

Dr hab. inż. Marek Pszczoła, prof. PG
Katedra Inżynierii Transportowej
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska
Politechnika Gdańska
ul. Narutowicza 11/12
80-233 Gdańsk

Gdańsk, 14.09.2024 r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Michała Wróbla pt.:

***„Odporność na działanie wody i mrozu mieszanek mineralno-asfaltowych
wytwarzanych w technologii asfaltu spienionego dodatkiem zeolitów”***

Promotor pracy: prof. dr hab. inż. Wojciech Franus

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą opracowania recenzji jest uchwała Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Lubelskiej nr 2024/VI/06, która została podjęta na posiedzeniu Rady w dniu 26 czerwca 2024 r. w sprawie wyznaczenia recenzentów, egzaminów doktorskich oraz powołania składu komisji egzaminacyjnych w przewodzie doktorskim Pana mgr inż. Michała Wróbla.

Podstawą formalną wykonania recenzji jest art. 179 ust. 1 ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce (Dz.U.2018 poz. 1669, z późn. zm.), art. 14 ust. 2 pkt. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (tj. Dz. U. z 2017 r., poz. 1789, ze zm.) oraz § 3 ust. 1 pkt 1 i § 6 ust. 1 Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. z 2018 r. poz. 261 ze zm.).

2. Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska w formie monografii zatytułowana „Odporność na działanie wody i mrozu mieszanek mineralno-asfaltowych wytwarzanych w technologii asfaltu spienionego dodatkiem zeolitów” przygotowana przez Pana mgr inż. Michała Wróbla na Wydziale Budownictwa i Architektury Politechniki Lubelskiej w ramach dyscypliny naukowej: inżynieria lądowa, geodezja i transport, dziedzina nauk: nauki

inżynieryjno-techniczne. Praca została przygotowana pod kierunkiem Pana Promotora prof. dr hab. inż. Wojciecha Franusa.

3. Ogólna charakterystyka rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska Pana mgr inż. Michała Wróbla dotyczy problematyki związanej z oceną odporności na działanie wody i mrozu mieszanek mineralno-asfaltowych wytwarzanych w technologii na ciepło przy zastosowaniu asfaltu spienionego dodatkiem zeolitów syntetycznych. Recenzowana rozprawa, wydana drukiem w formie monografii oraz w wersji elektronicznej na nośniku danych CD-ROM składa się z 5 zasadniczych rozdziałów, poprzedzonych stroną tytułową, stroną zawierającą podziękowania, informacją o sfinansowaniu badań w ramach projektu NCBiR Lider, spisem treści, wykazem skrótów i symboli stosowanych w rozprawie, a także streszczeniem w języku polskim oraz angielskim. Praca kończy się spisem bibliografii (obejmującym łącznie 185 przywołanych pozycji literatury), spisem tabel (16), spisem rysunków (118), spisem fotografii (2), a także załącznikami zawierającymi szczegółowe wyniki badań i analiz. Łącznie recenzowana rozprawa doktorska obejmuje 172 strony maszynopisu.

W rozdziale pierwszym zatytułowanym „Przegląd literatury” Autor rozpoczął dyskusję naukową od wprowadzenia w tematykę pracy związaną z potrzebą szerszego zastosowania mieszanek mineralno-asfaltowych produkowanych w technologii na ciepło przy jednoczesnym wykorzystaniu dodatków obniżających temperaturę produkcji, w tym przypadku zeolitów. Technologia ta wpisuje się bardzo mocno w trendy światowe związane z koniecznością minimalizowania negatywnego wpływu produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych na środowisko naturalne przy jednoczesnym zapewnieniu trwałości nawierzchni asfaltowych. Jest ona także w głównym nurcie badań naukowych, które prowadzone są w Europie, a których celem jest wypracowanie rozwiązań zmierzających do osiągnięcia neutralności klimatycznej. W przypadku krajów Unii Europejskiej wskazuje się obecnie rok 2050, jako perspektywę w której ta neutralność powinna zostać osiągnięta. W rozdziale tym przedstawiono metodykę projektowania mieszanek mineralno-asfaltowych na ciepło z wykorzystaniem technologii asfaltu spienionego zeolitami, opisano szczegółowo właściwości oraz badania minerałów porowatych, jakimi są zeolity, a także korzyści i ograniczenia wynikające z zastosowania tej technologii. Dużą część przeglądu literatury Autor poświęcił na zagadnienie, które stanowi główny przedmiot zainteresowania w recenzowanej pracy, a więc na odporność mieszanek mineralno-asfaltowych produkowanych w technologii na ciepło na działanie czynników klimatycznych, jakimi są działanie wody i mrozu.

W rozdziale drugim Autor sformułował problem naukowy oraz cele i zakres pracy doktorskiej. Problem naukowy wynika bezpośrednio z przeprowadzonych studiów literatury i został sformułowany w sposób precyzyjny z odpowiednim uzasadnieniem. Głównym celem pracy jest analiza odporności na działanie wody i mrozu mieszanek mineralno-asfaltowych wytwarzanych w technologii na ciepło z dodatkiem zeolitów. Dodatkowo, Autor przedstawił trzy cele szczegółowe. W rozdziale tym podano również plan badawczy w formie schematu blokowego pokazujący poszczególne etapy przeprowadzonych badań i analiz.

W rozdziale trzecim opisano materiały stosowane w badaniach oraz metodykę badawczą. W badaniach laboratoryjnych został zastosowany asfalt drogowy 50/70 produkcji firmy Orlen Asfalt. Pochodził on z jednej partii produkcyjnej i był rozgrzewany do poszczególnych badań nie więcej, jak trzykrotnie co pozwoliło na uniknięcie potencjalnych różnic we właściwościach tego materiału. Jako dodatki, których celem było obniżenie temperatury produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej zostały zastosowane zeolity uzyskane z popiołów lotnych poprzez syntezę w skali półtechnicznej. Dzięki tej technologii do badań w niniejszej rozprawie doktorskiej wytworzono zeolity charakteryzujące się trzema różnymi typami struktury:

- zeolit syntetyczny o typie struktury NaA,
- zeolit syntetyczny o typie struktury NaP1,
- zeolit syntetyczny o typie struktury NaX.

Do zaprojektowania oraz późniejszego wykonania próbek mieszanek mineralno-asfaltowych, a także do wyznaczenia optymalnego dodatku środków adhezyjnych zostały zastosowane kruszywa dolomitowe (do warstwy wiążącej AC16W) oraz kruszywa granodiorytowe (do warstwy ścieralnej AC11S). Należy zwrócić uwagę, że kruszywo granodiorytowe jest kruszywem kwaśnym o słabszych właściwościach adhezyjnych (słabym powinowactwie asfaltu do kruszywa), natomiast kruszywo dolomitowe jest kruszywem zasadowym o dobrych właściwościach adhezyjnych. Jako środki poprawiające właściwości adhezyjne zastosowano dwa dodatki: polifosforowy oraz aminowy. Ponadto, jako materiał alternatywny do standardowo stosowanych środków adhezyjnych, zastosowane zostało wapno, które było dozowane do mieszanki mineralno-asfaltowej poprzez częściowe zastąpienie wypełniacza z mączki wapiennej. Podsumowując, dobór materiałów do badań należy uznać za prawidłowy do spełnienia założonego celu pracy.

W drugiej części rozdziału trzeciego opisana została metodyka badawcza. Metodyka ta została podzielona na opisy metod badań dotyczące zeolitów, asfaltów, asfaltów spienionych zeolitami oraz mieszanek mineralno-asfaltowych (w zakresie projektu mma oraz oceny odporności na działanie wody i mrozu wg. WT-2 2014 i normy AASHTO T283). Dodatkowo w rozdziale tym przedstawiono metody analizy statystycznej wyników. Zdaniem

recenzenta metody badań opisane zostały przy różnym poziomie szczegółowości, bez podania przyczyny przyjęcia takiego założenia. Można odnieść wrażenie, że metody na których Autor pracy zna się bardziej, zostały opisane bardziej szczegółowo (np. badania właściwości zeolitów) niż np. metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych. Recenzent zwraca także uwagę, że projekt mieszanki mineralno-asfaltowej w zakresie mieszanki referencyjnej z asfaltem drogowym 50/70 powinien obejmować wszystkie badania wymagane przez WT-2 2014.

Zasadniczym dla recenzowanej rozprawy doktorskiej jest rozdział 4 zawierający część eksperymentalno-doświadczalną wraz z analizą statystyczną. Rozdział ten został zatytułowany „Wyniki badań własnych”, chociaż zdaniem recenzenta dużo trafniejszym byłby po prostu tytuł „Wyniki badań i ich analiza”. Autor w sposób bardzo dokładny i uporządkowany przedstawił oraz omówił poszczególne wyniki badań podsumowując je odpowiednim komentarzem zawierającym analizę uzyskanych wyników. Na docenienie zasługuje również prowadzenie analizy poczynawszy od badań w skali mikro np. badania składu chemicznego zeolitów po skalę makro, czyli badania odporności na działanie wody i mrozu uformowanych próbek z wcześniej zaprojektowanych mieszanek mineralno-asfaltowych do warstwy wiążącej oraz warstwy ścieralnej. Ważnym elementem tego rozdziału było wyznaczenie energii powierzchniowej asfaltu, jej składowych oraz istotnych parametrów pochodnych (rozdział 4.6). Wynika to z faktu, że swobodna energia powierzchniowa jest ściśle powiązana z adhezją asfaltu do kruszywa i kohezją samego lepiszcza. Recenzent pragnie podkreślić niezwykle istotny aspekt praktyczny prowadzonych badań. Jako przykład chciałbym zacytować jeden z fragmentów przeprowadzonej analizy wyników badań z rozdziału 4: „Dopiero po wykonaniu kilku iteracji procesu projektowania MMA i uzyskaniu zawartości wolnych przestrzeni blisko dolnej granicy stawianej przez wymagania techniczne udało się uzyskać satysfakcjonujący wynik. Może to być wskazówką dla projektantów Badania Typu z asfaltem spienionym zeolitami, tak aby przy nieznacznym wzroście zawartości wolnych przestrzeni mieszanki WMA w stosunku do HMA nadal utrzymywać wynik w przedziale wymagań. Pozwoli to uniknąć niedogęszczenia MMA zarówno w laboratorium, jak i na budowie, co mogłoby nieść za sobą negatywne konsekwencje zarówno w zakresie formalnych wymagań, jak i jakościowym pod kątem odporności na działanie wody i mrozu.” Z punktu widzenia aspektów naukowych rozprawy doktorskiej ważny jest natomiast rozdział 4.9 zawierający weryfikację korelacji pomiędzy parametrami związanymi ze swobodną energią powierzchniową a odpornością na działanie wody i mrozu mieszanek mineralno-asfaltowych.

W rozdziale piątym Autor przedstawił wnioski końcowe oraz perspektywę dalszych badań. Podsumowanie całej rozprawy doktorskiej budzi pewien niedosyt recenzenta. W rozdziale tym

Autor nie do końca uwypuklił obszerny zakres przeprowadzonych badań i analiz, które posiadają duży potencjał praktyczny oraz wdrożeniowy.

4. Ocena wkładu rozprawy doktorskiej do aktualnego stanu wiedzy w dziedzinie nauk technicznych

Rozwój technologii sprzyjających ochronie środowiska naturalnego staje się coraz pilniejszym wymogiem w drogownictwie. Dlatego zainteresowanie się Autora zagadnieniami związanymi z technologią produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych w obniżonych temperaturach, czyli tzw. mieszanek WMA (ang. Warm Mix Asphalt) jest właściwe i pożądane. Dodatkowym ważnym aspektem jest zastosowanie zeolitów w produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych. Recenzowana praca doktorska dotyczy aktualnego i ważnego zagadnienia. Obniżenie temperatury produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych może zostać osiągnięte poprzez zastosowanie różnego rodzaju dodatków do lepiszczy asfaltowych lub bezpośrednio do mieszanek, wykorzystanie technologii spieniania lepiszcza oraz stosowanie emulsji asfaltowych stosując technologię produkcji na zimno (bez podgrzewania lepiszcza i kruszywa). Zagadnienia te są szczegółowo analizowane i rozwijane w literaturze światowej. Także w Polsce już od wielu lat prowadzone są badania związane z wdrażaniem mieszanek mineralno-asfaltowych produkowanych w technologii WMA, także przy zastosowaniu zeolitów. Zespół z Politechniki Lubelskiej od wielu lat z sukcesem rozwija te technologie i jest rozpoznawalny w tej dziedzinie zarówno w Polsce, jak i na świecie. Autor rozprawy doktorskiej w sposób kompleksowy przeprowadził ocenę odporności na działanie wody i mrozu mieszanek mineralno-asfaltowych wytwarzanych w technologii asfaltu spienionego dodatkiem zeolitów. Spośród najważniejszych, zdaniem recenzenta, elementów rozprawy doktorskiej stanowiących istotny wkład Doktoranta do aktualnego stanu wiedzy w dziedzinie nauk technicznych należy zaliczyć:

1. Wyznaczenie oraz weryfikację wybranych zależności korelacyjnych pomiędzy parametrami wynikającymi z analizy swobodnej energii powierzchniowej (SEP) a parametrami związanymi z odpornością na działanie wody i mrozu.
2. Projektowanie mieszanek mineralno-asfaltowych z zastosowaniem asfaltu spienionego dodatkiem zeolitów z uwzględnieniem optymalizacji składu mieszanki oraz wpływu czynników środowiskowych.

5. Ocena doboru tematu, celów rozprawy doktorskiej

Dobór tematu rozprawy doktorskiej jest właściwy i odpowiada treści rozprawy. Układ pracy jest odpowiedni i dobrze przedstawia rozwiązanie problemu naukowego.

Przedstawiony cel rozprawy znalazł odniesienie w przeprowadzonych, szczegółowych badaniach laboratoryjnych oraz analizach statystycznych. Został on zrealizowany w sposób

skuteczny i pełny, przy zastosowaniu narzędzi i metod badawczych oraz analitycznych. Na podstawie przeprowadzonych studiów literatury sformułowany został główny cel pracy doktorskiej o następującym brzmieniu: „Analiza odporności na wodę i mróz mieszanek mineralno-asfaltowych wytwarzanych w technologii na ciepło z dodatkiem zeolitów”. Autor przedstawił również trzy cele szczegółowe:

Cel 1: „Ocena właściwości reologicznych i procesów adhezyjnych w asfaltach spienionych poprzez dodatek zeolitów”.

Cel 2: „Określenie wpływu środków adhezyjnych i wapna hydratyzowanego na przyczepność asfaltu do kruszywa oraz odporność na wodę i mróz mieszanek mineralno-asfaltowych”.

Cel 3: „Wyznaczenie korelacji pomiędzy odpornością na działanie wody i mrozu MMA, a adhezją asfaltu spienionego wyznaczoną na podstawie energii powierzchniowej”.

Zdaniem recenzenta przedstawiony pierwszy cel szczegółowy pracy nie jest zrozumiały i zbyt ogólny. Szczegółowy komentarz został przedstawiony w dalszej części recenzji w uwagach merytorycznych. Niemniej jednak należy wyraźnie podkreślić, że zaproponowane cele szczegółowe pracy posiadają walor aplikacyjny, który stwarza możliwość szerszego stosowania zaproponowanej technologii WMA z zastosowaniem zeolitów.

6. Ocena szczegółowa rozprawy doktorskiej

Ocena szczegółowa rozprawy doktorskiej została przedstawiona w dwóch częściach. Część pierwsza stanowi ocenę merytoryczną w odniesieniu do szczegółowych uwag wraz z ich uzasadnieniem. Z kolei w części drugiej przedstawiono szczegółowe uwagi redakcyjne, stylistyczne oraz formalne.

6.1. Ocena i uwagi merytoryczne

Na podstawie przeprowadzonej oceny rozprawy doktorskiej sformułowano następujące uwagi o charakterze merytorycznym:

- 1) W rozdziale 2 Autor przedstawił problem naukowy, szczegółowe cele oraz zakres pracy. Nie podano też naukowych w pracy doktorskiej, co samo w sobie nie jest błędem, pod warunkiem, że cele są sformułowane w sposób odpowiedni. W opinii recenzenta pierwszy z podanych trzech celów pracy doktorskiej nie jest wystarczająco szczegółowy. Cel pierwszy został sformułowany następująco: „Ocena właściwości reologicznych i procesów adhezyjnych w asfaltach spienionych poprzez dodatek zeolitów”. Ocena właściwości reologicznych i procesów adhezyjnych analizowanego materiału nie jest celem szczegółowym. Biorąc pod uwagę treść pozostałych dwóch celów szczegółowych pracy

cel pierwszy powinien zostać usunięty lub zmieniony. Dodatkowo, jeśli rzeczywiście ten cel pracy miałby pozostać, to pytanie recenzenta jak Autor rozumie określenie „reologia”? W rzeczywistości w pracy nie zastosowano metod badań pozwalających na ocenę właściwości reologicznych materiału (oprócz badania BBR, czyli pełzania w niskich temperaturach). Nie przedstawiono żadnych modeli reologicznych pozwalających na analizę materiału przy obciążeniu działającym w czasie.

- 2) Uwaga do metodyki badawczej – norma na badanie w urządzeniu Bending Beam Rheometer AASHTO T313 „Determining the flexural creep stiffness of asphalt binder using the Bending Beam Rheometer (BBR)” zakłada wykonanie procedury starzenia próbek asfaltu RTFOT oraz PAV. Czy badania asfaltów spienionych zeolitami wykluczają możliwość starzenia próbek? Jeśli tak, to jest to spore ograniczenie projektowania mieszanek mineralno-asfaltowych na ciepło z zastosowaniem zeolitów. Z drugiej strony jednak, czy jest jakieś przeciwskazanie aby w pierwszej kolejności poddać asfalt starzeniu laboratoryjnemu, a potem mógłby zostać spieniony dodatkiem zeolitów? Pozwoliło by to na przeprowadzenie badań niskotemperaturowych w teście BBR zgodnie z procedurą, czyli po starzeniu? W rozprawie doktorskiej na str. 60, wiersz 2 podano jedynie enigmatyczne stwierdzenie, że wpływ starzenia pominięto. Tylko, że nie chodzi o samą ocenę starzenia, ale wykonanie badania w sposób miarodajny po to, aby można było właściwie interpretować uzyskany wynik badania. Proszę o ustosunkowanie się do przedstawionej wątpliwości.
- 3) Uwaga trzecia w dużym stopniu nawiązuje do uwagi nr 2. Otóż dotyczy ona punktu 4.5 rozprawy doktorskiej, w którym Autor przedstawił charakterystykę niskotemperaturową asfaltów spienionych zeolitami. W tabeli 13 przedstawiono właściwości niskotemperaturowe asfaltów spienionych określone metodą BBR zgodnie z normą PN-EN 14771. Pierwsza wątpliwość związana z tą częścią rozprawy doktorskiej dotyczy metody badawczej. W metodyce tego badania opisanej w punkcie 3.2.3 Autor powołuje się na normę ASTM D6648, natomiast prezentacja wyników w punkcie 4.5 pokazuje, że nadanie zostało wykonane zgodnie z normą PN-EN 14771. Proszę o wyjaśnienie jak było naprawdę. Druga wątpliwość dotyczy wyników badań uzyskanych dla dolnej granicy PG (Performance Grade). Tą granicę określają dwie temperatury:
- temperatura T , przy której sztywność pełzania materiału po czasie 60 s wynosi 300 MPa ($T_{(S=300 \text{ MPa})}$),
 - temperatura T , przy której parametr „m” definiowany, jako podatność pełzania wynosi 0,300 ($T_{(m=0,300)}$).

Uzyskane wartości tych parametrów przedstawione w tabeli 13 rozprawy doktorskiej (str. 89) są następujące:

- dla asfaltu referencyjnego 50/70 wartość $T_{(S=300 \text{ MPa})} = -31,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$, wartość $T_{(m=0,300)} = -32,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$,
- dla asfaltu 50/70 + 5% zeolit NaA wartość $T_{(S=300 \text{ MPa})} = -30,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$, wartość $T_{(m=0,300)} = -32,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$,
- dla asfaltu 50/70 + 5% zeolit NaP1 wartość $T_{(S=300 \text{ MPa})} = -31,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$, wartość $T_{(m=0,300)} = -32,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Interpretacja przedstawionych wyników jest taka, że czym niższa wartość temperatury uzyskanej dla sztywności S i parametru „m”, tym lepsza odporność lepiszczy asfaltowych i w konsekwencji mieszanek mineralno-asfaltowych na spękania niskotemperaturowe. Uzyskane w pracy wartości są niewiarygodnie niskie i nie pozwalają na prawidłową ocenę właściwości niskotemperaturowych badanych materiałów. Ponieważ Autor pracy zastosował asfalt drogowy 50/70 produkcji Orlen Asfalt z Płocka, w celu lepszego zobrazowania problemu, poniżej przedstawiono wyniki badań asfaltów publikowane corocznie przez firmę Orlen Asfalt w ogólnodostępnych publikacjach pt. „Poradnik Asfaltowy”. Podano wartości z dwóch publikacji: z roku 2018 oraz 2021. Ten przedział czasowy powinien objąć także asfalt, który został zastosowany w recenzowanej rozprawie doktorskiej:

- w roku 2018 wartość opublikowana z badania BBR, asfalt 50/70: $T_{(S=300 \text{ MPa})} = -17,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$, wartość $T_{(m=0,300)} = -14,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$,
- w roku 2021 wartość opublikowana z badania BBR, asfalt 50/70: $T_{(S=300 \text{ MPa})} = -16,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$, wartość $T_{(m=0,300)} = -14,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Jak można zauważyć wyniki badań niskotemperaturowych dla asfaltu referencyjnego 50/70 uzyskane przez firmę Orlen Asfalt, w porównaniu do wyników uzyskanych przed Doktoranta różnią się ponad dwukrotnie. Zdaniem recenzenta brak w procedurze badania zastosowania starzenia po RTFOT oraz PAV tylko częściowo może tłumaczyć zaobserwowane rozbieżności. Aby to udowodnić recenzent posłużył się parametrem ΔT_c . Parametr ten służy do przewidywania podatności lepiszczy asfaltowych na spękania niskotemperaturowe. Zresztą szkoda, że Autor pracy nie zastosował tego parametru wcześniej. Parametr ΔT_c definiowany jest, jako różnica pomiędzy dolną temperaturą krytyczną, oznaczoną przy sztywności $S_{(60)} = 300 \text{ MPa}$, a dolną temperaturą krytyczną, w której wartość parametru m-value jest równa $m_{(60)} = 0,300$. Czyli parametr ten można obliczyć zgodnie ze wzorem, jako:

$$\Delta T_c = T_{c(S=300 \text{ MPa})} - T_{c(m=0,300)}$$

Interpretacja tego parametru jest taka, że czym niższa uzyskana wartość ΔT_c , tym większa spodziewana podatność lepischer asfaltowych na spękania niskotemperaturowe. Wartości parametru ΔT_c obliczone dla wyników badań przedstawionych w rozprawie doktorskiej:

- dla asfaltu referencyjnego 50/70 wartość $\Delta T_c = +0,8$,
 - dla asfaltu 50/70 + 5% zeolit NaA wartość $\Delta T_c = +1,7$,
 - dla asfaltu 50/70 + 5% zeolit NaP1 wartość $\Delta T_c = +0,9$,
- dla porównania wartości ΔT_c opublikowane w publikacji „Poradnik Asfaltowy” w roku 2021:
- asfalt 20/30 wartość $\Delta T_c = -4,3$,
 - asfalt 35/50 wartość $\Delta T_c = -4,3$,
 - asfalt 50/70 wartość $\Delta T_c = -1,7$,

Podsumowując, uzyskane wyniki badań niskotemperaturowych w urządzeniu BBR budzą pewne wątpliwości recenzenta. Dlatego proszę Autora o ustosunkowanie się do przedstawionych uwag.

4) W rozdziale 3.2.4 Autor przedstawił projekt i badania mieszanek mineralno-asfaltowych. Zgodnie z obowiązującymi wymaganiami technicznymi WT-2 2014 projekt mieszanki mineralno-asfaltowej dla ruchu KR3-KR4 powinien także uwzględniać sprawdzenie odporności na deformacje trwałe. Dotyczy to zarówno projektu mieszanki mineralno-asfaltowej do warstwy ścieralnej, jak i do warstwy wiążącej. Brak sprawdzenia tego parametru może skutkować zaprojektowaniem mieszanki podatnej na koleinowanie. Podobnie w przypadku projektowania mieszanek mineralno-asfaltowych w technologii asfaltu spienionego dodatkiem zeolitów, które mają być odporne na działanie wody i mrozu nie można zaniedbywać aspektu odporności na deformacje trwałe w wyższych temperaturach eksploatacyjnych nawierzchni. Stąd pytanie do Autora, czy ten parametr mieszanki mineralno-asfaltowej był oceniany?

5) W rozdziale 3.2.5 opis przedstawiono metody analizy statystycznej uzyskanych wyników badań. Zastosowany został test ANOVA Welcha. Jest to narzędzie poprawne i aktualnie stosowane na świecie. Jednak zarówno w rozdziale 3 opisującym metodykę badań, jak i w rozdziale 4, w którym podano szczegółowe wyniki badań brak jest w dużej mierze informacji o ilości próbek zastosowanych w badaniach. W pracy to trochę wygląda tak, jak przysłowiowa „czarna skrzynka”. W wielu przypadkach oprócz podanej wartości średniej brak jest informacji podstawowych o odchyleniu standardowym, czy też zmienności uzyskanych wyników, które pomogłyby na właściwą interpretację uzyskanych zależności. Sposób przedstawienia analizy statystycznej na rysunkach od 67 do 118 w postaci różnych figur geometrycznych nie jest do

końca zrozumiały (przynajmniej dla recenzenta). Być może potrzebna byłaby dodatkowa legenda tłumacząca prawidłową interpretację zastosowanych zależności na wykresach.

6) Zdaniem recenzenta wnioski końcowe przedstawione w rozdziale 5 zostały sformułowane zbyt ogólnie i wymagałyby uszczegółowienia. Nie do końca potwierdzają one także założony cel główny oraz cele szczegółowe. Np. wniosek nr 4 „Możliwe jest wykonanie mieszanki mineralno-asfaltowej w technologii asfaltu spienionego poprzez dodatek zeolitów w obniżonych temperaturach technologicznych zarówno z zastosowaniem kruszyw kwaśnych, jak i zasadowych.” Czytając ten wniosek końcowy rozprawy doktorskiej można odnieść wrażenie, że wykonanie mieszanki mineralno-asfaltowej w technologii asfaltu spienionego poprzez dodatek zeolitów nie było wcześniej możliwe, a dopiero praca badawcza Doktoranta pozwala na wykonanie takiej mieszanki. Czy tak jest naprawdę?

6.2. Uwagi redakcyjne i formalne

Recenzowana rozprawa doktorska została napisana w sposób ogólnie poprawny. Praca jest czytelna oraz zrozumiała. Styl i terminologia zastosowana w pracy są poprawne. Występują nieliczne błędy składni i stylu. Licznie natomiast występują w rozprawie doktorskiej literówki oraz powtórzenia wyrazów. Szczegółowe ważniejsze uwagi redakcyjne i formalne są następujące:

- 1) Str. 6 i dalej w pracy: „WT-2 – wytyczne techniczne nr 2”. Pełny tytuł dokumentu brzmi: „Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych WT-2 2014 – część I Mieszanki mineralno-asfaltowe Wymagania Techniczne”. Dlatego powinno się stosować określenie: „wymagania techniczne WT-2 2014”.
- 2) Str. 21, rys. 6, jest „klinoptiolitu”, powinno być „klinoptylolitu”.
- 3) Str. 31, pkt. 1.4, jest „mieszanek asfaltowych”, powinno być „mieszanek mineralno-asfaltowych”.
- 4) Str. 39, pkt. 1.4.2, jest „metoda Aashto T283”, powinno być „metoda AASHTO T283”.
- 5) Str. 40, pkt. 1.4.2, tłumaczenia w języku angielskim metod badawczych powinny być dużymi literami, przykładowo ang.”Thermal stress restrained specimen test – TSRST” powinno być opisane „Thermal Stress Restrained Specimen Test – TSRST”.
- 6) Str. 54, rys. 17, Plan badawczy: przedstawiony schemat planu badawczego nie uwzględnia możliwych iteracji np. na etapie doboru materiałów do badań oraz projektowania mieszanki mineralno-asfaltowej.
- 7) W całej pracy doktorskiej brak jest prowadzenia numeracji podanych zależności matematycznych. Skutkuje to tym, że nie ma możliwości odwołania się do danego wzoru podczas wykonywania analizy wyników badań, a także na etapie recenzji pracy.

- 8) Str. 64, pkt. 3.2.4, tabela 5: suma udziału procentowego poszczególnych składników projektowanej mieszanki mineralno-asfaltowej wynosi 100,1%. Oczywiście powstały błąd wyniku z zaokrągleń, ale powinien być wcześniej skorygowany. Po prostu wygląda nieprofesjonalnie. Analogicznie tabela 6 str. 65: suma udziału procentowego MMA wynosi 99,9%.
- 9) Str. 69, wiersz 3 i 4, jest „liczba uderzeń zależna była od docelowego przeznaczenia próbki i wynosiła 75 uderzeń ...”, powinno być: „liczba uderzeń ubijaka Marshalla zależna była od docelowego przeznaczenia próbki i wynosiła 75 uderzeń ...”.
- 10) Str. 69, wiersz 9, nr normy powinno się podawać dla pełnego oznaczenia, np. norma PN-EN 12697-8:2019. Jest to o tyle ważne, że w badaniach naukowych mogą być zastosowane normy niekoniecznie PN-EN ale np. samo EN lub chociażby norma brytyjska BS, czyli British Standard.
- 11) Str. 70, pkt. 3.2.5, stosowana terminologia powinna być w pełni zrozumiała dla czytelnika, także w zakresie stosowanych metod badawczych, czy też metod analizy danych, np. określenie „homoskedastyczność wariancji”.
- 12) Str. 98, Autor nadużywa określenia „warto zauważyć” (3x na stronie) i w wielu miejscach pracy.

7. Podsumowanie oceny pracy

Na podstawie przeprowadzonej oceny rozprawy doktorskiej stwierdzam, że Autor podjął się ważnego i jednocześnie bardzo aktualnego zadania związanego z oceną odporności na działanie wody i mrozu mieszanek mineralno-asfaltowych wytwarzanych w technologii na ciepło z zastosowaniem asfaltu spienionego dodatkiem zeolitów. Realizacja założonego celu pracy wymagała zarówno przeprowadzenia studiów literatury i starannego zaplanowania badań laboratoryjnych, ale również wiązała się z koniecznością wykorzystania różnorodnych i nieraz bardzo zaawansowanych metod badawczych. Na szczególną uwagę zasługuje sprawność posługiwania się aparatem statystycznym oraz wykorzystanie modeli w celu optymalizacji udziału dodatków do asfaltów. Pomimo przedstawionych w niniejszej recenzji uwag, czy też niejasności wymienionych powyżej, dobrze oceniam zakres oraz wykonanie rozprawy doktorskiej. Autor wykazał się wysokim poziomem ogólnej wiedzy teoretycznej oraz praktycznej. Ponadto stwierdzam, że uzyskane przez Doktoranta oryginalne wyniki badań laboratoryjnych potwierdzające udowodnienie postawionych tez badawczych oraz oryginalne rozwiązanie problemu naukowego można uznać za wymierny wkład do stanu wiedzy w dziedzinie nauk inżynierijsko-technicznych, w dyscyplinie inżynieria lądowa, geodezja i transport.

8. Wniosek końcowy

Recenzent stwierdza, że recenzowana rozprawa doktorska autorstwa Pana mgr inż. Michała Wróbla pt. „Odporność na działanie wody i mrozu mieszanek mineralno-asfaltowych wytwarzanych w technologii asfaltu spienionego dodatkiem zeolitów” spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim zgodnie z Ustawą z dnia 20 lipca 2018 r. *Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz.U. poz. 1669) oraz na podstawie Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. Nr 65, poz. 595 z późn. zm.). Doktorant posiada odpowiednią wiedzę teoretyczną oraz umiejętności prowadzenia samodzielnej pracy naukowej.

Wobec powyższego wnoszę o przyjęcie recenzowanej rozprawy doktorskiej, jako podstawy do nadania Panu mgr inż. Michałowi Wróblowi stopnia naukowego doktora w dziedzinie nauk technicznych, w dyscyplinie naukowej inżynieria lądowa, geodezja i transport oraz dopuszczenie rozprawy doktorskiej do publicznej obrony przed Komisją powołaną przez Radę Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa Geodezja i Transport Politechniki Lubelskiej.



.....
Dr hab. inż. Marek Pszczoła, prof. PG