

Dr hab. inż. Andrzej Massel

Instytut Kolejnictwa

Recenzja rozprawy doktorskiej pt.

**„Analiza celowości zastosowania recyklingu materiałów stosowanych dla nowo opracowanych polimerowych podkładów kolejowych w oparciu o LCC”**

autorstwa **mgr inż. Anny Butor**

wykonanej na Politechnice Śląskiej

Warszawa, 20.07.2023

## 1. Przedmiot i podstawa recenzji

Niniejsza recenzja została opracowana na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Śląskiej z dnia 25 maja 2023 roku i na podstawie pisma przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport dr. hab. inż. Marcina Stańka, prof. PŚ z dnia 2 czerwca 2023 r. Do pisma została dołączona rozprawa doktorska p. mgr inż. Anny Butor pt „Analiza celowości zastosowania recyklingu materiałów stosowanych dla nowo opracowanych polimerowych podkładów kolejowych w oparciu o LCC”. Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Krzysztof Labisz, prof. PŚ, promotorem pomocniczym – dr inż. Rafał Wachnik.

Rozprawa doktorska powstała w ramach projektu pn. „Doktorat Wdrożeniowy” - II edycja, finansowanego ze środków budżetu Państwa. Id projektu: 410487.

## 2. Ogólna charakterystyka rozprawy

Rozprawa poświęcona analizie możliwości zastosowania innowacyjnych podkładów polimerowych w warunkach kolei w Polsce jest napisana w języku polskim i obejmuje 138 stron. Składa się ona z 6 rozdziałów: (1) Analiza stanu wiedzy dotycząca przedmiotu badań, (2) Założenia badawcze, (3) Metodyka badań, (4) Opis przeprowadzonych testów badawczych, (5) Wyniki przeprowadzonych badań Badania laboratoryjne, (6) Wnioski. Całość poprzedzają: streszczenie przygotowane zarówno w języku polskim, jak i w języku angielskim, spis treści, wykaz skrótów i akronimów oraz rozdział o charakterze wprowadzenia, zatytułowany jako przedstawienie istoty zagadnienia. Na końcu pracy zawarto wykaz bibliografii. Obejmuje on 78 pozycji. Zamieszczono także spis rysunków oraz spis tabel. Ogółem dysertacja zawiera 90 rysunków oraz 22 tabele.

## 3. Treść rozprawy

Rozdział 1 (45 stron) zawiera dość obszerną analizę stanu wiedzy i stanu techniki w zakresie nawierzchni kolejowej ze szczególnym uwzględnieniem podkładów. W analizie uwzględniono cztery kluczowe aspekty. Zaliczono do nich:

- aspekty technologiczne,
- aspekty ekonomiczne,
- aspekty środowiskowe,
- aspekty prawne.

W rozdziale 1 zdecydowanie najwięcej miejsca poświęcono przedstawieniu rozwiązań technicznych w zakresie podkładów kolejowych, w tym szczególnie rozwiązań innowacyjnych. Należą do nich podkłady polimerowe, których rozwój wiązał się dostępnością materiałów kompozytowych wykonanych z włókien (szkła, węgla i aramidu) oraz różnego rodzaju żywic. Pierwsze zastosowania podkładów polimerowych na kolejach świata miały miejsce w latach osiemdziesiątych XX wieku, głównie w Japonii. Obecnie coraz powszechniej dostrzega się możliwość zastąpienia nimi podkładów (a także podrozdnic) drewnianych.

Omawiając aspekty ekonomiczne Autorka dokonała przeglądu zasad rachunku kosztów życia produktu (LCC), przedstawiając występujące w literaturze przedmiotu podejścia do zagadnienia i jego definicje. Przedstawione zostały też metody obliczania LCC w zależności od wielkości i złożoności konkretnej inwestycji. Wyszczególniono poszczególne pozycje kosztów życia produktu z uwzględnieniem kolejnych faz (przedprodukcyjnej, produkcyjnej i poprodukcyjnej). W odniesieniu do

infrastruktury kolejowej należącej do grupy DB Cargo Polska przyjęto, że zestawienie poszczególnych składników kosztów zostanie przygotowane zarówno według metody prostej (nie uwzględniającej zmiany wartości pieniądza w czasie), jak i według metody złożonej (uwzględniającej zmianę pieniądza w czasie).

W odniesieniu do aspektów prawnych Autorka zwraca uwagę, że należy rozróżnić dwa przypadki zabudowy podkładów polimerowych, zależnie od rodzaju infrastruktury, na której mają zostać zabudowane. W przypadku inwestycji objętych wymaganiami TSI dla podsystemu „Infrastruktura” obowiązują ogólne zasady oceny zgodności. Zgodnie z nimi producent sam wybiera odpowiednie specyfikacje do zapewnienia, że jego wyrób umożliwi spełnienie zasadniczych wymagań interoperacyjności dla tego podsystemu. Natomiast w przypadku stosowania podkładów na liniach kolejowych nieobjętych TSI a także na bocznicach kolejowych zastosowanie mają przepisy rozporządzenia Ministra Infrastruktury i Rozwoju w sprawie dopuszczania do eksploatacji określonych rodzajów budowli, urządzeń i pojazdów kolejowych z dnia 13 maja 2014 r. (Dz.U. poz. 720), w których jest mowa o „podkładach kolejowych”, bez precyzowania materiału, z jakiego są one wykonywane. Oznacza to, że podkłady polimerowe stosowane w tych przypadkach są objęte obowiązkiem uzyskania świadectwa dopuszczenia do eksploatacji typu budowli.

W rozdziale 2 (5 stron) określone zostały założenia badawcze. Skupiono się na potrzebie zbadania wymienionych wcześniej czterech kluczowych aspektów innowacyjnych podkładów kolejowych z polimeru. Zostały one odniesione do działalności spółki Infra Silesia, zarządcy infrastruktury kolejowej DB Cargo Polska i przedstawione w kontekście całego zespołu działań realizowanych w spółce służących dbałości o środowisko poprzez wdrażanie nowych rozwiązań i ulepszanie dotychczasowych mechanizmów z myślą o redukcji śladu węglowego i ochronie klimatu.

Następnie sformułowane zostały cel oraz teza pracy. Jako cel pracy Autorka postawiła zbadanie możliwości zastosowania podkładów polimerowych w branży kolejowej w Polsce. W rozdziale tym określona została także teza pracy, według której zasadnym jest stosowanie materiału polimerowego wykonanego z polietylenu do produkcji podkładów kolejowych z wykorzystaniem recyklingu, w odróżnieniu od materiału polimerowego wykonanego z poliuretanu.

Część badawcza pracy rozpoczyna się krótkim rozdziałem 3 (3 strony), poświęconym opisowi metodyki badań z uwzględnieniem ich celu (wpływ czasu ekspozycji materiałów polimerowych PE i PU w komorze klimatycznej o zmiennych warunkach atmosferycznych), badanych materiałów (próbki pobierane z podkładów z polietylenu oraz z poliuretanu) oraz badanych parametrów.

Rozdział 4 (35 stron) łączy w sobie opis badań laboratoryjnych z analizami kosztów i korzyści. W rozdziale tym opisano badania próbek podkładów polimerowych pozyskanych od dwóch różnych producentów i wytworzonych z dwóch różnych materiałów: polietylenu i poliuretanu. W tym samym rozdziale zbadano wpływ zastosowania innowacyjnych podkładów kolejowych na poszczególne składniki kosztów w całym okresie użytkowania podkładów, przy czym w obliczeniach przyjęto aż 150-letni (bardzo dyskusyjny) okres analizy. W pracy została też przeprowadzona analiza celowości zastosowania recyklingu materiałów stosowanych dla nowo opracowanych polimerowych podkładów kolejowych na podstawie LCC. Z analiz kosztów LCC wynika, że są one najkorzystniejsze w przypadku podkładów wykonanych z polietylenu, dla których koszty po 150 latach wypadają minimalnie korzystniej niż dla podkładów betonowych.

Zgodnie ze swoim tytułem rozdział 5 (25 stron) zawiera wyniki przeprowadzonych badań. Podobnie jednak jak w rozdziale 4 połączono w nim dwa, moim zdaniem odrębne, zagadnienia, jakimi są prezentacja wyników badań laboratoryjnych oraz wnioski z analiz ekonomicznych i formalno-prawnych. Aspekt wdrożeniowy pracy odzwierciedla zaproponowanie ścieżki prawnej zastosowania

innowacyjnych podkładów kolejowych na infrastrukturze kolejowej należącej do tzw. małego zarządcy jakim jest firma Infra Silesia S.A (podrozdział 5.9). Dodatkowo odniesiono się do czynników, które należy brać pod uwagę podczas stosowania innowacyjnych podkładów kolejowych w zależności od rodzaju toru.

Rozdział 6 (2 strony) zawiera wnioski z pracy. Potwierdzono w nich zasadność stosowania materiału polimerowego wykonanego z polietylenu do produkcji podkładów kolejowych z wykorzystaniem recyklingu, w odróżnieniu od materiału polimerowego wykonanego z poliuretanu. Stwierdzono większą stabilność wytrzymałościową (zginanie i ściskanie) i plastyczność dla próbek wykonanych z polietylenu testowanych przed i po ekspozycji na zmienne warunki atmosferyczne w komorze klimatycznej. Zawarta w pracy analiza formalno-prawna potwierdza możliwość zastosowania innowacyjnych polimerowych podkładów kolejowych na liniach zarządzanych przez firmę Infra Silesia S.A.

#### **4. Ocena rozprawy**

Oceniając zawartość rozprawy można stwierdzić, że zasadniczym jej celem było zbadanie możliwości zastosowania podkładów polimerowych w warunkach kolei w Polsce. Problemem naukowym będącym przedmiotem rozprawy była analiza celowości zastosowania materiałów z recyklingu do produkcji polimerowych podkładów kolejowych. Problem ten jest bez wątpienia istotny i wiąże się z założeniami gospodarki cyrkularnej (inaczej Gospodarki Obiegu Zamkniętego), czyli takiego modelu gospodarki, w którym produkty i usługi są przedmiotem obrotu w zamkniętych pętlach lub cyklach. Głównym celem gospodarki o obiegu zamkniętym jest projektowanie procesów produkcyjnych w taki sposób, aby możliwe było utrzymanie jak największej wartości produktów, części i materiałów. Kluczową kwestią jest stworzenie systemu pozwalającego na tworzenie towarów o długiej żywotności, optymalizowanie procesów ponownego użycia, renowacji, reprodukcji i recyklingu wszelkich produktów i materiałów (patrz: <https://gozwpraktyce.pl/slownik/gospodarka-cyrkularna/>). Ponowne wykorzystanie i recykling produktów spowalnia wykorzystanie zasobów naturalnych, ogranicza niszczenie krajobrazu i siedlisk oraz pomaga ograniczyć utratę różnorodności biologicznej. Korzyścią z gospodarki o obiegu zamkniętym jest redukcja całkowitej rocznej emisji gazów cieplarnianych.

W odniesieniu do infrastruktury transportu kolejowego istnieje obecnie duże zapotrzebowanie na nowe rozwiązania techniczne, pozwalające wyeliminować podkłady drewniane, nadal znajdujące szerokie zastosowanie na liniach, stacjach i bocznicach kolejowych, w lokalizacjach, w których nie jest możliwe użycie podkładów betonowych. Jednym z takich rozwiązań podkładów są podkłady z tworzyw sztucznych, w tym z różnego rodzaju kompozytów. W tym kontekście podjęcie przez Autorkę badań ukierunkowanych na zastosowanie innowacyjnych podkładów polimerowych w warunkach jednego z zarządców infrastruktury kolejowej w Polsce uważam za bardzo uzasadnione.

Za prawidłowe uważam też przeprowadzenie w ramach pracy badań laboratoryjnych dotyczących dwóch różnych rodzajów materiałów przeznaczonych do produkcji podkładów polimerowych. Niestety badania te dotyczyły jedynie próbek. Praca niewątpliwie zyskałaby, gdyby zostały przeprowadzone także badania wytrzymałości całych podkładów (najlepiej zarówno statyczne, jak i dynamiczne).

W porównaniu z podkładami drewnianymi innowacyjne rozwiązania podkładów charakteryzują się z reguły większymi kosztami produkcji, co rzutuje na ich ceny rynkowe. Dlatego tak istotne jest zbadanie, czy pomimo zwiększonych kosztów inwestycyjnych zastosowanie podkładów

polimerowych może być opłacalne, jeżeli uwzględni się pełne koszty cyklu życia, czyli LCC. Taką metodę badawczą, uwzględniającą koszty LCC przyjęła Autorka i podejście to jest jak najbardziej prawidłowe. Można mieć jednak wątpliwości, co do przyjętego przez nią horyzontu czasowego analizy (150 lat). Żaden podmiot gospodarczy nie planuje swojej działalności w takim długim okresie. Argument Autorki, że 150 lat jest pierwszym okresem, który zawiera w sobie całkowite krotności wymian w odniesieniu do różnych rodzajów porównywanych podkładów nie wydaje się tu przekonujący.

Bardzo dyskusyjna jest struktura pracy, w której kluczowe treści dotyczące badań laboratoryjnych, analiz ekonomicznych oraz analiz formalnych i prawnych połączono ze sobą zarówno w rozdziale 4 (opis badań), jak i w rozdziale 5 (wyniki badań).

Wyszczególnione zastrzeżenia, podobnie jak przedstawione niżej uwagi ogólne i szczegółowe, nie podważają generalnie pozytywnej oceny pracy. Na podkreślenie zasługuje fakt, że dysertacja, której tematyka mieści się w dyscyplinie Inżynieria lądowa, geodezja i transport, ma w istocie charakter interdyscyplinarny. Jej przedmiot dotyczy bowiem większej liczby dyscyplin naukowych, a Autorka korzysta z dorobku kilku nauk. Autorka rozpatruje zagadnienie badawcze zarówno z perspektywy nauk technicznych, ale także wykorzystuje narzędzia nauk społecznych, w tym przede wszystkim ekonomii (dyscyplina „ekonomia i finanse”), gdyż to ona opisuje podmioty, zjawiska i procesy gospodarcze w takich kategoriach jak efektywność, skuteczność i produktywność.

## 5. Uwagi ogólne

Jak już wspomniano wcześniej, wątpliwości budzi struktura pracy w jej części badawczej, w szczególności zaś podział treści pomiędzy rozdział 4, noszący tytuł „Opis przeprowadzonych testów badawczych” i rozdział 5 „Wyniki przeprowadzonych badań”. W mojej opinii rozdział 4 powinien przedstawiać metody badań, aparaturę, sposób przygotowania próbek. Rozdział 5 zaś powinien zawierać zarówno wyniki badań (na przykład wyniki badań temperatury oraz wykresy wytrzymałości), jak i obserwacji. Zupełnym nieporozumieniem jest włączenie do tych rozdziałów analiz LCC oraz analiz prawnych. Zagadnienia te mogłyby z powodzeniem tworzyć osobny rozdział.

Praca wykazuje też usterki edycyjne. Należy do nich występowanie przypadku tzw. tekstu wiszącego. Dobrą praktyką przy redagowaniu monografii jest aby przy numeracji cyfrowej wielorzędowej po tytule rozdziału 2 od razu następował tytuł podrozdziału 2.1 Między nimi nie powinno być żadnych tekstów (czyli tekstów wiszących). Jeżeli tekst wiszący stanowi wartościowe wprowadzenie do tematu rozdziału powinien zostać opatrzony numerem oraz tytułem.

Praca zyskałaby, gdyby szerzej przedstawiono najnowsze publikacje zagraniczne dotyczące innowacyjnych konstrukcji podkładów. W zbyt małym stopniu przytoczono publikacje zagraniczne dotyczące zastosowania i praktycznych doświadczeń eksploatacyjnych dotyczących podkładów z tworzyw sztucznych. Jako przykłady takich prac można wskazać:

- Iliev D., Simpson G., Koller G.: FFU synthetic sleeper – slim tie and longitudinal baulks. Railway Engineering-2015. Paper No 1384.
- Koller G.: FFU synthetic sleeper – Projects in Europe, Construction and Building Materials 2015, Vol. 92, s. 43-50.
- Takai H., Sato Y., Sato K. Japanese twenty five years experiences and standardization of synthetic sleeper, vol. 13, Railway Technology Avalanche 2006.

- Thompson S., King C., Rodwell J., Rayburg S., Neave M.: Life Cycle Cost and Assessment of Alternative Railway Sleeper Materials, Sustainability 2022, 14, 8814.

## 6. Uwagi szczegółowe

Wątpliwości budzi tytuł pracy, a konkretnie sformułowanie „w oparciu o LCC”. Użycie wyrażenia „w oparciu o” nie wydaje się właściwe przede wszystkim dlatego, że powstało ono z konstrukcji „opierać się o coś”, która odnosi się nie do zjawisk abstrakcyjnych, lecz do czynności fizycznych (patrz: Poradnia językowa PWN, <https://sjp.pwn.pl>). Dlatego w odniesieniu do przedmiotu rozprawy poprawne byłoby brzmienie „na podstawie LCC”.

Streszczenie pracy nie oddaje w precyzyjny sposób jej struktury. Pisze się w nim na przykład o rozdziale „Przegląd literatury” podczas gdy w spisie treści występuje rozdział „Analiza stanu wiedzy dotycząca przedmiotu badań”.

Opis różnych rozwiązań podkładów w rozdziale 1 (p. 1.1.1.) jest nieprecyzyjny. Autorka wyodrębnia (między innymi) następujące kategorie: „Podkłady betonowe: żelbetonowe i strunobetonowe”, „Podkłady żelbetowe” oraz „Podkłady strunobetonowe”. Wyraźniej lepsze byłoby zgrupowanie całej treści dotyczącej podkładów betonowych w jednym podpunkcie.

Opisując podkłady betonowe Autorka wspomina o możliwości powlekania spodu takich podkładów warstwą plastycznie odkształcalną, jako rozwiązaniem poprawiającym warunki kontaktu podkładu z tłuczniem (s. 22). Nie wspomina jednak o coraz częściej stosowanych podkładkach podpodkładowych, określanych także jako USP (*Under Sleeper Pads*). Można tu było się (na przykład) odwołać do publikacji Kraśkiewicza, Oleksiewicza i Zbiciaka z 2017 roku

W rozdziale 4, w opisie sprzętu laboratoryjnego użytego w poszczególnych badaniach brakuje dokładniejszych informacji o charakterystyce zastosowanych maszyn (podano tylko ich symbole). Nie zamieszczono także informacji o laboratorium, w którym wykonane zostały poszczególne badania.

W pracy występują niestety dość liczne niezręczności językowe. Są to w szczególności nieprawidłowe lub nieprecyzyjne sformułowania i określenia, takie jak na przykład „działalność budownicza” (s. 43). Również określenie „testy badawcze” w rozdziale 4 jest nieprecyzyjne. Lepsze byłoby użycie pojęcia „badania”.

Omawiając akty prawne dotyczące dopuszczenia do eksploatacji (na stronie 101) Autorka błędnie przywołuje rozporządzenie zawierające wykaz rodzajów budowli, urządzeń oraz pojazdów kolejowych, dla których wymagane jest uzyskanie świadectwa dopuszczenia do eksploatacji typu, podając, że jest to „Rozporządzenie 2014”. Tymczasem powinna się odnieść do rozporządzenia Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 13 maja 2014 r. w sprawie dopuszczania do eksploatacji określonych rodzajów budowli, urządzeń i pojazdów kolejowych (Dz. U. poz. 720). Aktualny tekst jednolity tego rozporządzenia zawarty jest w obwieszczeniu Ministra Infrastruktury z dnia 7 października 2020 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury i Rozwoju w sprawie dopuszczania do eksploatacji określonych rodzajów budowli, urządzeń i pojazdów kolejowych (Dz.U. poz. 1923).

## **7. Wniosek końcowy**

Uważam, że przedstawiona do recenzji rozprawa p. mgr inż. Anny Butor podejmuje ważne zagadnienie poznawcze o dużym znaczeniu praktycznym. Taka właśnie powinna być tematyka doktoratów wdrożeniowych. Dysertacja zawiera propozycję rozwiązania problemu naukowego a równocześnie wykazuje odpowiedni poziom wiedzy specjalistycznej Autorki. Praca z jednej strony potwierdza wystarczającą znajomość zagadnień praktycznych dotyczących eksploatacji infrastruktury kolejowej, z drugiej zaś - umiejętność prowadzenia przez Doktorantkę badań naukowych. Uwagi krytyczne (zarówno ogólne jak i szczegółowe) zawarte w recenzji nie przekreślają wartości merytorycznej rozprawy, która podejmuje istotny problem decyzyjny, dotyczący wyboru rozwiązania konstrukcyjnego nawierzchni kolejowej z perspektywy zarządcy infrastruktury.

Rozprawa doktorska p. mgr inż. Anny Butor pod tytułem „Analiza celowości zastosowania recyklingu materiałów stosowanych dla nowoopracowanych polimerowych podkładów kolejowych w oparciu o LCC” spełnia w mojej opinii wymagania określone w Ustawie. Wnioskuje zatem o przyjęcie recenzowanej rozprawy i dopuszczenie do publicznej jej obrony.