

Warszawa, 20.06.2023

Wydział Transportu
Politechnika Warszawska

dr hab. inż. Jacek Kukulski, profesor uczelni

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgr inż. Anny Butor

pt.: „Analiza celowości zastosowania recyklingu materiałów stosowanych dla nowooproczowanych polimerowych podkładów kolejowych w oparciu o LCC”

Podstawą wykonania recenzji jest pismo dr hab. inż. Marcina Stańka, prof. PŚ, Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Śląskiej z dnia 02.06.2023 (pismo nr RDILGT.512.7.2023).

1. Syntetyczna charakterystyka recenzowanej rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Anny Butor została napisana na 138 stronach. Składa się z wykazu skrótów i akronimów, a następnie z 6 rozdziałów uzupełnionych o spis bibliografii, rysunków, tabel oraz streszczenia w języku polskim i angielskim. Rozprawa dotyczy badań materiałów polietylenowych oraz poliuretanowych uzyskanych z recyklingu celem zastosowania w infrastrukturze jako podkłady kolejowe. Należy podkreślić oryginalność i złożoność podjętej tematyki zarówno pod kątem technicznym, finansowym jak i wdrożeniowym.

Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Krzysztof Labisz, prof. PŚ, a promotorem pomocniczym dr inż. Rafał Wachnik.

2. Ocena doboru tematu rozprawy

Utrzymanie infrastruktury kolejowej w stanie zapewniającym bezpieczny ruch kolejowy jest podstawowym obowiązkiem zarządców infrastruktury kolejowej wynikającym z Ustawy o Transporcie Kolejowym. Ze względu na podnoszenie dopuszczalnych prędkości szlakowych jak i zwiększanie dopuszczalnych nacisków osi na

tor kolejowy, zwiększane są wymagania względem nawierzchni kolejowej. Podkłady jako jeden z głównych elementów nawierzchni stanowią istotny element kosztów zarówno podczas budowy, utrzymania jak i utylizacji. Wydłużenie czasu eksploatacji nawierzchni kolejowej, a tym samym zmniejszenie jej kosztów utrzymania może stanowić interesujące rozwiązanie dla Zarządcy Infrastruktury. Dodatkowym argumentem przemawiającym za nowym rozwiązaniem może być też ochrona środowiska, w której zastosowane materiały po zakończeniu użytkowania mogą zostać przetworzone i ponownie wykorzystane. W przypadku istniejących rozwiązań podkładów betonowych czy strunobetonowych nie ma takiej możliwości, a do ich wytworzenia potrzebne jest pozyskanie nowych materiałów w tym materiałów kopalnych. Można uznać, że jest to dobry kierunek, jednak należy pamiętać o aspektach bezpieczeństwa jak i kosztach wytworzenia i zabudowy w torze kolejowym.

Autorka rozprawy doktorskiej podjęła wyzwanie, aby zmierzyć się z tym problemem celem zastosowania recyklingu materiałów stosowanych dla nowo opracowanych polimerowych podkładów kolejowych w oparciu o LCC (Cykl Życia Produktu). W tym kontekście zagadnienia poruszone w rozprawie mgr inż. Anny Butor wpisują się w aktualne problemy i wyzwania badawcze, a opracowane wnioski i rekomendacje mogą posłużyć do skutecznego wdrożenia mającego na celu zastosowanie nowych rozwiązań w infrastrukturze transportu szynowego. Zagadnienia omawiane w rozprawie mają bowiem charakter zarówno teoretyczno-badawczy, jak i praktyczny z możliwością ich wykorzystania do celów wdrożeniowych. Można zatem stwierdzić, że rozprawa jest przykładem dobrze zidentyfikowanych badań stosowanych obejmujących swym zakresem badania wytrzymałościowe, materiałowe, chemiczne, a także aspekty ekonomiczne i prawne. Temat recenzowanej rozprawy doktorskiej jest tematem złożonym, rzadko podejmowanym jednocześnie aktualnym i odpowiadającym na zapotrzebowanie w obszarze transportu szynowego szczególnie infrastruktury torowej. Problem badawczy podjęty przez Doktorantkę jest w pełni uzasadniony, a sformułowanie tematu właściwe.

3. Ogólna charakterystyka rozprawy i jej ocena merytoryczna

Treść rozprawy została przedstawiona w sześciu rozdziałach poprzedzona streszczeniem w języku polskim i angielskim oraz spisem treści.

Rozdział pierwszy stanowi wprowadzenie, w którym przedstawiono informacje o istocie zagadnienia. Następnie autorka przeprowadziła przegląd literatury, w którym

zglobiono część teoretyczną zagadnienia. W części teoretycznej przedstawiono obecnie stosowane rozwiązania w zakresie podkładów kolejowych w Polsce, jak również rozwiązania stosowane na arenie międzynarodowej. Jest to bardzo obszerny rozdział, w którym szczegółowo opisano rodzaje stosowanych rozwiązań konstrukcyjnych podkładów w Polsce jak i za granicą. Uwzględnione zostały najistotniejsze obszary takie jak: technologiczne, ekonomiczne, środowiskowe oraz prawne. Dla zachowania przejrzystości tekstu w kolejnych rozdziałach przed pierwszym rozdziałem przygotowano wykaz skrótów i akronimów stosowanych w kolejnych rozdziałach. W rozdziale zacytowano 59 pozycji bibliograficznych. Istotę przeglądu literatury stanowi krótkie podsumowanie pozwalające na uzasadnienie podjęcia tej tematyki i celu rozprawy. Ukazanie celowości poszukiwania nowych rozwiązań znalazło swoje miejsce również w rozdziale poświęconym aspektom środowiskowym. Ten rozdział wskazuje jak wielką rolę odgrywają rozporządzenia polskie jak również dyrektywy europejskie wpływające na politykę i działania przedsiębiorstw.

Rozdział drugi rozprawy stanowią założenia badawcze uwzględniające: aspekty technologiczne, ekonomiczne, środowiskowe oraz aspekty prawne. W podrozdziale 2.2 Doktorantka przedstawiła cel oraz tezę pracy. **Postawiona teza pracy przez doktorantkę jest sformułowana trochę niezrozumiale i powinna być nieznacznie przeformułowana.** Kolejne rozdziały stanowią już oryginalne osiągnięcie Autorki rozprawy. W rozdziale 3 przedstawiono metodykę badań oraz badane parametry. Istotnym elementem pracy są badania doświadczalne przedstawione w rozdziale czwartym niniejszej rozprawy. Zakres zrealizowanych badań przez doktorantkę był obszerny i obejmował m.in.: badania wytrzymałości na ściskanie i zginanie, ekspozycję w komorze klimatycznej, różnicową kalorymetrię skaningową, dynamiczną analizę mechaniczną, test palności. Cennym uzupełnieniem tej części pracy jest analiza LCC dla wybranego przedsiębiorstwa oraz analiza środowiskowych aspektów stosowania polimerowych podkładów kolejowych na infrastrukturze kolejowej wybranego przedsiębiorcy. Wartością dodaną rozprawy jest analiza prawna zastosowania podkładów polimerowych na infrastrukturze kolejowej. Rozdział piąty niniejszej rozprawy to prezentacja uzyskanych wyników badań oraz analiz wykonanych w ramach rozprawy doktorskiej. Należy podkreślić, że próbki były badane w zmniejszonej skali ze względu na posiadaną aparaturę badawczą. Uwidocznione zostały różnice pomiędzy badanymi materiałami (próbki z polietylenu oraz poliuretanu) po kątem badania temperatury ugięcia pod obciążeniem HDT. W przypadku wyników badań

wytrzymałość na ściskanie w tym w badań komorze klimatycznej nie ulegają osłabieniu pod względem własności wytrzymałościowych na ściskanie. W przypadku badań na zginanie próbki poliuretanowe badane w komorze klimatycznej cechowały się licznymi pęknięciami. Zdaniem Doktorantki spowodowane było o poprzez kapilarne chłonięcie wilgoci przez włókna szklane do wnętrza materiału powodując rozdzielanie się obu materiałów. Znaczące różnice uwidoczniła skaningowa kalorymetria różnicowa, która dla podkładów PE uwidoczniła przemianę związaną z topnieniem (ujawnia się jako przemiana endotermiczna). W przypadku testu palności przy użyciu stożka kalorymetrycznego z analizatorem gazów uwolnionych podczas spalania badane podkłady z PU emitowały znacznie więcej pod względem różnorodności i zawartości szkodliwych dla zdrowia i środowiska substancji w gazach powstających podczas ich spalania niż miało to miejsce dla PE. **Jest to zapewne jedna z wad takiego typu podkładów w stosunku do strunobetonowych.** Taka sytuacja może zaistnieć w przypadku katastrofy kolejowej powodując pożar i emisję szkodliwych substancji do atmosfery.

Doktorantka, każde z wymienionych badań i uzyskanych wyników poddaje analizie i ocenia pod kątem uzyskane wartości przedstawiając w formie podsumowania. Można powiedzieć, że w tym miejscu ewidentnie brakuje pełnoskalowych badań gotowych podkładów, a jedynie wykonane są badania próbek materiałów. Recenzent ma świadomość, że byłoby to trudne i kosztowne do zrealizowania, jednak urealniałoby wyniki badań odnosząc się do stosowanych obecnie podkładów strunobetonowych.

Ostatnią częścią badań przedstawioną w podrozdziale 5.8 są wyniki analizy LCC ocenianych rozwiązań. Na podstawie analizy długoterminowej pokazano, że w okresie 150 lat skumulowane przepływy pieniężne mają najniższą wartość dla podkładów polietylenowych, jednakże trwała dominacja nad podkładami betonowymi dla których zakłada się o wiele krótszą żywotność.

Wartością dodaną tej części rozprawy są również aspekty prawne, które mają na celu zaproponowania ścieżki prawnej postępowania, celem zastosowania innowacyjnych podkładów kolejowych na boczniczy prywatnego zarządcy.

Ostatnią część pracy stanowi podsumowanie i wnioski w tym potwierdzenie zasadność postawionej tezy. Autorka potwierdziła również możliwość zastosowania innowacyjnych polimerowych podkładów kolejowych na liniach zarządzanych przez prywatnego zarządcę

infrastruktury na liniach kolejowych nie objętych TSI. **Niestety brakuje informacji o dalszych kierunkach prac Doktorantki.**

Recenzowana rozprawa została przygotowana starannie, aczkolwiek Doktorantka nie ustrzegła się typowych błędów edytorskich czy stylistycznych. Szczegółowe zestawienie zostało przedstawione w rozdziale uwagi szczegółowe i pytania.

4. Uwagi szczegółowe i pytania

Poniżej zestawiono uwagi szczegółowe, które zostały zauważone w trakcie czytania rozprawy:

- brak w bibliografii norm AREMA oraz ASTM w których badano podkłady;
- zła jakość rysunku nr 5;
- brak źródła rysunku 16;
- brak odwołania w rozprawie do pozycji bibliografii: [47], [48], [49], [56], [58], [59], [60], [62], [63], [64], [65], [66], [67], [68], [69], [70];
- brak informacji w przeglądzie literatury nt. zastosowania polimerowych podkładów kolejowych w torze bezстыkowym;
- brak informacji o laboratorium badawczym (czy posiada akredytację, inne dopuszczenia), czy używana w badaniach aparatura jest wzorcowana;
- brak w bibliografii norm: ISO 12856-1, PN-EN ISO 75-2:2013, PN-EN ISO 604:2006, PN-EN ISO 178:2019-06, PN-EN ISO 11357-1:2016-11, PN-EN ISO 11357-3:2018-06, PN-EN ISO 6721-1:2011, PN-EN 206-1:2003
- brak informacji o niepewności pomiarów;
- jakie są dopuszczalna zawartość % popiołu (nasycenia włóknami szklanymi) podczas spalania próbek – czy norma definiuje wartość dopuszczalną?
- jakie zalecany będzie rozstaw osi innowacyjnych podkładów?
- na jakiej podstawie określono trwałość podkładów poliuretanowych i polietylenowych (tabela 5)?
- brak opisu osi na rysunku nr 65;
- mała czytelność rysunku nr 64 i 65;
- brak źródła tabel 12-17?
- czym spowodowane jest tak duże odchylenie standardowe naprężenia podczas badania ściskania poliuretanu po komorze klimatycznej jak też innych parametrów (tabela 19-22)?



- wskazana byłby legenda do rysunków nr 67-72, 73-76, 85-88;
- słaba czytelność rysunków nr 79-84.
- brak informacji o dalszych kierunkach prac Doktorantki.

Analizując treść rozprawy można dostrzec kilka wątpliwości, które nie umniejszają istotnie jej wartości i pozytywnego odbioru, niemniej warte są wyjaśnienia:

- czy planowane są badania pełnoskalowe innowacyjnych podkładów kolejowych celem dopuszczenia ich do eksploatacji?
- jak rozwiązane jest utrzymanie takiego toru kolejowego z wbudowanymi podkładami polimerowymi?
- czy takie rozwiązania mogą być stosowane są na liniach kolejowych dużych prędkości oraz liniach towarowych o dużych obciążeniach na oś (22,5-25 t/oś lub większych)?
- proszę przedstawić jakie są dalsze kierunki prac i czy można zaproponowane rozwiązanie w rozprawie udoskonalać i rozwijać?
- co jest największą przeszkodą, aby wdrożyć takie rozwiązanie do eksploatacji na szerszą skalę?

5. Najistotniejsze osiągnięcia pracy

Autorka wykazała się znaczną wiedzą z zakresu realizowanej tematyki badawczej. Zaletą pracy jest jej aplikacyjny charakter. Do oryginalnych rezultatów o charakterze aplikacyjnym w ramach rozprawy można zaliczyć:

- badania doświadczalne nowych materiałów polimerowych z wykorzystaniem recyklingu, które mogą zostać zastosowane na podkłady kolejowe;
- analiza LCC dla zaproponowanych materiałów;
- zaproponowana ścieżka prawna zastosowania innowacyjnych podkładów kolejowych w infrastrukturze kolejowej.

6. Podsumowanie i konkluzja oceny rozprawy

Przedstawioną do recenzji rozprawę doktorską Pani mgr inż. Anny Butor oceniam pozytywnie. Została ona wykonana na dobrym poziomie naukowym i merytorycznym. Wyznaczony przez Doktorantkę cel rozprawy został osiągnięty, a teza naukowa udowodniona.

Ujawnione w pracy niedociągnięcia nie umniejszają wartości merytorycznej pracy, ponieważ przewaga nad nimi wartości poznawczych jak i naukowych pozwala na pozytywną ocenę recenzowanej przeze mnie rozprawy doktorskiej. Na taką ocenę pracy wpływa również stopień złożoności i trudności podejmowanych zagadnień przez Autorkę, które moim zdaniem były trudne do zrealizowania nie tylko od strony teoretycznej, ale i badawczej. Praca ma również wymiar praktyczny, bo dotyczy rzeczywistych obiektów jakimi są podkłady kolejowe stanowiące istotny element nawierzchni kolejowej. Biorąc pod uwagę powyższe rozważania stwierdzam, że rozprawa doktorska pt.: Analiza celowości zastosowania recyklingu materiałów stosowanych dla nowooprojektowanych polimerowych podkładów kolejowych w oparciu o LCC” mgr inż. Anny Butor przygotowana pod opieką promotora oraz promotora pomocniczego stanowi w myśl ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (j.t. Dz. U. z 2023 r. poz. 742, z późniejszymi zmianami) oryginalne rozwiązanie problemu naukowego w dyscyplinie naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport, spełniając jednocześnie wymogi stawiane rozprawie doktorskiej.

W związku z powyższym rekomenduję Radzie Dyscypliny Inżynieria Lądowa Geodezja i Transport Politechniki Śląskiej o **dopuszczenie rozprawy doktorskiej do dalszych etapów postępowania** we wnioskowanej dyscyplinie.