

Wpływ przekładki podszynowej na pracę systemu przytwierdzenia typu SB

Łukasz ANTOLIK¹

Streszczenie

System przytwierdzenia sprężystego szyn do podkładów jest bardzo odpowiedzialnym elementem w budowie drogi szynowej. W artykule omówiono charakterystykę pracy systemu przytwierdzenia typu SB oraz przedstawiono wyniki analizy wpływu zastosowania różnych rodzajów przekładek podszynowych na pracę całego mocowania oraz jego trwałość eksploatacyjną. Stwierdzono, że dobór przekładki podszynowej w zależności od zastosowanej łapki sprężystej, ma kluczowy wpływ na trwałość systemu i zapewnienie odpowiedniego mocowania szyny.

Słowa kluczowe: system przytwierdzenia, przekładka podszynowa, łapka sprężysta

1. Wstęp

System przytwierdzenia sprężystego szyn do podkładów strunobetonowych typu SB jest w Polsce powszechnie stosowany od końca lat osiemdziesiątych XX wieku [3]. Przez ten czas, czyli przez ponad 27 lat niewiele w nim zmieniono. Modyfikacje elementów polegały przede wszystkim na optymalizacji kształtu łapki dociskowej i elektroizolacyjnej wkładki dociskowej, mające na celu obniżenie naprężeń kontaktowych na styku tych dwóch elementów [1]. Pozostałe detale systemu przytwierdzenia pracowały poprawnie w warunkach eksploatacyjnych panujących w torach będących własnością największego krajowego zarządcy infrastruktury. Tak było do czasu wcielenia w życie wymagań europejskich i dążenia do spełnienia warunków Technicznych Specyfikacji Interoperacyjności.

W pierwszej kolejności przyjrano się w warunkach laboratoryjnych parametrom mechanicznym systemu SB oraz jego trwałości. Okazało się wówczas, że system SB w stosowanej konfiguracji nie spełniał podstawowych wymagań określonych przez dokumenty normatywne. Za głównego winowajcę osiągniętych rezultatów obarczono przekładkę podszynową, która w tym typie systemu podlega siłom ścisiskającym większym niż w innych rozwiązaniach (np. system Vossloh). Rozpoczęto prace nad lepszym projektem geometrycznym i materiałowym tego elementu [2]. Przy wyborze cech przytwierdzeń sprężystych, istotne znaczenie mają właściwości materiałowe prze-

kładek i wkładek elektroizolacyjnych wchodzących w skład przytwierdzenia. Tworzywo przekładek powinno zapewniać odpowiedni współczynnik tarcia (istotny ze względu na opór podłużny) sprężystość i wystarczającą trwałość [8]. Analiza literatury wskazuje, że na przełomie minionych dekad podjęto wiele prac badawczych i eksperymentów skupiających się na właściwościach przekładek podszynowych, a także na problematyce ich trwałości. W artykule omówiono, wynikające z badań laboratoryjnych, skutki zastosowania różnych typów przekładek podszynowych na parametry pracy systemu przytwierdzenia typu SB.

2. Metodyka badań

W warunkach laboratoryjnych, stosuje się dwie metody badań właściwości przekładek podszynowych. Pierwsza metoda polega na bezpośrednim pomiarze ugięcia pod obciążeniem wyrobu zamocowanego w sztywnym układzie pomiarowym (rys. 1), zgodnie z metodyką określoną w normie [5]. Ten sposób umożliwia porównanie parametrów różnych wyrobów pod wybranym obciążeniem osiowym.

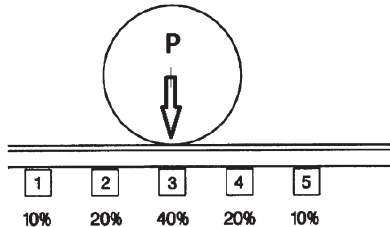
Szczegółowa procedura badawcza polega na uzyskaniu charakterystyki w postaci histerezy przy statycznym i dynamicznym ścisiskaniu. Siła minimalna w czasie badania jest równa minimalnej teoretycznej sile ścisiskającej przekładkę (F_{LFP1}) po zapięciu w węzle przytwierdzenia i wynosi 18 kN. Maksymalna siła ści-

¹ Mgr inż.; Instytut Kolejnictwa, Laboratorium Badań Materiałów i Elementów Konstrukcji; e-mail: lantolik@ikolej.pl.

skającą przekładkę (F_{LFPmax}) wynosi 85 kN, natomiast siła obliczeniowa równa $0,8F_{LFPmax}$ wynosząca 68 kN symuluje nacisk taboru o nacisku osiowym 260 kN/oś powiększonym o wartość reakcji łapek sprężystych, dla przypadku zilustrowanego na rysunku 2, gdzie maksymalne obciążenie quasi-statyczne podkładu wynosi około 40% nacisku osiowego.



Rys. 1. Przekładka podszywna zamocowana w sztywnym układzie pomiarowym [fot. Ł. Antolik]



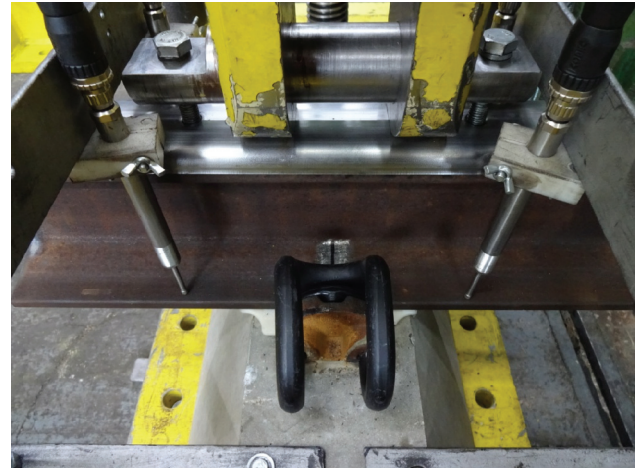
Rys. 2. Ogólny schemat obciążenia rusztu torowego [opracowanie własne]

Druga metoda (rys. 3) polega na montażu kompletnego systemu przytwierdzenia i obciążeniu go siłą pionową od wartości F_{SA1} równej 1 kN do wartości F_{SAmax} równej 64 kN według normy [4], natomiast wartość siły obliczeniowej równa $0,8F_{LFPmax}$ i wynosząca 51,2 kN odzwierciedla siły oddziaływujące w trakcie eksploatacji toru kategorii C lub D według normy [6].

Obie metody pomiarowe sprowadzają się do oznaczenia sztywności elementu z tworzywa sztucznego, przy czym wartości sztywności pionowej uzyskiwane w spiętym systemie będą zawsze wyższe z uwagi na dodatkową reakcję pochodzącą od zamocowanych łapek sprężystych.

Oprócz wymienionych sposobów określania sztywności w badaniach laboratoryjnych, wykonywane są również obciążenia zmęczeniowe symulujące ciągły przejazd taboru. Jest to kluczowa próba trwałości przytwierdzenia z uwagi na ekstremalne wartości obciążeń (w tym przypadku dla $P_{max} = 260$ kN/oś) i sposób ich przykładania charakterystyczny dla przejaz-

du pociągu po łuku o określonym promieniu (w tym przypadku $r_{min} = 400$ m).



Rys. 3. Widok stanowiska do pomiarów sztywności pionowej systemu przytwierdzenia [fot. Ł. Antolik]

Jak wcześniej napisano, trwałość i stabilność systemu przytwierdzenia jest determinowana przez elementy wykonane z tworzyw sztucznych i to ich trwałość w znacznej mierze przekłada się na zmianę parametrów pracy przytwierdzenia. Od systemu przytwierdzenia oczekuje się:

- wysokiej sprężystości,
- odporności na skrajne obciążenia w warunkach laboratoryjnych,
- odporności na obciążenia eksploatacyjne dla ruchu mieszanego.

Niestety, wszystkie oczekiwane cechy nie współgrają ze sobą i poszukiwane jest rozwiązanie kompromisowe, które pozwoli stosować mocowanie SB niemalże w każdych warunkach panujących w polskiej sieci kolejowej.

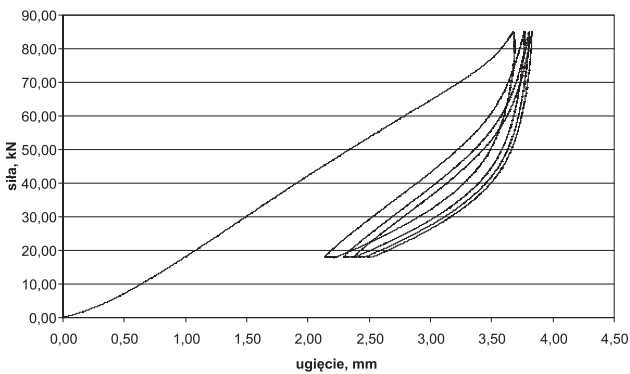
3. Wyniki badań

Znamienny jest fakt, że przekładka podszywna, od której zależy tak wiele parametrów użytkowych systemu przytwierdzenia, stanowi jedynie około 1% wysokości łańcucha budowli drogi szynowej. Musi jednocześnie przenosić te same obciążenia, które przenoszą takie materiały jak beton czy stal, a dodatkowo musi pełnić rolę tłumika drgań pionowych i przenosić siły poziome z szyn bezpośrednio na podkłady. W rezultacie element z tworzywa sztucznego ulega szybkiej degradacji i jako pierwszy zostaje kwalifikowany do wymiany.

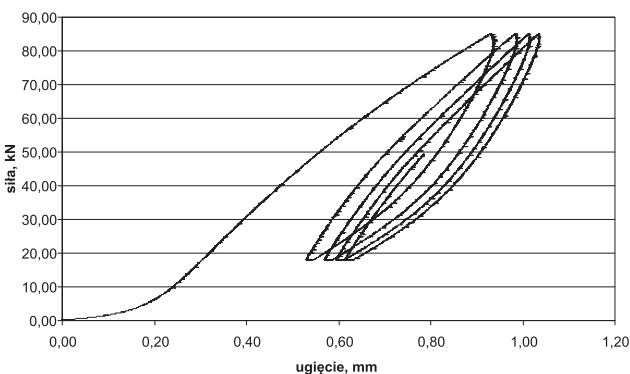
W rozważaniach przyjęto model obciążenia przekładki podszywno-jezdniowej składający się niemalże w całości z obciążenia jednostajnego, o wartości siły równej reakcji docisku łapek sprężystych, natomiast obciążenia

pochozące od przejeżdżającego taboru przyjęto jako okresowe wartości maksymalne. Wielkość tych obciążeń określono na podstawie znanych wielkości przedstawionych podczas omówienia rysunku 2.

W celu realizacji eksperymentu, w pierwszej kolejności wykonano pomiary sztywności pionowej oraz zapisano charakterystyki statyczne trzech typów przekładek podszynowych stosowanych do mocowania najbardziej rozpowszechnionej konfiguracji szyny i podkładu, czyli szyny o profilu 60E1 do podkładu typu PS-94, obciążając je zgodnie ze schematem opisanym w normie [5] i zachowując takie same parametry próby dla każdego materiału. Charakterystyki ugięcia pod obciążeniem dla poszczególnych typów przekładek (rys. 4, 5, 6) prezentują się następująco:

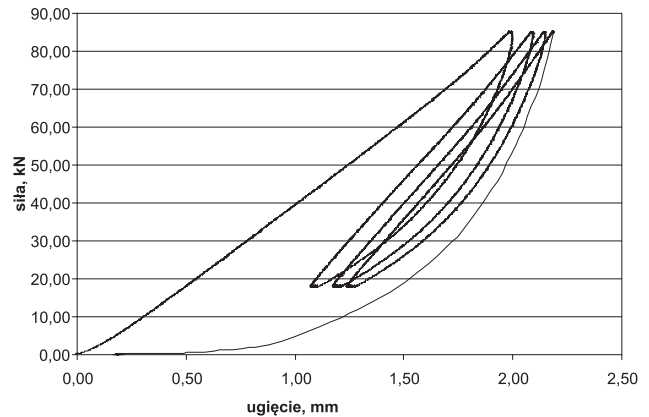


Rys. 4. Wykres ugięcia pod obciążeniem przekładki typu 1 [opracowanie własne]

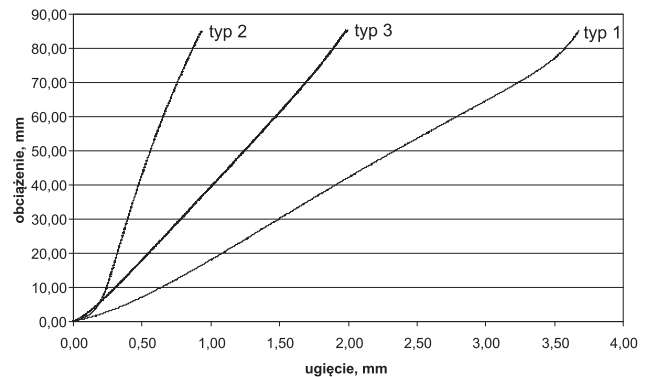


Rys. 5. Wykres ugięcia pod obciążeniem przekładki typu 2 [opracowanie własne]

W celu zobrazowania różnorodności rozwiązań materiałowych i kształtowych, na rysunku 7 przedstawiono krzywe ugięcia z pierwszego obciążenia, symulującego montaż przekładki w systemie przytwierdzenia i pierwsze obciążenia eksploatacyjne. Zaprezentowano tu skrajne rozwiązania, gdzie jako typ 2 oznaczono charakterystykę ściskania jednej z najsztywniejszych przekładek stosowanych w systemie przytwierdzenia SB, natomiast na drugim biegunie znajduje się bardzo podatna przekładka o miękkiej charakterystyce, oznaczona jako typ 1.



Rys. 6. Wykres ugięcia pod obciążeniem przekładki typu 3 [opracowanie własne]



Rys. 7. Wykres ugięcia pod obciążeniem badanych przekładek [opracowanie własne]

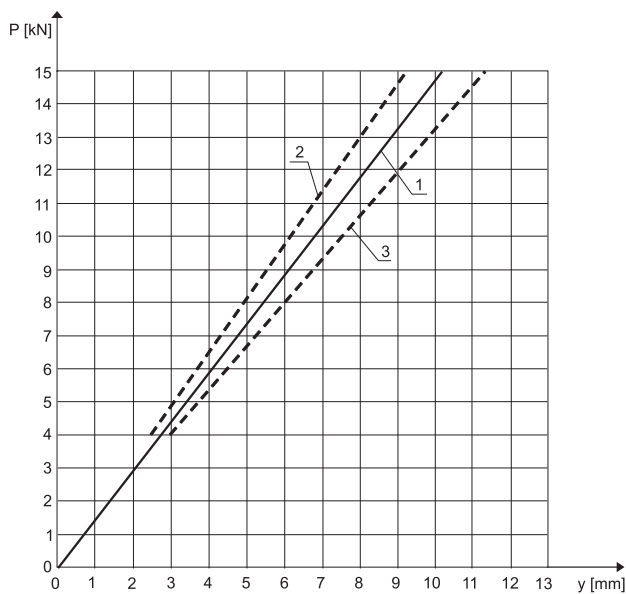
Z krzywych ugięcia pochodzących z pierwszego obciążenia obliczono sztywności pionowe poszczególnych przekładek w zakresie obciążenia 18–68 kN:

- przekładka typ 1 – 23,2 MN/m,
- przekładka typ 2 – 113,6 MN/m,
- przekładka typ 3 – 43,5 MN/m.

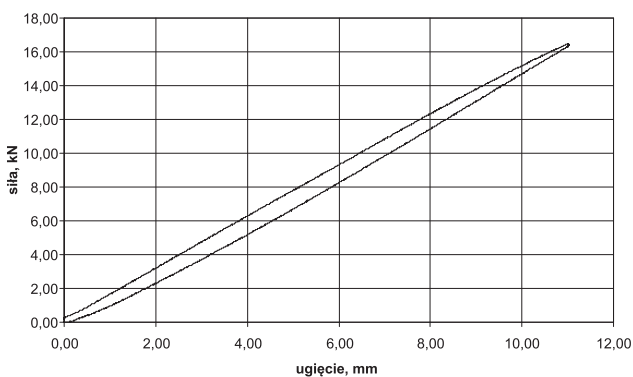
W kolejnym kroku przyjęto, że do wytworzenia reakcji dociskającej szynę do przekładki będzie służyć para łapek sprężystych typu SB7, mających największą siłę docisku z obecnie stosowanych rodzajów i jednocześnie zgodnych z Warunkami Technicznymi Wykonania i Odbioru [9]. Wymaganą sztywność łapek określono przez wspomniany dokument na poziomie $C = 1,47 \pm 10\%$ kN/mm. Rysunek 8 przedstawia dopuszczalne granice charakterystyki sztywności łapki dociskowej stosowanej w mocowaniu SB, rysunek nr 9 przedstawia doświadczalną charakterystykę łapki typu SB7 o obliczonej sztywności $C = 1,51$ kN/mm i sile docisku równej 11,3 kN.

Zakres ugięcia pod obciążeniem przekładek podszynowych i jednocześnie wielkość ugięcia kabłąka łapki sprężystej należy rozpatrywać przede wszystkim przez pryzmat punktu pracy, w którym łapka dociskowa w warunkach statycznych jest w stanie dociskać szynę do podkładu z siłą co najmniej 8 kN, co na po-

jedyncze przytwierdzenie daje siłę minimalną 16 kN. Należy tutaj wspomnieć, że w warunkach dynamicznych ($f > 10$ Hz) sztywność łapki jest zauważalnie wyższa. Za górną granicę zakresu pracy przyjęto wartość około 8 mm, co odpowiada doświadczalnej sile nacisku jednej łapki około 12 kN, natomiast za dolną granicę przyjęto wartość około 6 mm, co odpowiada minimalnej wymaganej sile docisku na poziomie 8 kN dla jednej łapki sprężystej.



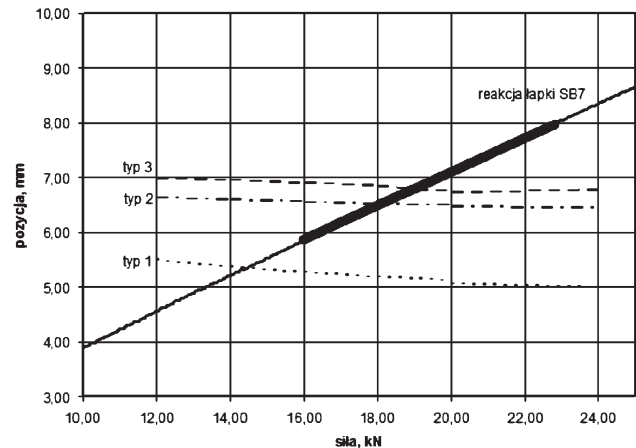
Rys. 8. Wymagana charakterystyka sprężystości łapek typu SB [2]:
1) charakterystyka optymalna, 2) i 3) granice dopuszczalne



Rys. 9. Doświadczalna charakterystyka sprężystości łapki SB7
[opracowanie własne]

Ostatnią fazę doświadczenia tworzy powiązanie wykresów (rys. 4, 5, 6 i 9) w celu określenia punktu równowagi położenia kabłąka łapki dociskowej i grubości przekładki w funkcji obciążenia przy założeniach, że pozostałe elementy systemu przytwierdzenia nie ulegają odkształceniom. Przyjęto tu krzywą odciążania łapki sprężystej z uwagi na długookresowy charakter pracy oraz charakterystyki pracy wytypowanych typów przekładek podszytowych pochodzące z trzeciego obciążenia siłą pionową, odwzorowując tym samym uło-

żenie się przekładki w systemie mocowania i pierwsze obciążenia eksploatacyjne. Wykres przedstawiony na rysunku 10 ilustruje nałożone na siebie charakterystyki pracy łapki oraz różne typy przekładek.



Rys. 10. Zestawienie punktów przecięcia charakterystyk przekładek i łapki SB7 [opracowanie własne]

Pogrubioną linią ciągłą oznaczono wycinek charakterystyki łapki dociskowej odpowiadający zakresowi pracy eksploatacyjnej, natomiast liniami przerywanymi oznaczono wycinki charakterystyk ściskania dobranych przekładek podszytowych. Z analizy powyższego wykresu można wywnioskować, że punkty równowagi, czyli miejsca przecięcia się prostych osiągnięto w przewidywanym zakresie dla przekładek podszytowych typu 2 i typu 3. Jednocześnie należy stwierdzić, że przekładki podszytowe typu 2 i typu 3, pomimo nieco odmiennych charakterystyk sprężystości i o znacznie różniących się wartościach sztywności pionowej, w trakcie obciążeń ułożyły się wpisując się w najbardziej odpowiedni zakres pracy łapki sprężystej SB7. Punkt równowagi dla przekładki typu 1 osiągnięto poniżej określonego zakresu, co skutkuje siłą docisku o wartości niższej niż 16 kN, jak również obniżonymi wartościami pozostałych parametrów takich jak opór podłużny, opór przeciw skręcaniu czy ponadnormatywne usztywnienie systemu i znaczące obniżenie możliwości tłumienia obciążeń dynamicznych, co opisano w kolejnym akapicie.

Według analiz przedstawionych między innymi w [2], badania laboratoryjne systemu przytwierdzeń po 3.000.000 cykli obciążeń symulują przeniesienie obciążenia około 20 Tg przez jedno przytwierdzenie, co stanowi jedynie około 5–10% obciążenia eksploatacyjnego rusztu torowego.

Pomimo symulacji stosunkowo niedużego obciążenia, badanie laboratoryjne jest dobrym narzędziem pozwalającym określić wytrzymałość systemu przytwierdzenia. W tabelicy 1 przedstawiono wyniki porównawcze badań zmęczeniowych systemu przytwierdzenia z użyciem przekładek podszytowych

Tablica 1

Zestawienie wyników badań obciążeń cyklicznych systemów przytwierdzeń z przekładkami typu 1 i typu 2

Parametr	Rodzaj przekładki		typ 1	typ 2
	Siła docisku	Parametr w stanie nowym		18,7 kN
3 mln cykli			14,4 kN (-23%)	18,8 kN (-16%)
Opór podłużny	Parametr w stanie nowym		16,6 kN	20,4 kN
	3 mln cykli		11,3 kN (-32%)	18,5 kN (-9,3%)
Szywność statyczna	Parametr w stanie nowym		122,9 MN/m	89,0 MN/m
	3 mln cykli		276,2 MN/m (+125%)	111,3 MN/m (+25%)

typu 1 i typu 2. Pozostałe elementy, tj. łapka SB7, elektroizolacyjna wkładka dociskowa WKW60, podkład strunobetonowy PS-94 z kotwą żeliwną SB3/P i szyna o profilu 60E1 pozostały niezmiennie.

Wyniki prób potwierdzają założenie, że w systemie przytwierdzenia typu SB nie mogą być stosowane bardzo miękkie typy przekładek podszykowych z uwagi na dużą wstępną siłę ściskającą o wartościach znacznie przekraczających 20 kN. W warunkach laboratoryjnych potwierdzono również możliwość spadku siły docisku poniżej założonego poziomu 16 kN dla systemu przytwierdzenia z przekładką typu 1 i w rezultacie znaczny spadek oporu szyny przeciw pełzaniu i ponad dwukrotny wzrost sztywności statycznej. Należy również zauważyć, że zjawisko spadku oporu podłużnego do wartości 11,3 kN dla systemu z przekładką typu 1 i do wartości 18,8 kN dla systemu z przekładką typu 2 w stosunku do wymaganej siły minimalnej o wartości 7 kN stwierdzono już po obciążeniu około 20 Tg. Oznacza to tempo spadku siły docisku odpowiednio około 200 N/Tg i 180 N/Tg. W pracy [7] prędkość spadku siły docisku przytwierdzenia SB3 została oszacowana na 3,4 N/Tg, gdzie wykonanie pomiarów rozpoczęto po obciążeniu 127 Tg i kontynuowano do osiągnięcia wartości 800 Tg. Może to oznaczać największą intensywność zmiany parametrów przytwierdzenia w początkowej fazie eksploatacji i wyhamowanie trendu w późniejszym czasie. Ten proces można określić jako naturalną cechą układu systemu przytwierdzenia SB.

4. Podsumowanie i wnioski

Wielu producentów elementów do systemu przytwierdzenia SB podejmuje próby projektowania lub optymalizacji detali bez uprzedniego przyjrzenia się charakterystyce jego pracy oraz charakterowi obciążeń eksploatacyjnych. Niniejszy eksperyment przeprowadzono w celu dowiedzenia znacznej wrażliwości złożonego mocowania na rodzaj zastosowanej przekładki podszykowej oraz potwierdzono, że stosowanie polimerowych przekładek podszykowych o sztywności statycznej około 20–30 MN/m w systemie przytwier-

dzenia SB, powoduje znaczną utratę parametrów mechanicznych w funkcji przeniesionego obciążenia.

Po przeprowadzonych próbach należy przede wszystkim stwierdzić, że:

1. Należy z dużą starannością optymalizować kształt przekładki podszykowej i dobrać rodzaj materiału, a w szczególności warto korzystać z oprogramowania symulacyjnego, które z pozytywnym skutkiem może przyczynić się do rozwoju tego wyrobu.
2. Przy obecnie stosowanym asortymencie typów przekładek podszykowych istnieje prawdopodobieństwo zaistnienia sytuacji, w której po pewnym czasie eksploatacji nie będzie zapewniona odpowiednia siła docisku mocowania i idąca za nim wymagana wartość oporu podłużnego szyny względem podkładu, co z kolei może stanowić zagrożenie dla stabilności wymiarowej rusztorowego. Wyniki licznych prac badawczych, w tym wieloletnich badań eksploatacyjnych i poligonowych wskazują, że tor na podkładach betonowych z przytwierdzeniem SB umożliwi bezpieczną jazdę z dobrymi parametrami przy prędkościach co najmniej 250 km/h [3]. Takie założenie powinno być brane pod uwagę przez konstruktorów, jako jeden z warunków brzegowych przy modelowaniu elementów składowych tego przytwierdzenia.
3. Użycie dostępnych łapek sprężystych o nieco łagodniejszej charakterystyce, niż wybrana do doświadczenia łapka typu SB7, może w początkowej fazie prowadzić do mniejszego spłaszczenia przekładki podszykowej, lecz nieznane są skutki stosowania różnych łapek dociskowych o różnych charakterystykach z tym samym rodzajem przekładki w dłuższym okresie.
4. Przykłady stosowania przekładek oznaczonych jako typ 2 i 3 potwierdzają dostępność rozwiązań gwarantujących stabilność parametrów systemu mocowania SB z użyciem łapek dociskowych SB7.
5. Badania systemów przytwierdzeń w warunkach laboratoryjnych odzwierciedlają skrajne warunki obciążeń w połączeniu z niekorzystnym układem geometrii toru, co producenci muszą dodatkowo brać pod uwagę przy projektowaniu detali zmniejszając tym samym pole możliwości optymalizacji ich kształtu i stosowanych materiałów.

6. Stosowanie górnej granicy zakresu pracy kabłąka łapki sprężystej przez zwiększenie grubości przekładki podszynowej będzie w początkowej fazie skutkować zwiększeniem siły docisku, lecz w dłuższym czasie może przynieść więcej negatywnych skutków w postaci zwiększonego usztywnienia systemu lub zwiększenia naprężeń stykowych na granicach elementów przenoszących siłę nacisku łapki. W rezultacie żywotność poszczególnych elementów przytwierdzenia mogłaby ulec skróceniu.
7. Przy konfigurowaniu systemu przytwierdzenia SB należy brać pod uwagę nie tylko rodzaj stosowanych elementów, lecz również fakt, że tym samym obciążeniom poddawane są przytwierdzenia szyny 60E1 na podkładzie PS-94, jak również przytwierdzenia szyny 49E1 na podkładzie PS-83, gdzie powierzchnia podparcia jest o 1/3 mniejsza.

Literatura

1. Antolik Ł.: *Advantages and disadvantages of sb fastening system by taking an increase of a maximum speed and a perspective of building a high speed rail in Poland under consideration*, Railway Engineering, London, 2013.
2. Antolik Ł.: *Przydatność eksploatacyjna przekładek podszynowych a wymagania norm europejskich*, Problemy Kolejnictwa, 2011, zeszyt 152, s. 9–19.
3. Oczykowski A.: *Badania i rozwój przytwierdzenia sprężystego SB*, Problemy Kolejnictwa 2010, zeszyt 150, s. 121–156.
4. PN-EN 13146-4+A1:2015: Kolejnictwo – Tor – Metody badań systemów przytwierdzeń – Część 4: Skutki obciążeń powtarzalnych.
5. PN-EN 13146-9+A1:2012: Kolejnictwo – Tor – Metody badań systemów przytwierdzeń – Część 9: Określenie sztywności.
6. PN-EN 13481-2:2012: Kolejnictwo – Tor – Wymagania eksploatacyjne systemów przytwierdzeń – Część 2: Systemy przytwierdzeń do podkładów betonowych.
7. Szwarz J.F.: *Wyniki poligonowych badań przytwierdzeń sprężystych SB3* (tłum. A. Oczykowski), Drogi Kolejowe 1991, nr 3.
8. Towpik K.: *Linie kolejowe dużych prędkości*, Problemy Kolejnictwa, 2011 nr 151, s. 28–70.
9. Warunki Techniczne Wykonania i Odbioru łapek sprężystych i sprężyn przytwierdzających szyny do podkładów i podrozjazdnic nr WTWIO – ILK3d-5183-5/2007E.P.

Influence of the Under Rail Pad for the Performance of the SB Fastening System

Summary

Rail fastening system is a very responsible part in constructing a railway track. The article describes the characteristics of SB fastening system performance and presents the analysis of the influence derived from under rail pads for the performance of the whole fastening system and its reliability. It has been stated that an accurate selection of under rail pad depending on the used rail clip has a key importance for high durability of the system and ensuring a correct fixing of the rail.

Keywords: fastening system, SB fastening system, under rail pad, rail clip

Влияние прокладок под подошвой рельса на систему рельсового скрепления типа SB

Резюме

Система упругового рельсового скрепления является очень ответственным элементом в строении рельсового пути. В статье обсуждается характеристика работы системы рельсового скрепления типа SB и представляются результаты анализа влияния употребления разных видов прокладок на работу целого скрепления и его эксплуатационную долговечность. Устанавливается, что подбор прокладки под подошвой рельса в зависимости от примененного пружинного костыля имеет ключевое влияние на прочность системы и обеспечение соответствующего соединения рельса.

Ключевые слова: система рельсового скрепления, прокладка под подошвой рельса, пружинный костыль