

Prof. dr hab. inż. Marek Iwański, prof. zw. PŚk
Katedra Inżynierii Komunikacyjnej
Wydział Budownictwa i Architektury
Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach
Al. Tysiąclecia P.P. 7
25-314 Kielce
e-mail: miwanski@tu.kielce.pl

Kielce, dn. 07.06.2017 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej **mgr inż. Łukasza Mejlun** na temat:
„Analiza lepkosprężysta nawierzchni drogowych z zastosowaniem betonu asfaltowego konwencjonalnego i o wysokim module sztywności”

Promotorem pracy doktorskiej był ŚP Prof. dr hab. inż. Józef Judycki, a obecnie funkcję tą pełni dr hab. inż. Kazimierz Jamroz, Prof. nadzw. PG. Natomiast promotorem pomocniczym jest dr inż. Bohdan Dołżycki. Rozprawa została opracowana w Katedrze Inżynierii Drogowej Politechniki Gdańskiej.

1. Podstawa opracowania recenzji

Recenzję opracowano na podstawie pisma Pana Prof. dr hab. inż. Krzysztofa Wilde - Dziekana Wydziału Inżynierii Lądowej i Środowiska Politechniki Gdańskiej z dnia 24.04.2017 roku.

2. Ocena rozprawy

2.1. Ogólna charakterystyka pracy

Przekazana do recenzji praca ma charakter pracy badawczej. Rozprawa została przedstawiona na 235 stronicach formatu A4, które obejmują część zasadniczą (191 strony) składającą się z 8 rozdziałów, w tym wniosków oraz literatury wraz z wykazem norm. Do rozprawy dołączono również siedem załączników (43 strony), w których przedstawiono szczegółowe wyniki badań oraz modelowania badanych betonów asfaltowych konwencjonalnych AC oraz o wysokim module sztywności AC WMS. Ta stosunkowo liczna grupa materiałów pomocniczych i dokumentacyjnych wskazuje na rzetelny sposób realizacji eksperymentalnej (analitycznej) części pracy i jej przejrzystość.

Doktorant w oparciu o przegląd literatury opracował program badań laboratoryjnych, który został zrealizowany, a wyniki badań oraz ich analiza zostały zaprezentowane w poszczególnych rozdziałach.

Na wstępie rozprawy doktorskiej przedstawiono wykaz najważniejszych symboli i oznaczeń używanych w pracy.

Następnie zamieszczono streszczenie rozprawy doktorskiej w języku polskim i angielskim. Przedstawiono w nim przedmiot badań, zakres metod badawczych i uzyskane wyniki badań w ogólnej postaci.

W rozdziale 1 (*Wstęp*) zawarto krótkie wprowadzenie w przedmiot rozprawy. Sformułowana została jedna teza pracy w sposób ogólny, która wg recenzenta przedstawiona w ten sposób wydaje się być oczywista. Wynika to z obecnego stanu wiedzy oraz doświadczeń praktycznych, które mamy obecnie w kraju. Teza powinna zwierać „pierwiastek” naukowy, którego trudno się doszukać w sformułowanej przez Doktoranta.

Natomiast dwa cele rozprawy doktorskiej zostały bardzo dobrze sformułowane i rozwinięte w celach szczegółowych.

W rozdziale 2 (*Studium literatury*) na wstępie dokonana została charakterystyka asfaltowych podbudów drogowych w aspekcie lepkosprężystej pracy konstrukcji nawierzchni. Autor dokonał ogólnej jej analizy w zakresie doboru składu mma do podbudowy ze szczególnym uwzględnieniem mieszanki mineralnej oraz rodzaju lepiszcza asfaltowego. Przedstawiony został zarys historyczny dotyczący betonów asfaltowych o wysokim module sztywności AC WMA, zarówno w aspekcie europejskim (Francja i Wielka Brytania), jak i polskim. Istotnym elementem tego rozdziału jest analiza właściwości lepkosprężystych mieszanek mineralno-asfaltowych. Na uwagę zasługuje również charakterystyka lepkosprężysta konstrukcji nawierzchni. Uwzględnia ona metody analityczne dotyczące obliczeń mechanicznych konstrukcji nawierzchni. Szczególną uwagę Doktorant zwrócił na przedstawienie metod numerycznych dotyczących jej obliczeń za pomocą metody mechanicznej. Rozdział zakończony jest podsumowaniem literatury z uwzględnieniem potrzeby wykonania badań uzupełniających obecną przedmiotową wiedzę.

Rozdział 3 dedykowany jest podstawom teoretycznym badań. Zostały w nim przedstawione podstawy teorii lepkosprężystości oraz opisane modele reologiczne mieszanek mineralno-asfaltowych. Szczegółowo przedstawiono model sprężystości Hooke'a, lepkosprężystości Burgersa oraz Hueta-Sayegha. Doktorant dokonał też charakterystyki podstawowych parametrów właściwości reologicznych mieszanki mineralno-asfaltowej, tj. modułu dynamicznego $|E^*|$, kąta przesunięcia fazowego ϕ oraz składowych E' i E'' zespolonego modułu sztywności E^* oraz parametru charakteryzującego odporność na deformacje trwałe $|E^*|/\sin(\phi)$. Opisany został lepkosprężysty model konstrukcji nawierzchni i rekomendowany przez Autora program do projektowania konstrukcji nawierzchni VEROAD (Visco-Elastic Road Analiza Delft). W dalszej części tego rozdziału zawarta jest charakterystyka deformacji trwałych powstających w konstrukcji nawierzchni. Na schemacie (rys. 3.15) przedstawiono trzy typy kolein. Wg recenzenta przywołana w tym miejscu bibliografia - pozycja 121, nie odnosi się do przedmiotowego przykładu kolein. Następnie w szczegółowy sposób został pokazany czynnik oddziałujący na warstwy asfaltowe konstrukcji nawierzchni.

W rozdziale 4 zatytułowanym *Badania laboratoryjne mieszanek mineralno-asfaltowych* na wstępie został zawarty ogólny plan eksperymentu badawczego, który składa się z dwóch części i 7 kroków a może lepiej było zapisać – elementów. Dokonana została szczegółowa charakterystyka celu badań. Przedstawiono badane materiały: beton asfaltowy konwencjonalny AC 22P (5 rodzajów w aspekcie rodzaju asfaltu i krzywej uziarnienia) i beton asfaltowy o wysokim module AC-WMS 16 na bazie trzech rodzajów asfaltu (20/30, wielorodzajowy 20/30 i modyfikowany 25/55-60). W celu możliwości analizy konstrukcji nawierzchni charakterystyce poddano również mastyks grysowy SMA 8 z asfaltem modyfikowanym 45/80-55 przeznaczonym na warstwę ścieralną konstrukcji nawierzchni. Dokonana została charakterystyka kruszyw lecz jedynie w aspekcie jego uziarnienia. Nie opisano jego właściwości, w związku z tym nie wiadomo, czy spełniają stawiane mu przedmiotowe wymagania np. WT-1:2010 w aspekcie WT-2:2010.

Przedstawiona została natomiast charakterystyka stosowanych w badaniach lepiszczy asfaltowych (drogowe asfalty zwykle: 20/30, 35/50, 50/70; asfalty modyfikowane PMB 25/55-60 i PMB 45/80-55; wielorodzajowy 20/30 MG). Szczegółowo opisany został proces projektowania badanych w rozprawie mieszanek mineralno-asfaltowych, których podstawowe właściwości zestawiono w Tablicy 4.7. Doktorant nie zaznaczył, czy podane wartości właściwości materiałowych odnoszą się do pojedynczych oznaczeń, czy są to wartości średnie. Nie została podana liczebność prób, które są podstawą oznaczania właściwości materiałowych. W przypadku projektowania wykonawczego mma, w celu oznaczenia jej właściwości można korzystać z liczebności prób do badań określonych w dokumentach normatywnych np. WT-2. Natomiast wg recenzenta w przypadku wykonywania badań naukowych – rozpoznawczych liczebność prób do badań powinna być tak określona aby uzyskany wynik eksperymentu był jednoznaczny – wiarygodny. W Tablicy 4.7 gęstość mma wg PN-EN 12697-5 została przedstawiona w g/cm^3 , jednostce układu CGS, który nie obowiązuje już od kilkudziesięciu lat. Obowiązującym układem jednostek jest SI.

Następnie dokonana została charakterystyka badania odporności mieszanki mineralno-asfaltowej na koleinowanie (prawidłowo na deformacje trwałe). W tym miejscu należy zwrócić uwagę, że Doktorant w rozprawie stosuje bardzo często zdania wielokrotnie złożone, co utrudnia analizę tekstu np. *Badania odporności na koleinowanie wykonano w celu oceny i porównania odporności wykorzystywanych w pracy mieszanek mineralno-asfaltowych na powstawanie deformacji trwałych w wysokiej temperaturze oraz dokonanie weryfikacji przydatności do stosowania w konstrukcji nawierzchni mieszanek mineralno-asfaltowych, zaprojektowanych do celów pracy doktorskiej, na podstawie wytycznych polskich WT-2:2010 [N7].* Dodatkowo występują również często powtórzenia. Zaprezentowane zostały powszechnie znane urządzenia laboratoryjne do przygotowania mieszanki mineralno-asfaltowej (rys. 4.6), zagęszczania płyt do badań (rys. 4.7) oraz mały koleinomierz do badania ich odporności na deformacje trwałe (rys. 4.8). Natomiast wyniki badań zaprezentowano na rysunkach 4.9-4.11. Na uwagę zasługuje końcowa część tego rozdziału dotycząca badania właściwości lepkosprężystych mieszanek mineralno-asfaltowych w warunkach obciążeń powtarzalnych. Przedstawiono sposób przygotowania prób oraz metodykę badania. Doktorant zapisał, że *próbki dla różnych mieszanek wykonywane były w różnym czasie, w okresie kilku lat, różniła się średnica zagęszczanych walców i dalszy sposób przygotowania próbek (str. 78).* W związku z tym, wg recenzenta pojawia się pytanie – na jakiej podstawie porównywano wyniki badań mieszanek mineralno-asfaltowych? Jeżeli próbki wykonywano w okresie kilku lat, to czy materiały do ich wykonywania (asfalt, kruszywo) były takie same pod względem właściwości itd. Wyjaśnienia wymaga również kwestia metodyki określenia czasu termostatowania próbek przed wykonaniem badania mma pod obciążeniem powtarzalnym. Doktorant zapisał, że został on wyznaczony empirycznie na jednej próbce. Jaka jest więc wiarygodność takiego oznaczenia?

Część końcowa tego rozdziału dotyczy zagadnień błędu metody badania i warunków poprawnego jego wykonania. Wyniki badania pod obciążeniem powtarzalnym przedmiotowych mma w zakresie modułu dynamicznego $|E^*|$ zestawiono w Tablicy 4.13 a kąta przesunięcia fazowego w Tablicy 4.14. Rozdział zakończono analizą błędów i oceną precyzji wykonanych pomiarów.

Doktorant w **rozdziale 5** zatytułowanym *Lepkosprężyste właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych* przedstawił zagadnienia dedykowane przedmiotowemu problemowi. Analiza lepkosprężystych właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych dokonana została w warunkach obciążeń powtarzalnych w dodatnich temperaturach, ze szczególnym uwzględnieniem wysokiego ich zakresu w aspekcie porównania betonów asfaltowych konwencjonalnych i o wysokim module sztywności pod względem właściwości

lepkosprężystych. W analizie modułów dynamicznych wykorzystano krzywe wiodące, które pozwoliły Doktorantowi na ocenę zachowania się materiałów w szerokim zakresie temperatur i częstotliwości obciążenia. Przy czym maksymalny moduł dynamiczny m_{ma} był wyznaczony za pomocą dwóch metod: na podstawie badań modułów sztywności w schemacie pośredniego rozciągania w temperaturze 30°C i za pomocą wykorzystania półempirycznego modelu Hirsha. Doktorant na podstawie oceny współczynników determinacji R^2 stwierdził, że obie zastosowane metody wyznaczania wartości $|E^*_{max}|$ pozwalają na bardzo dobre dopasowanie krzywych wiodących do wyników badań pod obciążeniem powtarzalnym ($R^2 > 0,97$). Następnie zostało przedstawione porównanie modułów dynamicznych $|E^*|_{lab}$ określonych w badaniu pod obciążeniem powtarzalnym i modułów $|E^*|_{MC}$ wyznaczonych na podstawie krzywych wiodących. Generalna ocena i klasyfikacja wszystkich analizowanych betonów asfaltowych pod względem modułów dynamicznych $|E^*|$ dokonana została dla temperatury 45°C i dla dwóch skrajnych częstotliwości $f = 25\text{Hz}$ i $f = 0,01\text{Hz}$. Ze względu na fakt, że betony asfaltowe AC 22PP o uziarnieniu (PL2) i (D) były badane w innych temperaturach niż pozostałe to moduły dynamiczne dla nich zostały wyznaczone za pomocą krzywych wiodących ($|E^*| = |E^*|_{MC}$). Natomiast dla pozostałych materiałów stosowano wartości uzyskane z badań pod obciążeniem powtarzalnym ($|E^*| = |E^*|_{lab}$). Na podstawie gradacji modułów dynamicznych utworzono listę rankingową w temperaturze 45°C i częstotliwości $f = 25\text{Hz}$ (Tablica 5.5) oraz dla temperatury 45°C i częstotliwości $f = 0,01\text{Hz}$. Najkorzystniej wypadły betony asfaltowe o wysokim module sztywności z asfaltem zwykłym 20/30 i wielorodzajowym 20/30 MG oraz konwencjonalny beton asfaltowy do podbudowy AC 22P 35/50 (PL1).

Kolejnym parametrem, który został poddany szczegółowej analizie był kąt przesunięcia fazowego ϕ badanych mieszanek mineralno-asfaltowych. Metodyka jego oceny przebiegała podobnie jak modułu sztywności $|E^*|$ m_{ma} . Najpierw sprawdzono, które z konwencjonalnych betonów asfaltowych przeznaczonych na podbudowę zachowują się w wysokiej temperaturze najbardziej i najmniej sprężysto. Sporządzono listę rankingową od najmniej do najbardziej sprężystej podbudowy wykonanej z konwencjonalnego betonu asfaltowego. Następnie dokonano podobnej analizy w przypadku betonów asfaltowych o wysokim module sztywności, ustalając ich listę rankingową od najbardziej do najmniej sprężystych. Doktorant dokonał podsumowania danych dotyczących kąta przesunięcia fazowego dla konwencjonalnych betonów asfaltowych i o wysokim module. Pierwsze miejsce na liście rankingowej przypadło betonowi asfaltowemu o wysokim module sztywności wykonanym z asfaltem multigrade a następnie AC-WMS 16 20/30. Ostatnie miejsce zajął AC 22P 50/70 (PL2). Dokonana została również analiza parametru odporności na deformacje trwale $|E^*|/\sin(\phi)$ ocenianych betonów asfaltowych przeznaczonych na podbudowę. Na podstawie porównania wartości rozpatrywanego parametru w temperaturze 45°C dla dwóch skrajnych częstotliwości $f = 25\text{Hz}$ i $f = 0,01\text{Hz}$ utworzono listę rankingową betonów asfaltowych od najlepszego do najmniej korzystnego. Pierwsze miejsce zajął beton asfaltowy AC-WMS 16 20/30 i AC-WMS 16 20/30 MG a następnie AC 22P 35/50 (PL1). Doktorant sformułował wnioski dotyczące właściwości lepkosprężystych mieszanek mineralno-asfaltowych określanych w badaniach wykonanych pod obciążeniem powtarzalnym w aspekcie rodzaju m_{ma} oraz rodzaju asfaltu. Zwrócił szczególną uwagę, że w aspekcie materiałowym główny wpływ na uzyskiwane wyniki badań odgrywała twardość asfaltu a w znacznie mniejszym stopniu rodzaj mieszanki mineralnej - jej uziarnienia. Część końcowa rozdziału dotyczy zagadnień wyznaczania parametrów lepkosprężystych modeli reologicznych mieszanek mineralno-asfaltowych. W badaniach zastosowano model Burgersa i Hueta-Sayegha, dla których wyznaczono ich parametry oraz dokonano analizy właściwości lepkosprężystych dla wszystkich ocenianych mieszanek mineralno-asfaltowych – konwencjonalnych betonów asfaltowych i betonów asfaltowych o wysokim module

sprężystości. W interesujący sposób został przedstawiony proces obliczeniowy z wykorzystaniem programu DEBUROAD, którego wyniki zestawiono w Tablicy 5.9 i Tablicy 5.10 – dla modelu Burgersa oraz w Tablicy 5.11 dla modelu Hueta-Sayegha. Zostało dokonane porównanie zgodności modelu Burgersa i Hueta-Sayegha z wynikami badań wykonanych pod obciążeniem powtarzalnym. Sformułowano wnioski z których między innymi wynika, że w przypadku modelu Burgersa uzyskano korzystniejszą zgodność parametrów $|E^*|_{\text{mod}}$ i $|E^*|_{\text{lab}}$ niż w przypadku φ_{mod} i φ_{lab} . Natomiast dla modelu Hueta-Sayegha uzyskano porównywane zgodności przedmiotowych parametrów.

W rozdziale 6 – zatytułowanym *Wpływ wybranych czynników na lepkosprężyste zachowanie się konstrukcji nawierzchni* Doktorant przedstawił analizę dotyczącą zachowania się konstrukcji nawierzchni podanej modelowanej jako układ lepkosprężystych i sprężystych warstw obciążonych poruszającym się kołem. W procesie obliczeniowym uwzględniono między innymi wpływ takich czynników na zachowanie się konstrukcji jak: temperatury warstw asfaltowych i prędkość poruszania się obciążenia, rodzaj modelu reologicznego warstw asfaltowych (Burgersa i Hueta-Sayegha), rodzaj betonu asfaltowego (konwencjonalny, o wysokim module sztywności) optymalizację grubości asfaltowych warstw konstrukcji nawierzchni. Szczegółowo został przedstawiony proces analizy każdego z tych parametrów. Na podstawie dokonanych analiz oraz wykonanych obliczeń Doktorant stwierdził, że istotną rolę odgrywa grubość podbudowy, która ma wpływ na zachowanie się konstrukcji nawierzchni w aspekcie rodzaju betonu asfaltowego – konwencjonalnego czy o wysokim module sprężystości. Uogólniając zastosowanie betonu asfaltowego AC WMS 16 20/30 jest rozwiązaniem porównywalnym do tradycyjnego AC 22P 50/70. Został sformułowany również interesujący wniosek wskazujący, że zastosowanie lepszej jakości materiału (AC WMS) tylko do warstwy wiążącej może pozytywnie wpłynąć na odporność na deformacje trwałe, a w przypadku zastosowania go do podbudowy asfaltowej także i na zmniejszenie odkształceń rozciągających w spodzie warstw asfaltowych, co ma pozytywny wpływ na trwałość zmęczeniową konstrukcji nawierzchni.

Doktorant w **rozdziale 7 (Wnioski)** sformułował bardzo szczegółowe wnioski, które zostały podzielone na naukowe jak i dotyczące zagadnień praktycznych. Opracowano 10 szczegółowych wniosków naukowych, które pozwoliły na przedstawienie dwóch wniosków ogólnych. Wnioski szczegółowe dotyczą poszczególnych etapów badań wykonanych przez Doktoranta. Uogólniając wynika z nich, że podstawowy wpływ na odporność podbudowy wykonanej z betonu asfaltowego na deformacje trwałe ma rodzaj zastosowanego lepiszcza, uziarnienie oraz proporcja pomiędzy tymi składnikami a nie sam typ/rodzaj mieszanki mineralno-asfaltowej. Chociaż typ mieszanki mineralno-asfaltowej charakteryzowany jest właśnie przez składniki z jakiego się go wykonuje. Analiza wniosków szczegółowych znalazła odzwierciedlenie w drugim ogólnym wniosku naukowym. Natomiast wg recenzenta pierwszy ogólny wniosek naukowy nie zawiera w sobie elementu naukowego. Praktycznie biorąc jest on stwierdzeniem faktu dotyczącego wdrażania do polskiej metodyki badawczej mieszanek mineralno-asfaltowych nowej metody laboratoryjnej-badawczej.

Doktorant sformułował również 5 szczegółowych wniosków praktycznych. Przy czym wg recenzenta wniosek piąty dotyczący możliwości wykorzystywania zamiennego w określonych warunkach modelu lepkosprężystego Burgersa i Hueta-Sayegha w analizach mechanistycznych konstrukcji nawierzchni powinien być zaliczony do wniosków naukowych nawet ogólnych. We wnioskach ogólnych o znaczeniu praktycznym Doktorant sformułował pewne zalecenia dotyczące możliwości bardziej poprawnego stosowania betonu asfaltowego w wysokim module sztywności AC WMS.

Rozprawa zakończona jest podsumowaniem, w którym Doktorant odnosi się do wykonanych badań oraz wykazania spełnienia celów postawionych na początku realizacji rozprawy.

Doktorant prezentuje również dalszy zakres prac naukowych, który jest bardzo interesujący i pozwalający na dalszy rozwój naukowy Młodego Badacza.

2.2. Aktualność tematu

Rozprawa doktorska mgr inż. Łukasza Mejlun dotyczy istotnego problemu z zakresu materiałów i nawierzchni asfaltowych jakim jest zapewnienie ich odporności na deformacje trwałe. Ze względu na bardzo złożony charakter tego problemu nie jest on do dnia dzisiejszego w pełni rozwiązany. Wynika to ze specyfiki właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych oraz czynników obciążenia konstrukcji nawierzchni. Jednym ze sposobów przeciwdziałania lub chociażby ograniczenia deformacji trwałych jest stosowanie opracowanych we Francji specjalnych mieszanek mineralno-asfaltowych, które oznaczane są jako beton asfaltowy o wysokim module sztywności w skrócie AC WMS.

Zostały one wprowadzone do polskiego wykonawstwa drogowego za pomocą dokumentu aplikacyjnego WT-2:2010. Jednocześnie rozpoczęto je stosować w wykonawstwie przede wszystkim dróg obciążonych bardzo dużym ruchem pojazdów od kategorii KR 5 do KR 6 czyli dróg ruchu szybkiego S i na autostradach A.

Wdrożenie tego rozwiązania materiałowego niestety nie było poprzedzone wykonaniem szczegółowych badań laboratoryjnych i ich weryfikacją w warunkach terenowych. Jak to bardzo często bywa adaptowano rozwiązanie opracowane za granicą przyjmując, że będzie ono spełniało pokładane w nim założenia w warunkach krajowych.

Zaistniałe kilka lat temu w okresie zimy warunki klimatyczne spowodowały, że pojawił się problem co do skuteczności stosowania betonów asfaltowych o wysokim module sztywności WMS w warunkach naszego kraju. Oczywiście problem ten dotyczył zagadnienia pracy tego rodzaju materiału w niskich temperaturach, ale konieczna stała się również weryfikacja jego pracy w wysokich letnich temperaturach.

W związku z tym, przedstawiona rozprawa naukowa dotyczy bardzo aktualnego obecnie problemu związanego z możliwością zapewnienia odporności na deformacje trwałe nie tylko warstwy podbudowy, ale również całej konstrukcji nawierzchni drogi. Rezultat ten można osiągnąć stosując beton asfaltowy o wysokim module sztywności AC WMS ale i również odpowiednio komponując tradycyjny beton asfaltowy w zakresie ilości asfaltu, zawartości mieszanki mineralnej i proporcji pomiędzy tymi składnikami. Uzyskane rezultaty badań wskazują, że stosując odpowiednie rozwiązania materiałowe można w procesie badawczym zapewnić trwałość konstrukcji nawierzchni asfaltowej w projektowanym okresie jej eksploatacji.

2.3. Ocena programu i zakresu badań

Program badań został przedstawiony w sposób prawidłowy. Podana została w sposób poprawny i czytelny metodyka zaplanowanych w rozprawie badań materiałowych w zakresie mieszanek mineralno-asfaltowych. Natomiast brak jest uszczegółowienia zakresu oceny kruszywa stosowanego do wykonania mma. Bardzo niejednoznaczna jest wg recenzenta kwestia wykonywanych w czasie (kilka lat) badań mieszanek mineralno-asfaltowych. Czy wykonane one były z tych samych materiałów (asfalt, kruszywo)? W przeciwnym razie porównywanie właściwości materiałów AC WMA i AC P powoduje duże wątpliwości co do ich jednorodności. Doktorant również, nie przedstawił szczegółowych informacji co do liczebności prób, na których były wykonywane badania. W doświadczalnictwie bardzo ważną rolę odgrywa powtarzalność oraz wiarygodność wyników badań. W przypadku spełnienia

tego warunku można dopiero dokonać poprawnej oceny rozwiązanego na drodze doświadczenia problemu. Ta kwestia wymaga szczegółowych wyjaśnień przez Doktoranta.

Na wyróżnienie zasługuje wprowadzenie do programu badań nowej metodyki badawczej mieszanek mineralno-asfaltowych w zakresie oznaczenia właściwości lepkosprężystych w wysokich temperaturach. W ramach realizacji rozprawy naukowej wykonany został bardzo duży zakres badań. Pozwoliły one na wyjaśnienie zagadnień związanych z możliwością wykorzystania betonu asfaltowego w wysokim module sztywności w konstrukcji nawierzchni oraz porównania go z konwencjonalnym betonem asfaltowym.

Pomimo pewnych uwag należy podkreślić kompleksowe podejście Doktoranta do realizowanego tematu w zakresie badań laboratoryjnych oraz modelowania zagadnień reologicznych.

Reasumując przyjęty program badań zasługuje na bardzo pozytywną ocenę. Doktorant wykazał się przygotowaniem do prowadzenia prac badawczych o charakterze laboratoryjnym i analitycznym oraz analizy wyników.

2.4. Tezy i cel naukowy

Sformułowano w rozprawie doktorskiej jedną tezę. Jak wspomniano wcześniej teza ta wg recenzenta nie zawiera elementu naukowego i w pewien sposób może być uznana za oczywistą.

Przedstawione zostały dwa główne cele rozprawy, naukowy i praktyczny. Przy czym zostało wyznaczonych sześć szczegółowych celów naukowych, które według recenzenta mogą stanowić naukowe uzupełnienie tezy rozprawy (cel 3, 4 a zwłaszcza 5). Zaprezentowane zostały też dwa szczegółowe cele praktyczne, których realizacja odgrywa istotną rolę w zakresie zapewnienia odporności na deformacje trwałe warstw asfaltowych oraz może przyczynić się do zmniejszenia grubości warstw konstrukcji nawierzchni drogowej.

Uzyskane w rozprawie wyniki badań, w zakresie właściwości podstawowych, jak również i reologicznych oraz proces modelowania matematycznego, potwierdzają korzystny wpływ betonu asfaltowego o wysokim module sztywności na odporność na deformacje trwałe podbudowy oraz w konsekwencji całej konstrukcji nawierzchni drogi. Należy zaznaczyć, że wykonane przez Doktoranta badania wnoszą istotny wkład w rozwój nauki w zakresie wpływu analizowanych czynników na lepkosprężyste zachowanie się konstrukcji nawierzchni.

Praca jest napisana językiem poprawnym, chociaż pewną jej niedoskonałością jest stosowanie zdań wielokrotnie złożonych. Zamieszczone w niej rysunki w istotny sposób podnoszą wartość merytoryczną pracy.

2.5. Struktura i edycja rozprawy

Struktura rozprawy w zakresie kolejności rozdziałów oraz ich objętości jest prawidłowa. Rozdziały dotyczące problematyki badawczej kończone są podsumowaniem uzyskanych rezultatów badań, co jest bardzo pozytywnym elementem i pozwala na bieżąco dokonywać oceny realizowanego programu badawczego.

W rozprawie występują drobne błędy o charakterze redakcyjnym i stylistycznym. Poniżej przedstawiono kilka takich przykładów:

- Doktorant w celu określenia *wykonanych* lub *realizowanych* badań stosuje praktycznie tylko słowo *przeprowadzone*, które obecnie niestety jest powszechnie wykorzystywane w opracowaniach naukowych,
- stosowane są skróty myślowe, które w pewien sposób utrudniają analizę tekstu,
- wykorzystywane są zdania wielokrotnie złożone, które utrudniają zapoznanie się z rozprawą (np. rozdział 7 *Wnioski*. Pierwsze zdanie ma 6 linijek),
- występują pojedyncze błędy literowe.

Rozprawa w zakresie jej struktury i edycji zasługuje na pozytywną ocenę.

3. Uwagi i pytania recenzenta do pracy

Po zapoznaniu się z pracą doktorską już na etapie charakterystyki poszczególnych rozdziałów recenzent zgłaszał pewne spostrzeżenia. Obecnie przedstawiono jeszcze raz najważniejsze uwagi i pytania w poniżej wymienionych kwestiach:

a) Strona formalna rozprawy

Rozprawa naukowa dotycząca badań materiałowych powinna zawierać jednoznaczną charakterystykę obiektów i metodyki ich badań. W ocenianej pracy doktorskiej zabrakło przedstawienia właściwości kruszywa, które stosowane było w badaniach.

W przypadku badań eksperymentalnych aby można analizować i formułować wnioski dotyczące danego zagadnienia, uzyskane wyniki badań powinny być wiarygodne i powtarzalne. W związku z tym, w programie badań należy określić liczebność prób, na których oznaczone wyniki spełniają powyższe kryterium.

W ramach eksperymentu wykonywane badania powinny być na tych samych obiektach – w rozpatrywanym przypadku, na betonie asfaltowym konwencjonalnym i o wysokim module sztywności. Ponieważ badania realizowane były kilka lat, w związku z tym, pojawia się problem zagwarantowania tego samego rodzaju składników - asfaltu i kruszywa do wykonania AC P i AC WMS.

Reasumując recenzent oczekuje na ustosunkowanie się Doktoranta do podniesionych kwestii.

b) Materiał do badań

Bardzo istotnym elementem rozprawy naukowej są obiekty i metody ich badań. Niestety nie dokonano praktycznie charakterystyki kruszywa w zakresie jego właściwości fizykomechanicznych, jedynie przedstawiono uziarnienie. Wiadomo natomiast, że kruszywo tak jak i asfalt odgrywa istotną rolę w zakresie właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej. Doktorant w czasie realizacji badań stwierdził, że na odporność podbudowy na deformacje trwale istotny wpływ ma asfalt, kruszywo – jego uziarnienie oraz proporcje pomiędzy tymi składnikami w mieszance mineralno-asfaltowej. W związku z tym, również znaczenie może mieć rodzaj kruszyw. Niestety nie podano żadnych jego charakterystyk.

c) Wyniki badań laboratoryjnych

W rozprawie przedstawiono obszerny zakres badań laboratoryjnych. W związku z tym, wg recenzenta byłoby celowe dokonanie za pomocą testów statystycznych ich hierarchizacji, czyli uszeregowanie od najkorzystniejszych do najmniej istotnych. W tym celu można wykorzystać np. funkcję użyteczności.

Zdecydowana większość wyników badań przedstawiona jest w postaci typowych wykresów, które są czytelne i pozwalają na łatwość dokonywania analizy rezultatów badań.

W programie badań rozprawy nie przedstawiono w sposób szczególny jaka jest liczebność prób, które poddawano badaniom i na jakiej podstawie jest ona ewentualnie przyjmowana. W związku z tym, pojawia się pewien problem dotyczący ich poprawności.

d) Dyskusja wyników i wniosków

Wnioski zostały opracowane bardzo rzeczowo. W sposób szczegółowy przedstawiają rezultaty badań uzyskanych w czasie realizacji rozprawy. Zaprezentowano je w kategorii naukowej oraz praktycznej. Wnoszą istotny wkład w rozwój wiedzy w zakresie lepkosprężystych właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych oraz lepkosprężystego zachowania się konstrukcji nawierzchni.

Zostały również sformułowane rekomendacje dotyczące praktycznego wykorzystania mieszanek mineralno-asfaltowych o wysokim module sztywności AC WMS na warstwę

podbudowy, jak również konwencjonalnego betonu asfaltowego AC P. Przedstawiono też ich wpływ na wymiarowanie konstrukcji nawierzchni drogi.

W zakończeniu rozprawy Doktorant sformułował interesujący plan dalszych kierunków badań, których realizacja może przyczynić się do Jego rozwoju naukowego.

4. Ocena końcowa

Doktorant Pan mgr inż. Łukasz Mejlun samodzielnie opracował postawione w celu pracy zagadnienia. Posługując się prawidłową metodyką zrealizował program badawczy w zakresie laboratoryjnym oraz modelowym.

Sformułowane w recenzji uwagi krytyczne nie obniżają w sposób istotny wartości rozprawy. Mając powyższe na uwadze stwierdzam, że teza postawiona na początku pracy została udowodniona, **wyrażam więc przekonanie**, że rozprawa doktorska **mgr inż. Łukasza Mejlun** pt.: „**Analiza lepkosprężysta nawierzchni drogowych z zastosowaniem betonu asfaltowego konwencjonalnego i o wysokim module sztywności**” spełnia wymagania stawiane **pracom doktorskim** zgodnie z „Ustawą o Stopniach Naukowych i Tytule Naukowym oraz Stopniach i Tytule w Zakresie Sztuki” z dnia 14 marca 2003 roku stanowiąc oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. W związku z tym, **stawiam wniosek o dopuszczenie rozprawy doktorskiej mgr inż. Łukasza Mejlun do publicznej obrony.**

