


wpłynęło dnia:
Data 2024 -09- 27
Podpis 

Dr hab. inż. Paweł Mieczkowski, prof. ZUT
Katedra Inżynierii Budowlanej i Komunikacyjnej
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Tel. (91) 449 40 36
e-mail: pawel.mieczkowski@zut.edu.pl

Szczecin, 22 wrzesień 2024 r.

OPINIA

na temat rozprawy doktorskiej **mgr. inż. Jakuba Krasowskiego**
pt. „**Wpływ dodatku modyfikatora polimerowego na właściwości fizykomechaniczne
recyklowanej mieszanki na zimno z emulsją asfaltową**”

wykonanej pod kierunkiem promotora:
dr hab. inż. Przemysław Buczyńskiego, prof. PŚk

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą formalną do wykonania recenzji rozprawy doktorskiej jest pismo Dyrektora Naukowego Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Świętokrzyskiej, Pana prof. dr hab. inż. Jerzego Wawrzeńczyka z dnia 08.07.2024 r.

Prawną podstawę opracowania recenzji stanowią obowiązujące przepisy Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. poz. 1669) art. 14 ust. 1 pkt. 1, ust. 2 pkt 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595, z późn. zm.) oraz Rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzenia czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. z 2018 r. poz. 261).

Podstawę merytoryczną opracowania recenzji stanowi praca doktorska Pana mgr. inż. Jakuba Krasowskiego pt. „Wpływ dodatku modyfikatora polimerowego na właściwości fizykomechaniczne recyklowanej mieszanki na zimno z emulsją asfaltową”.

2. Podstawowe informacje o Doktorancie

Doktorant, Jakub Krasowski, rozpoczął w 2014 r. studia stacjonarne na Wydziale Budownictwa i Architektury Politechniki Świętokrzyskiej, na kierunku Budownictwo. Tytuł inżyniera w specjalności budownictwo ogólne uzyskał w 2018 r. W tym samym roku rozpoczął kształcenie na studiach II stopnia, na kierunku Budowa Dróg, a stopień magistra (z wyróżnieniem) zdobył w lipcu 2019 roku. Jesienią 2019

roku został przyjęty do Szkoły Doktorskiej Politechniki Świętokrzyskiej, w dyscyplinie Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport, którą ukończył w 2024 r.

Pracę zawodową rozpoczął latem 2019 r. w spółce BUDAR. Brał udział w realizacji wielu projektów, z których można wyróżnić:

- budowa drogi ekspresowej S7 Chęciny – Jędrzejów (jako praktykant w trakcie studiów),
- rozbudowa drogi wojewódzkiej nr 713 Tomaszów Mazowiecki – Kurowice,
- przebudowa drogi wojewódzkiej nr 473 Przatów – Łask,
- przebudowa drogi krajowej nr 21 Słupsk – Ustka,
- rozbudowa Centrum Logistycznego 7R w Chęcinach.

Zdobyte doświadczenie zawodowe pozwoliło Mu na zdobycie uprawnień do kierowania robotami w specjalności inżynierskiej drogowej bez ograniczeń w listopadzie 2019 r.

Doktorant obok doświadczenia zawodowego może wykazać się również dorobkiem naukowym, publikacyjnym oraz popularyzującym naukę. Uczestniczył w realizacji projektu TECHMASTRATEG, zleconym przez NCBiR pt.: „Innowacyjna technologia wykorzystująca optymalizację środka wiążącego przeznaczonego do technologii recyklingu głębokiego na zimno konstrukcji nawierzchni zapewniająca jej trwałość eksploatacyjną”. Jest współautorem publikacji w renomowanych czasopismach, prezentował Swoje osiągnięcia na konferencjach naukowo-technicznych, jest współautorem patentu. Do najważniejszych publikacji można zaliczyć:

- a) Buczyński P., Iwański M., Mazurek G., Krasowski J., Krasowski M.: Effects of Portland Cement and Polymer Powder on the Properties of Cement-Bound Road Base Mixtures. *Materials*, 2020
- b) Buczyński P., Iwański M., Krasowski J.: Assessment of the Impact of Hydraulic Binder on the Properties of the Cold Recycled Mixture with Foamed Bitumen and Bitumen Emulsion: Field Tests. *Buildings*, 2020
- c) Krasowski J., Buczyński P., Iwański M.: The Effect of Polymer Powder on the Cracking of the Subbase Layer Composed of Cold Recycled Bitumen Emulsion Mixtures. *Materials*, 2021
- d) Krasowski J., Iwański M., Buczyński P.: Analysis of the Impact of Redispersible Polymer Powder on the Water and Frost Resistance of Cold-Recycled Mixture with Bitumen Emulsion. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, 2021
- e) Krasowski J., Buczyński P., Iwański M.: Assessment of the influence of the binder type on the stiffness modulus of mineral-cement-emulsion mixture (BE-RCM). *AIP Conference Proceedings*, 2023.

Warto również wspomnieć, że Doktorant zdobywał nagrody w ogólnopolskich konkursach „Student – Wynalazca” (w XII i XIII edycji), pierwsze miejsce w konkursie na najlepszą pracę dyplomową organizowanym przez Politechnikę Świętokrzyską oraz Kielecki Park Technologiczny (2020), drugie miejsce w konkursie „Innowacje w drogownictwie” organizowanym przez Generalną Dyрекcję Dróg Krajowych i Autostrad (2021) oraz srebrny medal na wystawie „Geneva Inventions 2022”.

3. Ocena rozprawy

3.1. Ogólna charakterystyka rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska ma charakter pracy badawczo-analitycznej. Została przedstawiona w formie papierowej na 133 stronach formatu A4. Składa się ze spisu treści, wykazu oznaczeń i skrótów, wprowadzenia, celu, zakresu i tezy pracy, ośmiu rozdziałów głównych zakończonych

wnioskami i planem dalszych prac, streszczenia w j. polskim i j. angielskim oraz wykazu bibliografii. Bibliografia obejmuje 161 pozycji, w znaczącej części anglojęzycznych.

Opiniowana rozprawa dotyczy możliwości zastosowania w mieszankach mineralno-cementowo-emulsyjnych w technologii na zimno dodatku w postaci redyspergowalnego proszku polimerowego na bazie kopolimeru EVA (RPP). Jego użycie ma umożliwić ograniczenie ilości cementu i emulsji asfaltowej przy jednoczesnym zapewnieniu poprawionych parametrów fizyczno-wytrzymałościowych recyklowanych mieszanek na zimno. Doktorant w sposób syntetyczny przedstawił w części wprowadzającej stan wiedzy z zakresu modyfikacji kompozytów mineralno-cementowych i mineralno-asfaltowych oraz możliwości modyfikacji mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych. W części badawczo-analitycznej zawarł informacje dotyczące planu eksperymentu oraz planu badań. W jego zakresie był projekt składu mieszanki MCE oraz badania wybranych właściwości mieszanek z udziałem RPP. Na podstawie uzyskanych wyników doktorant przeprowadził proces optymalizacji składu i na jego podstawie dla wybranych dwóch mieszanek wykonał badania modułu sztywności oraz trwałości zmęczeniowej w teście 4 PB-PR. Podsumowaniem tych działań były propozycje rozwiązań konstrukcyjnych nawierzchni na ruch KR5-KR7 z warstwą podbudowy zasadniczej z mieszanki w technologii na zimno MCP (mieszanka mineralno-cementowo-polimerowa). Pracę kończy podsumowanie wyników badań oraz wnioski końcowe.

Mogę stwierdzić, że podjęta tematyka badawcza jest aktualna i interesująca pod względem naukowym. Ważny jest również aspekt praktyczny poruszanych zagadnień, zatem wybór tematyki i jej przedstawienie w rozprawie doktorskiej uznaję za merytorycznie uzasadnione. Poparciem tego mogą być coraz częściej stosowane rozwiązania konstrukcyjne z udziałem granulatu asfaltowego (smołowego) w technologii na zimno, głównie na drogach o mniejszym obciążeniu ruchem (gminne, powiatowe, ale i wojewódzkie). Widoczny jest tam problem spękań odbitych, które inicjowane są najczęściej w warstwach stabilizowanych cementem (poniżej warstwy MCE) i szybko przenoszone w górne warstwy na skutek dużej sztywności warstw MCE. Ta praca wpisała się również w nurt działań mogących ograniczyć zachodzące zmiany klimatyczne. Technologie na zimno pozwalają w znacznie większy sposób ograniczyć negatywne oddziaływanie na środowisko (materiały, energia) w stosunku do innych, tj. HMA, WMA czy H-WMA.

Rozdział 1 – Wstęp

Rozdział składa się z 2 stron maszynopisu. Dotyczy obecnej sytuacji na rynku budowlanym, kierunków jego rozwoju ze wskazaniem na możliwości wykorzystania redyspergowanych proszków polimerowych (RPP) do poprawy właściwości wyrobów budowlanych.

Rozdział 2 – Cel, zakres oraz tezy rozprawy doktorskiej

Rozdział został przedstawiony na 3 stronach maszynopisu. Przedstawiono w nim główne tezy i cele rozprawy oraz zakres działań niezbędny do ich realizacji. W dalszej części przedstawiono zakres rozprawy, w którym w sposób skrótowy zawarto treści poszczególnych rozdziałów.

Rozdział 3 – Przegląd literatury w zakresie rozwoju technologii modyfikacji kompozytów budowlanych

Rozdział składa się z czterech podrozdziałów głównych i został przedstawiony na 22 stronach maszynopisu. Poświęcono go analizie aktualnej wiedzy z zakresu polimerów stosowanych w materiałach budowlanych oraz procesów zachodzących w zaczynach i betonach cementowych, asfaltach. W zakresie trzeciej grupy znalazły się recyklowane na zimno mieszanki z emulsją asfaltową. Opisano próby poprawy ich parametrów przez zmianę udziału poszczególnych składników, dozowanie modyfikatorów czy dodatków. Żadna z dostępnych publikacji nie podejmowała tematyki mieszanek

MCE z modyfikatorem polimerowym. Ponadto przedstawiono problemy jakie pojawiają się w przypadku technologii recyklingu głębokiego na zimno oraz korzyści jakie mogą płynąć z zastosowania mieszanek MCE modyfikowanych nowej generacji polimerami.

Rozdział 4 – Plan eksperymentu oraz plan badań

Rozdział składa się z dwóch podrozdziałów i zajmuje 4 strony maszynopisu. Opisano w nim plan eksperymentu i plan badań. Do przeprowadzenia analiz wybrany został plan frakcyjny trójwartościowy Boxa-Behnkena, który umożliwia redukcję zmiennych w stosunku do pełnego planu czynnikowego jakim jest plan typu 3^3 . Pozwoliło to na redukcję planu czynnikowego z 27 na 15 niezbędnych kombinacji. Zmienne niezależne występują na trzech poziomach. Zmiennymi była zawartość cementu, emulsji asfaltowej oraz modyfikatora polimerowego w mieszance MCE. W końcowej części znalazło się zestawienie metod badawczych i informacja o ilości wykonywanych pomiarów dla każdego z oznaczeń oraz w formie schematu kolejne etapy badań i analiz.

Rozdział 5 – Projekt składu mieszanki MCE

Rozdział składa się z czterech podrozdziałów głównych i został przedstawiony na 7 stronach maszynopisu. Zawarto w nim informacje dotyczące podstawowych parametrów materiałów wykorzystanych do mieszanki MCE, tj. kruszywa wapiennego o ciągłym uziarnieniu 0/31.5 mm (kopalnia: Nordkalk Miedzianka), kruszywa dolomitowego 0/4 mm (kopalnia: Józefka w miejscowości Górna), cementu portlandzkiego (CEM I 42.5R), kationowej emulsji asfaltowej (C60B10R) na bazie asfaltu 70/100 oraz redyspergowalnego proszku polimerowego na bazie kopolimeru octan winylo-etylenowy EVA (dostawca: evimex). W przypadku destruktu asfaltowego (pozyskanego z frezowania drogi wojewódzkiej DW 762) podano wyłącznie informacje odnośnie zawartości lepiszcza oraz gęstości. W dalszej części przedstawiono projekt mieszanki MCE (udział poszczególnych składników) z teoretyczną krzywą uziarnienia mieszanki mineralnej oraz omówiono sposób przygotowania próbek do badań. Zagęszczano je przy wilgotności optymalnej, którą określono na poziomie 4%. Powinna w tym miejscu znaleźć się również informacja odnośnie wilgotności poszczególnych składników oraz sposobu ich dozowania (kolejności), co może mieć znaczenie w efektywności procesu mieszania, ale i uzyskiwanych parametrach mieszanki MCE. Próbkę zagęszczano w ubijaku Marshalla i w prasie żyratorowej.

Rozdział 6 – Wyniki badań laboratoryjnych wpływu modyfikatora polimerowego na właściwości fizykomechaniczne mieszanki MCE

Rozdział składa się z sześciu podrozdziałów głównych i został przedstawiony na 47 stronach maszynopisu. Znalazły się tam wyniki badań właściwości fizycznych (zawartość wolnych przestrzeni, nasiąkliwość) oraz właściwości wytrzymałościowych. W ramach drugiej grupy oznaczeń Doktorant wyróżnił badania:

- właściwości mechanicznych (wytrzymałość na rozciąganie pośrednie ITS_{DRY} , moduł sztywności S_m wyznaczony w teście rozciągania pośredniego metodą IT-CY);
- odporności na działanie czynników klimatycznych (odporność na działanie wody TSR, odporność na działanie wody i mrozu ITSr);
- odporności na pękanie (odkształcenie ε_{max} przy maksymalnej sile, odporność na pękanie K_{IC} , wskaźnik pęknięć P);
- właściwości reologicznych (moduł dynamiczny E^* wyznaczony w teście DTC-CY).

Wyniki badań przedstawiono w formie wykresów słupkowych oraz powierzchni odpowiedzi dla danej cechy. Każda grupa wyników badań została poddana analizie statystycznej oraz zamodelowaniu zmiany analizowanej cechy w oparciu o wielomian drugiego stopnia. Zmiennymi w modelu była zawartość cementu (CEM), emulsji asfaltowej (EMU) oraz proszku polimerowego (RPP).

Dodatkowo dla trzech zawartości cementu przedstawiono na wykresach liniowych (lub punktowych) zależności między:

- modułem sztywności S_m (IT-CY) a temperaturą badania,
- modułem sztywności S_m (IT-CY) a wytrzymałością na rozciąganie pośrednie ITS_{DRY} ,
- modułem dynamicznym E^* (DTC-CY) a częstotliwością,
- modułem sztywności S_m (IT-CY) a modułem dynamicznym E^* (DTC-CY).

Rozdział kończy podsumowanie, w którym stwierdzono, że najistotniejszą korzyścią ze stosowania proszku polimerowego jest możliwość ograniczenia stosowanego w mieszankach cementu portlandzkiego oraz emulsji asfaltowej. Wydaje się, że to stwierdzenie powinno być poszerzone i uwzględniać poprawę właściwości funkcjonalnych warstwy MCE, gwarantujących jej dłuższą trwałość.

Zestawiono w podsumowaniu również opracowane modele matematyczne opisujące wpływ poszczególnych składników (cement, emulsja, proszek polimerowy) na właściwości mieszanki MCE.

Rozdział 7 – Optymalizacja składu mieszanki MCE

Rozdział składa się z pięciu podrozdziałów głównych i został przedstawiony na 10 stronach maszynopisu.

Zawarto w nim informacje dotyczące możliwości optymalizacji składu mieszanki MCE ze względu na wymagania krajowych wytycznych bądź też spełnienia parametrów w zakresie odporności na działanie wody oraz mrozu, zwiększonej odporności na pękanie czy też optymalnej sztywności. Zastosowano do tego celu optymalizację wielokryterialną, bazującą na uogólnionych funkcjach użyteczności. Wartość rozważanych kryteriów w tej metodzie wyrażona została w bezwymiarowej skali i wymagała określenia dla każdego kryterium przedziału zadawalającego. Suma współczynników przypisanych do poszczególnych kryteriów (ich wag) musi być równa 1.

Optymalizacja ze względu na wymagania krajowych wytycznych uwzględniała moduł sztywności S_m , odporność na rozciąganie pośrednie ITS_{DRY} oraz odporność na działanie wody TSR przy zawartości wolnej przestrzeni w mieszance MCE do 15%. Kolejne optymalizacje uwzględniały parametry pierwszej (wytyczne) oraz dodatkowe, tj. odporność na działanie wody i mrozu $ITSR$ (optymalizacja II), zwiększoną odporność na pękanie wyrażone odkształceniem przy maksymalnej sile ϵ_{max} i wskaźnikiem odporności na pękanie K_{IC} (optymalizacja III) oraz podatność do odkształceń w niższych temperaturach (13°C) oraz podwyższoną sztywność w wyższych temperaturach (50°C) oznaczane przez moduł sztywności S_m . W podsumowaniu wytypowano dwa składy mieszanek do dalszych badań, które charakteryzowały się zbliżonymi parametrami uzyskanymi z przeprowadzonych badań. Pierwsza w swoim składzie miała cement oraz emulsję asfaltową (2.5C-0P-2E), druga cement i redyspergowalny proszek polimerowy (2.5C-2P-0E).

Rozdział 8 – Moduł sztywności oraz trwałość zmęczeniowa w teście czteropunktowego zginania mieszanki mineralno-cementowej z emulsją asfaltową oraz mineralno-cementowej z polimerem

Rozdział składa się z 2 podrozdziałów i przedstawiono go na 8 stronach maszynopisu.

Zaprezentowano w tym rozdziale wyniki badań modułu sztywności i trwałości zmęczeniowej metodą 4 PB-PR wykonanych na próbkach prostopadłościennych. Badania wykonano na składach

wytypowanych w podsumowaniu rozdz. 7, tj. 2.5C-0P-2E oznaczonej jako MCE oraz 2.5C-2P-0E, oznaczonej jako MCP.

Pomiary modułu sztywności wykonano w 13°C, przy częstotliwości 10 Hz i odkształceniu 50 µm. Wyższe wartości modułu sztywności (o 900 MPa) uzyskano dla próbek MCP (z udziałem polimeru).

Badania trwałości zmęczeniowej przeprowadzono w 10°C dla pięciu poziomów odkształcenia (80, 115, 130, 150 i 180 µm). Przy odkształceniu 80, 115 i 130 µm *nie zaobserwowano* utraty trwałości zmęczeniowej. Wyniki badań przedstawiono dla trzech poziomów odkształcenia, tj. 115, 150 i 180 µm. Uzyskane wartości z pomiarów wskazują na wyraźną przewagę mieszanki MCP nad MCE ze względu na jej odporność na zmęczenie dla wyższych poziomów odkształcenia. Wartość odkształcenia dla 1 mln cykli dla obu mieszanek jest na zbliżonym poziomie.

Rozdział 9 – Propozycja typowych układów warstw konstrukcyjnych nawierzchni z podbudową wykonaną w technologii recyklingu głębokiego na zimno

Rozdział składa się z dwóch podrozdziałów i zawarto go na 10 stronach maszynopisu.

Przedstawiono w nim informacje dotyczące rozwiązań układów konstrukcyjnych nawierzchni z warstwami z mieszanki MCE z lat 90-tych XX wieku (Zeszyt 61) oraz KTKNPIP z 2014 r. Wyznaczono trwałości rozwiązań konstrukcyjnych z Zeszytu nr 61 w oparciu o parametry materiałowe w nich zawarte (Zeszyt 61-1 i 61-2) oraz założenia KTKNPIP z 1997 r.

W dalszej części omówiono dwa kryteria zmęczeniowe stosowane przy wymiarowaniu konstrukcji (kryterium warstw asfaltowych wg AASHTO 2004, kryterium deformacji strukturalnych podłoża) i przedstawiono propozycje typowych konstrukcji podatnych z warstwą z mieszanki MCP na ruch KR5-KR7. Przedstawiono rozkład naprężeń i odkształceń w konstrukcji z MCP w porównaniu do konstrukcji z KTKNPIP z 2014 (Typ A1) oraz wyznaczono ich trwałości zmęczeniowe.

Rozdział 10 – Wnioski

Rozdział przedstawiono na 2 stronach maszynopisu.

Doktorant, na podstawie uzyskanych wyników badań mieszanki mineralno-cementowej z emulsją asfaltową i modyfikatorem polimerowym oraz w oparciu o analizę literatury technicznej zagranicznej i krajowej sformułował dwie grupy wniosków: ogólne i szczegółowe. Do najważniejszych ze względów aplikacyjnych wniosków ogólnych, zdaniem recenzenta, można zaliczyć:

- zastosowanie redyspergowalnego proszku polimerowego (EVA) RPP skutkuje poprawą właściwości mieszanki mineralno-cementowej z emulsją asfaltową,
- mieszanka MCE z modyfikatorem polimerowym charakteryzuje się wysoką odpornością na pękanie przy zwiększonej odkształcalności,
- modyfikator polimerowy RPP powoduje obniżenie modułu sztywności i wzrost kąta przesunięcia fazowego mieszanek MCE, co zwiększa jego podatność do odkształceń przy zachowaniu odpowiedniej trwałości. Może przyczynić się to do eliminacji spękań odbitych;
- zastosowanie modyfikatora RPP prowadzi do zwiększenia trwałości zmęczeniowej mieszanek w technologii recyklingu na zimno,
- dodatek modyfikatora polimerowego pozwala na redukcję ilości cementu oraz emulsji asfaltowej, przy uzyskaniu pożądanych parametrów mieszanki;
- obecność modyfikatora polimerowego RPP wpływa na wzrost kohezji składników mieszanki MCE, przy równoczesnym obniżeniu modułu sztywności oraz wzroście kąta przesunięcia fazowego.

Doktorant we wnioskach szczegółowych (11 wniosków) odniósł się uzyskanych wyników badań i obliczeń.

W ostatnim akapicie Doktorant wskazał kierunki dalszych badań i analiz. Dotyczą one wykonania odcinka doświadczalnego w technologii recyklingu głębokiego na zimno „in situ” z mieszanki mineralno-cementowo-polimerowej oraz stworzenia bazy danych z przeprowadzonych badań na tym odcinku, co pozwoli ocenić zachowanie się mieszanki MCP w warunkach rzeczywistych.

Spis literatury

Bibliografia wykorzystana w pracy jest dość obszerna i obejmuje 161 pozycji, z czego 133 to pozycje zwarte (monografie i artykuły), dokumenty i raporty techniczne oraz akty prawne, natomiast 28 pozycji odnosi się do norm przedmiotowych (głównie europejskich). Warto w tym przypadku dodać, że Autor powołuje się w większości przypadków na najnowsze pozycje literaturowe z zakresu tematycznego podjętego w rozprawie (70% pozycji opublikowanych w ostatnich 10 latach).

3.2. Aktualność tematu

Rozprawa doktorska mgr. inż. Jakuba Krasowskiego dotyczy istotnego problemu z zakresu technologii drogowej, a doprecyzowując możliwości wykorzystania destruktu (granulatu) asfaltowego w technologii na zimno w mieszankach z udziałem cementu, emulsji asfaltowej i nie stosowanego dotychczas w tego typu mieszankach dodatku w postaci redyspergowalnego proszku polimerowego do warstw nośnych konstrukcji drogowych, odpornych na spękania.

Nawierzchnie drogowe w okresie ich eksploatacji ulegają uszkodzeniom na skutek oddziaływania ruchu i czynników klimatycznych. W zależności od stopnia degradacji nawierzchni konieczne jest podjęcie działań polegających na wzmocnieniu konstrukcji lub budowie nowej nawierzchni. Pożądanym rozwiązaniem w przypadku obu kierunków działań jest wykorzystanie w jak największym stopniu materiałów pozyskanych z rozbiórki nawierzchni, a przede wszystkim starych warstw asfaltowych.

Granulat asfaltowy można wykorzystywać do nowych warstw asfaltowych w technologii na gorąco (przy jego odpowiednich właściwościach) i jest to bezsprzecznie właściwy kierunek. Problemem jest ilość granulatu, jaką można zastosować w zależności od tego, czy proces dozowania granulatu odbywa się w technologii na zimno (do 20%) czy gorąco (do 50%). Powstaje pytanie, co z pozostałymi ilościami granulatu asfaltowego czy też destruktu smołowego, który można stosować wyłącznie w procesach poniżej 70°C ze względu na zawarte w smole związki kancerogenne? Odpowiedzią są technologie na zimno, w tym najmniej energochłonny recykling głęboki na miejscu z wykorzystaniem emulsji asfaltowej.

Mieszanki mineralno-cementowo-emulsyjne są stosowane w warstwie podbudowy zasadniczej. Obecnie obowiązujący KTKN PiP z 2014 r. przewiduje takie rozwiązania w nawierzchniach przeznaczonych na ruch KR1-KR4. Szczególnie chętnie wykorzystuje się je na drogach niższych kategorii, w których w remontowanych konstrukcjach zalegają warstwy z udziałem lepiszcza smołowego. Ograniczenia katalogowe w stosunku do wyższych kategorii ruchu wynikało prawdopodobnie z obaw o jednorodność mieszanek (wynikającą m.in. ze stabilności składu czy parametrów destruktu), co przekładałoby się właściwą pracą konstrukcji.

Problemem, który pojawia się w nawierzchniach z udziałem mieszanek MCE, są spękania odbite. Inicjowane są one często w warstwach związanych spoiwem hydraulicznym (spękania skurczowe), leżących bezpośrednio pod warstwą MCE i przenoszone w górne warstwy konstrukcji (warstwy asfaltowe) ze względu na dużą sztywność warstw z mieszanek MCE. Co prawda, nowe dokumenty techniczne (RID) oraz zalecenia zawarte w KTKN PiP, wskazują sposób postępowania pozwalający na wyeliminowanie (bądź ograniczenie w znaczący sposób) spękań, pozostaje jednak przyzwyczajenie Wykonawców, wynikające z chęci „poprawienia” sztywności mieszanek poprzez zwiększenie zawartości cementu.

Warto również zwrócić uwagę na podejście do projektowania konstrukcji z udziałem warstw z MCE, które przyjęto w Katalogu. Założono, że warstwy z MCE pracują w stanie spękanym (moduł sztywności równy 1500 MPa) i pominięto I etap pracy warstwy (przed spękaniami). Podyktowane to było prawdopodobnie małą odpornością na spękania warstw z mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych, które mogą się pojawić już na etapie ruchu technologicznego.

Modyfikacja parametrów mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych za pomocą dodatku redyspergowalnego proszku polimerowego na bazie kopolimeru EVA wydaje się rozwiązaniem, który pozwoli na szersze wykorzystanie technologii na zimno w konstrukcjach drogowych bez obaw Inwestorów o spękania odbite, czy też deformacje. Wydaje się to być kompromisem między sztywnymi mieszankami z dużym udziałem cementu i bardziej podatnymi ze znaczną zawartością emulsji asfaltowej i niewielką cementu. Praca tej warstwy w stanie „bez spękań” pozwoliłaby również na zmniejszenie grubości pakietu warstw asfaltowych, co przełoży się na oszczędności związane z realizacją kontraktów. Przeprowadzone badania i analizy muszą być jednak poparte doświadczeniami w skali technicznej i obserwacją pod wpływem rzeczywistych obciążeń oraz oddziaływań klimatycznych.

Reasumując, przedstawiona do oceny rozprawa doktorska dotyczy bardzo aktualnego problemu związanego możliwościami poprawy parametrów mieszanek wytwarzanych w technologii recyklingu głębokiego z udziałem cementu, emulsji asfaltowej oraz nowego dodatku w postaci redyspergowalnego proszku polimerowego EVA. Podjęty kierunek badań można uznać za właściwy i powinien on skutkować przygotowaniem odcinka doświadczalnego, co pozwoli na ocenę pracy konstrukcji (warstwy) w warunkach rzeczywistych. Niezbędny jest tutaj jednak Inwestor, który odważy się i podejmie ryzyko wprowadzenia innowacyjnego rozwiązania materiałowego.

3.3. Ocena programu i zakresu badań oraz analiz

Program i zakres przeprowadzonych badań oraz analiz, ze względu na ich dobór, ilość oraz stopień zaawansowania, świadczą o dużym nakładzie pracy włożonej przez Doktoranta oraz racjonalnym podejściu do rozwiązania problemu naukowego. Uzyskane wyniki badań i analiz wskazują, że podjęta tematyka oprócz walorów naukowych, ma szansę na wdrożenie w skali technicznej. Plan eksperymentu i program badań opisano w rozdz. 4 rozprawy. Sposób przedstawienia jest czytelny, co ułatwia jego ocenę, ale również podejście do analizowanej problematyki.

Zrealizowane w rozprawie badania i analizy można podzielić na pięć etapów. Pierwszy obejmuje projekt mieszanki MCE (bazowy) i wykonanie zgodnie z planem eksperymentu 13 mieszanek o zróżnicowanej zawartości cementu, emulsji asfaltowej oraz proszku polimerowego. Jedyne zastrzeżenie w odniesieniu do tej części dotyczy mieszanki oznaczonej jako 2.0C-2P-2.5E – brak informacji, czy wykonywano trzy serie badań dla tego składu, czy jedną serią, dla której wykonywano 18 oznaczeń każdej z cech.

Drugi etap obejmował badania fizyczno-wytrzymałościowe wykonane na wszystkich analizowanych mieszankach, tj. zawartość wolnych przestrzeni, nasiąkliwość, wytrzymałość na rozciąganie (ITS_{DRY}), odporność na działanie wody (TSR) oraz wody i mrozu ($ITSR$), odporność na pękanie, moduł sztywności (IT-CY) i moduł zespolony (DTC-CY). Badania modułów wykonano w pięciu temperaturach (-10°C, 5°C, 13°C, 25°C, 50°C) i dodatkowo moduł zespolony wyznaczono w sześciu częstotliwościach.

Trzeci etap dotyczył optymalizacji składu mieszanki MCE w oparciu o wyniki z przeprowadzonych badań. Wybierano optymalne składy mieszanek w oparciu o wymagania polskich wytycznych, odporności na działanie wody oraz mrozu, odporności na pękanie oraz ze względu na sztywność mieszanki. Efektem był wybór dwóch mieszanek, które zostały poddane badaniom sztywności i

zmęczenia metodą 4 PB-PR (etap czwarty). Do badań wybrano próbkę z udziałem cementu i emulsji asfaltowej MCE (2.5C-0P-2.5E) oraz próbkę z cementem i proszkiem polimerowym MCP (2.5C-2P-0E). Ostatnim etapem (V) są propozycje układów konstrukcyjnych z warstwami z mieszanek MCP na ruch KR5-KR7. Policzono je w oparciu o uzyskaną wartość średnią modułu sztywności mieszanki MCP z badania 4PB-PR.

Podsumowując można uznać, że przyjęty program w zakresie badań laboratoryjnych oraz przeprowadzonych analiz jest właściwy, a uzyskane wyniki z oznaczeń i obliczeń zapewniają realizację postawionych w pracy celów. Na pochwałę zasługuje część dotycząca analiz statystycznych, która pozwala w sposób racjonalny ocenić uzyskane wyniki badań.

3.4. Teza i cel naukowy

W rozprawie, w oparciu o studium literaturowe, sformułowano trzy tezy odnoszące się do mieszanek MCE z udziałem modyfikatora polimerowego, tj.:

- I. Możliwe jest ograniczenie ilości tradycyjnych środków wiążących, tj. cementu portlandzkiego oraz emulsji asfaltowej w składzie recyklowanej mieszanki na zimno, przy zastosowaniu proszku polimerowego;
- II. Zastosowanie proszku polimerowego w składzie recyklowanej mieszanki wpływa korzystnie na kohezję przy jednoczesnym obniżeniu modułu sztywności oraz wzroście kąta przesunięcia fazowego;
- III. Zastosowanie proszku polimerowego w składzie recyklowanej mieszanki na zimno powoduje wzrost jej podatności, zapewniając większą trwałość eksploatacyjną nawierzchni w porównaniu z zastosowaniem tradycyjnych środków wiążących.

Przedstawione tezy wymagają doprecyzowania, np.:

- w tezie II Doktorant mówi o korzystnym wpływie na kohezję recyklowanej mieszanki – to stwierdzenie powinno być poszerzone o badania, które ją potwierdzają (badań *stricte* kohezji nie wykonywano);
- w tezie II jest stwierdzenie o wzroście podatności mieszanki – podatności na co?

Przewodnim celem rozprawy była ocena wpływu ilości modyfikatora polimerowego, w postaci redyspergowalnego proszku polimerowego (RPP), na właściwości fizykomechaniczne mieszanki mineralno-cementowej z emulsją asfaltową (MCE).

Rozwiązanie problemu naukowego zawartego w celu i tezach rozprawy wymagało określenia celów szczegółowych oraz sposobu ich realizacji. Doktorant do celów szczegółowych zaliczył:

- I. Ocenę wpływu ilości środków wiążących, tj. cementu portlandzkiego, wolnoropadowej emulsji asfaltowej oraz proszku polimerowego, na właściwości fizyczne, mechaniczne i reologiczne recyklowanej mieszanki na zimno;
- II. Opracowanie modeli matematycznych opisujących właściwości fizyczne, mechaniczne i reologiczne, recyklowanej mieszanki na zimno;
- III. Optymalizację ilości środków wiążących w recyklowanej mieszance,
- IV. Szczegółowe badania oraz analizę trwałości zmęczeniowej,
- V. Propozycje układu warstw konstrukcji nawierzchni z nowym typem podbudowy drogowej.

Tak sformułowane zagadnienia w sensie poznawczym są ważne i interesujące, wynikają i korespondują z obszarem badawczym rozprawy. Merytorycznie i formalnie są prawidłowe i zrozumiałe.

3.5. Struktura rozprawy, język i redakcja pracy

Strukturę pracy można uznać za właściwą. Część teoretyczna zawiera najważniejsze treści związane z dokonaniem światowymi i krajowymi w zakresie tematyki rozprawy doktorskiej, w części badawczej przedstawiono informacje odnośnie materiału badawczego, metod przeprowadzanych oznaczeń oraz analizy wyników. Najbardziej wartościowymi ze względów naukowych są rozdziały od 5 do 9, poświęcone części badawczej i analitycznej.

W rozprawie zamieszczono wszystkie niezbędne elementy, począwszy od spisu treści, wykazu oznaczeń i skrótów, części właściwej pracy, streszczenia (w j. polskim i j. angielskim), kończąc na bibliografii.

Pod względem edytorskim rozprawa jest napisana poprawnie, język techniczny odpowiada tematyce i poruszonym zagadnieniom. W tekście można dopatrzeć się błędów czy usterek redakcyjnych (głównie interpunkcyjnych), ale ich znaczenie na ogólny ogląd pracy jest znikome, np.:

- błędnie opisane poszczególne rysunki na rys. 6.34;
- w tekście pracy pojawiają się dość liczne błędy interpunkcyjne oraz składniowe, np. „Dla korzystne jest zminimalizowanie ilości emulsji asfaltowej w mieszance MCE, na rzecz modyfikatora polimerowego RPP” – str. 86,
- na str. 83 błędnie opisany współczynnik przesunięcia temperaturowego (α_T) – powinno być (ω_T).

Część graficzna pracy jest estetyczna, znaczącą większość rysunków wykonano ze starannością, w sposób czytelny i przejrzysty. Pojawiają się pojedyncze rysunki, których czytelność jest ograniczona.

4. Uwagi krytyczne i dyskusyjne, pytania do pracy

Po zapoznaniu się z treścią rozprawy zwrócono uwagę na pewne zagadnienia, które wymagają doprecyzowania, a w niektórych przypadkach również odniesienia się do nich przez Doktoranta. Do uwag merytorycznych zaliczono:

1. W części poświęconej przeglądowi literatury jest napisane, że cząstki polimeru po rozproszeniu w fazie ciekłej zaczynu cementowego, gromadzą się na powierzchni produktów hydratacji cementu, niezhydratyzowanych ziarnach cementu oraz kruszywa, po czym w procesie wysychania ulegają koalescencji, tworząc ciągłą błonkę na powierzchni. Czy zdaniem Doktoranta tego rodzaju reakcje zachodzą również na cząstkach granulatu asfaltowego?
Redyrspergowalny proszek polimerowy wchodzi w reakcję z wodą, która w mieszankach MCE występuje w zaczynie cementowym i emulsji asfaltowej. Do jakich zatem zachowań zdaniem Doktoranta może dochodzić w mieszaninach jednocześnie z udziałem zaczynu cementowego i emulsji asfaltowej? Czy dochodzi do procesów modyfikacji asfaltu wytworzoną dyspersją polimerową EVA?
2. Doktorant w rozdz. 3 stwierdził, że prowadzone badania mogą być wykorzystane w technologii recyklingu głębokiego na zimno, wykonywanego przez specjalistyczne urządzenia, tzw. recyklery. Destrukt asfaltowy po przejściu tego rodzaju urządzenia (w zależności od stanu nawierzchni) może charakteryzować się bardzo zróżnicowanym uziarnieniem, ze znacznym udziałem nadziarna (powyżej 31.5 mm). Jaki wpływ zdaniem Doktoranta będzie miało uziarnienie destruktu (granulatu) asfaltowego (szczególnie nadziarno) na właściwości mieszanki MCE wykonywanej w technologii mieszania na miejscu?
3. Obecnie prowadzona polityka wymusza na przedsiębiorstwach, aby procesy technologiczne charakteryzowały się mniejszą energochłonnością oraz oddziaływaniem na środowisko (śląd węglowy). Czy Doktorant dysponuje informacjami, które wskazywałyby, że technologie bazujące na redyrspergowalnym proszku polimerowym wpisują się w te kierunki? Z drugiej strony, przedsiębiorcy szukają alternatywnych rozwiązań, które skutkowałyby korzyściami finansowymi. Czy stosowanie proszków polimerowych w mieszankach MCE spełni takie oczekiwania?

4. Doktorant we wnioskach napisał, że dodatek modyfikatora RPP do recyklowanej mieszanki MCE powoduje jej uszczelnienie (zmniejsza się zawartość wolnych przestrzeni), co z kolei redukuje również nasiąkliwość mieszanki. Ten wniosek stoi w sprzeczności z przedstawionymi wynikami badań (pytania szczegółowe) i wymaga uzasadnienia.
5. W części poświęconej optymalizacji składu modelowanie wymaga podania współczynników odzwierciedlających ważność poszczególnych cech. Jakie wartości tych współczynników przypisano poszczególnym cechom na etapie optymalizacji i z czego one wynikały?
6. Na rys. 8.6 przedstawiono zależność trwałości zmęczeniowej od odkształcenia dla dwóch mieszanek MCE i MCP. Na wykresie zapisano również równania linii trendu i przypisane im współczynniki determinacji R^2 . Z przedstawionych równań wynika, że to mieszanka MCE charakteryzuje się lepszymi parametrami zmęczeniowymi (większą odkształcalnością przy 1 mln cykli). Zaznaczyć też trzeba, że równania te nie opisują przebiegu linii trendu dla mieszanki MCE i MCP. Wymaga to wyjaśnienia.
7. Doktorant przedstawił na str. 117 autorskie propozycje konstrukcji na ruch KR5-KR7 z udziałem mieszanki MCP. Wartość modułu sztywności, jaką przyjął do obliczeń, wynosiła 6100 MPa (jest to uzyskana z badań wartość średnia modułu sztywności w temperaturze 13°C mieszanki oznaczonej jako 2.5C-2P-0E). Czy przyjęta wartość nie powinna być co najmniej pomniejszona o 2σ , co dawałoby pewność wyników na poziomie 95%. Dyskusji wymaga również podejście do problemu spękań. Autorzy KTKNPIP z 2014 r. przyjęli wartość modułu sztywności mieszanek w technologii recyklingu na zimno (np. MCE) na poziomie 1500 MPa (uzyskując w badaniach znacznie większe wartości) i uwzględnili tylko jeden etap pracy – po spękaniu warstwy MCE. Doktorant w swoich rozważaniach przyjął, że warstwa MCE nie ulegnie spękaniom. Czy takie podejście zostało poparte badaniami w skali technicznej?

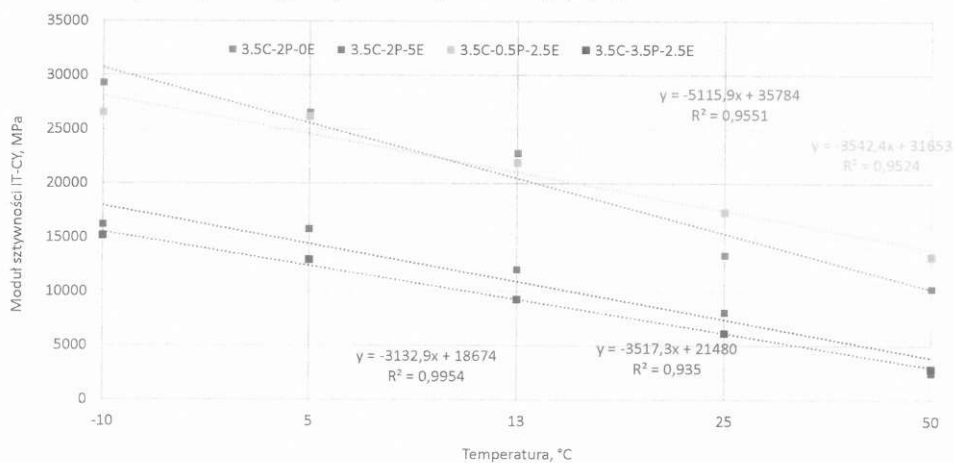
Do uwag szczegółowych zaliczono:

1. W zakresie planu eksperymentu było wykonanie badań na mieszankach bez udziału emulsji asfaltowej. Powstaje pytanie, czy można je nazywać mieszankami MCE?
2. Na str. 35 na rys. 4.1 przedstawiono dziedzinę eksperymentu wg planu Box-Behnke. Na tym rysunku błędnie są oznaczone poszczególne elementy planu, np.:
 - punkt w środku na lewej dolnej krawędzi jest oznaczony (-1, -1, -1), powinno być (-1, -1, 0);
 - punkt w środku lewej tylnej pionowej krawędzi jest oznaczony (-1, -1, -1), powinno być (-1, 1, 1);
 - punkt w środku prawej tylnej pionowej krawędzi jest oznaczony (1, 0, -1), powinno być (1, 0, 1).
 Ponadto w planie eksperymentu (tab. 4.2) jedną z próbek jest 3.5C-2P-2.5E – takiej próbki nie ma na rys. 4.1 oraz w wynikach badań – powinno być 3.5C-2P-5E.
3. Na str. 35 jest napisane, że planie eksperymentu będzie 15 kombinacji składu mieszanki MCE. Przedstawiono to w tab. 4.2 (str. 36) i w tab. 5.8 (str. 44). Ostatnie trzy próbki są tożsame (2.0C-2P-2.5E) – punkt środkowy planu eksperymentu (rys. 4.1). Czy to oznacza, że wykonano trzy serie o tym samym składzie i przeprowadzono po 6 oznaczeń dla każdej z serii? Brak tej informacji w teście rozprawy.
4. W części dotyczącej metod badawczych (str. 37, tab. 4.3) brak informacji odnośnie sposobu wyznaczania gęstości i gęstości objętościowej mieszanek MCE.
5. W rozdz. 5 przedstawiono informacje odnośnie poszczególnych materiałów wchodzących w skład mieszanki mineralno-emulsyjnej. W przypadku jednego z głównych składników (granulatu asfaltowego) podano wyłącznie zawartość lepiszcza asfaltowego oraz zakres uziarnienia (do 31.5 mm). Z punktu widzenia prowadzonych badań naukowych właściwym byłoby podanie bardziej szczegółowych informacji.

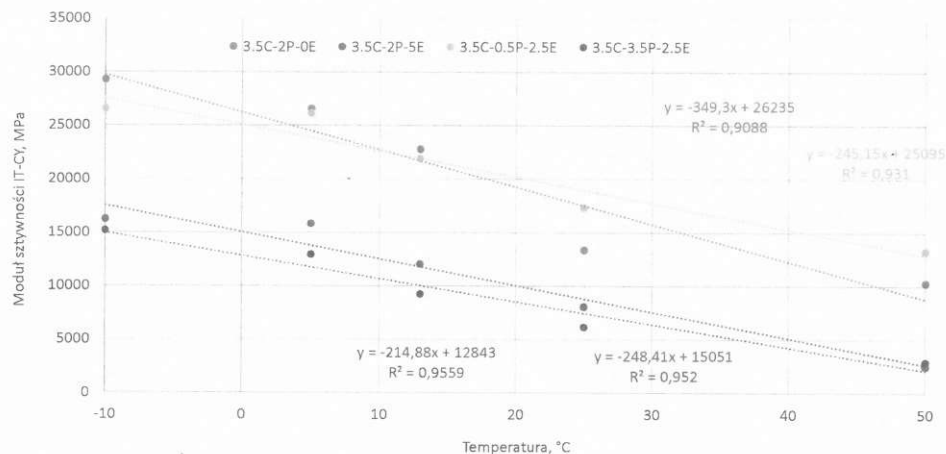
6. W tab. 5.7 podano skład mieszanki mineralnej i mieszanki MCE. Wyjaśnienia wymagają udziały procentowe trzech podstawowych składników (destruktu asfaltowego, kruszywa 0/31.5 mm i kruszywa 0/4 mm) w mieszance MCE.
7. W tab. 5.8 podano, że wilgotność optymalna dla wszystkich próbek wynosi 4%. Czy zmiany w zawartości cementu i proszku polimerowego nie powinny skutkować zmianami w ilości wody dodanej?
8. Na rys. 6.3 przedstawiono odpowiedzi dla parametru „zawartość wolnej przestrzeni” w zależności od udziału poszczególnych składników mieszanki MCE. Wynika z niego, że wzrost zawartości emulsji w mieszance skutkuje wzrostem zawartości wolnej przestrzeni. Czym można to uzasadnić, szczególnie w odniesieniu do wniosku z badania nasiąkliwości, w który stwierdzono, że emulsja uszczelnia mieszankę MCE?
9. W części podsumowującej wyniki badań zawartości wolnej przestrzeni (str. 49) jest napisane, że „wzrost zawartości modyfikatora RPP w składzie mieszanki MCE powoduje spadek wolnej przestrzeni i uszczelnienie mieszanki MCE” (spadek nasiąkliwości). Taki wniosek stoi w sprzeczności z wynikami badań. Można przeanalizować próbki z tą samą zawartością cementu i emulsji oraz zmienną zawartością RPP, tj.:

	zawartość wolnej przestrzeni	nasiąkliwość
3.5C-0.5P-2.5E vs 3.5C-3.5P-2.5E	wzrost	wzrost
0.5C-0.5P-2.5E vs 0.5C-3.5P-2.5E	wzrost	wzrost
2C-0.5P-0E vs 2C-3.5P-0E	wzrost	spadek
2C-0.5P-5E vs 2C-3.5P-5E	zbliżona wartość	wzrost.

10. Na rysunkach w rozdz. 6 przedstawiono powierzchnię odpowiedzi dla parametru nasiąkliwość oraz właściwości mechanicznych i reologicznych przy zawartości proszku polimerowego równej 0%. Z planu badań wynika, że takich próbek nie przygotowano. Skąd zatem wyniki badań?
11. Na str. 53 jest napisane, że wzrost zawartości emulsji prowadzi do zmniejszenia wytrzymałości na rozciąganie pośrednie, powołując się na wyniki badań na próbkach z zawartością emulsji równą 0% i 5% (przy jednakowej zawartości CEM i RPP). W przypadku serii 2C-3.5P-0E vs 2C-03.5P-5E takie zachowanie jest widoczne. Czy taki sam wniosek można wyartykułować w przypadku serii 2C-0.5P-0E vs 2C-0.5P-5E? Potwierdzeniem stosunkowo niewielkiego wpływu zawartości emulsji w mieszance MCE na wartość ITS_{DRY} są również powierzchniowe odpowiedzi przedstawione na rys. 6.8.
12. Na rys. 61.4 i w tab. 6.7 (str. 62-63) przedstawiono funkcje zmiany modułu sztywności w zależności od temperatury. Doktorant posłużył się w tym celu typem wykresu – liniowy, co jest błędem. Powinien wykorzystać typ wykresu – punktowy (X, Y).



Typ wykresu
– liniowy



Typ wykresu
– punktowy
(x,y)

13. Na str. 74 jest napisane, że „dla mieszanek MCE, które zawierają 3,5% redyspersywalnego proszku polimerowego, najwyższe wartości uzyskiwane są przy maksymalnej ilości cementu oraz emulsji asfaltowej”. Z powierzchni odpowiedzi (rys. 6.24) wynika raczej, że determinantą odkształceń jest w tym przypadku zawartość emulsji asfaltowej.
14. Na str. 86 jest napisane: „Wyniki przeprowadzonych badań, zestawionych w tabelicy 6.12 wskazują, że składnikiem mieszanki MCE, która istotnie wpływa na moduł dynamiczny E^* w temp. 13°C jest cement oraz modyfikator polimerowy”. Doktorant powinien zaznaczyć, że dotyczy to częstotliwości 10 Hz. Przy małych częstotliwościach (długich czasach obciążenia) wpływ zawartości lepiszcza (asfaltu z emulsji) na moduł dynamiczny jest widoczny.
15. Na rys. 6.34 przedstawiono powierzchnie odpowiedzi kąta przesunięcia fazowego w aspekcie zawartości cementu, emulsji i proszku polimerowego. Powierzchnie mają charakter eliptyczny i wynika z nich, że stosunkowo niewielki wpływ na wartość kąta ma zawartość emulsji (jest to widoczne wyłącznie przy zawartości cementu do 1% i zawartości emulsji 4-5%). Z czego zdaniem Doktoranta to wynika?
16. W tab. 7.2-7.5 podano zakresy wartości wytrzymałości na rozciąganie pośrednie ITS_{DRY} i odpowiadające im zakresy modułów sztywności IT-CY (w 5°C, 13°C i 50°C). Co determinowało przyjmowane zakresy (lepsza, gorsza) wytrzymałości ITS czy modułów sztywności w 13°C i 50°C?
17. Na str. 108 jest napisane: „Dla pomiarów wykonanych przy zadanym naprężeniu 80 $\mu\epsilon$, 115 $\mu\epsilon$...” – podane wartości dotyczą zadanym odkształceń.
18. W tekście pracy brak informacji na temat uzyskanych w badaniach 4 PB-PR wartościach kątów przesunięcia fazowego, o którym wspomina Doktorant. Ponadto., czy wykres „trwałości zmęczeniowej w zależności od zadanego odkształcenia” (rys. 8.6) nie powinien być sporządzony na podstawie wszystkich wartości uzyskanych w badaniach?
19. Na str. 111 jest napisane: „Należy zaznaczyć, że dla mieszanki MCP odnotowano pięciokrotnie mniejszy spadek trwałości, w porównaniu z tradycyjną mieszanką z emulsją asfaltową”. W jaki sposób wyznaczono pięciokrotnie mniejszy spadek trwałości?
20. Na rys. 9.5 przedstawiono rozkład naprężeń w konstrukcjach nawierzchni na ruch KR5-7. Brak informacji na temat kierunku inicjowanych naprężeń (wzdłuż, w poprzek kierunku ruchu) oraz wartości uzyskiwanych na połączeniu warstw (spodzie warstwy wyżej leżącej i powierzchni warstwy niżej leżącej).
21. Na str. 120 zamieszczono wyniki z obliczeń trwałości zmęczeniowej zaproponowanych rozwiązań konstrukcyjnych. W przypadku kryterium warstw asfaltowych powinno się podać wartość FC_{bottom} (doktorant przyjął tą wartość na poziomie 10%, co jest właściwe).
22. We wnioskach szczegółowych jest napisane, że „Mieszanka MCP o symbolu 2.5C-2P-0E z modyfikatorem polimerowym w ilości 2,0% charakteryzuje się pięciokrotnie wyższą trwałością zmęczeniową, w porównaniu z tradycyjną mieszanką MCE o symbolu 2.5C-0P-2E”. Na jakiej podstawie wysnuto taki wniosek? Czy Doktorant nie miał na myśli „pięciokrotnie mniejszego spadku trwałości” w zakresie przyjętych w badaniach odkształceń?

5. Ocena końcowa

Przedstawioną do recenzji pracę, mimo uwag głównie dyskusyjnych, oceniam bardzo pozytywnie. Dotyczy to zarówno jej strony naukowej jak i formalnej, które nie budzą większych zastrzeżeń. Należy podkreślić znaczny nakład pracy Doktoranta związany z zakresem przeprowadzonych badań i analiz. Autor rozprawy wykazał się wiedzą teoretyczną z zakresu inżynierii lądowej, dużą pracowitością, umiejętnościami związanymi z obsługą wysoce specjalistycznej aparatury badawczej i dojrzałością w zakresie wyciąganych wniosków i przeprowadzonych analiz. Świadczy to o jego uzdolnieniach do samodzielnej pracy naukowej i rozwiązywania trudnych zagadnień badawczych i analitycznych. Sformułowane przez Autora tezy rozprawy znalazły swoje potwierdzenie w wynikach badań, popartych analizami. Cele rozprawy, do których doktorant zaliczył:

- ocenę wpływu ilości środków wiążących tj. cementu portlandzkiego, wolnorozpadowej emulsji asfaltowej oraz proszku polimerowego na właściwości fizyczne, mechaniczne i reologiczne recyklowanej mieszanki na zimno;
- opracowanie modeli matematycznych opisujących właściwości fizyczne, mechaniczne i reologiczne recyklowanej mieszanki na zimno;
- optymalizację ilości środków wiążących w recyklowanej mieszance,
- badania oraz analizy dotyczące trwałości zmęczeniowej wybranych (o optymalnych składach) recyklowanych mieszanek;
- propozycje układu warstw konstrukcji nawierzchni z nowym typem podbudowy drogowej,

można uznać za zrealizowane.

Oceniana rozprawa wnosi istotny wkład w rozwój dyscypliny inżynieria lądowa, geodezja i transport, a precyzując możliwości wykorzystania dodatku proszku polimerowego do warstw podbudowy wytwarzanej w technologii recyklingu na miejscu o poprawionych parametrach wytrzymałościowych i reologicznych. Efekty pracy mogą zostać wykorzystane w praktyce wykonawczej i przynieść znaczące korzyści (oszczędności) nie tylko Wykonawcy, ale głównie Zarządom dróg, m.in. dzięki podwyższonej trwałości zmęczeniowej mieszanek na zimno z udziałem RPP.

Rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, a do osiągnięć potwierdzających to można zaliczyć:

- zastosowanie do recyklowanych mieszanek na zimno dodatku redyspergowalnego proszku polimerowego, których dotychczas nie był wykorzystywany w tego typu materiałach;
- wykonanie badań świadczących o podwyższonej odporności na pękanie mieszanek z udziałem RPP,
- przeprowadzenie procesu optymalizacji składu recyklowanych mieszanek na zimno ze względu na ich podwyższone parametry eksploatacyjne;
- przeprowadzenie badań potwierdzających pozytywny wpływ RPP na trwałość zmęczeniową mieszanek na zimno,
- propozycje rozwiązań konstrukcyjnych nawierzchni z nowym typem podbudowy drogowej.

W związku z powyższym uważam, że praca doktorska Pana mgr. inż. Jakuba Krasowskiego spełnia wszystkie warunki określone w Ustawie z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. poz. 1669) art. 14 ust. 1 pkt. 1, ust. 2 pkt 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595, z późn. Zm.) oraz Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzenia czynności w

przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. z 2018 r. poz. 261) i wnoszę o przyjęcie rozprawy doktorskiej oraz dopuszczenie jej do publicznej obrony.

[Handwritten signature]

Recenzja przygotowana zgodnie z wymogami umowy

DYREKTOR NAUKOWY DISCYPLINY
Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport

[Handwritten signature]
prof. dr hab. inż. Jerzy Wawrzeńczyk