

dr hab. inż. **Piotr Jaskuła**, prof. PG
Politechnika Gdańska
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska
Katedra Inżynierii Transportowej
ul. Narutowicza 11, 80-233 Gdańsk
e-mail: piotr.jaskula@pg.edu.pl
+48 603764669

Gdańsk, 02.05.2025 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Karoliny Janus pt.:
„OPTIMALIZACJA SKŁADU BETONU ASFALTOWEGO
WYTWARZANEGO W OBNIŻONYCH TEMPERATURACH W
TECHNOLOGII ASFALTU SPIENIONEGO ZE ZBROJENIEM
ROZPROSZONYM W ASPEKCIE WŁAŚCIWOŚCI
WYSOKOTEMPERATUROWYCH”

1. PODSTAWA FORMALNA RECENZJI

Recenzja została wykonana na podstawie uchwały Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Świętokrzyskiej z dnia 12.02.2025 r., podpisanej przez Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport prof. dr hab. inż. Jerzego Wawrzeńczyka.

2. PRZEDMIOT RECENZJI

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska pod tytułem „Optymalizacja składu betonu asfaltowego wytwarzanego w obniżonych temperaturach w technologii asfaltu spienionego ze zbrojeniem rozproszonym w aspekcie właściwości wysokotemperaturowych” wykonana na Wydziale Budownictwa i Architektury Politechniki Świętokrzyskiej przez mgr inż. Karolinę Janus. Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Anna Chomicz-Kowalska, prof. PŚk, a promotorem pomocniczym dr inż. Mateusz Marek Iwański.

Rozprawa została przygotowana w formie książki w formacie A4 i składa się z 216 stron oraz 41 stron załącznika. Bibliografia obejmuje 214 pozycji, a poza tym przywołano 32 normy polskie i amerykańskie.

3. OMÓWIENIE TREŚCI ROZPRAWY

Rozprawa składa się z 5 rozdziałów o zróżnicowanej wielkości, której zakres omówiono w Rozdziale 3 rozprawy. Wszystkie rozdziały rozprawy stanowią spójną całość, tzn. poszczególne rozdziały wprowadzają czytelnika do tematyki rozprawy i wzajemnie uzupełniają się. Dodatkowo rozprawa poprzedzona jest wykazem skrótów, a zakończona streszczeniem w języku polskim i angielskim oraz obszernym załącznikiem z tabelami analizy istotności różnic wartości średnich.

Celem pracy, który omówiono w Rozdziale 3.2 rozprawy, było określenie wpływu składu mieszanki mineralno-asfaltowej ze zbrojeniem rozproszonym wytwarzanej metodą „na ciepło” z asfaltem spienionym na jej właściwości, w tym szczególnie na właściwości wysokotemperaturowe. Analizowano wpływ dozowania dwóch rodzajów włókien w mieszankach z trzema rodzajami asfaltów na właściwości betonów asfaltowych wyprodukowanych w technologii asfaltu spienionego. Przedstawiony cel to interesujące i ambitne zagadnienie, które wskazuje na innowacyjne podejście Doktorantki do badań oraz atrakcyjność podjętego tematu tj. badanego materiału: po pierwsze zastosowanie zbrojenia rozproszonego, którego dodatek do mieszanki mineralno-asfaltowej w szczególnych okolicznościach może istotnie poprawiać właściwości eksploatacyjne oraz po drugie produkowanie mieszanki mineralno-asfaltowej w technologii asfaltu spienionego co będzie miało wielkie znaczenie w świetle ogłoszonego przez Unię Europejską Zielonego Ładu, w zakresie ograniczenia emisyjności CO₂, także w technologiach drogowych. Autorka rozprawy postawiła 3 tezy (w Rozdziale 3.1 rozprawy), że:

- zastosowanie zbrojenia rozproszonego ma korzystny wpływ na właściwości wysokotemperaturowe betonu asfaltowego przeznaczonego do warstwy ścieralnej,
- efekty stosowania zbrojenia rozproszonego są zależne od rodzaju stosowanych włókien oraz rodzaju lepiszcza asfaltowego,
- zastosowanie zbrojenia rozproszonego może mieć korzystny wpływ na trwałość betonu asfaltowego wytwarzanego w obniżonych temperaturach.

Rozdział 1 stanowi 2 stronicowy wstęp, w którym autorka wskazała na atrakcyjność omawianych w pracy zagadnień związanych z technologiami nisko emisyjnymi w zakresie stosowania asfaltów spienionych w drogownictwie oraz technologiami wzmacniającymi szkielet mineralny mieszanek, poprawiającymi zachowanie się mieszanek mineralno-asfaltowych w wysokich temperaturach.

Rozdział 2 dotyczy przeglądu literatury, w którym wydzielono cztery zakresy tematyczne:

(1) sposoby wytwarzania mieszanek mineralno-asfaltowych w odniesieniu do temperatury produkcji, w tym technologii metodą na ciepło. Wyjaśniono sposoby obniżania temperatur technologicznych mieszanek mineralno-asfaltowych kategoryzując je do trzech kategorii: asfalt spieniony za pomocą wody dodawanej do asfaltu, asfaltu spienionego za pomocą naturalnego lub syntetycznego zeolitu oraz dodatków chemicznych.

(2) Omówiono procesy fizyczne zachodzące podczas spieniania lepiszcza asfaltowego (technologii wykorzystywanej w części badawczej pracy), przedstawiono korzyści obniżania temperatur technologicznych mieszanek mineralno-asfaltowych w zakresie ochrony środowiska, technologiczno-produkcyjnym i ekonomicznym.

(3) Przedstawiono procedury starzenia krótkoterminowego mieszanek produkowanych na ciepło w laboratorium oraz scharakteryzowano technologię zbrojenia rozproszonego w mieszankach mineralno-asfaltowych, w tym rodzaje i właściwości włókien oraz

(4) przedstawiono ocenę właściwości wysokotemperaturowych lepiszczy asfaltowych i mieszanek mineralno-asfaltowych włącznie z wybranymi wynikami badań ze świata.

Przedstawione studia literatury wykazały, że do tej pory na świecie nie przebadano szeroko mieszanek mineralno-asfaltowych produkowanych w technologii na ciepło zbrojonych włóknami rozproszonymi, jak i nie optymalizowano składu mieszanki w zakresie rodzaju i ilości zastosowanego włókna i jego wpływu na właściwości mieszanki z asfaltem spienionym.

Rozdział 3 omawia cele, tezy i zakres rozprawy.

Rozdział 4 to główny i najobszerniejszy rozdział rozprawy, dotyczący części badawczej, eksperymentalno-doświadczalnej włącznie z analizą statystyczną uzyskanych wyników. Rozdział rozpoczęto od opisu planu badań dla wydzielonych przez Autorkę trzech etapów części badawczej.

Etap I badań dotyczył określenia właściwości trzech asfaltów wykorzystanych w pracy: 50/70, PmB 45/80-55, PmB HiMA 45/80-80 oraz charakterystyk spieniania asfaltów w aspekcie ilości wody spieniającej i temperatury asfaltu, ilości wpływających na wartości wskaźnika ekspansji oraz czasu półtrwania piany asfaltowej.

Etap II dotyczył badań podstawowych tzw. badań typu betonu asfaltowego AC11S do warstwy ścieralnej KR5-6 produkowanego w technologii klasycznej „na gorąco” i w technologii „na ciepło” z trzema różnymi asfaltami oraz zmienną zawartością zbrojenia rozproszonego w postaci włókien aramidowych i polimerowo-bazaltowych. Mieszanki wytwarzano na ciepło, w technologii asfaltu spienionego w temperaturze niższej niż na gorąco o 15°C i 30°C.

Etap III dotyczył rozszerzonych badań betonów asfaltowych w odniesieniu do badań typu tj. zagęszczalności mieszanki z wykorzystaniem prasy żyratorowej, sztywności metodą rozciągania pośredniego w funkcji temperatury, zespolonego modułu sztywności i kąta przesunięcia fazowego, zmęczenia w schemacie pośredniego rozciągania i modułu sztywności pełzania.

W rozdziale zaprezentowano także wszystkie metodyki badawcze wykorzystane w pracy, poczynając od badań lepiszczy, wytwarzania i zagęszczania próbek z mieszanki mineralno-asfaltowej ubijakiem Marshalla, zagęszczarką płytową i prasą żyratorową. Zaprezentowano badania typu i badania rozszerzone mieszanek mineralno-asfaltowych. Przedstawiono właściwości materiałów wykorzystanych w pracy z projektowaniem ostatecznych mieszanek mineralno-asfaltowych, spełniających aktualne wymagania wytycznych technicznych WT-2.

Dalsze części rozdziału 4 stanowią ważne elementy recenzowanej rozprawy, pokazują szeroki zakres wykonanych badań w laboratorium i przeprowadzonych optymalizacji składu betonu asfaltowego w technologii asfaltu spienionego z dodatkiem włókien rozproszonych na podstawie wymagań technicznych WT-2 oraz badań rozszerzonych. Te rozdziały bardzo dobrze prezentują przykład samodzielnej pracy naukowej mgr inż. Karoliny Janus.

W rozdziale 4.4, w zakresie dotyczącym Etapu I, na podstawie wykonanych badań parametrów piany asfaltowej formowanej przy 3 zawartościach ilości wody, przy 3 temperaturach asfaltów określono optymalne parametry spieniania asfaltu tj. temperaturę 140, 150 i przy 1,5% zawartość wody dla badanego asfaltu, odpowiednio

niemodyfikowanego, modyfikowanego oraz 155C i 3 % dla asfaltu wysokomodyfikowanego na podstawie maksymalnej ekspansji oraz czasu półtrwania piany asfaltowej. Na podstawie oceny badań podstawowych asfaltów przed i po spienianiu stwierdzono, że spienianie lepszyczy nie wpłynęło istotnie na pogorszenie parametrów samych asfaltów, a decydujące znaczenie miał rodzaj samego asfaltu.

W rozdziale 4.5, w zakresie dotyczącym Etapu II, na podstawie wykonanych badań typu mieszanek mineralno-asfaltowych: zawartości wolnych przestrzeni, odporności na deformacje trwałe i odporności na działanie wody i mrozu wykluczono mieszanki nie spełniające wymagania WT-2 z maksymalną zawartością włókien oraz mieszanek produkowanych w obniżonej temperaturze w stosunku do referencyjnych o 15C. Stwierdzono jednocześnie, że dodatek zbrojenia rozproszonego wpływa na zwiększenie zawartości wolnych przestrzeni w mieszance oraz obniżenie temperatury wytwarzania i zagęszczania próbek o 15C nie wpłynęło znacząco na zawartość wolnych przestrzeni w odniesieniu do mieszanek referencyjnych niezależnie od rodzaju stosowanych włókien. Stwierdzono, że dodatek włókien nieznacznie zakłócił odporność mieszanek produkowanych w obniżonej temperaturze na deformacje trwałe mierzone proporcjonalną głębokością koleiny, natomiast nie miał wpływu na prędkość przyrostu koleiny oraz na odporność mieszanek na działanie wody i mrozu, przy jednoczesnym zwiększeniu wytrzymałości na pośrednie rozciąganie.

W rozdziale 4.6, w zakresie dotyczącym Etapu III – zaawansowanych badań mieszanek, na podstawie wykonanych badań i analiz zagęszczalności, oceniając wskaźnik stabilności i indeks odporności, sztywności sprężystej w pośrednim rozciąganiu, zespolonego modułu sztywności, odporności na zmęczenie oraz modułu sztywności określono wpływ rodzaju asfaltu, rodzaju i ilości włókien oraz technologii wytwarzania mieszanki mineralno-asfaltowej. Doktorantka stwierdziła, że dodatek włókien i obniżenie temperatury produkcji mieszanki istotnie wpływa na zmniejszenie urabialności oraz możliwość przegęszczania pod ruchem. Stwierdziła także, że znacznie większe efekty wpływu na sztywność ma rodzaj zastosowanego asfaltu niż dodatek włókien. Jednak włókna polimerowo-bazaltowe w mieszankach produkowanych ciepło z asfaltami modyfikowanymi pozwalały obserwować wzrosty sztywności. Dodatek włókien do mieszanek produkowanych na ciepło nie przyniósł spektakularnych zmian w ocenianej trwałości zmęczeniowej mieszanek, ale zmniejszył wrażliwość zmęczeniową mieszanek na zmiany poziomów odkształcenia podczas badania. Także technologia produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych nie wpłynęła na zmiany odporności zmęczeniowej tych mieszanek. W przypadku badania pełzania w wysokich temperaturach mieszanek mineralno-asfaltowych wytwarzanych i zagęszczanych w technologii na ciepło zaobserwowano korzystny wpływ technologii produkcji poprzez zwiększenie wartości modułów sztywności z pełzania oraz wartości odprężenia w szczególności przy stosowaniu asfaltów modyfikowanych. Natomiast dodatek włókien rozproszonych nie przynosił oczekiwanych efektów w wysokich temperaturach, czyli istotnej poprawy odporności na pełzanie, choć niewielkie poprawy obserwowano w przypadku stosowania niemodyfikowanego i modyfikowanego asfaltu poza asfaltem wysokomodyfikowanym.

Należy podkreślić, że w każdy z trzech etapów badawczych Doktorantka zastosowała i zamieściła analizy statystyczne uzyskanych wyników oraz analizę wieloczynnikową celem określenia istotności różnic wartości średnich czynników, jak i wytypowała grupy homogeniczne mieszanek mineralno-asfaltowych za pomocą testu Tukeya.

W ostatniej części badawczej, w rozdziale 4.7, mgr inż. Karolina Janus dokonała optymalizacji składu mieszanki mineralno-asfaltowej w aspekcie wszechstronnej oceny

właściwości mieszanek pod względem wszystkich określanych parametrów z trzech etapów badawczych oraz optymalizacji w zakresie właściwości wysokotemperaturowych. Wykorzystano metodę jednoczesnej optymalizacji wielu zmiennych z wykorzystaniem funkcji użyteczności: rosnącej i malejącej, polegającej na standaryzacji parametru jako wartości pożądanej. Optymalizacja składu mieszanek w wszechstronnej analizie uzyskanych wszystkich właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych wykazała, że: zastosowanie zbrojenia rozproszonego (włókien) oraz technologii obniżonej temperatury produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych (WMA) może korzystnie wpływać na ich właściwości mechaniczne i trwałość. Najlepsze rezultaty osiągnięto przy użyciu lepiszcza 45/80-55 lub 45/80-80 z dodatkiem 0,3% włókien polimerowo-bazaltowych lub 0,05% aramidowych. Obniżenie temperatury nie pogorszyło właściwości mieszanki, a w niektórych przypadkach (np. odporność na zmęczenie) przyniosło poprawę. Mieszanki wytwarzane w tradycyjnej technologii na gorąco wykazywały najlepsze ogólne parametry, ale modyfikacje składu i technologii na ciepło z asfaltem spienionym mogą skutecznie zbliżyć ich właściwości do poziomu mieszanek w technologii na gorąco.

Optymalizacja składu mieszanek mineralno-asfaltowych w analizie właściwości wysokotemperaturowych wykazała, że: obniżenie temperatury wytwarzania mieszanek mineralno-asfaltowych pogarszało ich właściwości wysokotemperaturowe, szczególnie pod względem głębokości koleiny i modułu sztywności. Jednak zastosowanie zbrojenia rozproszonego, zwłaszcza włókien polimerowo-bazaltowych i aramidowych, skutkowało poprawą parametrów użyteczności, szczególnie w połączeniu z lepiszczem wysokomodyfikowanym 45/80-80. Najlepsze wyniki osiągnięto w mieszankach WMA-30°C z dodatkiem 0,3% włókien bazaltowych, które przewyższały nawet mieszanki referencyjne produkowane w technologii na gorąco. Wpływ zbrojenia na moduł pełzania był negatywny przy zastosowaniu 50/70, natomiast przy 45/80-80 i odpowiednim dozowaniu włókien (0,05% AR, 0,15% PB) uzyskano lepsze rezultaty. Ogólnie, najwyższy indeks użyteczności uzyskały mieszanki z włóknami aramidowymi (0,1%) i bazaltowymi (0,15–0,3%), niezależnie od zastosowanego lepiszcza, przy czym technologia na ciepło z obniżeniem temperatury o 30°C z lepiszczem wysokomodyfikowanym i włóknami bazaltowymi 0,3% wykazała szczególnie korzystne właściwości.

Całość rozprawy zamyka rozdział 5, wnioski końcowe i kierunki dalszych badań.

4. OCENA ROZPRAWY

Ocena rozprawy została przedstawiona w dwóch częściach. W pierwszej części znajduje się ogólna ocena merytoryczna z wyszczególnieniem wybranych oryginalnych, według recenzenta, aspektów rozprawy. Natomiast w drugiej części oceny zawarto szczegółowe również wybrane uwagi recenzenta zarówno natury merytorycznej, jak i redakcyjne oraz pytania do Doktorantki.

Ocena merytoryczna

Dobór tematyki, cele badawcze oraz zakres prac recenzowanej rozprawy trafnie adresują obecne potrzeby naukowe w zakresie drogownictwa rozpatrywane w Polsce i na świecie. Rozwój technologii produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych na ciepło z zastosowaniem spienienia asfaltu wpisują się w bieżące potrzeby Polski i świata, tj.

potrzeby redukcji emisji CO₂. Zagadnienie potraktowane jest poprawnie i kompleksowo. Praca zawiera przegląd bardzo aktualnej literatury ze wskazaniem braków w zakresie już zrealizowanych prac badawczych, dotyczących charakterystyki mieszanek produkowanych w technologii na ciepło z asfaltem spienionym z dodatkiem włókien rozproszonych oraz optymalizacji składu tego typu mieszanek ze względu, przede wszystkim, na właściwości wysokotemperaturowe. Praca zawiera bardzo rozbudowaną część badawczą, w której wykorzystano wiele metod laboratoryjnych badań właściwości podstawowych asfaltu, asfaltu spienionego oraz badań podstawowych i zawansowanych mieszanek mineralno-asfaltowych, a w tym zagęszczalności i dogęszczalności, odporności na deformacje trwałe, odporności na działanie wody i mrozu, zmiany sztywności w funkcji temperatury, zmiany modułu sztywności i kąta przesunięcia fazowego oraz trwałości zmęczeniowej. Wyniki rozpatrywano w ocenie wpływu technologii produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej, rodzaju stosowanego asfaltu oraz zastosowanego zbrojenia rozproszonego, co jest bardzo ambitnym zakresem. Niewątpliwie oceniano nowatorski, innowacyjny materiał jakim jest mieszanka mineralno-asfaltowa produkowana w technologii na ciepło (dwie temperatury produkcji) z asfaltem spienionym (trzy rodzaje asfaltów) i dodatkiem włókien rozproszonych (dwa rodzaje). Jednocześnie Doktorantka umiejętnie wykorzystwała narzędzia statystyczne do ocen wpływu poszczególnych zmiennych na właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych oraz do optymalizacji składu tych mieszanek. Jest to dobre ujęcie zagadnienia i efektywna próba optymalizacji składu mieszanek. Należy podkreślić, że Autorka stosowała obowiązujące normy i procedury badawcze. Metody te są standardami uznanymi w inżynierii drogowej, co gwarantuje wiarygodność i porównywalność wyników. Metodologia nie budzi zastrzeżeń – jest nowoczesna, zgodna ze sztuką badawczą w inżynierii materiałów nawierzchniowych i adekwatna do założonych celów. Autorka wykazała się dużą znajomością tematu i umiejętnością doboru właściwych metod oraz prawidłowego ich zastosowania w laboratorium.

Jednak muszę wskazać także uwagę krytyczną, która nie podważa ogólnej wartości naukowej pracy - Doktorantka w wielu przypadkach przy ocenie wyników nie próbowała wyjaśnić inżyniersko zjawisk fizycznych czy mechanicznych jakie miały wpływ (poprzez obniżenie temperatur produkcji mieszanek, poprzez dodatek włókien, czy zastosowanie różnego rodzaju asfaltu o istotnie odmiennych lepkościach) na uzyskane wyniki. Często ograniczała się do wskazania najlepszego i najgorszego wyniku lub stwierdzenia pozytywnego/negatywnego wpływu zmiennego czynnika. A wprowadzenie tego rodzaju dyskusji w pracy zwiększyłoby wartość całej pracy.

Finalnie praca przedstawia oryginalne i kompleksowe podejście do oceny właściwości warstwy ścieralnej z mieszanki mineralno-asfaltowej produkowanej na ciepło z dodatkiem włókien rozproszonych z wykorzystaniem wielu rodzajów asfaltów. Oryginalnym elementem pracy są niewątpliwie szeroko zakresowe badania eksperymentalne nad mieszankami na ciepło z asfaltem spienionym, gdzie na każdym etapie badań Doktorantka wykorzystwała metody statystyczne. Tak szeroki zakres badań z tyloma zmiennymi nie był do tej pory publikowany.

Praca ma duże znaczenie poznawcze w zakresie charakterystyki innowacyjnych materiałów, jakim są mieszanki mineralno-asfaltowe produkowane na ciepło z asfaltem spienionym z dodatkiem włókien rozproszonych oraz techniczne dla rozwoju i atrakcyjności technologii produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych na ciepło z asfaltem spienionym. Wyniki uzyskane przez Autorkę mogą mieć bezpośrednie przełożenie na praktykę inżynierską: wskazują optymalne kombinacje asfaltu spienionego i zbrojenia

rozproszonego do warstw ścieralnych nawierzchni, co może pomóc projektantom i wykonawcom dróg w doborze trwałych i jednocześnie bardziej ekologicznych technologii nawierzchni.

Na zakończenie ogólnej oceny merytorycznej należy wspomnieć, że recenzowana praca jest przygotowana na wysokim poziomie, demonstruje zaawansowane umiejętności Doktorantki. Doktorantka wykazała się umiejętnościami w zaawansowanych pracach laboratoryjnych oraz to co nie jest powszechne, umiejętnie wykorzystwała narzędzia statystyczne do analizy uzyskanych wyników i ostatecznego wnioskowania. Należy dodać, że niektóre elementy badanych właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych produkowanych na ciepło z asfaltem spienionym zostały już zweryfikowane podczas międzynarodowych recenzji do znanego czasopisma w środowisku drogowym - Materials (Q2; IF=3,1) oraz opublikowała dokonania na konferencji międzynarodowej.

Uwagi merytoryczne i redakcyjne

Praca jest obszerna, co wynika z dużej liczby przeprowadzonych badań. Momentami czytelnik może zostać przytłoczony nadmiarem wykresów i tabel. Być może niektóre szczegółowe wyniki (szczególnie te mniej istotne statystycznie) mogły zostać przeniesione do załącznika lub skrócone, aby jeszcze lepiej wyeksponować najważniejsze trendy.

Wszystkie eksperymenty zostały wykonane w warunkach laboratoryjnych. Jest to akceptowalne w pracy doktorskiej, ale naturalnym krokiem dalszym byłoby potwierdzenie uzyskanych wyników w pełnej skali w realnych nawierzchniach (np. ułożenie odcinka doświadczalnego z optymalną mieszanką wytwarzaną na ciepło z asfaltem spienionym oraz z włóknami i monitoring zachowania pod ruchem). O tym nie wspomniano w rozdziale o dalszych kierunkach badań.

Rozprawa skupia się na parametrach technicznych, jednak jednym z czynników decydujących o wdrażaniu innowacyjnych technologii jest koszt. W pracy zabrakło dyskusji na temat kosztów stosowania włókien i potencjalnych oszczędności wynikających z obniżenia temperatury produkcji. Krótkie omówienie opłacalności proponowanych rozwiązań byłoby cennym uzupełnieniem praktycznego znaczenia wyników.

1. Str. 3, zapisano, że badania mieszanek mineralno-asfaltowych zostały zrealizowane w ramach projektu Techmatstrateg, który rozpoczął się w 2019 r. Czy wszystkie badania przedstawione w pracy były realizowane i analizowane przez Doktorantkę?
2. Str. 12-13, zapisano w tablicy 2.1 redukcję temperatury produkcji mieszanek na ciepło o około 35-45°C, a wcześniej w tekście o min. 20-30°C. Skąd taka redukcja, nieścisłość?
3. Str. 40, włókna celulozowe nigdy nie mają funkcji zbrojącej
4. Str. 64, stwierdzono, że na podstawie studiów literatury wytypowano dwa rodzaje włókien i ich zawartości. W którym miejscu pracy dokonano takiej analizy i wytypowano włókna, jakie było kryterium?
5. Str. 74, w przypadku badań zagęszczalności próbki poddano 512 cyklom w prasie żyrotorowej. Skąd taka liczba cykli?
6. Str. 77, w przypadku zagęszczalności jak przystosowano amerykańskie przepisy Superpave odmiennego projektowania mieszanek na zawartość wolnych

- przestrzeni 4 lub 5% niezależnie od rodzaju warstwy w nawierzchni do przepisów polskich o projektowanej zawartości wolnych przestrzeni?
7. Str. 129, dlaczego analizowano istotność różnic wartości średnich wytrzymałości skoro ten parametr jest określany dla mieszanki niedogęszczanej celem wyznaczenia wskaźnika po cyklach kondycjonowania w wodzie?
 8. Str. 140, wykonano analizę zawartości wolnych przestrzeni w mieszance mineralno-asfaltowej w próbce żyratorowej oraz w mniejsze próbce wyciętej z próbki żyratorowej. Jaki był cel tych analiz i co tak naprawdę oceniano, skoro po odwiercie próbka miała zamkniętą, zaklejoną pobocznice?
 9. Uzyskane Krzywe Blacka mieszanek nie zawsze pokazują typowe przebiegi (czyli kształt półkola); z czego wynikają rozrzuty wyników?; w szczególności w zakresie temperatur od 25-35°C (chmura punktów). Jak wyglądają punkty z pomiaru poszczególnych mieszanek w zakresie 20-35°C i skąd wynika taki przebieg punktów?
 10. Krzywe MasterCurve mieszanek – brak informacji szczegółowych o poszczególnych wynikach z badań? Przedstawiono tylko krzywe modelowe, jak wyglądają zestawy punktów wynikowych?
 11. Str. 168, co było przyczyną, jaka była podstawa analiz zmęzeniowych z wykorzystaniem wskazanych liczby cykli 10, 50 i 100 tys. oraz odkształceń? W metodzie pośredniego rozciągania od końca lat 90tych standardem (na podstawie prac Said'a, Read'a&Collop'a, Rowe) i w analizie wyników jest inicjacja mikropeknięcia oceniana na bazie koncepcji energii rozproszonej, na przyjęciu, że sztywność mieszanki jest odwrotnie proporcjonalna do przejściowego przemieszczenia pionowego.
 12. Str. 195, zbrojenie rozproszone w przypadku asfaltu drogowego 50/70 pogarsza właściwości. Co jest tego przyczyną?
 13. W tekście pracy zdarzają się błędy redakcyjne: str. 61 – w tekście zapisano, że będą dwie tezy, a ostatecznie widnieją trzy tezy; str. 83 – nazewnictwo: asfalt zwykły, powinno być asfalt drogowy lub niemodyfikowany; w wielu miejscach pracy (w studiach literatury, ale także przy analizach wyników) opisy rysunków są w języku angielskim itp.

Pytania do Doktorantki

1. Proszę o wyjaśnienie całego procesu technologicznego w produkcji i wbudowaniu mieszanek mineralno-asfaltowych produkowanych na ciepło z asfaltem spienionym i wskazania jednoznacznie korzyści temperaturowych?
2. Jak zmienia się urabialność mieszanki mineralno-asfaltowej z dodatkiem włókien w porównaniu do mieszanki bez włókien? Czy wymagana jest większa energia podczas zagęszczania mieszanki?
3. Czy stosowanie technologii na ciepło w produkcji i mieszanek mineralno-asfaltowych z asfaltami wysokomodyfikowanymi może sprawiać problemy w zagęszczaniu na drodze?
4. Po dodatku włókien rozproszonych czy to włókien polimerowo-bazaltowych czy aramidowych wg ogólnej wiedzy oczekuje się poprawy odporności mieszanki na deformacje trwałe. Co jest przyczyną braku takiego efektu w przypadku mieszanek z asfaltem drogowym 50/70?
5. Jakie było kryterium doboru badań do oceny właściwości wysokotemperaturowych mieszanek mineralno-asfaltowych?

6. Czy mogą wystąpić jakieś ograniczenia w pełnej skali produkcji i wbudowania mieszanek mineralno-asfaltowych z asfaltem spienionym i dodatkiem włókien rozproszonych z różnym rodzajem asfaltu?
7. Czy miała Pani okazję widzieć mieszanę z dodatkiem włókien produkowaną w laboratorium i produkowaną na wytwórni? Jeżeli tak, to czy były zauważalne różnice? Czy można spodziewać się różnic we właściwościach mieszanek produkowanych w laboratorium i w wytwórni?
8. Jak Pani zdaniem można wykorzystać pozytywne właściwości badanych mieszanek z dodatkiem włókien rozproszonych w projektowaniu konstrukcji nawierzchni?

5. WNIOSKI KOŃCOWE

Rozprawa ma charakter naukowy i jest świadectwem istotnego wkładu Autorki w rozwój i charakterystykę materiałową innowacyjnych materiałów drogowych, jak i możliwości wykorzystania wyników badań laboratoryjnych do optymalizacji właściwości materiałowych oraz wdrożenia betonu asfaltowego wytwarzanego w technologii asfaltu spienionego ze zbrojeniem rozproszonym w sytuacjach wymagających. Pomimo wskazanych niejasności wspomnianych w recenzji, dobrze oceniam zarówno zakres oraz realizację rozprawy doktorskiej. Pani mgr inż. Karolina Janus wykazała się bardzo dobrymi umiejętnościami analitycznymi i przedstawiła kompleksową analizę innowacyjnej technologii betonu asfaltowego, w szczególności w wysokich temperaturach. Wszystkie postawione cele zostały zrealizowane a tezy potwierdzono. Dobrze byłoby dla rozwoju technologii drogowej, żeby Pani mgr inż. Karolina Janus w przyszłości kontynuowała ten kierunek i udoskonalała zaproponowane przez siebie podejście analityczne w sprawdzaniu badania materiałów w pełnej skali, to jest w nawierzchni drogowej.

Niniejszym potwierdzam, że rozprawa doktorska autorstwa mgr inż. Karoliny Janus spełnia warunki Ustawy i stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Jednocześnie recenzowana rozprawa mgr inż. Karoliny Janus potwierdza Jej umiejętności do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Wnoszę o przyjęcie recenzowanej rozprawy i dopuszczenie mgr inż. Karoliny Janus do publicznej obrony przed Komisją Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Świętokrzyskiej.

Z poważaniem,

dr hab. inż. Piotr Jaskuła, prof. PG

Recenzję zgodną z wymaganiami
for asfaltu

DYREKTOR NAUKOWY DYSCYPLINY
Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport

prof. dr hab. inż. Jerzy Wawrzeńczyk