

wpłynęło dnia:

Data 2024 -09- 25

Podpis *M. Klonow*

dr hab. inż. **Piotr Jaskuła**, prof. PG
Politechnika Gdańska
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska
Katedra Inżynierii Transportowej
ul. Narutowicza 11, 80-233 Gdańsk
e-mail: piotr.jaskula@pg.edu.pl
+48 603764669

Gdańsk, 20.09.2024 r.

RECENZJA
rozprawy doktorskiej mgra inż. Jakuba Krasowskiego pt.:
„WPŁYW DODATKU MODYFIKATORA POLIMEROWEGO
NA WŁAŚCIWOŚCI FIZYKOMECHANICZNE RECYKLOWANEJ MIESZANKI
NA ZIMNO
Z EMULSJĄ ASFALTOWĄ”

1. PODSTAWA FORMALNA RECENZJI

Recenzja została wykonana na podstawie uchwały Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Świętokrzyskiej z dnia 05.06.2024 r., podpisanej przez Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport prof. dr hab. inż. Jerzego Wawrzeńczyka.

2. PRZEDMIOT RECENZJI

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska pod tytułem „Wpływ dodatku modyfikatora polimerowego na właściwości fizykomechaniczne recyklowanej mieszanki na zimno z emulsją asfaltową” wykonana na Wydziale Budownictwa i Architektury Politechniki Świętokrzyskiej przez mgra inż. Jakuba Krasowskiego. Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Przemysław Buczyński, prof. PŚk.

Rozprawa została przygotowana w formie książki w formacie A4 i składa się z 133 stron. Bibliografia obejmuje 161 pozycji, w tym 27 norm i 12 instrukcji technicznych.

3. OMÓWIENIE TREŚCI ROZPRAWY

Rozprawa składa się z 10 rozdziałów o zróżnicowanej wielkości, których zakres omówiono w Rozdziale 2 rozprawy. Wszystkie rozdziały rozprawy stanowią spójną całość, tzn. poszczególne rozdziały wprowadzają czytelnika do tematyki rozprawy i wzajemnie uzupełniają się. Dodatkowo rozprawa poprzedzona jest wykazem oznaczeń i skrótów, a zakończona streszczeniem w języku polskim i angielskim włącznie ze słowami kluczowymi.

Niniejsza praca doktorska ma dwa zasadnicze cele – naukowy, jak i praktyczny, które omówiono w Rozdziale 2.1. Celem o charakterze naukowym jest ocena wpływu ilości modyfikatora polimerowego, w postaci redyspergowalnego proszku polimerowego na właściwości fizykomechaniczne, w tym reologiczne mieszanki mineralno-cementowej z emulsją asfaltową.

Praktycznym celem jest zaś opracowanie autorskiej metody optymalizacji proporcji składników mieszanki MCE/MCP i wykorzystanie jej optymalnych właściwości fizykomechanicznych do zaprojektowania układów konstrukcji nawierzchni asfaltowych z podbudową cementowo-polimerową. Oba cele reprezentują interesujące i ambitne zagadnienie, które wskazują na innowacyjne podejście doktoranta oraz atrakcyjność badanego materiału tj. mieszanek MCE/MCP wytwarzanych w technologii recyklingu na zimno w świetle ogłoszonego przez Unię Europejską Zielonego Ładu, w zakresie ograniczenia emisyjności CO₂, także w technologiach drogowych. Autor rozprawy postawił 3 tezy (w Rozdziale 2.2 rozprawy), że możliwe jest ograniczenie ilości tradycyjnych środków wiążących (cementu i emulsji asfaltowej) w składzie recyklowanej mieszanki na zimno przy zastosowaniu proszku polimerowego (w domyśle - przy zachowaniu lub polepszeniu właściwości mieszanki bez proszku) oraz zastosowanie proszku polimerowego w składzie recyklowanej mieszanki wpływa korzystnie na kohezję przy jednoczesnym obniżeniu modułu sztywności oraz wzroście kąta przesunięcia fazowego, jak i powoduje wzrost podatności, zapewniając większą trwałość eksploatacyjną nawierzchni (w domyśle - w odniesieniu do mieszanki MCE) z zastosowaniem tradycyjnych środków wiążących.

Rozdział 1 stanowi 2 stronicowy wstęp, w którym autor wskazał na atrakcyjność omawianych w pracy zagadnień związanych z technologiami nisko emisyjnymi w drogownictwie oraz technologiami wydłużającymi żywotność nawierzchni.

Rozdział 2 omawia cele, tezy i zakres rozprawy.

Rozdział 3 dotyczy przeglądu literatury w zakresie rozwoju technologii modyfikacji polimerami materiałów budowlanych, w tym kompozytów mineralno-cementowych i mineralno-asfaltowych oraz mieszanek mineralno-cementowych z emulsją asfaltową. Rozdział wyjaśnia procesy zachodzące we wspomnianych kompozytach mineralno-cementowych i mineralno-asfaltowych dzięki modyfikacji polimerem oraz stwierdza brak doświadczeń w zakresie modyfikacji polimerem mieszanek mineralno-cementowych z emulsją asfaltową dla osiągnięcia korzyści w zakresie zwiększenia podatności podbudowy recyklowanej w technologii na zimno.

Rozdział 4 prezentuje opis planu eksperymentu z wykorzystaniem trzech zmiennych – konfiguracji środków wiążących: emulsji, cementu i proszku, wpływających na właściwości ostatecznej mieszanki MCE z dodatkiem proszku polimerowego. Nie jest to powszechna praktyka na polskim rynku badawczym w zakresie drogownictwa. Przedstawiono także plan badań i zestawiono listę stosowanych badań w pracy.

W rozdziale 5 zaprezentowano materiały wykorzystane w pracy z przedstawieniem właściwości materiałów wsadowych do projektowania i wykonania próbek z mieszanki mineralno-cementowo-emulsyjnej z proszkiem polimerowym. Dodatek polimerowy został dokładnie scharakteryzowany oraz sposób jego aplikacji. Ostatecznie omówiono proces przygotowania i wykonanie prób do badań laboratoryjnych z wykorzystaniem ubijaka Marshalla i prasy żyratorowej.

Rozdziały 6 i 7 stanowią ważne elementy recenzowanej rozprawy, pokazują szeroki zakres wykonanych badań w laboratorium i przeprowadzonych optymalizacji składu mieszanki MCE z dodatkiem proszku polimerowego na podstawie wymagań krajowych oraz właściwości eksploatacyjnych. Te rozdziały bardzo dobrze prezentują przykład samodzielnej pracy naukowej mgr inż. Jakuba Krasowskiego. W Rozdziale 6 zostały przedstawione metody i wyniki cech fizykomechanicznych: zawartości wolnych przestrzeni, nasiąkliwości, wytrzymałości na pośrednie rozciąganie, modułu sztywności w schemacie pośredniego rozciągania z analizą statystyczną wpływu zmiennych czynników (tj. ilości poszczególnych środków wiążących) na wybrane właściwości mieszanki MCE z dodatkiem proszku polimerowego. Przedstawiono wyniki i analizy

odporności mieszanek MCE z dodatkiem na działanie czynników klimatycznych: na działanie wody oraz wody i mrozu razem, odporności na pękanie, analizując odkształcenie przy maksymalnej sile, wskaźnik K_{IC} oraz wskaźnik pęknięć P . Wszystkie analizy zawierają analizy statystyczne wpływu poszczególnego środka wiążącego: cementu, emulsji czy proszku polimerowego. Przedstawiono także wyniki badań właściwości reologicznych mieszanki MCE z polimerem na podstawie oceny modułu dynamicznego E^* oraz kąta przesunięcia fazowego ϕ z badania bezpośredniego ściskania i rozciągania próbek cylindrycznych w zakresie temperaturowych od -10°C do $+50^{\circ}\text{C}$ oraz sześciu częstotliwości obciążenia w zakresie od 0,1 do 20 Hz, włącznie ze szczegółową analizą wpływu poszczególnych dodatków wiążących na właściwości reologiczne mieszanki MCE. Doktorant dokonał także próby prognozowania modułu dynamicznego mieszanki MCE w różnych temperaturach pomiaru i jednej częstotliwości na podstawie modułu sztywności sprężystej w kilku temperaturach. Przeprowadzone szerokie analizy uzyskanych wyników badań laboratoryjnych wskazały, że stosowanie proszku polimerowego w mieszankach cementowo-emulsyjnej MCE pozwala ograniczyć stosowanie cementu portlandzkiego o około 1-1,5% (m/m) przy całkowitej zawartości do 3,5% oraz emulsji asfaltowej o 2% przy całkowitej zawartości do 5% oraz przy zachowaniu wymaganych parametrów mieszanki MCE. Jednocześnie badania wykazały, że zastosowanie proszku powyżej 2% zwiększają odporność mieszanki na działanie wody oraz wody i mrozu (razem), dzięki zwiększeniu szczelności mieszanki. Natomiast zastosowanie proszku polimerowego w ilości większej niż 3% powoduje redukcję modułu sztywności, zwiększając podatność na odkształcenia mieszanki. Ma to też wpływ na zwiększenie odporności na pękanie oraz ilość proszku polimerowego istotniej niż emulsja asfaltowa wpływa na parametry lepkosprężyste mieszanki. Rozdział 6 zakończono zestawieniem modeli materiałowych właściwości fizykomechanicznych mieszanki MCE w postaci wielomianów drugiego stopnia w funkcji ilości dodatków wiążących.

W rozdziale 7 mgr inż. Jakub Krasowski ostatecznie przeprowadził analizę wielokryterialną optymalizacji składu mieszanki MCE, tj. ilością cementu, emulsji asfaltowej, czy proszku polimerowego poprzedzoną optymalizacją składu na podstawie pojedynczego kryterium: zachowania wymagań wytycznych lub odporności na działanie wody i mrozu lub zwiększonej odporności na pękanie oraz optymalnej sztywności mieszanki MCE. Na tej podstawie Doktorant wytypował dwie kombinacje składników mieszanki MCE, przy których mieszanki wykazywały podobne oraz korzystne właściwości mieszanek. Wskazał mieszkankę mineralno-cementowo-emulsyjną MCE bez dodatku proszku polimerowego oraz mieszkankę cementowo-polimerową MCP bez dodatku emulsji asfaltowej do dalszych wybranych badań laboratoryjnych i analiz mechanistyczno-empirycznych nawierzchni z tymi mieszankami.

Rozdział 8 zawiera także badania laboratoryjne, ale już tylko dla wytypowanych w procesie optymalizacji wielokryterialnej z Rozdziału 7 dwóch mieszanek MCE i MCP, w zakresie modułu sztywności i trwałości zmęczeniowej w schemacie czteropunktowego zginania belek w temperaturze $+13^{\circ}\text{C}$ i częstotliwości 10 Hz. Badania wykazały istotnie wyższą trwałość zmęczeniową mieszanki z proszkiem polimerowym w porównaniu do tradycyjnej mieszanki MCE, jak jednoznacznie wyższą odkształcalność mieszanki cementowo-polimerową, co jak wskazuje Autor będzie miało znaczenie w pracy konstrukcji nawierzchni dla niskich kategorii ruchu, gdzie podbudowa zasadnicza z MCP odkształca się znacząco przy jedynie 8 cm pakiecie warstw asfaltowych.

W rozdziale 9 Doktorant zaprezentował własne analizy mechanistyczno-empiryczne nawierzchni podatnych dedykowanych do ruchu ciężkiego KR5, KR6 i KR7 z wykorzystaniem

podbudowy z mieszanki cementowo-polimerowej. W analizach tych wykorzystał parametry mechaniczne z własnych badań laboratoryjnych prezentowanych w Rozdziale 8. W efekcie przeprowadzonych analiz Doktorant przedstawił propozycje rozwiązań typowych układów nawierzchni jako rozszerzenie obecnie funkcjonującego Katalogu Typowych Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych dla sieci dróg krajowych, w zakresie ruchu KR5-KR7.

Całość rozprawy zamyka rozdział 10, wnioski ogólne i szczegółowe z całej pracy, w którym zawarto także kierunki dalszych badań.

4. OCENA ROZPRAWY

Ocena rozprawy została przedstawiona w dwóch częściach. W pierwszej części znajduje się ogólna ocena merytoryczna z wyszczególnieniem wybranych oryginalnych, według recenzenta, aspektów rozprawy. Natomiast w drugiej części oceny zawarto szczegółowe również wybrane uwagi recenzenta zarówno natury merytorycznej, jak i redakcyjne oraz pytania do Doktoranta.

Ocena merytoryczna

Dobór tematyki, cele badawcze oraz zakres prac recenzowanej rozprawy dobrze adresują obecne potrzeby naukowe w zakresie drogownictwa rozpatrywane w Polsce i na świecie. Rozwój technologii recyklingu na zimno, zwiększających trwałość nawierzchni oraz odsuwających w czasie zabiegi utrzymaniowe wpisują się w redukcję emisji CO₂. Zagadnienie potraktowane jest poprawnie i kompleksowo. Praca zawiera przegląd literatury ze wskazaniem luki w zakresie już zrealizowanych prac badawczych, dotyczących modyfikacji polimerem mieszanek cementowo-emulsyjnych podczas recyklingu starych nawierzchni; bardzo szeroką w zakresie zmiennych części badawczą mieszanek mineralno-cementowo z dodatkiem polimeru: badania podstawowe oraz badania właściwości eksploatacyjnych w zakres, których wchodzi odporność na czynniki klimatyczne, odporność na pękanie, jak i badania zaawansowane właściwości reologicznych oraz w ograniczonym zakresie zmiennych czynników badania zmęczeniowe. Jednocześnie Doktorant umiejętnie wykorzystał narzędzia statystyczne do optymalizacji składu mieszanek i, uzyskane właściwości z optymalizowanych mieszanek wykorzystał w analizach mechanistyczno-empirycznych nawierzchni z podbudową z mieszanki mineralno-cementowo-emulsyjnych i mineralno-cementowo-polimerowej. Jest to dobre ujęcie zagadnienia i efektywna próba analizy nawierzchni asfaltowej z podbudowy recyklowanej z dodatkiem polimeru przy uwzględnieniu nowych parametrów tej warstwy podbudowy, proponując nowe układy warstw nawierzchni jako typowe dla ruchu ciężkiego KR5-KR7.

Praca przedstawia oryginalny i kompleksowy projekt dotyczący, badań eksperymentalnych w celu oceny właściwości podbudowy z mieszanki mineralno-cementowo-emulsyjnej z dodatkiem proszku polimerowego z wykorzystaniem wielu rodzajów badań laboratoryjnych, charakteryzujących właściwości takiej podbudowy. Oryginalnym elementem pracy jest analiza wpływu proporcji środków wiążących na badane parametry gotowej mieszanki, gdzie na każdym etapie badań Doktorant wykorzystał metody statystyczne. Ostatecznie zastosował analizę wielokryterialną do optymalizacji składu mieszanki przy wykorzystanych 4 kryteriach, w tym także kryteriach eksploatacyjnych badanej podbudowy. W pracy Pan mgr inż. Jakub Krasowski poruszył szereg istotnych zagadnień, rozpoczynając od planowania eksperymentu, dzięki czemu istotnie ograniczył liczbę badanych w laboratorium kombinacji mieszanki do osiągnięcia celu, dobrał szeroki zakres rodzajów badań do oceny pracy mieszanki w podbudowie drogowej, dokonał optymalizacji jej składu i przedstawił oryginalne rozwiązania konstrukcji nawierzchni z podbudową

z MCP, które mogą posłużyć inżynierom podczas realizacji przebudów dróg lub dalszemu rozwojowi tych zagadnień. Praca ta moim zdaniem ma duże znaczenie poznawcze w zakresie charakterystyki innowacyjnych materiałów oraz techniczne dla rozwoju i atrakcyjności technologii recyklingu na zimno nawierzchni drogowych. Podjęte zagadnienia mają także aspekt ekonomiczny i społeczny, gdyż znajomość zachowania się popularnej podbudowy z MCE z dodatkiem proszku polimerowego czy MCP, w tym przypadku sztywność czy odporność na czynniki klimatyczne oraz trwałość zmęczeniowa pozwala efektywniej przewidywać trwałość całej nawierzchni, czyli odpowiednio wydatkować środki finansowe na remonty nawierzchni z wykorzystaniem atrakcyjnych technologii niskoemisyjnych.

Na zakończenie ogólnej oceny merytorycznej należy wspomnieć, że recenzowana praca jest przygotowana na wysokim poziomie merytorycznym, demonstruje zaawansowane umiejętności doktoranta. Doktorant wykazał zaawansowane umiejętności w pracach laboratoryjnych oraz to co nie jest powszechne, a niezbędne w pracach badawczych, umiejętnie wykorzystał modele matematyczne i statystyczne do analizy uzyskanych wyników. Należy dodać i podkreślić, że niektóre elementy badanych właściwości podbudowy z mieszanki mineralno-cementowo-polimerowej zostały już zweryfikowane podczas międzynarodowych recenzji do znanego czasopisma w środowisku drogowym - Materials (Q2; IF=3,1), gdzie Doktorant opublikował dwa artykuły jako współautor, w tym jeden jako pierwszy autor oraz opublikował dokonania na kilku konferencjach międzynarodowych.

Uwagi merytoryczne i redakcyjne

1. Str. 12 stwierdzono, że - Bardzo często obserwowanym zjawiskiem jest wzrost podatności modyfikowanych polimerem materiałów [3]. – Podatności na co?
2. W tekście rozprawy (str. 37) Doktorant posługuje się terminem – sześć replikacji pomiaru – co to oznacza? Zapewne Doktorant miał na myśli – sześć próbek do badania, a nie sześć powtórzeń badania na jednej próbce.
3. Str.48, co jest powodem wysokich zawartości wolnych przestrzeni V przy dużej zawartości emulsji asfaltowej?
4. Str. 70, co oznacza zapis „Mieszanki MCE narażone są na pękanie wynikające z uszkodzeń w postaci pęknięć”?
5. Rys. 6.24, są małe i nieczytelne opisy osi. Generalnie brakuje tabel zestawieniowych wyniki badań.
6. Rys. 6.30, Kąt przesunięcia fazowego oznaczono na rysunku inaczej niż w tekście.
7. Str. 83, współczynnik przesunięcia temperaturowego oznaczany przez literą z alfabetu greckiego omega, a wcześniej w tekście jako częstotliwość zredukowana.
8. Str. 86, literówka/edycja – „Dla korzystne jest”
9. Str. 122, pierwszy wniosek ogólny – poprawę właściwości mieszanki MCE – za duży skrót myślowy. O jakich właściwościach jest zapis?
10. Str. 122, ostatnie wykrępowanie, zapis o wzroście kohezji..., w badaniach określano wytrzymałością na pośrednie rozciąganie...
11. Str. 125, zapis The paper.... Nie jest odpowiednim zapisem anglojęzycznym do pracy doktorskiej.
12. Str. 127, pozycja 34 brak autora/-rów publikacji.
13. Str. 128, pozycja 54 powtórzona z pozycją 128
14. Str. 130, pozycja 93 – niespójność zapisu autora publikacji
15. Str. 132, pozycja 145, błąd zapisu autora

16. Str. 133, pozycja 153 powtórzona z pozycją 155
17. W opinii recenzenta w pracy zabrakło analiz wrażliwości zmiany parametrów podbudowy MCP na trwałość zmęczeniową nawierzchni oraz analiz obliczeń nawierzchni po spękaniu podbudowy z MCP, która zawiera spoiwo hydrauliczne.
18. W pracy nie skomentowano odmiennych modułów sztywności podbudowy MCE uzyskanych w badaniach w stosunku do wartości przyjętych w Katalogu TKNPiP 2014.
19. W opinii recenzenta w pracy mogłyby pojawić prezentacje wszystkich wyników uzyskanych z badań, a nie tylko wybranych parametrów, np. z badania pęknięcia, lub prezentowania tylko wykresów 3D, z których nie zawsze możliwe jest odczytanie danego parametru.

Pytania do Doktoranta

1. Jak zmienia się urabialność podbudowy z mieszanki mineralno-cementowo-polimerowej w porównaniu do klasycznej podbudowy z mieszanki cementowo-emulsyjnej? Czy były zaważone zmiany przy braku smaru jakim jest emulsja asfaltowa? Czy wymagana jest większa energia podczas zagęszczania mieszanki MCP?
2. Jakie poziomy nasycenia wodą uzyskiwano w podbudowach MCE, MCEP i MCP podczas badań odporności na działanie wody i mrozu? Czy w każdym przypadku były monitorowane i były porównywalne dla wszystkich mieszanek?
3. Co było głównym powodem zmian rozkładu okształceń na spodzie warstw asfaltowych w analizowanych nawierzchniach typ A1 i typ E z MCP?
4. Jak zmienia się mechanizm pęknięcia podbudowy z MCP w porównaniu do optymalnej podbudowy z MCE?
5. Czy wprowadzenie do modelu obliczeniowego nawierzchni podbudowy z MCP o stosunkowo wysokiej sztywności, sztywności porównywalnej do sztywności warstw ścieralnej z SMA, czy warstwy stabilizowanej spoiwem hydraulicznym nie wymusza wprowadzenia dodatkowego kryterium obliczeniowego, sprawdzającego inicjację pęknięcia lub jego propagację?
6. Czy mogą wystąpić jakieś ograniczenia w pełnej skali produkcji i wbudowania podbudowy MCP?
7. Jak wrażliwy może być dodatek z proszku polimerowego, jak może zmieniać się efektywność działania proszku polimerowego w zależności od zmiennego uziarnienia recyklowanej starej nawierzchni drogowej w technologii na miejscu?
8. Uczestniczył Pan w projekcie badawczym NCBiR, czy w realizacjach przebudów nawierzchni w technologii recyklingu na zimno z podbudową MCE i MCP czy obserwował Pan spęknięcia takich podbudów, także tych z MCP i jakie to były spęknięcia?
9. Czy podbudowa MCP jest konkurencyjna cenowo do podbudowy MCE? Czy w realizacjach drogowych w formule Projektuj i Buduj może być popularna?
10. Czy Doktorant analizował wpływ wielu temperatur projektowych do wyliczania sztywności poszczególnych warstw nawierzchni w tym MCP na obliczeniową trwałość zmęczeniową nawierzchni?

5. WNIOSKI KOŃCOWE

Rozprawa ma charakter naukowy i jest świadectwem dużego wkładu Autora w rozwój i charakterystykę materiałową innowacyjnych materiałów drogowych, jak i zdolności wykorzystania wyników badań laboratoryjnych do optymalizacji właściwości materiałowych oraz wdrożenia ich do analiz mechanistyczno-empirycznych celem opracowania końcowych rozwiązań nawierzchni z

wykorzystaniem podbudowy z mieszanki cementowo-polimerowo MCP. Pomimo właściwie niewielkiej liczby niejasności wspomnianych w recenzji, dobrze oceniam zarówno zakres oraz realizację rozprawy doktorskiej. Pan mgr inż. Jakub Krasowski wykazał się bardzo dobrymi umiejętnościami analitycznymi i przedstawił kompleksową analizę asfaltowej nawierzchni drogowej z uwzględnieniem odmiennej niż standardowe charakterystyki materiałowej podbudowy z mieszanki cementowo-polimerowej. Wszystkie postawione cele zostały zrealizowane a tezy potwierdzono. Mam nadzieję, że Pan mgr inż. Jakub Krasowski będzie w przyszłości kontynuował ten kierunek i udoskonalał zaproponowane przez siebie podejście analityczne do optymalizacji materiałowej i pomysłów wdrożeniowych.

Niniejszym potwierdzam, że rozprawa doktorska autorstwa mgr inż. Jakuba Krasowskiego spełnia warunki Ustawy i stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Jednocześnie recenzowana rozprawa mgr inż. Jakuba Krasowskiego potwierdza Jego umiejętności do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Wnoszę o przyjęcie recenzowanej rozprawy i dopuszczenie mgr inż. Jakuba Krasowskiego do publicznej obrony przed Komisją Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Świętokrzyskiej.

Jednocześnie wnioskuję o wyróżnienie pracy doktorskiej mgr inż. Jakuba Krasowskiego za jej atrakcyjność tematyczną, innowacyjny pomysł modyfikacji proszkiem polimerowym, szeroki zakres badań eksperymentalnych z konsekwentnie stosowaną analizą statystyczną wpływu środków wiążących na poszczególne właściwości mieszanki MCE z dodatkiem polimerowym czy MCP oraz wdrożeniem uzyskanych właściwości z optymalizowanego składu mieszanki MCP do analiz nawierzchni.

Z poważaniem,

dr hab. inż. Piotr Jaskuła, prof. PG

Recenzja przygotowana zgodnie z wymogami
formalnymi

DYREKTOR NAUKOWY DYSCYPLINY
Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport

prof. dr hab. inż. Jerzy Wawrzeńczyk