

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

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

Szczecin, 02 czerwiec 2023 r.

## **OPINIA**

na temat rozprawy doktorskiej **mgra inż. Krzysztofa Kołodzieja**  
pt. „**Odporność na deformacje trwale asfaltu lanego z lepiszczem modyfikowanym asfaltem naturalnym**”

wykonanej pod kierunkiem:  
**prof. dr hab. inż. Tomasza Siwowskiego** – promotora  
oraz **dra inż. Lesława Bichajło** – promotora pomocniczego

### **1. Podstawa opracowania recenzji**

**Podstawą formalną** do wykonania recenzji rozprawy doktorskiej jest pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Rzeszowskiej pana prof. dr hab. inż. Tomasza Siwowskiego z dnia 13.04.2023 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).

### **2. Ocena rozprawy**

#### **2.1. Ogólna charakterystyka rozprawy**

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska ma charakter pracy badawczej. Stanowi ją zbiór opublikowanych i powiązanych tematycznie sześciu artykułów naukowych oraz opracowany na ich podstawie autoreferat. Autoreferat został przedstawiony w formie papierowej na 88 stronach formatu A4. Składa się ze streszczenia w j. polskim i j. angielskim, wykazu wybranych oznaczeń, spisu treści, wstępu, czterech rozdziałów głównych zakończonych wnioskami i planem dalszych prac oraz

bibliografii, która obejmuje 111 pozycji, w większości anglojęzycznych. Dołączono do niego w części załącznikowej pełne teksty artykułów (załącznik 1), wyniki badań podstawowych i reologicznych lepiszczy asfaltowych (załącznik 2 i 3), mastyksu asfaltowego (załącznik 4) oraz wyniki badań penetracji asfaltu lanego (załącznik 5). Część załącznikowa stanowi w sumie 157 stron.

Opiniowana rozprawa dotyczy możliwości poprawy odporności na trwałe odkształcenia asfaltów lanych poprzez zastosowanie modyfikatora lepiszcza w postaci asfaltu naturalnego Trynidad Epuré (TE). Przeprowadzone badania wskazują, że jego optymalną zawartość ze względu na ograniczenie deformacji można szacować na podstawie badań reologicznych lepiszcza bądź mastyksu. W zakresie badań lepiszczy skupiono się na lepkości zerowego ścinania ZSV (oznaczanych w teście oscylacyjnym i pełzania), natomiast w przypadku mastyksu na badaniach ciągliwości z pomiarem siły w duktylocytry. Uzyskane wyniki z badań lepiszczy i mastyksów porównywano z wartościami trwałej deformacji asfaltów lanych z badań pod obciążeniem statycznym i dynamicznym.

Program badań laboratoryjnych w zakresie niezbędnym do rozwiązania problemu naukowego zawartego w tezach pracy doktorant przygotował w oparciu o przegląd literatury. Materiał badawczy stanowiły: lepiszcza asfaltowe (asfalt drogowy 35/50 oraz jego mieszaniny z dodatkiem TE), mastyksy asfaltowe o zróżnicowanym stosunku wypełniacz/lepiszcze (w/l) bez i z dodatkiem TE (10 i 20%) oraz mieszanki asfaltu lanego, również o zróżnicowanym stosunku w/l i zawartości TE (0, 10 i 20%). Sposób realizacji poszczególnych etapów pracy, wyniki z uzyskanych oznaczeń, ich analiza oraz wnioski zostały przedstawione w poszczególnych rozdziałach pracy.

Mogę stwierdzić, że podjęta tematyka badawcza jest aktualna i interesująca pod względem naukowym i praktycznym, zatem jej wybór i przedstawienie w rozprawie doktorskiej uznaję za merytorycznie uzasadnione. Jedyną wątpliwość budzi tytuł rozprawy, w którym nie doprecyzowano rodzaju asfaltu naturalnego.

#### *Rozdział 1 – Wstęp*

Rozdział składa się z czterech podrozdziałów (5.5 strony maszynopisu). W pierwszych dwóch podrozdziałach skupiono się na nawierzchniach mostowych i podstawowym rodzaju mieszanki mineralno-asfaltowej jaka jest tam stosowana, czyli asfalcie lanym (MA). Problematykę badawczą, przedmiot rozprawy oraz tezy, cele i jej zakres przedstawiono w dwóch kolejnych podrozdziałach.

#### *Rozdział 2 – Stan wiedzy w zakresie odporności na deformacje trwałe nawierzchni z asfaltu lanego*

Rozdział składa się z trzech podrozdziałów i został przedstawiony na 18 stronach maszynopisu. W pierwszym przedstawiono główne typy uszkodzeń nawierzchni asfaltowych i skupiono się, zdaniem doktoranta, na najpowszechniejszym, tj. koleinowaniu. Omówiono etapy rozwoju deformacji, wpływ struktury mieszanki na jej podatność do odkształceń oraz dodatkowy element struktury, jakim jest mastyks.

W drugim podrozdziale przedstawiono czynniki wpływające na właściwości asfaltu lanego. W pierwszej części omówiono wpływ lepiszcza na zachowanie się mieszanki i najczęstsze uszkodzenia, dużą część poświęcono znaczeniu lepkości zerowego ścinania ZSV, która może posłużyć do oceny podatności na deformacje asfaltów lanych. Znalazły się tam również zapisy odnośnie stosowania dodatku w postaci asfaltu naturalnego Trynidad Epuré, który jest stosowany do poprawy parametrów odpornościowych mieszanek MA. Druga część dotyczy mastyksów, które stanowią ważny element w kształtowaniu struktury asfaltu lanego oraz jego kohezji (spójności). Omówiono badanie ciągliwości z pomiarem siły, którego wyniki mogą zostać wykorzystane do oceny podatności na deformacje mieszanek MA. W końcowej części stwierdzono, że odporność na deformacje trwałe asfaltów lanych jest wypadkową użytego asfaltu, składu mastyksu oraz uziarnienia części mineralnej. Zauważono również, że duży wpływ na parametry MA ma proces technologiczny wytwarzania, który z jednej

strony może przyczynić się do zwiększenia odporności na deformacje trwałe, zmniejszając jednocześnie odporność na spękania.

W ostatniej części doktorant podsumował rozważania na temat asfaltów lanych, zastosowania dodatku TE oraz propozycji badań podjętych w rozprawie.

### *Rozdział 3 – Opis badań własnych*

Rozdział składa się z pięciu podrozdziałów głównych i został przedstawiony na 17 stronach maszynopisu. W pierwszym przedstawiono cel badań, którym była ocena wpływu dodatku TE na odporność na deformacje trwałe mieszanki MA. Zdaniem doktoranta jego optymalną ilość można szacować na podstawie badań reologicznych lepiszcza (ZSV) oraz mastyksu.

W drugim podrozdziale przedstawiono plan badań, który dotyczył lepiszczy asfaltowych, mastyksu oraz asfaltu lanego. Ostatnim etapem było sprawdzenie korelacji między zawartością dodatku TE a wartością trwałąj deformacji asfaltów lanych.

Trzeci podrozdział poświęcono materiałom użytym do badań, przy czym przedstawiono informacje wyłącznie odnośnie asfaltu drogowego (35/50 z firmy Orlen) oraz asfaltu naturalnego Trinidad Epuré. Nie podano żadnych informacji odnośnie kruszyw zastosowanych w mieszance (informacje wybiórcze na ten temat można znaleźć w artykule [4]).

W czwartym podrozdziale opisano metody badań poszczególnych materiałów, przeprowadzonych w ramach rozprawy. Wykonano oznaczenia lepiszczy asfaltowych przed i po RTFOT (penetracja, temperatura mięknięcia, gęstość, temperatura łamliwości, rozpuszczalność w toluenie, moduł sztywności i kąt przesunięcia fazowego, lepkość zerowego ścinania metodą przemieszczania częstotliwością oraz pełzania), mastyksów (ciągliwość z pomiarem siły w duktylometrze) oraz asfaltów lanych (penetracja trzpieniem pod obciążeniem statycznym i dynamicznym).

Ostatni podrozdział dotyczy metod analizy statystycznej wykorzystanej przy opracowywaniu wyników badań oraz zależności między nimi.

### *Rozdział 4 – Wyniki badań własnych*

Rozdział stanowi najobszerniejszą część pracy. Składa się z pięciu podrozdziałów, które są streszczeniami pięciu publikacji naukowych, stanowiących rozprawę doktorską, poszerzonych o analizę statystyczną. Rozdział zajmuje 23 strony maszynopisu.

Rozdz. 4.1 zawiera treści opublikowane w artykule nr [2] pt. „Experimental Study on Physical and Rheological Properties of Trinidad Lake Asphalt Modified Binder” w czasopiśmie *Applied Sciences*. Dotyczy on badań właściwości fizycznych i reologicznych lepiszcza asfaltowego bez i z dodatkiem TE (od 0% do 50% ze krokiem co 10%). W ramach badań wykonano oznaczenia penetracji, temperatury mięknięcia i łamliwości, modułu sztywności i kąta przesunięcia fazowego oraz lepkości zerowego ścinania. Dodatkowo wyznaczono temperaturowy zakres plastyczności oraz indeks penetracji. Pewne zastrzeżenia budzi sposób wyznaczenia indeksu penetracji na podstawie temperatury mięknięcia i penetracji.

Rozdz. 4.2 powstał w oparciu o artykuł [3] pt.: „Effects of Aging on the Physical and Rheological Properties of Trinidad Lake Asphalt Modified Bitumen” opublikowany w *Materials*. Dotyczy oceny wpływu starzenia krótkoterminowego RTFOT na właściwości asfaltu drogowego 35/50 bez i z dodatkiem TE (10 i 20%). Analiza wskaźników starzenia (RP, SPI, CAI, PAI oraz ZSV) wskazała, że lepiszcze z 20% dodatku TE wykazuje największą odporność na deformacje trwałe, ale jednocześnie jest ono bardziej podatne na starzenie krótkoterminowe.

Rozdz. 4.3 dotyczy artykułu nr [4] pt. „Influence of composition and properties of mastic with natural asphalt on mastic asphalt mixture resistance to permanent deformation” opublikowanego w *Roads and Bridges – Drogi i Mosty*. Oceniono w nim wpływ składu mastyksu (stosunku w/l) oraz dodatku TE

na umowną energię odkształcenia, plastyczności i sprężystości wyznaczaną w teście ciągliwości z pomiarem siły.

Rozdz. 4.4 jest streszczeniem artykułu nr [5] pt.: „The Influence of Zero Shear Viscosity of TLA-Modified Binder and Mastic Composition on the Permanent Deformation Resistance of Mastic Asphalt Mixture” opublikowanego w *Materials*. Dotyczy on możliwości wykorzystania wyników z oznaczenia lepkości zerowego ścinania ZSV lepiszczy oraz składu mastyksu (stosunku w/l) do szacowania trwałej deformacji asfaltów lanych z badań penetracji pod obciążeniem statycznym i dynamicznym.

Rozdz. 4.5 zawiera treści artykułu nr [6] pt.: „Resistance To Permanent Deformation of the TLA-Modified Mastic Asphalt Mixture Based on Static and Dynamic Indentation” opublikowanego w *Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture*. Doktorant podjął się w nim bardzo ważnego zagadnienia, a mianowicie prognozowania odporności mieszanek MA na trwałe deformacje w teście statycznym i dynamicznym na podstawie badań lepkości zerowego ścinania ZSV oraz składu mastyksu (stosunku w/l).

Wyniki z poszczególnych oznaczeń części badawczej zostały poparte analizą statystyczną.

Układ tego rozdziału wydaje się dość racjonalny, następujące po sobie etapy są efektem wyciągniętych wniosków z wcześniej wykonanych badań i oznaczeń.

*Rozdział 5 – Dyskusja wyników badań w kontekście wpływu na odporność mieszanki asfaltu lanego na deformacje trwałe*

Rozdział składa się z czterech krótkich podrozdziałów i został przedstawiony na 2.5 stronach maszynopisu. Stanowi on podsumowanie przeprowadzanych badań i odnosi się do trzech podstawowych zagadnień, tj. wpływu lepiszcza modyfikowanego TE i składu mastyksu na odporność na deformacje trwałe MA oraz możliwości prognozowania wielkości deformacji (penetracji trzpieniem) mieszanek MA z uwzględnieniem dodatku TE oraz składu mastyksu. Rozdział kończy krótkie podsumowanie.

*Rozdział 6 – Podsumowanie i wniosek końcowy rozprawy*

Rozdział przedstawiono na 4 stronach maszynopisu.

Składa się on z uwag ogólnych, realizacji tezy i celów pracy, kierunków dalszych badań oraz wniosku końcowego.

W części dotyczącej uwag ogólnych doktorant sformułował 5 wniosków w oparciu o przeprowadzone badania i analizy. Dotyczą one:

- utwardzającego wpływu dodatku TE na lepiszcze asfaltowe,
- możliwości wykorzystania lepkości zerowego ścinania do szacowania odporności na trwałe deformacje mieszanek MA,
- istotnego wpływu dodatku TE na mastyks asfaltowy (jako składnik mieszanki MA) i dobrą korelację między umowną energią plastyczności mastyksu a odpornością na deformacje trwałe asfaltu lanego,
- lepszym różnicowaniem wyników badań dynamicznych penetracji trzpieniem od wyników badań statycznych.

Pewną wątpliwość recenzenta budzi wniosek nr 5, odnośnie lepszego różnicowania wyników badań metodą dynamiczną w stosunku do statycznej. Trudno na podstawie przedstawionych wyników jednoznacznie wysunąć tego rodzaju twierdzenie, szczególnie w aspekcie uzyskiwanych wartości, które w przypadku testu statycznego w większości przypadków nie spełniają wymagań odnośnie odporności mieszanki MA na deformacje trwałe, a metoda dynamiczna z zasady ma służyć do oceny mieszanek, których wyniki badań penetracji w teście statycznym wynoszą poniżej 2.5 mm.

Doktorant stwierdził, że przedstawione badania pozwoliły na realizację założonych celów rozprawy, a przedstawione w dyskusji wnioski potwierdzają słuszność tez, zarówno tych głównych jak i pomocniczych, powołując się na poszczególne rozdziały autoreferatu.

W rozdziale „Kierunki dalszych badań” doktorant wskazał na konieczność rozszerzenia badań i uwzględnienie w nich właściwości niskotemperaturowych, urabialności mieszanki MA podczas wbudowywania oraz wpływu kruszywa grubego na odporność na deformacje trwałe. Zakres ten, zdaniem recenzenta, można poszerzyć o wpływ nie tylko kruszywa grubego ale i drobnego (piasku) na parametry wytrzymałościowe i urabialność mieszanki MA. Zastanowić się warto również nad modyfikacją metody pomiaru deformacji trzpieniem pod obciążeniem statycznym i podwyższenie temperatury badawczej.

We wniosku końcowym doktorant stwierdził, że zastosowanie asfaltu naturalnego TE wpływa na poprawę odporności na deformacje trwałe mieszanki asfaltu lanego, a przy optymalizacji jego ilości trzeba brać pod uwagę skład mastyksu. Znalazł się tam również zapis, że stopień modyfikacji lepiszcza dodatkiem TE powinien być weryfikowany za pomocą testu dynamicznego.

### *Bibliografia*

Bibliografia wykorzystana w pracy jest dość obszerna i obejmuje 111 pozycji, z czego 92 to pozycje zwarte (monografie i artykuły), 7 pozycji odnosi się do opracowań i dokumentów technicznych, natomiast 12 pozycji to normy przedmiotowe (głównie europejskie). Warto w tym przypadku dodać, że autor powołuje się w większości przypadków na najnowsze pozycje literaturowe z zakresu tematycznego podjętego w rozprawie.

## **2.2. Aktualność tematu**

Rozprawa doktorska mgra inż. Krzysztofa Kołodzieja dotyczy istotnego problemu z zakresu technologii drogowej, a uściślając możliwości oceny odporności na deformacje trwałe mieszanek asfaltu lanego modyfikowanych dodatkiem asfaltu naturalnego TE w oparciu o badania lepiszczy asfaltowych oraz skład mastyksu asfaltowego.

Nawierzchnie mostowe pracują w specyficznych warunkach i narażone są na szereg oddziaływań, które mogą skutkować uszkodzeniami warstw asfaltowych, głównie w postaci deformacji trwałych bądź spękań. Uważa się, że w dużej mierze czynnikiem odpowiedzialnym za powstałe uszkodzenia typowych mieszanek mineralno-asfaltowych jest lepiszcze asfaltowe (w 40% za odkształcenia lepkoplastyczne, w 60% za spękania zmęczeniowe i aż w 80% za spękania termiczne). Właściwie zaprojektowana mieszanka mineralno-asfaltowa powinna mieć cechy gwarantujące jej odporność na wymienione powyżej rodzaje uszkodzeń. Należy zaznaczyć, że są one przeciwstawne i z tego m.in. powodu w procesie projektowania trzeba balansować np. sztywnością mieszanki, z jednej strony zapewniającej jej odporność na deformacje lepkoplastyczne (wysoki moduł sztywności), z drugiej odporność na pęknięcie (niski moduł sztywności).

W typowych mieszankach mineralno-asfaltowych (AC, SMA, BBTM, PA) bardzo ważną rolę w parametrach wytrzymałościowych (szczególnie w zakresie odporności na deformacje trwałe) odgrywa kruszywo grube (grysy) – kąt tarcia wewnętrznego mieszanki mineralnej. Asfalty lane są specyficznymi mieszankami o strukturze porfirowej, co oznacza, że ziarna szkieletu mineralnego (grysy) są od siebie odsunięte i otoczone warstewką mastyksu. Tym samym znaczenie szkieletu mineralnego jest mniejsze, a większą odpowiedzialność za odporność na deformacje trwałe przypisuje się spójności mieszanki (kohezji), która jest cechą mastyksu (mieszaniny lepiszcza, wypełniacza i kruszywa drobnego, poniżej 0.5 mm). Dużą kohezję mastyksu można uzyskać poprzez zastosowanie twardego asfaltu przy odpowiedniej grubości błonki strukturalnej lepiszcza na powierzchni wypełniacza. Są to dwa bardzo ważne czynniki, które wpływają na parametry

wytrzymałościowe mastyksów i mieszanek MA. Nawet niewielkie zmiany w twardości lepiszcza przekładają się na duże różnice w kohezji, a tym samym i parametry wytrzymałościowe mieszanek.

W 2014 r. w dokumencie technicznym WT-2: część II wprowadzono tego rodzaju zmiany i zakazano używania powszechnie stosowanego do mieszanek MA asfaltu 20/30. Było to podyktowane koniecznością ograniczenia spękań asfaltów lanych, za które odpowiada przede wszystkim lepiszcze asfaltowe. Efektem tego była poprawa parametrów niskotemperaturowych, ale wystąpiły problemy związane z uzyskaniem wymaganej odporności na deformacje trwałe asfaltów lanych. Rozwiązaniem może być stosowanie dodatków w postaci asfaltów naturalnych przy optymalnym składzie mastyksu. Pozwala to poprawić parametry odporności na odkształcenia trwałe asfaltów lanych bez pogarszania ich urabialności na etapie wywarzania i wbudowywania.

Problematyka dotycząca projektowania asfaltów lanych z uwzględnieniem parametrów lepiszcza, składu mastyksu oraz dodatku TE została podjęta w rozprawie doktorskiej. Doktorant podjął się możliwości optymalizacji zawartości dodatku TE na podstawie badań reologicznych lepiszcza asfaltowego (lepkość zerowego ścinania ZSV) z uwzględnieniem składu mastyksu (stosunku w/I). Te dwa czynniki muszą być uwzględniane jednocześnie, ze względu na ich współzależność. Takie podejście może wpłynąć na proces projektowania mieszanek MA oraz racjonalny i świadomy dobór odpowiednich składników mieszanki. Może to uprościć procedury doboru składników oraz umożliwić szacowanie zmian w deformacji mieszanki MA (pod obciążeniem trzpieniem w badaniu dynamicznym bądź statycznym) w zależności od zawartości TE oraz składu mastyksu.

Reasumując, przedstawiona do oceny rozprawa dotyczy bardzo aktualnego problemu odnoszącego się do projektowania asfaltów lanych z uwzględnieniem parametrów reologicznych lepiszcza, zawartości dodatku TE oraz składu mastyksu. Podjęty kierunek badań można uznać za właściwy i powinien on skutkować doborem coraz bardziej miękkich asfaltów, modyfikowanych TE, które będą charakteryzować się znacznie większą odpornością na pękanie, gwarantując jednocześnie odporność na deformacje lepkoplastyczne. To pozwoli optymalizować skład mieszanki MA w sposób racjonalny, a w konsekwencji wydłużyć żywotność tego rodzaju mieszanek mineralno-asfaltowych.

### **2.3. Ocena programu i zakresu badań oraz analiz**

Program i zakres przeprowadzonych badań oraz analiz, ze względu na ich dobór, ilość oraz stopień zaawansowania, świadczy o dużym nakładzie pracy włożonej przez doktoranta oraz racjonalnym podejściu do rozwiązania problemu naukowego, ważnego z punktu widzenia praktyki wykonawczej oraz gospodarki kraju (wydłużona żywotność nawierzchni). Przedstawiony w sposób schematyczny plan badań (str. 37) ułatwia jego ocenę, ale również podejście do analizowanej problematyki. Jedyne zastrzeżenie dotyczy mało wyraźnego umotywowania ograniczenia zawartości dodatku TE do 20%. Co prawda w artykule [2] doktorant wskazuje na pewne elementy ograniczające zawartość TE (np. poprawę indeksu penetracji PI dla 10 i 20% TE, graniczna wartość temperatury mięknięcia w ujęciu funkcjonalnym przy 30% TE), ale brak jednoznacznych stwierdzeń odnośnie wspomnianego ograniczenia od góry (np. przy stosowaniu bardziej miękkich asfaltów).

Zrealizowane w rozprawie badania oraz analizy można podzielić na trzy podstawowe grupy. Pierwsza dotyczy badań lepiszczy asfaltowych przed i po starzeniu wg RTFOT: podstawowych (temperatura mięknięcia, penetracja, temperatura łamliwości, gęstość, zawartość części rozpuszczalnych) oraz reologicznych (lepkość zerowego ścinania, moduł sztywności, kąt przesunięcia fazowego). Dodatkowo wyznaczono w oparciu o te badania indeks penetracji IP oraz temperaturowy zakres plastyczności TZP. Druga grupa poświęcona została badaniom ciągliwości z pomiarem siły mastyksów o zmiennej zawartości dodatku TE (0, 10 i 20%) oraz zróżnicowanym stosunku w/I (od 2.0 do 4.0 ze skokiem co 0.4). Wyznaczone w oparciu o te badania umowne wartości energii odkształcenia,

plastyczności i sprężystości posłużyły do optymalizacji składu mastyksu oraz zawartości TE. Trzecia grupa badań dotyczy parametrów odpornościowych asfaltów lanych. W tym zakresie wykonano badania penetracji trzpieniem pod obciążeniem statycznym (wymagania polskie) oraz dynamicznym. Mieszanki MA różniły się między sobą stosunkiem w/l (3.2, 3.6 i 4.0) oraz zawartością dodatku TE (0, 10 i 20%).

Przeprowadzone badania lepiszczy asfaltowych, mastyksów oraz asfaltów lanych pozwoliły doktorantowi na opracowanie zależności między poszczególnymi cechami, a tym samym możliwości szacowania odporności na deformacje asfaltów lanych na podstawie lepkości zerowego ścinania lepiszcza czy też energii plastyczności mastyksu.

Przedstawiony i zrealizowany przez doktoranta program badań i analiz nasuwa pewne uwagi i pytania:

- badania penetracji trzpieniem wykonywano na jednej mieszance asfaltu lanego ze zmienną zawartością TE oraz zróżnicowanym stosunkiem w/l. Uzyskano pewne zależności. Czy walidowano je dla innych mieszanek MA, np. pozyskanych z produkcji w skali technicznej?
- proces wytwarzania asfaltów lanych jest zgoła odmienny od pozostałych mieszanek mineralno-asfaltowych. Skutkować to może różnicami w starzeniu technologicznym (krótkotrwałym). Czy sprawdzano parametry lepiszcza asfaltowego wyekstrahowanego z mieszanki MA, celem ich porównania z lepiszczem starzonym wg RTFOT?
- w składzie mieszanki asfaltu lanego w zakresie frakcji piaskowej zastosowano kruszywo łamane granodiorytowe o ciągłym uziarnieniu 0/4 mm, które poprawia parametry wytrzymałościowe mieszanek MA, ale pogarsza urabialność (mieszanki bardzo trudne do wbudowania, szczególnie przy robotach ręcznych). Czy zastosowanie piasków naturalnych (w stosunku 50:50 do łamanych) nie wpłynie na parametry wytrzymałościowe, a tym samym i prognozowanie wielkości deformacji trwałej?

Podsumowując można uznać, że niezależnie od uwag przyjęty program w zakresie badań laboratoryjnych i analiz jest właściwy, a uzyskane wyniki z oznaczeń i obliczeń zapewniają realizację postawionych w pracy celów.

#### **2.4. Teza i cel naukowy**

W rozprawie sformułowano dwie tezy zasadnicze (rozd. 1.4). Pierwsza dotyczyła możliwości ograniczenia deformacji trwałych asfaltu lanego przez zastosowanie kontrolowanej ilości dodatku asfaltu naturalnego TE do lepiszcza bazowego, natomiast przy drugiej z tez przyjęto założenie, że optymalna ilość dodatku asfaltu naturalnego TE może być określana na podstawie badań reologicznych zmodyfikowanego lepiszcza.

Doktorant sformułował również dwie tezy pomocnicze, z których pierwsza dotyczyła możliwości weryfikacji odporności na deformacje trwałe mieszanek asfaltu lanego z dodatkiem asfaltu naturalnego TE za pomocą zmodyfikowanego testu dynamicznego, natomiast druga wskazywała na konieczność analizowania składu mieszanki, zwłaszcza proporcji składników mastyksu, przy ocenie odporności na deformacje trwałe asfaltów lanych.

Cele rozprawy wynikały z przedstawionych tez pracy i dotyczyły:

- zbadania wpływu asfaltu naturalnego TE na zwiększenie odporności na deformacje trwałe mieszanki asfaltu lanego,
- określenia optymalnej ilości dodatku asfaltu naturalnego TE na podstawie badań reologicznych lepiszcza,
- podania zależności między ilością dodatku TE a odpornością na deformacje trwałe, będących pomocą przy ustalaniu optymalnej ilości tego dodatku.

Tak sformułowane zagadnienia w sensie poznawczym są ważne i interesujące, wynikają i korespondują z obszarem badawczym rozprawy. Merytorycznie i formalnie są prawidłowe i zrozumiałe. Zastrzeżenia budzi teza pomocnicza nr 1, wskazująca na możliwość wykorzystania testu dynamicznego do weryfikacji odporności na deformacje trwałe mieszanek asfaltu lanego z dodatkiem TE. Ten test jest już stosowany jako metoda oceny parametrów odpornościowych MA, o czym doktorant wspomina w przeglądzie literatury, więc nie ma chyba potrzeby dowodzenia jej przydatności.

## 2.5. 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 jest rozdział 4 (poświęcony części badawczej), opracowany na podstawie pięciu artykułów stanowiących rozprawę doktorską. W rozprawie (autoreferat) zamieszczono wszystkie niezbędne elementy, począwszy od spisu treści, wykazu wybranych oznaczeń, streszczenia (w j. polskim i j. angielskim), części właściwej pracy, kończąc na bibliografii.

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

- doktorant stosuje różne formy koniugacji: osobowe (3 osoba l.mn. – np. str. 19, str. 22, str. 50) i bezosobowe;
- w tekście pracy pojawiają się błędy interpunkcyjne,
- brak powołań na poszczególne wzory, zależności;
- na str. 14 jest napisane: „W przypadku warstwy ścierealnej dopuszczone są mieszanki asfaltu lanego MA 5 (tylko w ścieku przykrawężnikowym), MA 8 i MA 11, SMA 11 i BBTM 11, natomiast mieszanki SMA 5, SMA 8 i BBTM 5 – jeżeli należy zadbać o obniżenie hałasu drogowego”. Błędnie określono rodzaj mieszanki – powinno być BBTM 8;
- w rozprawie asfalt naturalny opisany jest jako „Trynidad Epure” – powinno być „Trynidad Epuré”;
- na str. 28 jest napisane, że parametr  $N_{10}$  obliczano ze wzoru, w którym występuje parametr N (liczba przejść koleinomierza). Warto było w tym miejscu podać również wersję przekształconą wzoru (6), w którym po lewej stronie równania byłaby wartość N ( $N_{10}$ );
- na str. 31 jest napisane: „... oraz jego skład chemiczny (zawartość asfaltenów jak również proporcje między poszczególnymi składnikami asfaltu)...” – w tym miejscu powinno się raczej użyć zwrotu „... oraz udział poszczególnych składników grupowych...”;
- na str. 35 jest napisane: „Projekt mieszanki asfaltu lanego jest zdecydowanie odmienny od betonu asfaltowego lub mieszanki SMA, zarówno jeżeli chodzi o proporcje składników jak i sposób uzyskania odpowiedniej trwałości” – to stwierdzenie wymaga przerwania;
- na str. 40 jest napisane: „Po ujednorodnieniu próbek puszę z asfaltem...”;
- na str. 41 jest napisane: „Temperatura mięknięcia wykonano jest zgodnie z normą PN-EN 1427 [2016]...”;
- na str. 51 jest napisane: „• wyniki w porównywanych grupach powinny w skali ilościowej – to znaczy aby można było obliczyć średnią oraz odchylenie standardowe w każdej grupie.”;
- na str. 78 jest napisane: „Dodatek asfaltu naturalnego powoduje zwiększenie umownej wartości energii plastycznej”.

Część graficzna pracy jest estetyczna, rysunki wykonano ze starannością, w sposób czytelny i przejrzysty.



Przyjęta numeracja tabel i rysunków nie uwzględnia numeracji rozdziałów głównych (jest to numer kolejny), co przy obszerniejszych pracach ułatwiłoby ich szybką lokalizację w tekście.

### 3. 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. Na str. 17 przedstawiono dwie tezy pomocnicze. Pierwsza z nich brzmi: „Odporność na deformacje trwałe mieszanek asfaltu lanego z dodatkiem asfaltu naturalnego TE może być weryfikowana za pomocą zmodyfikowanego testu dynamicznego” – czy odporność na deformacje trwałe nie jest już weryfikowana za pomocą zmodyfikowanego testu dynamicznego (EN 12697-25, wytyczne niemieckie, austriackie)?
2. Jednym z elementów analizowanych w rozprawie jest skład mastyksu, a dokładnie stosunek w/l (wypełniacz/lepiszcze bez i z dodatkiem TE) i jego wpływ na parametry odpornościowe mieszanki asfaltu lanego. Z literatury wynika, że o parametrach wytrzymałościowych lepiszcza (i mastyksu) w głównej mierze decyduje skład grupowy lepiszcza. Bardzo twarde asfalty będą wykazywały wyższe wytrzymałości niż „miękkie” lepiszcza (w tym drogowe), nawet przy optymalnej zawartości frakcji wypełniaczowej. Decyduje o tym w głównej mierze udział „twardych” składników asfaltu – asfaltenów. Czy zdaniem doktoranta analiza w/l nie powinna być poszerzona o dodatkowy wskaźnik  $\frac{w+a}{s}$ , gdzie ( $w$  – zawartość wypełniacza mineralnego,  $a$  – zawartość asfaltenów (wypełniacz liofilny),  $s$  – zawartość środowiska, tj. żywic, węglowodorów aromatycznych i węglowodorów nasyconych) z uwzględnieniem składników grupowych i mineralnych dodatku w postaci asfaltu naturalnego TE. Ponadto, czy nie powinna być analizowana powierzchnia właściwa wypełniacza, która będzie decydowała o grubości błonki, a tym samym i poziomie strukturyzacji lepiszcza?
3. Bardzo ważnym składnikiem asfaltów lanych jest piasek. Ma on bardzo duże znaczenie w aspekcie urabialności mieszanki MA w trakcie jej wbudowywania, ale również wpływa na podatność na deformacje trwałe. Można w tym miejscu wspomnieć o problemach technologicznych z procesem wbudowywania asfaltów lanych po wprowadzeniu normy PN-S-96025:2000 i zmianami w zapisach odnośnie stosowania wyłącznie piasku łamanego do mieszanek na ruch KR3-KR6 (sytuacje ratowały zapisy w SST odnośnie możliwości stosowaniu piasków naturalnych i łamanych w stosunku 50:50). Zgodnie z informacjami zawartymi w artykule [4] do asfaltu lanego w zakresie kruszywa drobnego użyto mieszankę granodiorytową 0/4 mm. Czy zdaniem doktoranta uzyskane zależności między zawartością TE i penetracją będą obowiązywały również w przypadku mieszanek z piaskiem naturalnym?
4. Indeks penetracji IP asfaltu drogowego 35/50 oraz jego mieszanin z asfaltem TE wyznaczano na podstawie penetracji w 25°C i temperatury mięknięcia wg PiK. Ten sposób oznaczania IP zakłada stałą wartość penetracji asfaltu w temperaturze mięknięcia (800×0.1 mm). Czy to podejście jest właściwe przy badaniach mieszanin asfaltu drogowego z asfaltem naturalnym TE, szczególnie w przypadku występowania w jego składzie części mineralnych?
5. Na str. 70 (oraz w artykule [5]) przedstawiono zależność między odpornością na deformacje trwałe asfaltu lanego, lepkością zerowego ścinania i stosunkiem w/l. Charakter tej zależności w przypadku badań statycznych stemplem jest racjonalny (spadek penetracji wraz ze wzrostem w/l oraz lepkości zerowego ścinania). Nie do końca zrozumiały jest charakter zmian w przypadku badań dynamicznych. W wykresie (rys. 27) wynika, że wraz ze wzrostem lepkości ZSV deformacja zmniejsza się do osiągnięcia wartości minimalnej, po czym ponownie rośnie (mimo zmniejszającej się lepkości ZSV). Czym można wytłumaczyć tego rodzaju zachowanie?

6. Wyniki badań statycznych penetracji trzpieniem wskazują, że uzyskano wymagane wartości wyłącznie dla próbek asfaltu lanego z 20% dodatku TE (zgodnie z WT-2:2014). Czy zatem właściwie dobrano skład mieszanki asfaltu lanego, szczególnie w aspekcie zapisów normy PN-EN 13108-6, w której jest zapis, że badanie dynamiczne wykonywane powinno być, gdy zagłębienia trzpienia pod obciążeniem statycznym jest mniejsze niż 2.5 mm?
7. Na str. 71 jest napisane, że można również wskazać minimalną wartość ZSV lepiszcza, powyżej której mieszanka wytworzona na jego bazie będzie cechowała się odpowiednią trwałością. Uzyskane wyniki wskazują, że dotyczy to wyłącznie lepiszcza z dodatkiem TE. Czy zatem zapis odnośnie minimalnej wartości ZSV dotyczy również czystego asfaltu (bez dodatku TE), mając na uwadze, że w składzie dodatku są części mineralne (popiół), który dodatkowo usztywniają lepiszcze.
8. W rodz. 6.2 (str. 81) doktorant stwierdził, że metoda dynamiczna (badanie stemplem) wykazuje się większą czułością na zmiany w składzie mieszanki, zwłaszcza przy twardych mieszankach o penetracji statycznej poniżej 2 mm, skłaniając się ku jej rozpowszechnieniu w Polsce. To stwierdzenie nie zostało poparte wynikami badań przeprowadzonych w ramach rozprawy. Ponadto, czy zdaniem doktoranta większe znaczenie w uzyskiwanych wynikach badań ma sposób oddziaływania obciążenia w badaniu penetracji trzpieniem (dynamiczny, statyczny), czy też temperatura badania? Czy wzrost temperatury badania penetracji trzpieniem pod obciążeniem statycznym do 50°C lub 60°C nie skutkowałby podobnym zróżnicowaniem wyników?

Do uwag szczegółowych zaliczono:

1. Na str. 13 jest napisane: „Z uwagi na dużą sztywność pomostu odkształcenia i naprężenia w nawierzchni powstające od ruchu pojazdów są dużo większe niż w nawierzchni poza obiektem mostowym – na pomoście stalowym mogą dochodzić do 1000  $\mu\epsilon$ , podczas gdy w nawierzchni drogowej jest to około 100-200  $\mu\epsilon$  (Medani, Kolstein, Scarpas, Bosch i Molenaar, 2002; Radziszewski, Piłat, Sarnowski, Król i Kowalski, 2016)”. Czy duża sztywność płyty nie powinna być równoznaczna z jej mniejszymi ugięciami, a tym samym i mniejszymi odkształceniami rozciągającymi na spodzie warstw asfaltowych?
2. Na str. 20 doktorant przedstawił 3 etapy koleinowania, z czego dwa pierwsze są efektem głównie dogęszczenia mieszanki mineralno-asfaltowej. W trzeciej fazie przyrost koleiny jest efektem deformacji plastycznej. Co doktorant rozumie przez deformacje plastyczną w ujęciu fizycznym?
3. Na str. 21 doktorant odnosi się do zagadnień związanych z projektowaniem betonów asfaltowych i mieszanek SMA. Zwraca uwagę, że właściwości tych mieszanek w dużej mierze zależą od właściwości kruszywa. W dalszej części tego akapitu jest napisane: „...W przypadku rozróżnienia na kruszywo grube oraz drobne stwierdzono znacznie większy wpływ kanciastości kruszywa drobnego w porównaniu z kruszywem grubym (Golalipour, Jamshidi, Niazi, Afsharikia i Khadem, 2012).” Doktorant powinien w tym miejscu zaznaczyć, że dotyczy to betonów asfaltowych, nie mieszanek SMA, w których szkielet z grubych kruszyw ma decydujący wpływ na parametry użytkowe mieszanki.
4. Na rys. 4 przedstawiono strukturę betonu asfaltowego, opisując ją jako kontaktową. Ten rodzaj struktury przypisuje mieszankom o znacznie bardziej rozbudowanym szkielecie mineralnym (np. warstwom z podwójnego lub potrójnego powierzchniowego utrwalenia, mieszankom PA, BBTM czy SMA). Struktura betonów asfaltowych, ze względu na ciągłość uziarnienia i zawartość mastyksu, raczej nazywana jest strukturą typu betonowego (pośrednią między porfirową a kontaktową). Oczywiście, zależy to w dużej mierze od udziału frakcji grysowych w mieszance i ich rozkładu w jej objętości.

5. Na str. 22 (pierwszy akapit) jest napisane, że do czynników wpływających na odporność na deformacje asfaltów lanych można zaliczyć m.in. zawartość asfaltu oraz skład mieszanki mineralno-asfaltowej. Czy jednym z elementów składu mieszanki nie jest zawartość lepiszcza?
6. Na str. 22 jest napisane: „Jednocześnie następuje poprawa urabialności mieszanki dzięki uwolnieniu wody związanej w asfalcie naturalnym” – jakiego etapu technologicznego dotyczy poprawa urabialności mieszanki?
7. Na str. 23 jest napisane, że pod wpływem wysokiej temperatury następuje utwardzenie lepiszcza w wyniku niewielkiego starzenia. Co doktorant przez to rozumie?
8. Na str. 24 zamieszczono rysunek 6, opisany jako korelacja między temperaturą mięknięcia a głębokością koleiny (pozycja literatury). W opisie rysunku pojawia się stwierdzenie, że widoczny jest związek między temperaturą mięknięcia a głębokością koleiny oraz, że asfalty drogowe zachowują się odmiennie od asfaltów modyfikowanych polimerami. Czy rzeczywiście przedstawione wyniki badań (rys. 6) to uwidaczniają?
9. Na str. 24 doktorant powołując się na pozycję literatury napisał, że badacze przedstawili 20 rodzajów lepiszczy asfaltowych: 5 zwykłych asfaltów drogowych, 11 asfaltów o różnej twardości modyfikowanych polimerami lub elastomerami, dwa z dodatkami obniżającymi lepkość, jeden wielorodzajowy oraz jeden modyfikowany kwasem fosforowym. Co doktorant rozumie przez modyfikowanych polimerami i elastomerami. Czy elastomery nie stanowią jeden z rodzajów stosowanych polimerów do modyfikacji asfaltów? Ponadto, jeden z asfaltów z dodatkiem wosku był również modyfikowany elastomerem.
10. Na str. 25 jest napisane: „Jednakże po wykluczeniu ze zbioru asfaltów modyfikowanych polimerami współczynnik korelacji wzrasta do wartości  $R^2=0,95$ ”. Temu wykluczeniu podlegały również asfalty modyfikowane woskiem FT.
11. Na str. 28 jest napisane: „Uwzględniając w równaniu (7) dodatkowe zmienne takie jak indeks penetracji IP oraz penetrację w 25°C uzyskano znacznie lepsze dopasowanie modelu do uzyskanych wyników – współczynnik determinacji  $R^2$  wzrósł do wartości 0,9538”. We wzorze (7) brak IP oraz Pen. Powołując się na te zmienne warto przedstawić równanie z tymi dodatkowymi parametrami.
12. Na str. 32 jest napisane, że „mastyks asfaltowy w mieszance mineralno-asfaltowej przenosi naprężenia rozciągające, dlatego też zaprawa uboga w asfalt będzie zbyt sztywna i krucha. Przekłada się to na zwiększoną podatność na pękanie oraz powstanie deformacji...”. Wzrost sztywności i kruchości można powiązać z większą podatnością na pękanie. Z drugiej strony większa sztywność materiału kojarzy się z większą odpornością na deformacje trwałe, dlatego też ten fragment powinien zawierać uzasadnienie (fizyczne) wzrostu podatności na deformacje trwałe mastyksu w powiązaniu ze zbyt niską zawartością lepiszcza w jego składzie.
13. Na str. 38-39 jest napisane: „Ograniczone stosowanie polimeroasfaltów do mieszanki asfaltu lanego, a także chęć poprawy właściwości tego lepiszcza w zastosowaniu do nawierzchni mostowej było powodem wybrania tych dwóch lepiszczy do badań”. Jakie właściwości miał na myśli doktorant mówiąc o nawierzchni mostowej w odróżnieniu od nawierzchni na typowym korpusie drogowym?
14. Na str. 40 opisano sposób przygotowania próbek asfaltu drogowego 35/50 z udziałem asfaltu naturalnego TE w ilości 10 i 20%. Czy sprawdzano stabilność mieszanin (35/50 z udziałem TE) ze względu na występowanie części mineralnych w asfalcie TE?
15. Na str. 40 jest napisane, że do badań penetracji użyto 6 próbek, dla których uzyskano ważne wyniki badania. Co doktorant rozumie przez 6 próbek. Czy dotyczy to sześciu oznaczeń na jednej próbce, czy sześciu próbek, dla których wykonano po jednym oznaczeniu? Z czego wynikała ilość oznaczeń (6) i dotyczy to zarówno badania penetracji, temperatury mięknięcia, lepkości zerowego ścinania oraz penetracji trzpieniem w przypadku próbek asfaltu lanego? Podobnie – w przypadku badań mastyksu (badanie rozciągania) – z czego wynikała przyjęta ilość oznaczeń (9).

16. Na str. 44 jest napisane: „Próbki mastyksu przygotowano ogrzewając wypełniacz przez 3 godziny w suszarce w temperaturze 180°C, a lepiszcze asfaltowe przez 1 godzinę.” W jakiej temperaturze ogrzewano lepiszcze?
17. Na str. 45 jest napisane, że ilość dodanej mączki wapiennej była pomniejszona o cząstki mineralne pochodzące z asfaltu naturalnego. Czy dodawano mączkę wapienną, czy frakcję wypełniaczową tej mączki (<0.063 mm)? W załączonych tekstach (autoreferat, artykuły) brak informacji na temat zawartości części mineralnych w asfalcie TE (w artykule „Wpływ składu i właściwości mastyksu z asfaltem naturalnym na odporność asfaltu lanego na deformacje trwałe” jest zapis, że nie badano tej cechy).
18. Na str. 55 w tab. 4 przedstawiono wyniki badań asfaltu 35/50 i jego mieszanin z asfaltem TE. Pewne zastrzeżenia można mieć do wyznaczonych wartości IP, np. dla asfaltu 35/50 z dodatkiem 30% TE wartość indeksu wyniosła  $-0.40 \pm 0.11$ . Z obliczeń wielkość ta powinna być równa  $-0.37$  (bądź  $-0.38$ ), w zależności od użytego wzoru.
19. Na str. 55 użyto wyrażenia „proporcjonalne” w odniesieniu do spadku penetracji oraz wzrostu temperatury mięknienia asfaltu 35/50 ze zróżnicowaną zawartości dodatku TE. Czy to określenie właściwie opisuje zachodzące zmiany (różnice w przyroście temperatury i spadku penetracji znacząco się różnią).
20. Na str. 56 jest napisane, że wartości ZSV otrzymane w teście oscylacyjnym są nieco wyższe niż te otrzymane w teście pełzania. Jakiego rzędu są to różnice? Z wykresów na rys. 10-11 i rys. 13-14 (artykuł nr 2) te różnice wydają się znikome.
21. Na str. 59 jest napisane w odniesieniu do przeprowadzonego post hoc testu Tukeya, że różnica występuje tylko dla 50% dodatku w porównaniu z pozostałymi zawartościami oraz dla ilości dodatku 40% w porównaniu z czystym asfaltem. Z tab. 10 wynika, że w przypadku 50% udziału dodatku TE różnice dotyczą asfaltu 35/50 bez dodatku i z jego udziałem w ilości 10 i 20%. Nie dotyczą natomiast 30 i 40% udziału TE.
22. Na str. 60 jest napisane, że podczas wytwarzania MMA i jej wbudowywania zachodzą procesy starzeniowe na skutek odparowania części lekkich i przyspieszonego utleniania. Czy zdaniem doktoranta absorpcja lepiszcza przez kruszywo może wpływać również na procesy starzeniowe?
23. Na str. 61 jest napisane: „W teście oscylacyjnym uzyskane wartości wskaźnika starzenia (AI) i lepkościowego wskaźnika starzenia (VAI) są wyższe niż w przypadku testu pełzania (rys. 24)”. Czy ten zapis dotyczy również asfaltu 35/50 z dodatkiem 20% TE?
24. Na str. 61 jest napisane, że analizowano wskaźniki starzenia (RP, SPI, CAIU, PAI, ZSV) w kontekście odporności na deformacje trwałe. To stwierdzenia nie powinno być umieszczane w tym miejscu, ponieważ nie przedstawiono na tym etapie wyników badań odporności na deformacje trwałe.
25. Na str. 63 (oraz w artykule [4]) napisano, że wybór proporcji składników mastyksu podyktowany był dostosowaniem się do wymagań WT-2:2014 odnośnie zawartości lepiszcza asfaltowego. Powołanie się na dokument WT-2 określa ograniczenie od góry ( $w/l = 4$ ), z czego wynikało ograniczenie od dołu ( $w/l = 3.2$ )?
26. Na str. 46 jest napisane, że badanie penetracji metodą dynamiczną zgodnie z PN-EN 13108-6 jest zalecane dla asfaltów lanych o uziarnieniu do 11 mm, gdy zagłębienie trzpienia pod obciążeniem statycznym jest mniejsze niż 2.5 mm. Uzyskane wyniki badań statycznych (artykuł [5]) wskazują, że uzyskano tylko dwa takie wyniki.

27. Na str. 77 jest napisane, że obniżenie penetracji asfaltu poniżej  $15 \times 0.1$  mm może skutkować spękaniem niskotemperaturowymi asfaltu lanoego. Czy penetracja powyżej  $15 \times 0.1$  mm gwarantuje odporność na spęknięcia niskotemperaturowe?

## 28. Ocena końcowa

Przedstawioną do recenzji pracę, mimo dość licznych uwag głównie dyskusyjnych, oceniam wysoko. 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, pracowitością i innowacyjnością oraz precyzją w zapewnieniu wiarygodności badań i opracowaniu ich wyników. 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 szczegółową analizą i testami statystycznymi. Cele rozprawy, do których doktorant zaliczył zbadanie wpływu asfaltu naturalnego TE na zwiększenie odporności na deformacje trwałe asfaltów lanych wraz z określeniem jego optymalnej zawartości w badaniach reologicznych lepiscza oraz opracowanie zależności między ilością dodatku TE a odpornością na deformacje trwałe mieszanek MA, można uznać za zrealizowane.

Oceniana rozprawa wnosi istotny wkład w rozwój dyscypliny inżynieria lądowa, geodezja i transport, a dokładnie technologii nawierzchni drogowych w zakresie problematyki projektowania mieszanek MA uwzględniającej ocenę odporności na deformacje trwałe asfaltów lanych modyfikowanych dodatkiem TE, w oparciu o badania laboratoryjne, poparte analizami statystycznymi. Może się to przyczynić do poprawy trwałości warstw nawierzchni z asfaltów lanych i obniżenia kosztów utrzymania dróg, szczególnie ciągu obiektów mostowych, na których ten rodzaj mieszanki jest powszechnie stosowany.

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

- optymalizację zawartości dodatku TE w badaniach reologicznych lepiscza (lepkość zerowego ścinania ZSV) i szacowanie na ich podstawie odporności na deformacje trwałe mieszanek MA,
- wykazanie wpływu składu mastyksu na odporność na deformacje asfaltów lanych na podstawie umownej energii plastyczności oznaczonej w badaniu ciągliwości z pomiarem siły w duktylometrze,
- prognozowanie odporności asfaltów lanych na deformacje trwałe na podstawie zawartości dodatku TE oraz składu mastyksu.

W związku z powyższym uważam, że praca doktorska Pana mgr inż. Krzysztofa Kołodzieja 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.

