


Dr hab. inż. Mariusz Wesółowski, prof. WITPiS
Wojskowy Instytut Techniki Pancernej i Samochodowej
ul. Okuniewska 1
05-070 Sulejówek

Sulejówek, 05.05.2026 r.

wpłynęło dnia:
2026 -05- 07
Data
Podpis 

RECENZJA

pracy doktorskiej mgr. inż. Marcina Podsiadło

pt.: „Zastosowanie asfaltu modyfikowanego odpadowymi tworzywami sztucznymi do mieszanki mastyksowo-grysowej”

1. Podstawa opracowania

Podstawę opracowania recenzji stanowiło pismo Dyrektora Naukowego Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Świętokrzyskiej dr. hab. inż. Przemysława Buczyńskiego, prof. Politechniki Świętokrzyskiej nr BAA/D/16/2026 z dnia 6 marca 2026 r. Recenzję przygotowano uwzględniając zapisy Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz.U. z 2024 r. poz. 1571).

2. Ogólna charakterystyka i ocena układu pracy

Recenzowana praca doktorska została przygotowana pod kierunkiem promotora dr. hab. inż. Grzegorza Mazurka, prof. Politechniki Świętokrzyskiej oraz promotora pomocniczego dr. hab. inż. Przemysława Buczyńskiego, prof. Politechniki Świętokrzyskiej. Rozprawa została przedstawiona na 251 stronach i podzielona na 9 rozdziałów poprzedzonych spisem ważniejszych skrótów i oznaczeń, streszczeniem w języku polskim i angielskim, spisem treści, a zakończona literaturą liczącą 227 pozycji oraz wykazem rysunków i wykazem tabel.

W rozdziale 1 (*Wstęp*) Doktorant przedstawił krótkie wprowadzenie do tematyki rozprawy, w którym zwrócił uwagę, że produkcja dużej ilości tworzyw sztucznych skłoniła badaczy do rozważenia możliwości ich wykorzystania do poprawy właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych. Analizując zakres i wyniki przeprowadzonych dotychczas badań stwierdził, że zastosowanie odpadowych materiałów polimerowych do modyfikacji asfaltów drogowych może przynieść wymierne korzyści w aspekcie właściwości reologicznych asfaltów oraz właściwości fizyko-mechanicznych mieszanek mineralno-asfaltowych.

W rozdziale 2 (*Teza, cel i zakres rozprawy*) Autor dysertacji zidentyfikował problem badawczy, którym było określenie sposobu modyfikacji mieszanki mineralno-asfaltowej za pomocą polimerowego materiału odpadowego, co umożliwi uzyskanie korzystnych właściwości asfaltu oraz mieszanki mineralno-asfaltowej (MMA) w aspekcie jej odporności na działanie czynników klimatycznych i obciążenia spowodowane ruchem pojazdów. Celem podjętych przez niego badań było przeprowadzenie złożonego procesu optymalizacji wielokryterialnej, dzięki któremu określono optymalne parametry procesu modyfikacji asfaltu

polimerem odpadowym, pozwalające na uzyskanie zadowalających rezultatów w aspekcie właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej. Na potrzeby rozwiązania wskazanego problemu badawczego, Doktorant sformułował cel, zakres i trzy tezy rozprawy doktorskiej.

W rozdziale 3 (*Przegląd stanu wiedzy. Wybór modyfikatora i metody modyfikacji*) Autor dysertacji dokonał przeglądu aktualnych doświadczeń i rozwiązań z zakresu modyfikacji mieszanek mineralno-asfaltowych za pomocą polimerowych materiałów odpadowych. Doktorant szczegółowo omówił cele stosowania dodatków i modyfikatorów asfaltu. Na podstawie analizy literatury stwierdził, że największe korzyści przynieść może modyfikacja mieszanek mineralno-asfaltowych polimerami, w tym celu przedstawił metody modyfikacji mieszanek mineralno-asfaltowych polimerami, a także systematykę polimerów. Ponadto, scharakteryzował proces produkcji i recyklingu polimerów syntetycznych w Polsce i Unii Europejskiej ze względu na występujący problem zagospodarowania odpadowych tworzyw sztucznych. Następnie zaprezentował przykłady zastosowania polimerów w mieszankach mineralno-asfaltowych. Opisał zwięźle powody zastosowania polimerów do modyfikacji mieszanek mineralno-asfaltowych. Autor dysertacji przedstawił również krótki rys historyczny dotyczący modyfikacji asfaltów polimerami, wpływ najczęściej stosowanego w drogownictwie elastomeru styren-butadien-styren (SBS) na właściwości asfaltu oraz opisał próby wykorzystania do modyfikacji właściwości asfaltów i mieszanek mineralno-asfaltowych trzech najczęściej wytwarzanych polimerów odpadowych. Doktorant zakończył rozdział podsumowaniem, w którym na podstawie dokonanego przeglądu literatury, uzasadnił wybór wykorzystanych w części badawczej polimerów i metody modyfikacji mieszanki mineralno-asfaltowej.

W rozdziale 4 (*Metodyka badawcza*) Autor dysertacji przedstawił opis planu pracy oraz wykorzystanych metod badawczych. Opisał badania dotyczące zarówno asfaltów, jak i mieszanek mineralno-asfaltowych oraz przedstawił odniesienia do odpowiednich norm i standardów badawczych.

W rozdziale 5 (*Wybrane narzędzia i metody statystyczne*) Doktorant omówił wybrane narzędzia i metody statystyczne zastosowane w rozprawie. Przedstawił miary statystyczne, które posłużyły do opisu wyników badań. Zaprezentował dwa plany eksperymentu wykorzystane w części badawczej: eliminacyjny plan Placketta-Burmana oraz plan centralny, kompozycyjny zmodyfikowany za pomocą algorytmu „G-optymalne”. Autor dysertacji opisał również analizę wariancji, która umożliwiła ocenę istotności wpływu zmiennych na analizowane obiekty testowe, a także testy post hoc, dzięki którym określił występowanie różnic istotnych statystycznie pomiędzy grupami.

W najobszerniejszym rozdziale 6 (*Selekcja parametrów wejściowych procesu modyfikacji asfaltu polimerem odpadowym*), Doktorant szczegółowo przedstawił zakres badań wykonanych pod kontrolą planu eliminacyjnego Placketta-Burmana. Przeprowadził analizę uzyskanych wyników przy pomocy narzędzi statystycznych oraz dokonał oceny wpływu poszczególnych efektów głównych na właściwości asfaltów modyfikowanych odpadowymi materiałami polimerowymi. Autor dysertacji zakończył rozdział podsumowaniem, w którym sformułował wnioski dotyczące parametrów procesu modyfikacji asfaltu wymaganych dla kolejnego, bardziej rozbudowanego planu eksperymentu.

W rozdziale 7 (*Optymalizacja procesu modyfikacji asfaltu polimerem odpadowym*), Doktorant szczegółowo przedstawił część badawczą, w której na podstawie wcześniej przeprowadzonych analiz możliwe było ograniczenie liczby zmiennych niezależnych ujętych w drugim planie eksperymentu. Wykonane badania i analizy pozwoliły Autorowi dysertacji na określenie parametrów procesu modyfikacji uznanych za optymalne w aspekcie wybranych

właściwości asfaltu modyfikowanego polimerem odpadowym, w ramach ustalonych ograniczeń.

W rozdziale 8 (*Weryfikacja wpływu asfaltu modyfikowanego polimerem odpadowym na właściwości mieszanki mastyksowo-grysowej*), Doktorant zweryfikował wpływ asfaltu modyfikowanego polimerem odpadowym na właściwości mieszanki mastyksowo-grysowej. Wprowadził korekty umożliwiające uzyskanie pożądanych właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej, których korzystny wpływ potwierdził wynikami badań bloku podstawowego i zaawansowanego. Autor dysertacji dokonał również oceny mieszanki mineralno-asfaltowej zawierającej asfalt modyfikowany polimerem odpadowym zgodnie z wymaganiami zawartymi w WT-2 2014, a także zakończył rozdział krótkim podsumowaniem.

W rozdziale 9 (*Wnioski*) Doktorant w zwartej formie podsumował uzyskane wyniki z przeprowadzonych badań i analiz, na podstawie których sformułował wnioski ogólne oraz szczegółowe. Ponadto, przedstawił w nim kierunki dalszych badań i prac badawczych. Zakończenie rozprawy stanowi baza bibliograficzna wykorzystana w niniejszej rozprawie, a także spis rysunków oraz tablic.

Bibliografia obejmuje liczny zbiór 227 pozycji literaturowych, z których znaczna część jest opracowana w języku angielskim. Z analizy pozycji przedstawionych w wykazie literatury wynika, że Doktorant jest współautorem trzech prac w języku angielskim cytowanych w rozprawie. Mając powyższe na uwadze, a także wykonany przegląd stanu wiedzy w rozdziale 3 stwierdzam, że Autor dysertacji dokładnie zapoznał się z większością dostępnych pozycji literatury z zakresu tematyki pracy doktorskiej i wykazał się dobrą znajomością omawianych zagadnień.

Podsumowując uważam, że układ przedstawionej do oceny rozprawy doktorskiej jest poprawny. Stanowi ona cenne opracowanie naukowe obejmujące postawione cele, wyniki badań, ich analizę i podsumowanie. Kolejność prezentowanych treści nie budzi zastrzeżeń, a objętość rozdziałów jest odpowiednia w stosunku do wagi poruszanych problemów.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

3.1. Tytuł rozprawy i aktualność tematu

Tytuł rozprawy został dobrany adekwatnie i odpowiada treściom zaprezentowanym w rozdziałach pracy. Wszystkie zastosowane narzędzia i metody badawcze oraz analityczne skutecznie i konsekwentnie pozwoliły Autorowi na osiągnięcie założonych celów i weryfikację tez pracy.

Tematyka pracy doktorskiej jest bardzo aktualna i odnosi się do dostrzeganego na całym świecie problemu zagospodarowania odpadów pochodzących z tworzyw sztucznych. Zrównoważona gospodarka odpadami Unii Europejskiej promuje recykling materiałów w celu osiągnięcia neutralności klimatycznej. Oceniana praca stanowi próbę zmniejszenia rangi tego problemu poprzez wykorzystanie odpadowych tworzyw sztucznych do budowy trwałych i ekologicznych dróg. Większość odpadów tworzyw sztucznych, zarówno w Polsce, jak i Unii Europejskiej, nie zostaje jednak poddawana ponownemu przetwarzaniu, lecz jest składowana lub spalana. Jednymi z najczęściej wytwarzanych polimerów odpadowych są polimery takie jak politereftalan etylenu (PET) i polipropylen (PP), dlatego zostały wybrane przez Doktoranta do modyfikacji właściwości asfaltu. Modyfikacja asfaltu za pomocą tworzyw sztucznych może wywołać pewne problemy. Jednym z nich może być problem z rozproszeniem polimeru w matrycy asfaltowej. W związku z tym, konieczne jest takie dobranie parametrów technologicznych podczas produkcji asfaltów modyfikowanych, aby zapewnić maksymalne korzyści ze stosowania tworzyw sztucznych przy jednoczesnej minimalizacji ewentualnych niepożądanych efektów modyfikacji asfaltu.

3.2. Plan oraz zakres wykonanych badań i ich analiz

W celu rozwiązania zidentyfikowanego problemu badawczego, Autor dysertacji opracował szczegółowy plan oraz zakres niezbędnych do wykonania prac, badań i analiz, co przedstawił odpowiednio w rozdziałach: 4, 6, 7 i 8 rozprawy. Stworzony, wieloetapowy plan pracy przedstawił na Rys. 4.1. Celem badań było przeprowadzenie optymalizacji procesu modyfikacji asfaltu polimerem odpadowym, co końcowo miało pozwolić na uzyskanie zadowalających rezultatów modyfikacji w aspekcie właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej. Duża ilość zmiennych niezależnych procesu modyfikacji asfaltu polimerem odpadowym implikowałaby dużą liczbę kombinacji planu eksperymentu.

Doktorant w pierwszym kroku dokonał przeglądu literatury, którego głównym celem był wybór polimerów użytych do modyfikacji właściwości asfaltu. Część eksperymentalną podzielił na trzy etapy. Etap nr 1 dotyczył doświadczeń wykonanych zgodnie z planem eksperymentu Placketta-Burmana, który był pierwszym planem eksperymentu wykorzystanym w ocenianej pracy. Celem jego implementacji była eliminacja nieistotnych czynników procesu modyfikacji asfaltu. Na podstawie analizy prac innych badaczy, jak również doświadczeń własnych dokonał doboru zmiennych niezależnych wykorzystanych w planie eksperymentu. Wybrane asfalty drogowe poddał modyfikacji przy użyciu polimerów odpadowych zgodnie z planem eksperymentu Placketta-Burmana. Następnie Autor dysertacji określił właściwości asfaltów modyfikowanych polimerami odpadowymi, takie jak: temperatura mięknienia, penetracja, temperatura łamliwości wg Fraassa, indeks penetracji, kohezja, lepkość dynamiczna w czterech temperaturach (70°C, 90°C, 135°C, 150°C), nieodwracalna część modułu podatności i procentowy nawrót w badaniu MSCR w czterech temperaturach (50°C, 60°C, 70°C, 80°C) oraz ocena mikrostruktury asfaltu. Uzyskane wyniki badań wykorzystał w kolejnym etapie do efektywniejszego modelowania w drugim, bardziej zaawansowanym planie eksperymentu. Optymalne wartości zmiennych, tj. czas mieszania (180 min), rodzaj asfaltu (70/100) i rodzaj polimeru (PP) Doktorant przedstawił w Tab. 6.25, a następnie wykorzystał w drugim, bardziej złożonym planie eksperymentu jako stałe parametry procesu modyfikacji asfaltu polimerem odpadowym. Parametry procesu modyfikacji asfaltu polimerem odpadowym, takie jak: prędkość mieszania, temperatura mieszania i zawartość polimeru zostały uwzględnione jako zmienne niezależne w drugim planie eksperymentu, w którym przewidziano także wykorzystanie kompatybilizatora. Wykorzystanie profili użyteczności w celu wyznaczenia optymalnych wartości parametrów procesu modyfikacji asfaltu ujawniło większą efektywność cząstek polimeru o mniejszych rozmiarach. Ponadto, użycie polimeru o mniejszej wielkości cząstek powinno ułatwić proces homogenizacji i korzystnie wpłynąć na jednorodność asfaltu, w związku z czym Autor dysertacji podjął decyzję eliminacji większych cząstek polimeru z procesu modyfikacji asfaltu w drugim planie eksperymentu. Zmniejszenie liczby zmiennych umożliwiło efektywniejsze modelowanie w drugim planie eksperymentu, a także ograniczyło obszar poszukiwań rozwiązań optymalnych.

Etap nr 2 części eksperymentalnej podporządkowany był drugiemu planowi eksperymentu, który był planem centralnym, kompozycyjnym, optymalizowanym za pomocą algorytmu „G-optymalne”. Doktorant uwzględnił w nim wpływ czterech zmiennych, tj.: temperaturę mieszania, prędkość mieszania, zawartość polimeru i zawartość kompatybilizatora na właściwości asfaltu modyfikowanego polimerem odpadowym. Drugi plan eksperymentu zawierał piętnaście kombinacji zmiennych, gdzie jedna z kombinacji była powtórzeniem dla punktu quasi-centralnego. Plan eksperymentu zawierający zmienne niezależne w postaci rzeczywistej przedstawił w Tab. 7.2. Asfalt zmodyfikował polimerem odpadowym zgodnie z drugim planem eksperymentu, a następnie wykonał badania powstałych w wyniku realizacji drugiego planu eksperymentu asfaltów modyfikowanych polimerem odpadowym. Na ich podstawie Autor dysertacji określił właściwości podstawowe, reologiczne i niskotemperaturowe asfaltów modyfikowanych polimerem odpadowym, takie jak:

temperatura mięknięcia, penetracja, temperatura łamliwości wg Fraassa, nawrót sprężysty, nieodwracalna część modułu podatności i procentowy nawrót w badaniu MSCR w czterech temperaturach (50°C, 60°C, 70°C, 80°C) oraz sztywność pełzania przy zginaniu przy użyciu reometru zginanej belki BBR. Wyniki wykonanych badań właściwości asfaltów wskazują, że asfalt 70/100 zmodyfikowany polimerem odpadowym PP może stanowić alternatywę dla tradycyjnie stosowanych asfaltów modyfikowanych polimerami (PMB). Uzyskane wyniki badań w trakcie realizacji drugiego planu eksperymentu Doktorant wykorzystał do wykonania optymalizacji parametrów procesu modyfikacji asfaltu polimerem odpadowym. Asfalt zmodyfikowany w warunkach procesu modyfikacji uznanych za optymalne, wykorzystał w kolejnym etapie pracy, którym była weryfikacja wpływu asfaltu modyfikowanego polimerem odpadowym na właściwości mieszanki mastyksowo-grysowej. Należy podkreślić, że rezultaty wykonanych przez niego badań asfaltów modyfikowanych polimerem odpadowym umożliwiły weryfikację **tezy nr 1** niniejszej rozprawy, zgodnie z którą „*Zastosowanie odpadowych tworzyw sztucznych pozwoli na uzyskanie ekwiwalentnego lepiscza w stosunku do tradycyjnie stosowanych asfaltów modyfikowanych polimerem*”. Wykonana przez Autora Dysertacji wielokryterialna optymalizacja parametrów procesu modyfikacji umożliwiła maksymalizację korzyści wynikających z modyfikacji asfaltu polimerem odpadowym w ramach określonych ograniczeń.

Etap nr 3 części eksperymentalnej dotyczył weryfikacji wpływu asfaltu modyfikowanego polimerem odpadowym na właściwości mieszanki mastyksowo-grysowej. Badania spełnienia wymagań WT-2 2014 przez mieszankę mineralno-asfaltową zawierającą asfalt modyfikowany polimerem odpadowym, Doktorant określił w rozprawie jako badania podstawowe. Spełnienie tych wymagań było kluczowe do przejścia do kolejnego etapu badań, tj. badań bloku zaawansowanego, który obejmował: odporność na spękania niskotemperaturowe, propagację pęknięcia w badaniu zginania próbki półwałcowej, dynamiczny moduł sztywności metodami IT-CY oraz 4PB-PR, badanie jednoosiowego ściskania ze skrępowaniem bocznym metodą A1, odporność na zmęczenie w schemacie obciążenia 4PB-PR oraz odporność na pękanie niskotemperaturowe metodą TSRST. Wykonane przez Autora dysertacji badania zaawansowane pozwoliły na porównanie właściwości mieszanki SMA z asfaltem modyfikowanym polimerem odpadowym i referencyjnej, w tym również w zakresie opisanym w **tezach nr 2 i 3** niniejszej rozprawy. Zgodnie z tezą nr 2 niniejszej rozprawy „*Asfalt modyfikowany polimerem odpadowym nie spowoduje spadku odporności na czynniki klimatyczne w mieszance mastyksowo-grysowej*”. Natomiast zgodnie z tezą nr 3 niniejszej rozprawy „*Zastosowanie asfaltu modyfikowanego polimerem do mieszanki mastyksowo-grysowej nie spowoduje spadku trwałości zmęczeniowej oraz nie obniży jej odporności na pękanie*”. Niższa odporność na czynniki klimatyczne, niższa trwałość zmęczeniowa lub niższa odporność na pękanie mieszanki SMA zawierającej asfalt modyfikowany polimerem odpadowym w porównaniu z mieszanką referencyjną byłyby zatem podstawą do odrzucenia tez nr 2 i 3 niniejszej rozprawy. Sytuacja, w której tezy nr 2 i 3 zostałyby odrzucone (lub jedna z nich), również została uwzględniona w planie pracy poprzez stworzenie (drugiej) pętli decyzyjnej i powrót do kroku, w którym należy wykonać korektę parametrów procesu modyfikacji asfaltu polimerem odpadowym lub korektę składu asfaltu modyfikowanego polimerem odpadowym. Natomiast brak odrzucenia tez nr 2 i 3, a tym samym ich potwierdzenie, było jednoznaczne z zakończeniem części badawczej niniejszej pracy. Dodatkowo, Doktorant przygotował i poddał badaniom bloku podstawowego i zaawansowanego mieszankę SMA 8 S KR3-4 zawierającą asfalt PMB 45/80-55, który reprezentuje grupę asfaltów o podwyższonych właściwościach użytkowych dzięki zastosowaniu elastomeru SBS. Celem produkcji i określenia właściwości tej mieszanki było umożliwienie oceny potencjału zastosowania asfaltu modyfikowanego polimerem odpadowym na tle dostępnych komercyjnie asfaltów modyfikowanych elastomerami.

Wykonane przez Autora dysertacji badania bloku podstawowego wskazują, że możliwe jest spełnienie wymagań stawianych przez WT-2 2014 dla mieszanek SMA 8 S KR3-4 przez MMA zawierające w składzie asfalt modyfikowany polimerem odpadowym. Modyfikacja asfaltu polimerem odpadowym może jednak zwiększać lepkość dynamiczną asfaltu. W związku z tym, konieczne może być zagęszczanie mieszanki mineralno-asfaltowej zawierającej asfalt modyfikowany polimerem odpadowym w wyższej temperaturze niż temperatury stosowane do zagęszczania mieszanek mineralno-asfaltowych z asfaltami drogowymi i PMB. Niemniej jednak istnieje możliwość takiego doboru parametrów modyfikacji asfaltu polimerem odpadowym, aby temperatura zagęszczania nie była znacznie wyższa od temperatur zagęszczania przedstawionych w WT-2 2014, co mogłoby niekorzystnie wpływać na właściwości MMA. Przy zastosowaniu odpowiedniej temperatury zagęszczania, pozwalającej na uzyskanie zawartości wolnych przestrzeni zgodnej z wymogami WT-2 2014, możliwe jest spełnienie pozostałych wymagań WT-2 2014 dla SMA 8 S KR3-4 przez mieszankę mineralno-asfaltową zawierającą asfalt modyfikowany polimerem odpadowym. Ponadto, wprowadzone przez Doktoranta korekty procesu modyfikacji jak i składu asfaltu modyfikowanego polimerem odpadowym przyczyniły się do uzyskania pożądanych właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej, nie mniej korzystnych niż dla mieszanki referencyjnej zawierającej asfalt drogowy 50/70, co potwierdziły wyniki badań bloku podstawowego i zaawansowanego.

Reasumując, tak przyjętą koncepcję pracy, opracowany i zrealizowany obszerny plan badań oraz wykonane analizy oceniam pozytywnie, gdyż doprowadziło to skutecznie do osiągnięcia założonego celu badawczego rozprawy doktorskiej.

3.3. Teza, cel i zakres pracy

Autor dysertacji sformułował trzy następujące tezy pracy:

1. Zastosowanie odpadowych tworzyw sztucznych pozwoli na uzyskanie ekwiwalentnego lepiscza w stosunku do tradycyjnie stosowanych asfaltów modyfikowanych polimerem.
2. Asfalt modyfikowany polimerem odpadowym nie spowoduje spadku odporności na czynniki klimatyczne w mieszance mastykowo-grysowej.
3. Zastosowanie asfaltu modyfikowanego polimerem odpadowym do mieszanki mastykowo-grysowej nie spowoduje spadku trwałości zmęczeniowej oraz nie obniży jej odporności na pękanie.

Tak podany zapis tez pracy można uznać za właściwy z punktu widzenia treści zawartych w rozprawie doktorskiej. Ich słuszność została udowodniona w pracy poprzez poprawnie zaprojektowany plan oraz zakres badań. Dla sprawdzenia przyjętych tez Doktorant sformułował cel badawczy, którym było przeprowadzenie złożonego procesu optymalizacji wielokryterialnej, dzięki któremu określono optymalne parametry procesu modyfikacji asfaltu polimerem odpadowym, pozwalające na uzyskanie zadowalających rezultatów w aspekcie właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej. W celu zrealizowania postawionego celu badawczego, Autor dysertacji sprecyzował następujący zakres rozprawy doktorskiej, który obejmował:

- wprowadzenie do tematyki pracy i opis przeprowadzonych działań w celu rozwiązania problemu badawczego,
- sformułowanie tez, celu i zakresu pracy,
- studium literatury krajowej i zagranicznej dotyczące przeglądu stanu wiedzy,
- opis planu pracy oraz wykorzystanych metod badawczych,

- omówienie wybranych narzędzi i metod statystycznych zastosowanych w pracy,
- przeprowadzenie badań wykonanych pod kontrolą planu eliminacyjnego Placketta-Burmana,
- realizację części badawczej, w której na podstawie wcześniej przeprowadzonych analiz możliwe było ograniczenie liczby zmiennych niezależnych ujętych w drugim planie eksperymentu,
- weryfikację wpływu asfaltu modyfikowanego polimerem odpadowym na właściwości mieszanki mastyksowo-grysowej i wprowadzenie stosownej korekty w celu uzyskania pożądanych właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej,
- wnioski z przeprowadzonych badań i analiz oraz kierunki dalszych badań.

Przedstawione wyniki badań i przeprowadzone analizy pozwalają stwierdzić, że Doktorant udowodnił postawione tezy pracy, a założony cel badawczy został przez niego osiągnięty.

3.4. Najważniejsze osiągnięcia naukowe i ocena kierunków dalszych badań

Do najważniejszych osiągnięć Doktoranta z naukowego punktu widzenia zrealizowanej rozprawy doktorskiej, należy zaliczyć:

- zoptymalizowanie parametrów procesu modyfikacji asfaltu polimerem odpadowym, dzięki którym możliwe jest uzyskanie lepizsca o korzystniejszych właściwościach od asfaltu bazowego, a także lepizsca ekwiwalentnego w stosunku do tradycyjnie stosowanych asfaltów modyfikowanych polimerami;
- uzyskanie właściwości klimatycznych i reologicznych mieszanki mineralno-asfaltowej modyfikowanej polimerem odpadowym nie mniej korzystnych niż dla mieszanki mineralno-asfaltowej referencyjnej zawierającej asfalt drogowy poprzez odpowiednie dobranie składu i parametrów procesu modyfikacji asfaltu;
- odpowiednie dobranie składu i parametrów procesu modyfikacji asfaltu, umożliwiające uzyskanie korzystniejszych właściwości mechanicznych mieszanki mineralno-asfaltowej modyfikowanej polimerem odpadowym w porównaniu z mieszanką mineralno-asfaltową referencyjną zawierającą asfalt drogowy.

Należy podkreślić, że parametry procesu modyfikacji mają istotny wpływ na właściwości asfaltu modyfikowanego polimerem odpadowym.

Wyżej wymienione dokonania Autora dysertacji stanowią istotny wkład w obszarze zastosowania odpadowych polimerów do modyfikacji właściwości asfaltów i mieszanek mineralno-asfaltowych oraz wykorzystania ich do budowy trwałych i ekologicznych konstrukcji nawierzchni drogowych, co tym samym jest wartością dodaną w zakresie dyscypliny inżynieria lądowa, geodezja i transport.

Zrealizowana przez Doktoranta praca badawczo – analityczna potwierdziła, że:

- mieszanka mineralno-asfaltowa zawierająca w składzie asfalt modyfikowany polimerem odpadowym może wykazywać zwiększoną zawartość wolnych przestrzeni w porównaniu z mieszanką referencyjną zawierającą asfalt drogowy, co wynika z możliwego wzrostu lepkości dynamicznej asfaltu po modyfikacji polimerem odpadowym;
- mieszanka mineralno-asfaltowa zawierająca w składzie asfalt modyfikowany polimerem odpadowym może spełniać wymagania WT-2 2014 dotyczące odporności na deformację trwałe pomimo niespełnienia warunku dotyczącego maksymalnej zawartości wolnych przestrzeni;
- spełnienie wymagań WT-2 2014 przez mieszanki zawierające w składzie asfalt modyfikowane polimerami odpadowymi (odpowiednio O2 i O3 w rozprawie

doktorskiej), potwierdza efektywność modyfikacji asfaltu drogowego 70/100 polimerem odpadowym PP.

Doktorant wskazał również kierunki dalszych badań, które będą dotyczyć:

- określenia wpływu innych polimerów odpadowych i/lub metod modyfikacji na właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych;
- oceny właściwości konstrukcji nawierzchni drogowej zawierającej w pakiecie warstw asfaltowych mieszankę mineralno-asfaltową z asfaltem modyfikowanym polimerami odpadowymi;
- określenia sposobu wstępnej obróbki fizycznej i chemicznej polipropylenu w celu poprawy kompatybilności układu asfalt-polimer.

3.5. Uwagi szczegółowe

3.5.1. Uwagi redakcyjne

Strukturę pracy należy uznać za właściwą. Praca została zredagowana poprawnie, napisana językiem technicznym, z niewielką liczbą uwag edytorskich i językowych. Błędy redakcyjne miały znikomy wpływ na ogólny ogląd pracy. Kilka z nich podano poniżej:

- str. 7, w spisie ważniejszych skrótów i oznaczeń – brakuje wszystkich używanych w rozprawie skrótów, np. TSRST – Thermal Stress Restraint Specimen Test;
- str. 20, w podrozdziale 3.3. Rodzaje polimerów, w piątym wierszu – zapis: „masy malowej” jest niepoprawny i powinien mieć formę: „masy molowej”;
- str. 33, w podrozdziale 3.5. Przykłady zastosowania polimerów w mieszankach mineralno-asfaltowych, w drugim wierszu od dołu strony – poprawne zdanie powinno mieć formę: „Polietylen (PE) jest polimerem o największym udziale wśród pokonsumenckich odpadów tworzyw sztucznych w Polsce [69].”;
- str. 37, w podrozdziale 3.5. Przykłady zastosowania polimerów w mieszankach mineralno-asfaltowych, w pierwszym wierszu od góry strony – zapisany skrót: „LLDPE” jest niepoprawny i powinien mieć formę: „LDPE”.

Część graficzna pracy jest bardzo estetyczna, rysunki wykonane z dużą starannością, w sposób czytelny, przejrzysty i przede wszystkim zrozumiały.

3.5.2. Uwagi merytoryczne

1. Na podstawie wyników badań planu eksperymentu Placketta-Burmana został wybrany przez Doktoranta polipropylen (PP) jako modyfikator asfaltu wykorzystany w dalszych etapach badań. Jak można ocenić możliwość wykorzystania drugiego z polimerów, tj. politereftalan etylenu (PET) jako modyfikatora asfaltu? Czy uzyskane wyniki badań pozwalają uznać PET za nieprzydatny do modyfikacji asfaltu? Proszę o odpowiedź.
2. W rozdziale 5 Doktorant omówił wybrane narzędzia i metody statystyczne zastosowane w rozprawie do opisu wyników badań. Na str. 69 podał wzór 5.1 na wyznaczenie minimalnej liczebności próby. Stąd pytanie, jaka była faktyczna, obliczona, minimalna liczba próbek przyjęta w badaniach laboratoryjnych? Proszę o odpowiedź.
3. Jaka jest efektywność ekonomiczna i opłacalność zastosowania odpadowego polipropylenu do produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych? Proszę o odpowiedź.

W ocenie recenzenta, w końcowej części rozdziału 9 (*Wnioski*) można było zawrzeć krótką informację dotyczącą potwierdzenia sformułowanych tez pracy, zrealizowania celu i zakresu

pracy oraz rozwiązania wskazanego problemu badawczego. Powyższe uwagi mają charakter dyskusyjny i nie zmniejszają merytorycznej wartości pracy, którą uważam za bardzo dobrą.

4. Podsumowanie

Przedłożoną do recenzji rozprawę doktorską oceniam pozytywnie. Dotyczy to zarówno jej strony naukowej, jak i formalnej. Obie nie wzbudzają większych wątpliwości. Na szczególną uwagę zasługuje ogromny nakład pracy Autora w części eksperymentalnej, w której wykonał wiele pracochłonnych badań laboratoryjnych i analiz. Praca doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego dotyczącego dyscypliny inżynieria lądowa, geodezja i transport. Doktorant potwierdził znajomość wiedzy teoretycznej w zakresie dyscypliny naukowej oraz przygotowanie do samodzielnego wykonywania prac naukowych, analizy wyników i formułowania wniosków. Wskazane niedociągnięcia redakcyjne i nieścisłości w zapisach nie obniżają w istotny sposób pracy doktorskiej z merytorycznego punktu widzenia.

Oceniana rozprawa doktorska mgr. inż. Marcina Podsiadło, w opinii recenzenta, zasługuje na **wyróżnienie**. W celu rozwiązania sformułowanego problemu badawczego Autor dysertacji opracował wieloetapowy plan pracy, zrealizował olbrzymi zakres badań, a w ich następstwie wykonał wiele rozległych analiz. Modyfikacja asfaltu za pomocą odpadowych tworzyw sztucznych może wywołać pewne problemy. Jednym z nich może być problem z rozproszeniem polimeru w matrycy asfaltowej. W związku z tym, konieczne było takie dobranie parametrów technologicznych podczas produkcji asfaltów modyfikowanych, aby zapewnić maksymalne korzyści ze stosowania tworzyw sztucznych przy jednoczesnej minimalizacji ewentualnych niepożądanych efektów modyfikacji asfaltu. Doktorant zrealizował cel badań i zoptymalizował proces modyfikacji asfaltu polimerem odpadowym, co w efekcie końcowym pozwoliło mu na uzyskanie zadowalających rezultatów modyfikacji w aspekcie właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej. Przytoczone dokonania stanowią istotny wkład w obszarze zastosowania odpadowych polimerów do modyfikacji właściwości asfaltów i mieszanek mineralno-asfaltowych oraz wykorzystania ich do budowy trwałych i ekologicznych nawierzchni drogowych, co tym samym jest wartością dodaną w zakresie dyscypliny inżynieria lądowa, geodezja i transport.

Uwzględniając zapisy określone w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz.U. z 2024 r. poz. 1571) stwierdzam, że sformułowane tezy pracy zostały udowodnione, a cele osiągnięte.

W związku z powyższym, przedkładałam Radzie Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Świętokrzyskiej wniosek o dopuszczenie do publicznej obrony rozprawy doktorskiej pt.: „*Zastosowanie asfaltu modyfikowanego odpadowymi tworzywami sztucznymi do mieszanki mastyksowo-grysowej*”, przygotowanej przez mgr. inż. Marcina Podsiadło.

Mariusz Wesółowski

Dr hab. inż. Mariusz Wesółowski, prof. WITPiS

DYREKTOR NAUKOWY
Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport

2026 -05- 11 dr hab. inż. Przemysław Buczyński, prof. PŚk