

NIEZAWODNOŚĆ ROZJAZDÓW KOLEJOWYCH W ASPEKTCIE RAMS PRZY ZASTOSOWANIU PODKŁADEK PODPODKŁADOWYCH (PPP)

Ewelina Kwiatkowska

dr inż. adiunkt, Politechnika Wrocławska, Katedra Mostów i Kolei, Prawnik, Lex-Rail, e-mail: kwiatkowskae@in-
teria.pl

Streszczenie. W niniejszym artykule przedstawiono zagadnienie normowych specyfikacji niezawodności, dostępności, podatności utrzymaniowej i bezpieczeństwa (RAMS) w zastosowaniu kolejowym w ujęciu rozjazdów z podkładkami pod podkładowymi. W pracy przedstawiono analizę możliwości zastosowania podkładek pod podkładowych w rozjazdach, w celu wydłużenia ich niezawodności eksploatacyjnej poprzez redukcję zużycia rozjazdu. Przedstawiono budowę oraz zasadę pracy materiału podkładek pod podkładowych w torze kolejowym. W artykule przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych na rozjazdach kolejowych z PPP.

Słowa kluczowe: RAMS kolejowy, jakość, dynamika toru

1. Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS)

Proces inwestycji kolejowych finansowanych przez Unię Europejską wymaga integracji zarządców infrastruktury kolejowej UE w zakresie między innymi bezpieczeństwa i dostępności sieci. Kluczowym zagadnieniem RAMS związanego z koleją jest zapewnienie niezawodności i bezpieczeństwa utrzymaniowego oraz jakości eksploatacyjnej i utrzymaniowej.

Wprowadzana w polskich kolejach procedura RAMS (Reliability, Availability, Maintainability and Safety) obejmująca specyfikację niezawodności (R), dostępności (A), podatności utrzymaniowej (M) i bezpieczeństwa (S), przyczynia się do poprawy jakości świadczonych usług przez zarządców kolei. Techniki RAMS składają się z następujących elementów: analizy zależności między RAMS związanym z koleją a jakością usług, elementy składowe RAMS, czynniki mające wpływ na RAMS i środki do ich uznania, ryzyko i nienaruszalność bezpieczeństwa.

RAMS jest cechą długoterminowego działania całego systemu kolei i osiąganego za pomocą konceptów technicznych, metod, narzędzi w cyklu życia systemu. RAMS to jakościowy i ilościowy wskaźnik informujący, że cały system kolei lub składnik systemu kolei będzie funkcjonował bezpiecznie i dostępne dla zarządców i użytkowników.

Celem systemu kolejowego, w którego skład wchodzi między innymi infrastruktura, tabor, sterowanie, energetyka jest uzyskanie określonego poziomu

ruchu kolejowego w danym czasie w bezpieczny sposób, RAMS opisuje stopień pewności osiągnięcia bezpieczeństwa oraz wpływa na jakość systemu dostarczonego do klienta. Wzajemne powiązanie elementów RAMS związanego z koleją przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Wzajemne powiązania elementów RAMS związanego z koleją

Dostępność zgodnie z RAMS to niezawodność w zakresie wszystkich możliwych awarii, prawdopodobieństwo wystąpienia awarii oraz wpływ awarii na funkcjonowanie systemu. Przez dostępność należy rozumieć podatność utrzymaniową w czasie realizacji zaplanowanej konserwacji, czas na wykrycie i identyfikację oraz zlokalizowanie awarii oraz czas na naprawę systemu i jego utrzymanie.

Bezpieczeństwo RAMS to wszystkie możliwe zagrożenia w systemie, we wszystkich trybach obsługi i utrzymania, oraz powagi ich konsekwencji. Czynniki wpływające na RAMS to warunki systemowe, eksploatacyjne i konserwacyjne [5].

Do warunków systemowych niezawodności, dostępności, podatności utrzymaniowej i bezpieczeństwa należą cechy techniczne elementu systemu kolei [1]. Niezawodność nawierzchni kolejowej to prawdopodobieństwo spełnienia przez nią stawianych jej warunków, przy zachowaniu jej trwałości w czasie lub przy obciążeniu projektowanym. Niezawodność to również prawdopodobieństwo, że wartości wielkości określających jej istotne właściwości nie przekroczą okresu w dopuszczalnych granicach, w określonych warunkach konstrukcyjno-utrzymaniowych.

Zgodnie z [3] trwałość podstawowych elementów konstrukcji nawierzchni kolejowej określanych w funkcji przenieszonego obciążenia całkowitego wynoszą:

- dla szyny 60 E1:
- na prostej to 500 Tg,
- na łuku o promieniu 300 metrów nie przekracza 130 Tg,
- dla podkładów strunobetonowych:
- na prostej 500 Tg,
- dla podsypki - 250 Tg.

Intensywność zużycia szyn w łukach o promieniu 300 m, odpowiadających promieniom łuków najczęściej stosowanych w rozjazdach nie przekracza 130 Tg, zmniejszając niezawodność konstrukcji rozjazdu.

2. Analiza wrażliwości i ryzyka projektu

Na podstawie metod przeprowadzania analiz kosztów i korzyści dla projektów infrastruktury transportu kolejowego w Polsce, określono zasady i założenia do spójnego podejścia w celu zapewniania porównywalności i spójności w ramach sektora transportu współfinansowanego przez Unię Europejską. W projektach dla sektora kolejowego, w celu analizy ekonomicznej i finansowej należy przeprowadzić identyfikację potrzeb projektowych wraz z możliwymi wariantami alternatywnymi, na podstawie których następuje wybór inwestycji opłacalnej i wykonalnej. Po przeprowadzonej analizie, następuje ocena wrażliwości rezultatów projektu w zakresie zmiennych kluczowych. Po przeprowadzonej analizie zmiennych kluczowych, następuje omówienie obszarów ryzyka związanych z realizowanym projektem poprzez przeprowadzenie analizy wrażliwości i ryzyka inwestycji kolejowej [4].

Zasadniczymi celami realizowanych projektów infrastruktury kolejowej jest między innymi: skrócenie czasu podróży, zwiększenie przepustowości, podwyższenie standardów technicznych infrastruktury, dostosowanie linii kolejowych do norm europejskich i poprawa bezpieczeństwa. Każdy cel związany z infrastrukturą kolejową można osiągnąć na wiele sposobów, co oznacza że istnieje wiele możliwych wariantów inwestycyjnych.

Obrazem postrzeganego ryzyka projektu inwestycyjnego są istotne zagrożenia dla projektu z różnym prawdopodobieństwem występowania i siłą oddziaływania zagrożenia dla projektu na różnych etapach przygotowania wdrażania i eksploatacji inwestycji kolejowej. Ocena ryzyka umożliwia lepsze zrozumienie i poznanie potencjalnych zmian szacowanych kosztów i korzyści projektu przy wdrażaniu, wykazując ryzyka akceptowane i wymagające działań zaradczych.

Ocena ryzyka obejmuje analizę wrażliwości służącą identyfikacji zmiennych krytycznych mających wpływ na wskaźniki efektywności projektu oraz analizę ryzyk. Analiza ryzyk przy inwestycjach kolejowych obejmuje: identyfikację czynnika ryzyka, analizę jakości ryzyka, działania zaradcze i alokacje, monitorowanie, analizę ilościową ryzyka.

Identyfikacja i klasyfikacja ryzyka jest kluczowa w podjęciu oceny, wyróżniamy między innymi ryzyka związane z zamówieniami, powodujące opóźnianie realizacji procedur i wykonaniem robót związanych między innymi z przekroczeniem budżetu nakładów inwestycyjnych i ryzyka związane z wykonawcą [4].

Do ryzyk związanych z wykonawcą zalicza się jakość eksploatacyjną nawierzchni kolejowej. O jakości eksploatacyjnej (J) nawierzchni kolejowej decyduje zespół cech takich jak: charakterystyka niezawodności (N) i trwałości (T) eksploatacyjnej, podatności utrzymaniowo-naprawczej (P) oraz charakterystyka ekonomiczna (E) eksploatacji nawierzchni, opisane wzorami (1) i (2), (3):

$$J = a_1 \frac{N_w}{N} + a_2 \frac{T}{T_w} + a_3 \frac{P}{P_w} + a_4 \frac{E_w}{E} \quad (1)$$

$$N = \beta \frac{n}{lq} \quad (2)$$

$$\beta = 1,4 - 0.004 V_{max} \quad (3)$$

gdzie:

a_{1-4} – współczynnik wag,

w – charakterystyka nawierzchni wzorcowej,

n – to liczba nieplanowanych i awaryjnych zamknięć torowych w ciągu roku na długości linii l ,

q – to natężenie przewozami,

β – to współczynnik prędkości.

Eksploatacyjna trwałość nawierzchni to obciążenie Q , przy którym całkowita liczba pojedynczych wymian szyn na długości 1 km nie przekracza k metrów. Podatność utrzymaniowo-naprawcza to długość toru, na którym wykonuje się naprawy bieżące w ciągu 1 godziny zamknięcia [1].

Zwiększenie trwałości nawierzchni kolejowej powoduje zmniejszenie ryzyka prowadzonej inwestycji kolejowej. Wprowadzana w polskich kolejach procedura RAMS (Reliability, Availability, Maintainability and Safety) obejmująca specyfikację niezawodności (R), dostępności (A), podatności utrzymaniowej (M) i bezpieczeństwa (S), przyczynia się do poprawy jakości świadczonych usług przez zarządców kolei i poprawy bezpieczeństwa ruchu kolejowego. Zmniejszenie ryzyka inwestycji kolejowej może nastąpić przez zwiększenie niezawodności, dostępności, podatności utrzymaniowej i bezpieczeństwa. W niniejszej pracy skupiono się na zmniejszeniu ryzyka inwestycji poprzez analizę trwałości rozjazdów kolejowych, w konstrukcji których zastosowano podkładki podpodkładowe w podrojazdnicach strunobetonowych.

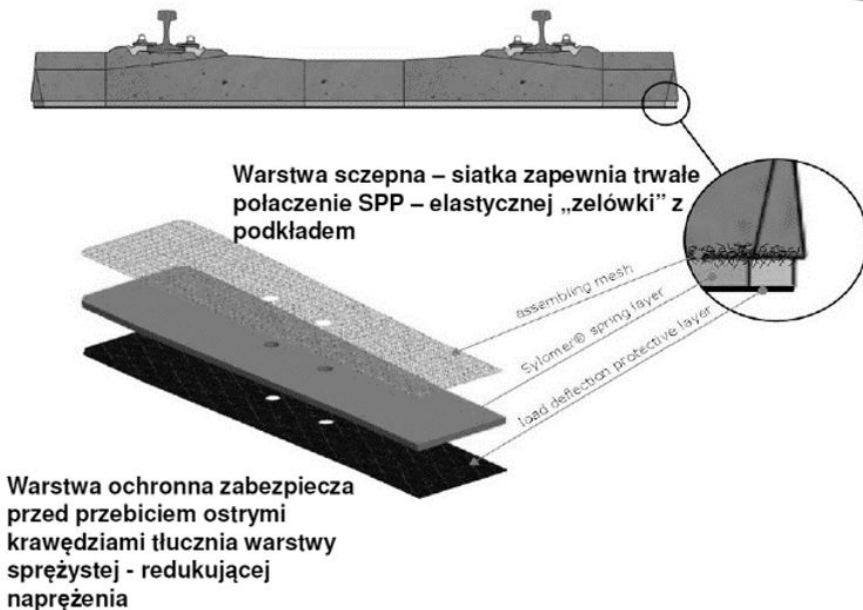
3. Trwałość i niezawodność rozjazdów

Uszkodzenia nawierzchni kolejowej na długości rozjazdu są bardziej złożone niż uszkodzenia na odcinkach toru poza nim i przebiegają znacznie szybciej. Przyspieszona degradacja szyn w rozjeździe spowodowana jest większymi oddziaływaniami dynamicznymi pojazdów szynowych w miejscach nieciągłości toków. W części zwrotnicowej najbardziej niebezpieczne uszkodzenia to nieprzyleganie iglicy do opornicy, wykruszenia na powierzchni tocznej iglicy i opornicy. W części krzyżownicy wadami i uszkodzeniami rozjazdu powodującymi konieczność wprowadzenia ograniczonej eksploatacji są zgniecenie dzioba krzyżownicy, pęknięcie krzyżownicy, spływ w żłobkach szyn skrzydełkowych. Podrojazdnice betonowe w części krzyżownicowej poddawane są nierównomiernemu obciążeniu dynamicznemu powodując pęknięcia poprzeczne.

Wyniki badań wykazują, że zwiększenie zużycia szyn w rozjeździe spowodowane jest między innymi zmianą sztywności konstrukcji nawierzchni torowej między torem a rozjazdem [2]. Rozjazd jest niesymetryczny, składa się z elementów ruchomych, zmniejszających sztywność konstrukcji, a zagęszczenie podsypki pod podrozjazdnicami nie zapewnia ciągłego podparcia. Rozjazd przenosi niesymetryczne obciążenie dynamiczne, szczególnie w części krzyżownicowej, powodując nierównomierne zwiększenie deformacji pionowych i poziomych.

Redukcję efektu progowego spowodowanego zmianą sztywności nawierzchni toru i nawierzchni rozjazdu w ich połączeniu, wywołującego wzrost siły dynamicznej w części zwrotnicowej, można zredukować przez wprowadzenie warstwy tłumiącej przed rozjazdem i na jego długości. Jednym z rozwiązań redukujących efekt progowy na dojeździe do i na długości rozjazdu są elastyczne podkładki podpodkładowe stosowane pod podkładami i podrozjazdnicami.

Jedną z metod zwiększenia trwałości rozjazdu jest zastosowanie łukowanych układów geometrycznych rozjazdu, powodujących zmniejszenie zużycia bocznego iglicy, opornicy i szyny łączącej. Wadą łukowania rozjazdów są utrudnienia w technologii produkcji, a nietypowość ich wymiarów utrudnia prace naprawcze. Alternatywą dla łukowanych rozjazdów jest stosowanie podkładek podpodkładowych (PPP) w celu wydłużenia trwałości rozjazdów. Budowę podkładki podpodkładowej przedstawiono na rys 2.

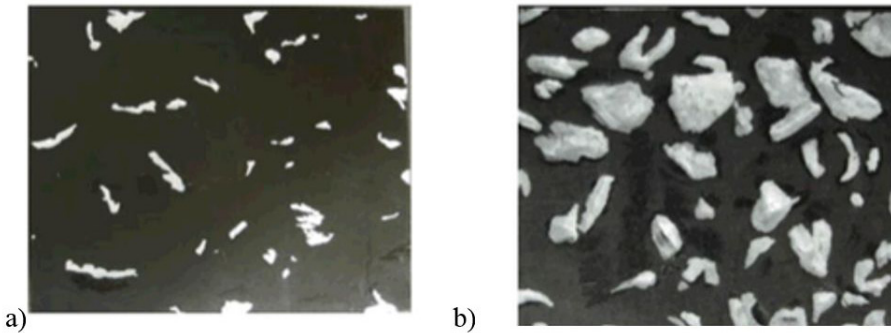


Rys. 2. Schemat budowy podkładki podpodkładowej {3}

4. Zasada pracy PPP

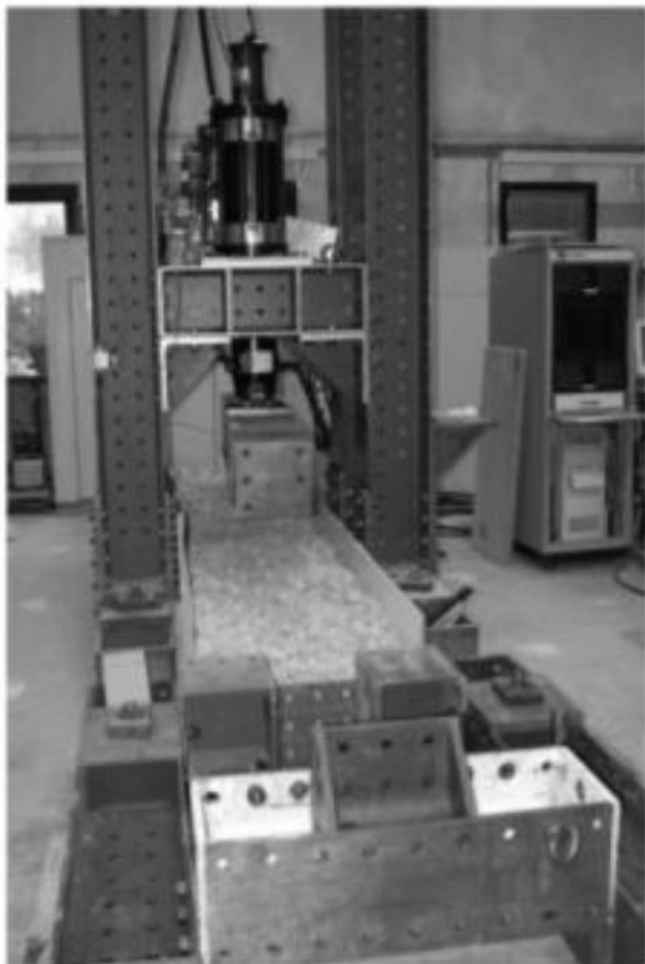
W wyniku zastosowania podkładek pod podkładowych następuje zmniejszenie oddziaływań dynamicznych w strefie krzyżownicowej w podrozjazdnicach w wyniku zwiększenia powierzchni kontaktu podrozjazdnicy z podsypką. Zwiększenie powierzchni kontaktu podrozjazdnicy z podsypką następuje w wyniku zagłębienia się ziaren podsypki w sprężystą warstwę PPP. Powierzchnia kontaktu podrozjazdnicy z podsypką tłuczniową wynosi 5%, przy zastosowaniu PPP powierzchnia kontaktu podrozjazdnicy z podsypką tłuczniową wynosi 20% [3].

Na rys. 3 przedstawiono wyniki przeprowadzonych badań powierzchni kontaktu podkładu z podsypką tłuczniową [3]. Analiza polegała na pomiarze powierzchni kontaktu podkładu z podsypką tłuczniową bez podkładki podpodkładowej oraz po zastosowaniu 8 mm podkładki podpodkładowej. Określenie powierzchni kontaktu przeprowadzono dla podkładu bez i z PPP z pomalowaną spodnią powierzchnią na czarno oraz podsypki tłuczniowej z pomalowaną na białą górną powierzchnią. Podkład z i bez PPP został ułożony na pomalowanej powierzchni podsypki tłuczniowej i poddany obciążeniu 112 [kN] (rys. 3) i po zdjęciu obciążenia przeprowadzono pomiar powierzchni odcisków ziaren tłucznia w odniesieniu do powierzchni podkładu [3].

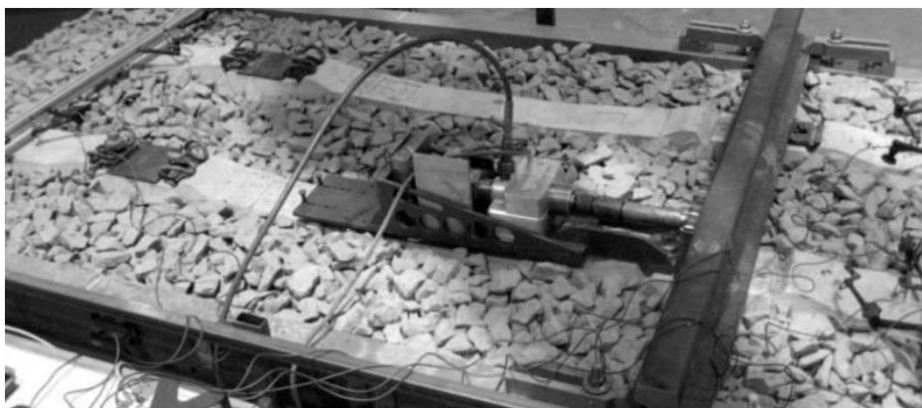


Rys. 3. Powierzchnia kontaktu podrozjazdnicy z tłucznem, a- podrozjazdnica bez podkładki podpodkładowej (kontakt wynosi 5%), b- podrozjazdnica z podkładką pod podkładową (kontakt wynosi 20%) [3]

W wyniku zastosowania podkładek pod podkładowych pod podrozjazdnicami następuje zwiększenie oporu na przesuw poprzeczny. Zwiększenie oporu na przesuw poprzeczny w rozjeździe jest szczególnie ważne w części krzyżownicowej rozjazdu, przy ruchu po torze zwrotnym. Na rys. 5 przedstawiono stanowisko badawcze do pomiaru oporu na przesuw poprzeczny, eksperyment przeprowadzono przy zastosowaniu podkładek pod podkładowych w podkładach betonowych i bez PPP [6].



Rys. 4. Stanowisko badawcze powierzchni kontaktu podrozdnic z ziarnami tłucznia {3}



Rys. 5. Stanowisko badawcze oporu porzecznego podrozdnic z PPP w korycie podsypkowym {3}

Badanie przedstawione na rys. 5 przeprowadzono na dwóch typach podkładów, pierwszy typ to podkłady strunobetonowe bez wibroizolacji (bez PPP), drugi typ to podkłady z izolacją antywibracyjną typu G04 V05 (z PPP). Badanie porównawcze dwóch typów podkładów miało na celu określenie wielkości średniej siły wymuszającej przesuw o 2 mm, wywołanych siłą poziomą wynoszącą 97 kN z częstotliwością 4 Hz, siła docisku podkładu do podsypki wynosiła 8 kN. Wyniki pomiarów zestawiono w tabeli 1 [6].

Tabela 1. Wyniki badań oporu na przesuw poprzeczny podkładu z PPP i bez PPP

Typ podkładów	Wskaźnik przesuwu podkładu o 2 mm, wartość średnia [kN]
Betonowy bez PPP	6,4
Betonowy z PPP	8,3

Zwiększenie powierzchni kontaktu podrozdżadnicy z podsypką w wyniku zagłębienia się ziaren z sprężystą warstwą podkładki podpodkładowej powoduje wzrost oporu na przesuw porzeczny.

Zastosowanie PPP w rozjeździe redukuje efekt progowy zmiany sztywności toru, deformacje pionowe i poziome w rozjeździe wywołane ruchem eksploatacyjnym, utrzymując pełną zdolność eksploatacyjną rozjazdu wynikającą ze wzrostu trwałości konstrukcji.

5. Badania eksploatacyjne PPP w rozjeździe na sieci PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.

W celu oceny wpływu zastosowania PPP w rozjazdach na eksploatowanej sieci PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. autorka rozpoczęła w 2016 roku program badań eksploatacyjnych rozjazdów z podkładkami podpodkładowymi na Politechnice Wrocławskiej w Katerze Mostów i Kolei.

Program badań obejmuje pomiary trwałości rozjazdu z PPP, badania redukcji drgań w wyniku zastosowania PPP. Zakres badań obejmuje 4 serie pomiarowe wykonywane na poligonie badawczym.

Program badań ma na celu ocenę wpływu zastosowania PPP w rozjeździe na jakość eksploatowanej nawierzchni kolejowej, charakterystykę niezawodności i trwałości eksploatacyjnej, podatność utrzymaniowo-naprawczą oraz charakterystykę ekonomiczną opłacalności zastosowania innowacyjnych materiałów.

Parametry techniczne PPP: grubość materiału 10 mm, średni moduł statyczny 0,190 N/mm³, moduł dynamiczny 0,2 N/mm³.

Poligon badawczy zlokalizowano na zmodernizowanej w 2014 r. stacji Siedlce w woj. mazowieckim na dwóch rozjazdach: pierwszy rozjazd typu Rzp 1: 12-500-60E1 z PPP (rys. 6), drugi rozjazd typu Rzl 1: 12-500-60E1 bez PPP z krzyżownicami z wkładką manganową typu insert (rys. 7).

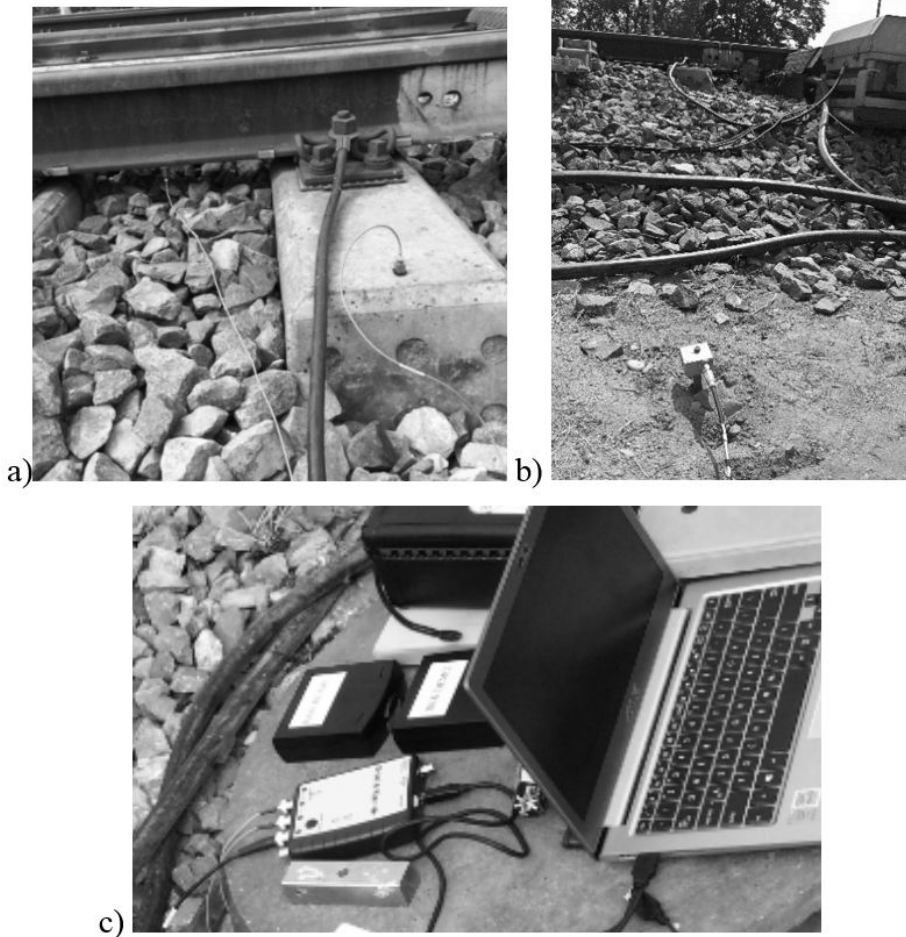


Rys. 6. Rozjazd nr 1 na stacji Siedlce Rzp 1: 12-500-60 E1 z PPP

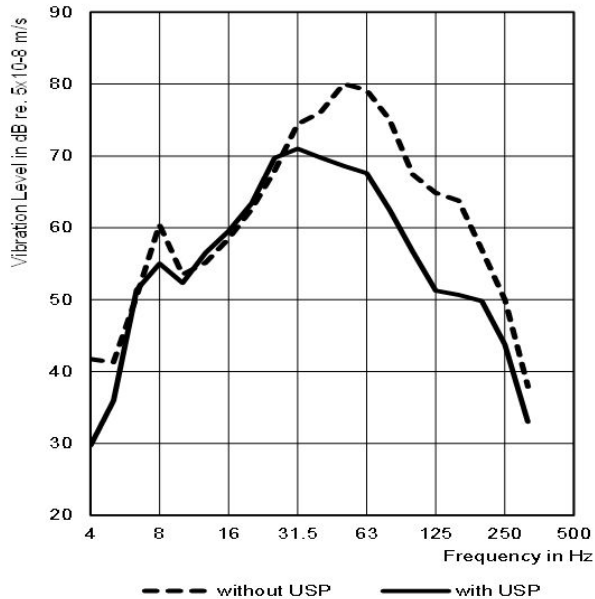


Rys. 7. Rozjazd nr 43 na stacji Siedlce Rzl 1: 12-500-60E1 bez PPP

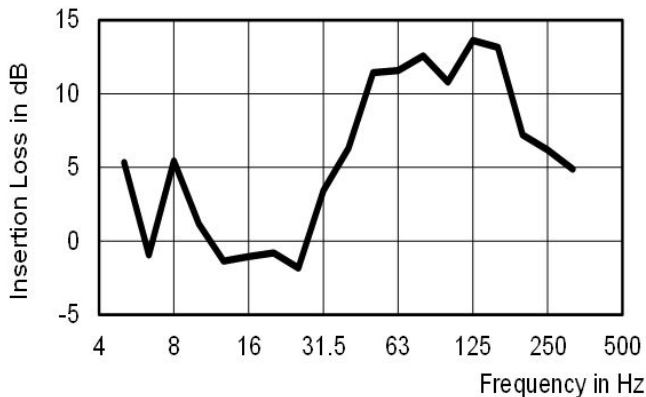
Badanie oddziaływań dynamicznych przeprowadzono z wykorzystaniem aparatury pomiarowej typu Photon Brüel & Kjaer, na stacji Siedlce przy przejeździe pociągu z prędkością 70 km/h w kierunku zasadniczym na rozjeździe z PPP i bez PPP. Czujniki pomiarowe ułożono na szynie, podrozdniczcy w strefie zwrotnicowej i w podtorzu w odległości 5 m od osi toru - rys. 8.



Rys. 8. Aparatura pomiarowa i lokalizacja czujników pomiarowych w rozjeździe, a - czujniki na szynie i podrozdniczcy, b - czujniki w podtorzu, c - aparatura pomiarowa, Siedlce (sierpień 2016 r.)\



Rys. 9. Wyniki pomiarów wibracji w podtorzu kolejowych w odległości 5 metrów od osi toru zasadniczego. Linia ciągła oznaczona wyniki badań dla rozjazdu z PPP, linia kreskowana oznacz wyniki badań dla rozjazdu bez PPP



Rys. 10. Redukcja wibracji w podtorzu kolejowym w wyniku zastosowania PPP w rozjeździe w porównaniu z rozjazdem bez PPP

Przeprowadzone pomiary poddano analizie częstotliwościowej w zakresie porównawczej dla rozjazdu z PPP i bez PPP. W wyniku zastosowania podkładek pod podkładowych w podrozjazdnicach nastąpiła - w porównaniu z rozjazdem bez PPP - redukcja drgań w szynie o 20%, w podrozjazdnicy o 30%, a w podtorzu o 40%, w zakresie częstotliwości od 5 do 40 Hz. W zakresie częstotliwości od 40 do 240 Hz nastąpiła redukcja wibracji w szynie o 25%, w podrozjazdnicy o 35%, a w podtorzu o 60% w rozjeździe z podkładkami pod podkładowymi w porównaniu do rozjazdu bez PPP. Wyniki badań przedstawiono na przykładzie (rys. 9 i rys. 10),

obrazujących poziom drgań zarejestrowanych w podtorzu kolejowym w rozjazdach z PPP i bez PPP. Wyniki badań wykazały najwyższy poziom redukcji drgań odtorowych w częstotliwości wibracji powyżej 31 Hz.

6. Podsumowanie

Przeprowadzone serie badań diagnostycznych i dynamicznych rozjazdów kolejowych na stacji Siedlce wykazały pozytywny wpływ zastosowania przekładek podpokładowych w podrozjazdnicach na redukcję drgań odtorowych oraz redukcję zużycia profilu iglic i krzyżownicy w rozjazdach z PPP. Badania trwałości rozjazdów wymagają wieloletniego programu badawczego, w celu wyciągnięcia rzetelnych wniosków z wpływu zastosowania PPP w rozjazdach na trwałość rozjazdu i na poziom ryzyka inwestycji kolejowych.

Wstępne wyniki badań wykazały zmniejszenie oddziaływań dynamicznych w wyniku zastosowania PPP, redukując zużycie krzyżownicy i zwrotnicy. Zmniejszenie zużycia krzyżownicy i zwrotnicy w wyniku zastosowania PPP przyczynia się do wydłużenia trwałości rozjazdu. Wstępne wyniki badań wykazują wydłużenie trwałości rozjazdu kolejowego w wyniku zastosowania PPP, zmniejszających ryzyka związane z wykonawcą inwestycji kolejowej. Wyniki badań wykazały zmniejszenie ryzyka poprzez zwiększenie jakości eksploatacyjnej nawierzchni kolejowej i wydłużenie trwałości rozjazdu w wyniku zastosowania PPP.

Bibliografia

- [1] Bałuch H., Trwałość i niezawodności eksploatacyjna nawierzchni kolejowej WKiŁ, Warszawa 1980 r.
- [2] Bałuch H., Bałuch M., Układy geometryczne toru i ich deformacje. KOW, Warszawa 2010.
- [3] Kwiatkowska E., Wpływ wibroizolacji podkładów strunobetonowych na pracę podtorza kolejowego, Raport serii PRE nr 8 /2015, Politechnika Wroclawska.
- [4] Niebieskie Księgi, Sektor kolejowy. 2015.
- [5] prEN 50126-1 The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) - 1 Generic RAMS Process.