

## **TRWAŁOŚĆ NAWIERZCHNI KOLEJOWEJ I BADANIA ROZJAZDÓW Z PODKŁADKAMI PODPODKŁADOWYMI NA SIECI PKP PLK<sup>1</sup>**

Ewelina KWIATKOWSKA

Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

W niniejszym referacie przedstawiono zagadnienie trwałości nawierzchni kolejowej w aspekcie realizowanych inwestycji infrastrukturalnych. Trwałość jest elementem oceny ryzyka projektów infrastrukturalnych wpływających na koszty i korzyści realizowanej inwestycji. W pracy przedstawiono analizę ryzyka inwestycji kolejowych wraz z możliwościami zmniejszenia ryzyka poprzez wydłużenie trwałości nawierzchni kolejowej na przykładzie rozjazdów kolejowych. Zaprezentowano wyniki badań eksploatacyjnych przeprowadzonych na rozjazdach kolejowych na sieci PKP PLK z podkładkami podpodkładowymi (PPP) i bez PPP. W ramach pracy przeprowadzono badania porównawcze geometrii oraz profili rozjazdu z PPP i bez PPP, połączone z badaniami dynamicznymi propagacji drgań w rozjeździe w wyniku zastosowania PPP w podrozjazdnicach. Wyniki przeprowadzonych prac wykazały celowość prowadzenia badań wpływu podkładek podpodkładowych na trwałość rozjazdu.

Słowa kluczowe: trwałość nawierzchni, rozjazdy kolejowe, dynamika toru.

### **1. TRWAŁOŚĆ NAWIERZCHNI KOLEJOWEJ**

#### **1.1. Wstęp**

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].

---

<sup>1</sup> DOI 10.21008/j.1897-4007.2017.25.21

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.

## 1.2. Analiza wrażliwości i ryzyka projektu

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 wykonanie 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) do (3):

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

$$N = \beta \frac{n}{l \cdot q} \quad (2)$$

$$\beta = 1,4 - 0,004 \cdot V_{\max} \quad (3)$$

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,

$\beta$  – 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 podrozjazdnicach strunobetonowych.

### 1.3. Trwałość i niezawodność rozjazdów

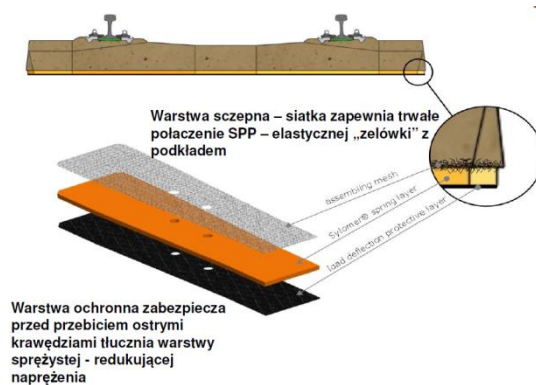
Zgodnie z [2] obiekty inżynierskie powinno się projektować na trwałość. W projektowaniu na trwałość obiektów inżynierskich uwzględnia się okres eksploatacji, sposób eksploatacji obiektu i jego zmiany w czasie. Projektowanie na trwałość obejmuje uwzględnienie cech nowego obiektu, przewidywane zmiany podczas eksploatacji, wpływ zmian na trwałość i sposób zmniejszania zmian niekorzystnych.

Niniejsza praca poświęcona jest badaniom wpływu zastosowania podkładek podpodkładowych w rozjazdach na trwałość konstrukcji rozjazdu. Na trwałość konstrukcji rozjazdu kolejowego wpływa zespół czynników eksploatacyjnych takich jak jakość konstrukcji rozjazdu, jakość podrozjazdnic i napędu, jakość taboru kolejowego oraz proces prowadzenia prac utrzymaniowo-naprawczych.

Uszkodzenia nawierzchni kolejowej na rozjeździe są bardziej złożone niż uszkodzenia na odcinkach toru i przebiegają znacznie szybciej. Proces degradacji rozjazdu spowodowany 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 ograniczonej eksploatacji są: zgniecenie dzioba krzyżownicy, pęknięcie krzyżownicy, spływ w żłobkach szyn skrzydełkowych. Podrozjazdnice w części krzyżownicowej poddawane są nierównomiernemu obciążeniu dynamicznemu, powodując pęknięcia poprzeczne przy podrozjazdnicach strunobetonowych.

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 rysunku 1.



Rys. 1. Schemat budowy podkładki podpodkładowej

## 2. BADANIE ROZJAZDÓW Z PODKŁADKAMI PODPODKŁADOWYMI (PPP) NA SIECI PKP PLK

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

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.

Poligon badawczy zlokalizowano na zmodernizowanej w 2014 r. stacji Siedlce w woj. mazowieckim na dwóch rozjazdach produkcji Track Tec KolTram, pierwszy rozjazd typu Rzp 1: 12-500-60E1 z PPP (rys. 2), drugi rozjazd typu Rzl 1: 12-500-60E1 bez PPP z krzyżownicami z wkładką manganową typu insert (rys. 3).

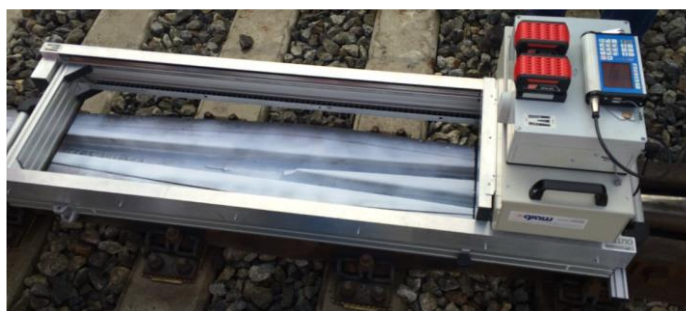
Badania rozjazdów podzielono na trzy części. Pierwszy etap obejmował badania skanerem laserowym produkcji Graw typu Skorpion profilu 3D krzyżownicy, który przedstawiono na rysunku 4 i pomiar iglicy przedstawiony na rysunku 5. Badanie skanerem zostało przeprowadzone na stacji Siedlce na rozjeździe z PPP i bez PPP w lutym 2016 r. oraz u producenta w wytwórni w Zawadzkiem na nowych iglicach i krzyżownicach. Zdjęcie z badań na rysunku 6 wykonano w kwietniu 2016 r. Badanie miało na celu ocenę zużycia profilu krzyżownicy i iglicy w czasie eksploatacji.



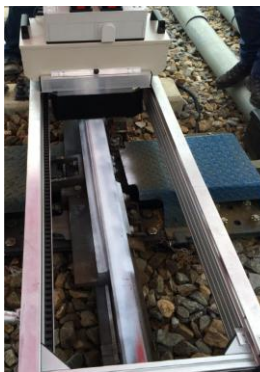
Rys. 2. Rozjazd nr 1 na stacji Siedlce Rzp 1:12-500-60 E1 z PPP



Rys. 3. Rozjazd nr 43 na stacji Siedlce Rzl 1: 12-500-60E1 bez PPP



Rys. 4. Skaner 3D Skorpion – krzyżownica w rozjeździe z PPP na stacji Siedlce, luty 2016



Rys. 5. Skaner 3D Skorpion – iglicy w rozjeździe z PPP na stacji Siedlce (luty 2016 r.)



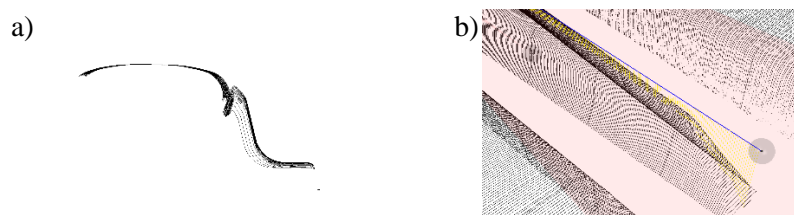
Rys. 6. Skaner 3D Skorpion – nowa iglica w Track Tec KolTram Zawadzkie (kwiecień 2016 r.)

W drugiej części przeprowadzono badania propagacji drgań wywołanych przejazdem pociągu z prędkością 70 km/h w stacji Siedlce na rozjeździe z PPP i bez PPP. Badania miały na celu ocenę poziomu drgań wywołanych przejazdem pociągu na konstrukcję rozjazdu i podtorza w wyniku zastosowania podkładek podkładowych w podrozjazdnicach (badanie przeprowadzono w sierpniu 2016 r.).

Trzecia część badań obejmuje pomiary diagnostyczne rozjazdów wykonane w czterech seriach pomiarowych co 3 miesiące na rozjeździe z PPP i bez PPP na stacji Siedlce, pomiary wykonane zgodnie z Instrukcją badań i oględzin rozjazdów PKP PLK, wyniki trzeciej części nie zostaną zaprezentowane w niniejszym artykule.

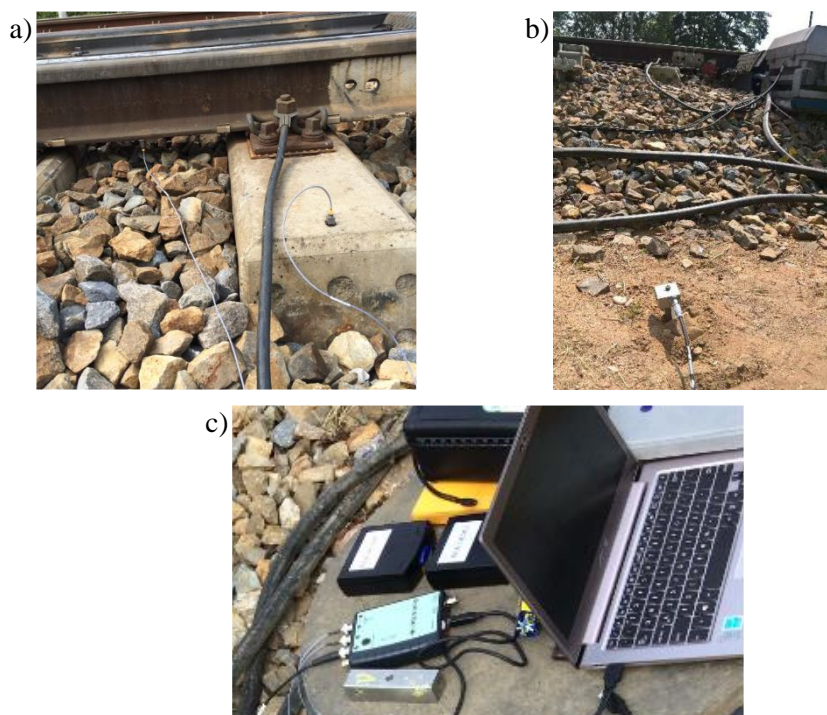
Wyniki pomiaru profilu iglicy i krzyżownicy przedstawiono na rysunku 4. Porównanie wyników pomiarów dla rozjazdu z PPP i bez PPP oraz elementów nowych wykazały zużycie na dziobie krzyżownicy w rozjeździe bez PPP wynoszące 0,52 mm, a w rozjeździe z PPP 0,35 mm w porównaniu z nową krzyżownicą. Przy pomiarze

iglicy w rozjeździe bez PPP zużycie wyniosło 0,32 mm w porównaniu z nową iglicą. Podczas badania iglicy w rozjeździe z PPP zużycie wyniosło 0,28 mm w porównaniu z nową iglicą. Przykładowy obraz ze skanera przedstawiono na rysunku 7.

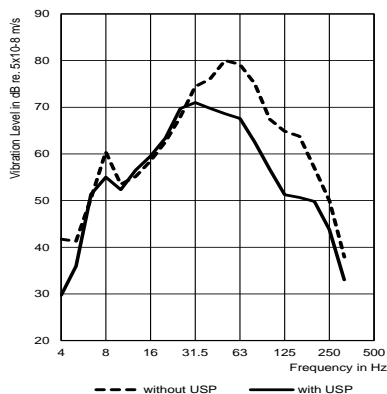


Rys. 7. Obraz z skanera 3D typu Skorpion, a – iglica, b- krzyżownica

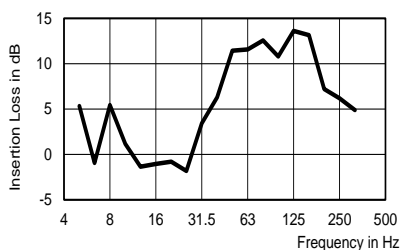
Badanie oddziaływań dynamicznych przeprowadzono z wykorzystaniem aparatury pomiarowej typu Photon Brüel & Kjaer. Badanie przeprowadzono na stacji Siedlce przy przejeździe pociągu z prędkością 70 km/h w kierunku zasadniczym na rozjeździe z PPP i bez PPP. Czujniki pomiarowe ułożono na szynie, podrozjezdnicy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



Rys. 8. Aparatura pomiarowa i lokalizacja czujników pomiarowych w rozjeździe: a) czujniki na szynie i podrozjezdnicy, 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 porównawczym dla rozjazdu z PPP i bez PPP. W wyniku zastosowania podkładek podpodkładowych 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 podpodkładowymi w porównaniu do rozjazdu bez PPP. Wyniki badań przedstawiono na przykładzie rysunku 9 i rysunku 10 obrazującego 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.



### 3. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone serie badań diagnostycznych i dynamicznych rozjazdów kolejowych na stacji Siedlce wykazały pozytywny wpływ zastosowania przekładek podkładowych 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.

Wstępne wyniki badań wykazały redukcję drgań w rozjeździe w wyniku zastosowania podkładek podkładowych. Redukcja oddziaływań dynamicznych w rozjeździe zmniejsza efekt progowy przy przejściu z toru w rozjazd zmniejszając oddziaływania dynamiczne. Zmniejszone oddziaływania dynamiczne redukują zużycie elementów rozjazdu. Zmniejszone zużycie iglic i krzyżownic zostało wykazane w wyniku badań skanerem. Przedstawione wyniki badań wykazały wzrost trwałości iglic i krzyżownicy w rozjeździe w wyniku zastosowania podkładek podkładowych w rozjeździe. Kluczowym zagadnieniem przy ocenie trwałości są długoterminowe badania pozwalające ocenić wpływ eksploatacji i prac utrzymaniowo-naprawczych na trwałość rozjazdu z PPP.

### LITERATURA

- [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.

## **DURABILITY OF RAILWAY TRACK AND TRANSPORTATION OF FLOOR UNDERWAYS ON THE RAILWAY**

### **Summary**

The paper presents the issue of durability of railway tracks in view of infrastructure investments. The sustainability of the railway network should be taken into account during the risk assessment of infrastructure projects. The paper presents an analysis of railway investment risks along with the possibility of reducing it by increasing the durability of the railway tracks using an example of turnouts with Under Sleeper Pads. The results of the measurements of turnouts with Under Sleepers Pads (USP) and without USP are presented. The measurements included an analysis of the vertical profile of the turnouts and the propagation of vibration as a result of applying the USP in comparison to the case without the USP. The results of the research have shown the relevance of conducting the research into the USP impact on the durability of turnouts.

Keywords: pavement durability, railway turnouts, track dynamics.

Dane autora:

Dr inż. Ewelina Kwiatkowska

Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

Katedra Mostów i Kolei

e-mail: ewelina.kwiatkowska@pwr.edu.pl

telefon: +48 71 320 3683