cosinusoidalnymi. Sztywność statyczna takich przekładek jest dziesięciokrotnie mniejsza niż przekładek płaskich. Były one wykonywane z poliuretanu poliestrowego lub polieterowego z dodatkami uszlachetniającymi. Na rysunku 19 przedstawiono podszynową przekładkę kształtową PKW 60 do szyn 60 E 1. Przekładki kształtowe są opatentowane w Polsce (patent nr 182966) i w Europie (patent europejski nr EP 0928352 B1).



Rys. 19. Kształtowa przekładka podszynowa PKW 60

Dalsze udoskonalanie przekładek podszytowych jest związane z wprowadzeniem badań interoperacyjności systemu przytwierdzenia wg norm 13481 i 13146 (rozdz. 2.5). Kształtowe przekładki podszytowe wykazują zbyt dużą utratę początkowych parametrów pod działaniem obciążeń powtarzalnych. Dotyczy to zwłaszcza wzrostu początkowej sztywności statycznej po 3 mln. cykli obciążeń. Z tego względu w wyniku prac projektowych i badań laboratoryjnych wykonanych w CNTK, zastosowano w przytwierdzeniu nową przekładkę PWE (rys. 20), charakteryzującą się dużym tłumieniem obciążeń dynamicznych (ponad 50%) i odpornością na obciążenia powtarzalne w zakresie zmiany sztywności statycznej i dynamicznej.

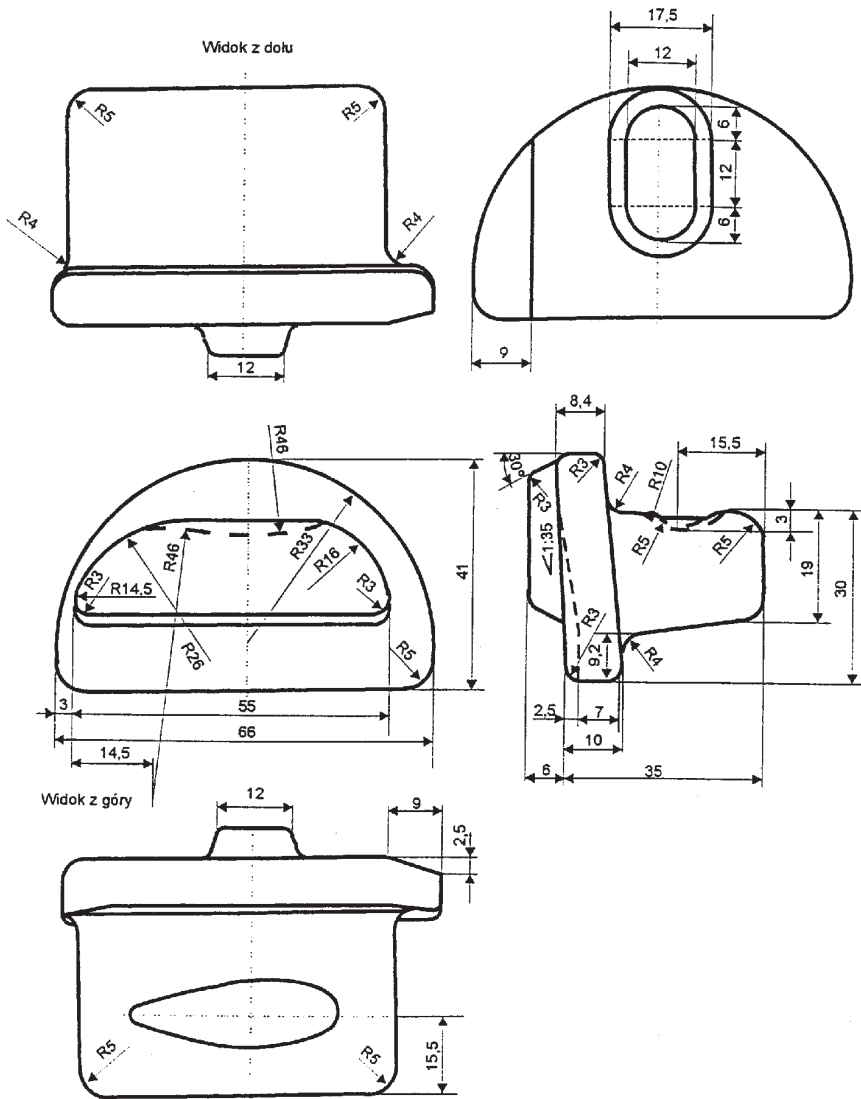


Rys. 20. Przekładka PWE

Wyniki badań interoperacyjności systemu przytwierdzenia SB z udoskonaloną przekładką były pozytywne; opisano je w punkcie 2.5.

3.4. Wkładki izolacyjne

W początkowym etapie stosowania przytwierdzenia SB wkładki izolacyjne miały powierzchnię płaską na styku z łapką sprężystą. Wskutek tego następował wgniot materiału wkładki, dochodzący do 2 mm, co powodowało spadek siły docisku łapki, dochodzący do 3 kN. W 1997 r. rozpoczęto stosowanie wkładek z wklęsłą powierzchnią na styku z łapką sprężystą, co umożliwiło zmniejszenie naprężeń kontaktowych o 17% w porównaniu z wkładkami płaskimi. Na rysunku 21 pokazano aktualnie stosowaną wkładkę WKW 60 do przytwierdzenia szyn 60 E 1.

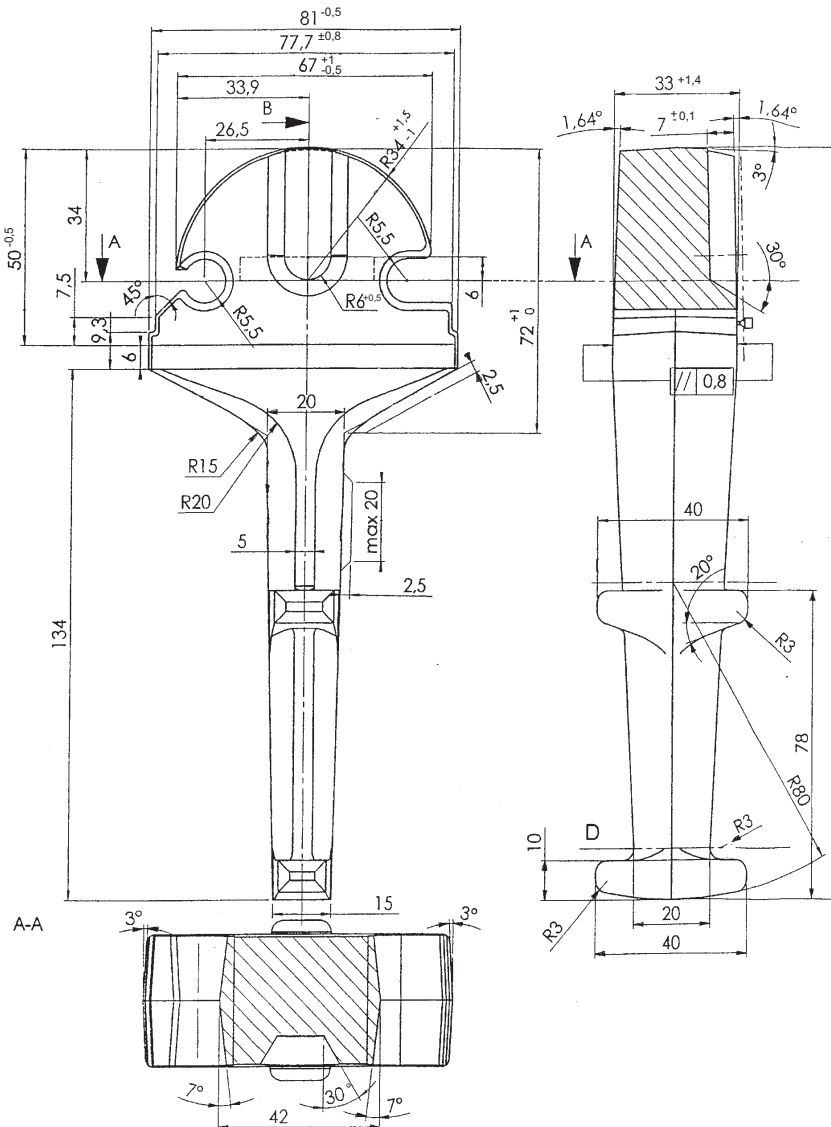


Rys. 21. Wkładka izolacyjna WKW 60 do szyn 60 E 1

Do ewentualnej regulacji szerokości toru w wypadku zbyt dużych odchyień rozstawu kotew, są produkowane wkładki WKW 60-G, w których grubość półki dzielącej szynę od kotwy jest zwiększona o 2 mm. Wkładki te mają kolor jasnozielony. Wkładki są produkowane z materiałów z grupy poliamidów typu 6 lub 6.6, zazwyczaj z dodatkiem włókna szklanego, zwiększającego wytrzymałość. Szczegółowe wymagania zawarto w warunkach technicznych [17].

3.5. Kotwy

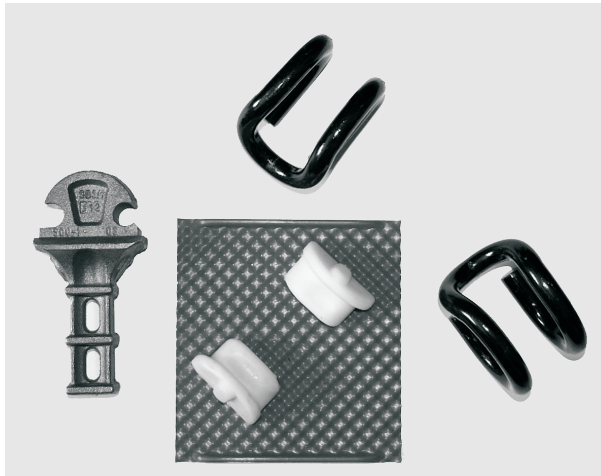
W początkowym okresie stosowania przytwierdzenia SB kotwy były wykonywane ze stali i formowane metodą kucia matrycowego. Ta technologia powodowała, że grubość kotwy na całej długości była jednakowa. Masa kotwy była niepotrzebnie duża, zaś gruby trzon zanurzony w betonie obniżał środek ciężkości kotwy, co powodowało



Rys. 22. Kotwa SB3/3

niestabilne położenie niektórych kotew podczas wibrowania betonu w czasie produkcji podkładów (zdarzało się, że w gotowych podkładach kotwy były luźne). W 1992 r. rozpoczęto stosowanie powszechnych do dzisiaj kotew typu SB3/3, formowanych metodą odlewania z żeliwa sferoidalnego gatunku 500.07. Ten gatunek żeliwa dobrano z warunku zapewnienia dużej wytrzymałości materiału na rozciąganie, przy jednocześnie wysokiej udarności. Trzon kotwy był znacznie cieńszy, przez co zmniejszyła się masa kotwy, a podniesienie środka ciężkości zapewniło stabilne położenie w podkładzie (zjawisko luźnych kotew zostało wyeliminowane). Robocze powierzchnie kotew, współpracujące z uchwytnymi w formach oraz otwory na ramiona łapek sprężystych są obrabiane mechanicznie w wielogniazdowych agregatach. Na rysunku 22 pokazano kotwę żeliwną typu SB3/3.

Dopuszczone do stosowania są również żeliwne kotwy SB3/7, pokazane na rysunku 23 razem z łapkami SB7.

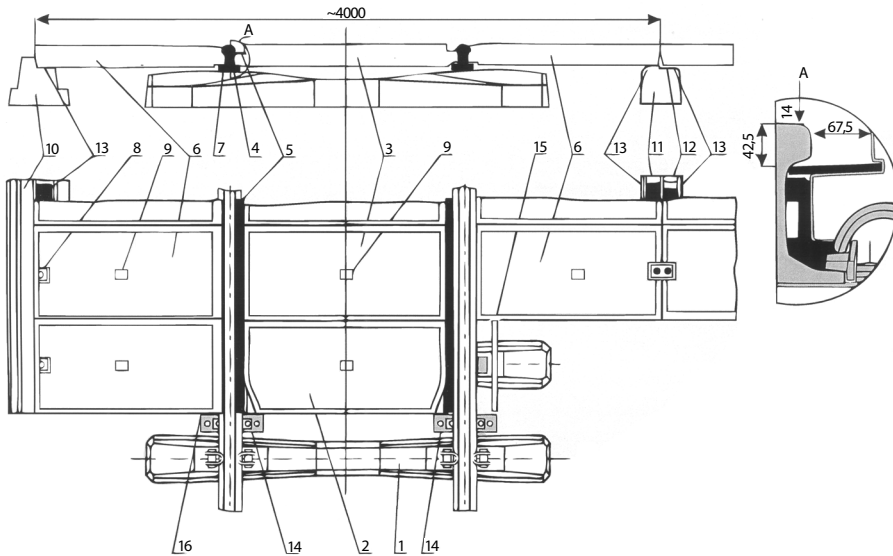


Rys. 23. Kotwa SB3/7

3.6. Przejazdy w poziomie szyn

Do nawierzchni toru kolejowego i tramwajowego na podkładach betonowych z przytwierdzeniem SB, zaprojektowano i wdrożono do powszechnego stosowania nawierzchnię przejazdową typu *Mirosław Ujski*, złożoną z małogabarytowych płyt żelbetowych zewnętrznych i wewnętrznych, opartych na stopkach szyn i belkach podporowych za pośrednictwem amortyzatorów gumowych. Taka konstrukcja umożliwia zachowanie niezmiennego położenia drogi względem nawierzchni kolejowej. Gumowe pasy amortyzujące, ułożone pod główkami szyn, zapobiegają unoszeniu płyt i uszczelniają konstrukcję. Na rysunku 24 pokazano schemat przejazdu typu *Mirosław Ujski*, a na rysunku 25 widok przejazdu, ułożonego na linii Warszawa – Poznań.

Opisana konstrukcja powinna być stosowana na wszystkich przejazdach kolejowych kategorii A-E, na liniach AGC i AGTC oraz pozostałych liniach magistralnych. Należy podkreślić, że rozmieszczenie belek podporowych umożliwia oczyszczanie podsypek za pomocą typowych oczyszczarek tłucznia.



Rys. 24. Schemat przejazdu w poziomie szyn typu Mirosław Ujski:

- 1) podkład betonowy, 2) płyta przejazdowa wewnętrzna skrajna, 3) płyta przejazdowa wewnętrzna,
- 4) amortyzator wewnętrzny, 5) pas gumowy uszczelniający, 6) płyta przejazdowa zewnętrzna,
- 7) amortyzator zewnętrzny, 8) wkręt mocujący, 9) korek poliuretanowy, 10) belka podporowa zewnętrzna,
- 11) belka podporowa wewnętrzna z uskokiem, 12) listwa mocująca, 13) pas gumowy amortyzujący,
- 14) uchwyt oporowy, 15) łącznik oporowy, 16) nasadka polietylenowa



Rys. 25. Przejazd typu Mirosław Ujski na linii Warszawa – Poznań

Powszechnie stosowane przejazdy z płyt CBP również zostały przystosowane do układania w torach na podkładach betonowych z przytwierdzeniem SB (obecnie produkowane płyty są uniwersalne – dostosowane do przytwierdzenia K i przytwierdzenia SB).

3.7. Przytwierdzenie na podkładach drewnianych

Przytwierdzenie typu SB może być adaptowane również do podkładów drewnianych. Odlewana podkładka, z ukształtowanymi łbami kotew, jest przykręcana wkrętami do podkładów. Asymetryczny kształt podkładki zapewnia swobodny dostęp narzędzi do montażu i demontażu łapek oraz zakrętarek i kluczy ręcznych do wkrętów. Odcinek doświadczalny z przytwierdzeniem o nazwie SD3 (rys. 26 i 27) został wybudowany w 1993 r. w torze towarowej obwodnicy Krakowa. Opinia eksploatacyjna, wydana na podstawie badań prowadzonych przez 2 lata przez Zakład Dróg Kolejowych CNTK, była pozytywna.



Rys. 26. Tor na podkładach drewnianych z przytwierdzeniem SD3

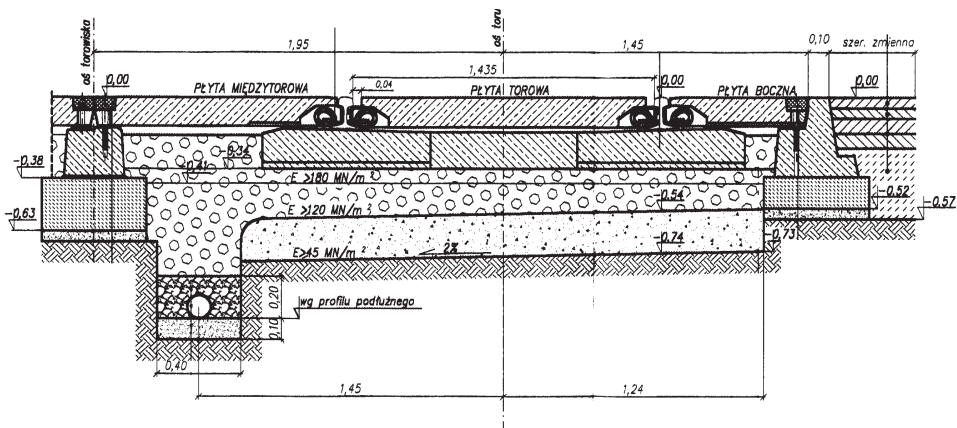


Rys. 27. Szczegół przytwierdzenia SD3

Wydaje się celowe poszukiwanie zainteresowania przytwierdzeniem SD w tych zarządach kolejowych, które nadal stosują podkłady drewniane.

3.8. Przytwierdzenie w torach tramwajowych

Od kilkunastu lat przytwierdzenie SB jest powszechnie stosowane w torach tramwajowych w Warszawie, Krakowie, Poznaniu, Gdańsku i innych dużych miastach w Polsce, zarówno w wersji z szynami kolejowymi 49 E1 i 60 E1, jak i z szyną rowkową Ri 60 na torowiskach wydzielonych lub wbudowanych w jezdnię uliczną. Produkowane są podkłady tramwajowe przystosowane do szerokości toru 1 000 mm i 1 435 mm, części składowe przytwierdzenia odpowiadające typowi szyn oraz płyty torowe przykrywające nawierzchnię. Na rysunku 28 pokazano przekrój toru tramwajowego z przytwierdzeniem SB, wbudowanego w jezdnię ulicy.

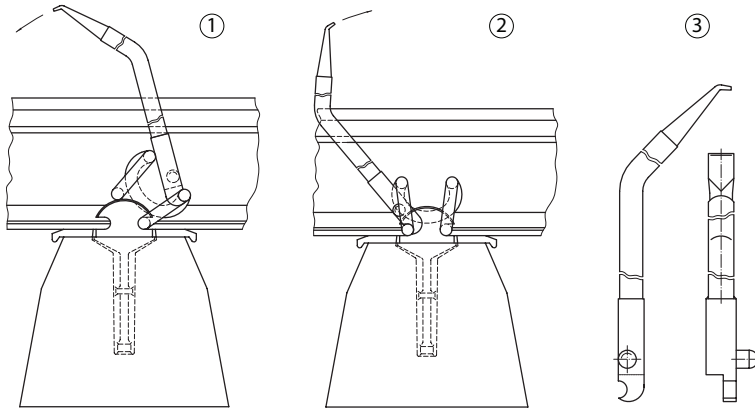


Rys. 28. Tor tramwajowy z przytwierdzeniem SB wbudowany w jezdnię ulicy

3.9. Montaż i demontaż

Do ręcznego montażu i demontażu łapek sprężystych skonstruowano proste narzędzia w postaci drążka z odpowiednio ukształtowaną końcówką (rys. 29).

Podczas robót o charakterze ciągłym, np. przy budowie nowej nawierzchni, wymianie szyn, regulacji naprężeń w torze bezстыkowym ma zastosowanie zapinarka spalinowa, skonstruowana przez firmę Geismar (rys. 30).



Rys. 29. Ręczny montaż i demontaż przytwierdzenia SB: 1) zapinanie łapki, 2) odpinanie łapki, 3) drążek
 [Źródło: Instrukcja nr 1/2006 montażu przytwierdzenia sprężystego SB. Vossloh Skamo sp. z o.o. Nowe Skalmierzyce, 2006]

a)



b)



Rys. 30. Zapinarka spalinowa typu AP11 firmy Geismar:
 a) widok ogólny, b) szczegół mechanizmu zapinającego łapki

Maszyna jest obsługiwana przez jednego pracownika i może zapinać lub rozpinąć jednocześnie dwie łapki po obu stronach szyny w jednym toku szynowym.

3.10. Zapewnienie jakości części składowych

Wszystkie części składowe przytwierdzenia SB są wykonywane i odbierane według szczegółowych warunków technicznych. Mają aprobaty techniczne wydawane przeważnie przez Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa (obecny Instytut Kolejnictwa), a dla nawierzchni tramwajowej również przez Instytut Badawczy Dróg i Mostów. Mają także przeważnie bezterminowe świadectwa dopuszczenia do eksploatacji wydawane przez Urząd Transportu Kolejowego. Dostawca wyrobów jest zobowiązany do wystawienia deklaracji stwierdzającej zgodność dostarczonej partii wyrobu z wymienionymi dokumentami odniesienia (warunkami technicznymi wykonania i odbioru, aprobatą techniczną, świadectwem dopuszczenia do eksploatacji).

Od 2007 r. Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa jest jednostką notyfikowaną w Komisji Europejskiej, uprawnioną do oceny spełnienia zasadniczych wymagań interoperacyjności podsystemu infrastruktura, według Dyrektywy 96/48/WE i Technicznych Specyfikacji Interoperacyjności. Wydawane już są Certyfikaty Badania Typu WE według modułu SB lub B, stwierdzające zgodność wyrobu z wymogami interoperacyjności (np. dla podkładów strunobetonowych PS-94 i PS-94M jako składników interoperacyjności). Przewiduje się także rozszerzenie zakresu certyfikacji m.in. o system sprężystego przytwierdzenia szyn. Planuje się rozszerzenie uprawnień o certyfikację systemu zarządzania jakością produkcji certyfikowanego podsystemu lub składnika interoperacyjności (według modułu SD lub D).

Wydawane są certyfikaty zakładowej kontroli produkcji (ZKP) na zgodność z aprobatami technicznymi dla takich części składowych przytwierdzenia, jak np. kotwa, wkładka izolacyjna i przekładka podszynowa. Większość zakładów produkujących części składowe przytwierdzenia SB ma wdrożony System Zarządzania Jakością wg norm ISO serii 9000.

3.11. Przytwierdzenia SB na innych kolejach

Przytwierdzenie SB3 zostało próbnie zastosowane na dwóch odcinkach doświadczalnych kolei bułgarskich, położonych w łukach o promieniach 300÷600 m z szynami S49 i UIC60. Badania wykazały dobrą pracę przytwierdzeń, a przede wszystkim dwukrotne zmniejszenie bocznego zużycia szyn w stosunku do nawierzchni z tradycyjnym przytwierdzeniem typu KB. Od 2000 r. przytwierdzenie SB jest szeroko stosowane na kolejach ukraińskich. Polskie firmy dostarczają części składowe oraz oprzyrządowanie do ich produkcji.

4. PODSUMOWANIE

Przedstawione w artykule badania systemu sprężystego przytwierdzenia SB zakończyły się pozytywnym wynikiem. Eksploatowane od przeszło 25 lat przytwierdzenie wykazało dużą trwałość w trudnych warunkach eksploatacyjnych oraz korzystne parametry na liniach o dużych prędkościach jazdy. Spełniło również ostre wymagania interoperacyjności. Uzyskiwane wyniki badań wskazywały kierunki rozwoju konstrukcji przytwierdzenia, zmierzające do poprawy jakości części składowych pod względem dokładności wykonania, trwałości i niezawodności.

Wdrożono produkcję podkładów z niezawodnym systemem dokładnego mocowania kotew, uruchomiono w kilku zakładach produkcję wytrzymałych kotew z żeliwa sferoidalnego, doskonalono kształt i materiały części z tworzyw sztucznych, wprowadzając nowe wkładki izolacyjne i podszynowe przekładki kształtowe o zwiększonej zdolności tłumienia oddziaływań dynamicznych.

Opracowano konstrukcje toru z przytwierdzeniem SB w specjalnych miejscach: na mostach, przejazdach w poziomie szyn, w torach tramwajowych. W zakładach produkcyjnych wdrożono system zapewnienia jakości części składowych, odwołujący się do precyzyjnych warunków technicznych, aprobat świadectw dopuszczenia i certyfikatów. Skonstruowano niezawodne narzędzia i urządzenia do ręcznego i mechanicznego montażu i demontażu.

Uzyskanie korzystnych wyników prac badawczych i wdrożeniowych było możliwe dzięki zaangażowanej, harmonijnej współpracy wielu pracowników resortu, służby drogowej i zaplecza naukowo-badawczego, a także zakładów produkcyjnych.

BIBLIOGRAFIA

1. Badania eksploatacyjne przytwierdzeń SB3 na linii Kraków – Medyka produkcji małoseryjnej WPS „Kolbet” [praca zbiorowa]. Temat 3184/12, COBiRTK, Warszawa, 1988.
2. Badania eksploatacyjne zmodyfikowanych przytwierdzeń sprężystych szyn do podkładów betonowych (w torze bezстыkowym) [praca zbiorowa]. Temat 08.02.01.01.03, COBiRTK, Warszawa, 1984.
3. Bałuch H., Oczykowski A.: *Możliwości i skutki zastosowania na CMK podkładów betonowych*. „Drogi Kolejowe”, Warszawa, 1990, nr 7.
4. Cejmer J.: *Badania i ocena systemu sprężystego przytwierdzenia szyn do podkładów strunobetonowych – SB*. „Prace CNTK”, zeszyt 143, Warszawa, 2009.
5. *Informacja o osiągnięciu na CMK prędkości 235 km/h pociągu prowadzonego lokomotywą* [dostęp online] [dostęp 4.01.2010], Dostępny w World Wide Web: <http://www.cntk.pl/index.php?page=235-km-h-na-centralnej-magistrali-kolejowej>.

6. Kwiatkowski J., Brudziński S.: *Wytrzymałościowa optymalizacja kształtu łapki sprężystego przytwierdzenia szyn*. Centralny Program Badań Podstawowych, zeszyt III, Warszawa, 1990.
7. Materiały informacyjne firmy „Plastwil”.
8. Materiały informacyjne firmy Vossloh Skamo sp. z o.o.
9. *Metody projektowania przytwierdzeń szyn do podkładów* [praca zbiorowa]. Temat 02.19.06.03 Centralnego Programu Badań Podstawowych, COBiRTK, Warszawa, 1988.
10. Oczykowski A.: *Podkłady betonowe na liniach PKP przystosowanych do dużych prędkości*. „Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej – Budownictwo Lądowe”, Poznań, 1993, nr 36.
11. Opis patentowy PL 182453 „Łapka sprężysta do mocowania szyn”. Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej. Warszawa. Data zgłoszenia 25.11.1996. Uprawniony z patentu: Przedsiębiorstwo Państwowe SKAMO, Nowe Skalmierzyce, PL.
12. *Opracowanie dokumentacji technicznej i technologicznej sprężystych przytwierdzeń szyn do podkładów* [praca zbiorowa]. Temat 08.02.01.01.01.04, COBiRTK, Warszawa, 1985.
13. ORE D170. Bericht 2: Bemessung der verschiedenen Gleisbauabteilen. Normung der Merkmale und Zulassungversuche verschiedener gegenwärtiger Prüfverfahrens und Formulierung von Empfehlungen. Utrecht, September, 1989.
14. PN-EN 13481-2:2004 Kolejnictwo – Tor – Wymagania eksploatacyjne dla systemów przytwierdzeń. Część 2: Systemy przytwierdzeń do podkładów betonowych.
15. Szwarz J.F.: *Wyniki poligonowych badań przytwierdzeń sprężystych SB3 na okręgu doświadczalnym WNIIŻT* [tłum. A. Oczykowski]. „Drogi Kolejowe”. Warszawa, 1991, nr 3.
16. Towpik K.: *Infrastruktura drogi kolejowej. Obciążenia i trwałość nawierzchni*. Warszawa – Radom, Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji – PIB, 2006.
17. Warunki techniczne wykonania i odbioru elementów z tworzyw sztucznych stosowanych w nawierzchni kolejowej. Wymagania i badania. Nr ILK 2-5185/1/2000. PKP, Dyrekcja Infrastruktury Kolejowej, Wydział Linii Kolejowych, Warszawa, 2000.
18. Warunki techniczne wykonania i odbioru łapek sprężystych i sprężyn przytwierdzających szyny do podkładów i podrojazdnic. Nr ILK 3D-5183/5/2007E.P. PKP, Polskie Linie Kolejowe S.A., Biuro Dróg Kolejowych, Warszawa, 2007.
19. Zielińska-Lis K.: *Badania przytwierdzeń SB3 przy prędkościach 140–160 km/h*. Temat 1177/27, Warszawa, CNTK, 1991.