

Prof. dr hab. inż. Antoni Szydło
Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego
Politechniki Wrocławskiej
ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław
e-mail: antoni.szydlo@pwr.wroc.pl

Wrocław, 2018-05- 24

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Macieja Maliszewskiego pt: **”Zastosowanie mikrofal podczas wykonywania i naprawy nawierzchni asfaltowej”**

1. Uwagi formalne

Recenzja rozprawy została opracowana na podstawie uchwały Rady Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Lubelskiej oraz pisma zlecającego WB/943/2018 z dnia 09.05.2018 r. podpisanego przez Dziekana dr hab. inż. Bogusława Szmygina, prof. nadzw. P.L.

Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Adam Zofka, prof. IBDiM.

Promotorem pomocniczym: dr inż. Agnieszka Wozzuk z Politechniki Lubelskiej.

2. Treść i zakres rozprawy

Praca składa się z 5 rozdziałów przedstawionych na 214 stronach formatu A4, załącznika nr 1 zawierającego recepty badanych mieszanek mineralno-asfaltowych. W pracy zestawiono spis wykorzystywanej literatury, zawierającej 140 pozycji artykułów (w tym 119 pozycji w języku angielskim, 21 w języku polskim) .

W rozdziale 1, wstępie, Doktorant przedstawił problem naukowy oraz tezy pracy. Głównym tematem rozprawy doktorskiej jest ocena możliwości efektywnego stosowania technologii mikrofalowej przy wykonywaniu i naprawie nawierzchni asfaltowych. Celem pracy jest ocena czy technologia mikrofalowa może być korzystną z technologicznego punktu widzenia alternatywą wobec obecnie stosowanych metod i technologii wykonania oraz naprawy nawierzchni asfaltowych. Autor sformułował cztery tezy badawcze:

- a) Szybkość nagrzewania mikrofalami nawierzchni asfaltowych zależy od wybranych cech i składników mieszanek mineralno-asfaltowych.
- b) Krótkotrwałe oddziaływanie mikrofalowe nie wpływa niekorzystnie na właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych.
- c) Krótkotrwałe oddziaływanie mikrofalowe nie wpływa niekorzystnie na podstawowe właściwości asfaltu.
- d) Zastosowanie techniki mikrofalowej może być z powodzeniem stosowane przy wykonywaniu nowej i naprawie nawierzchni asfaltowej.

Rozdział 2 poświęcony jest studiom literaturowym dotyczącym trwałości nawierzchni asfaltowych, zastosowania technik ogrzewania mikrofalowego i ich oddziaływania na asfalt, kruszywo, mieszanki mineralno-asfaltowe, napraw nawierzchni – samouleczenie. Po studiach literaturowych Doktorant sytuuje swój problem badawczy w zakresie przedmiotowej tematyki.

W rozdziale 3 Doktorant przedstawił metody badawcze jakimi posługiwał się przy udowadnianiu postawionych tez badawczych. Przedstawił metodę i sposób oceny parametrów dielektrycznych mieszanek mineralno-asfaltowych (AC22, AC16, AC8, SMA8) oraz ich składników tj. kruszywa (bazalt, gabra, wapien) i asfaltu (35/50, 50/70, PMB45/80-55, PMB65/105-60), prezentując zasady działania aplikatora mikrofalowego. Zaprezentował metodę oceny wpływu mikrofal na właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych oparte o ocenę: odporności na działanie wody i mrozu, odporności na zmęczenie, sztywności, odporności na spękania niskotemperaturowe oraz odporności na koleinowanie. Przeanalizował wpływ krótkotrwałego oddziaływania mikrofal na właściwości asfaltu określając: temperaturę mięknięcia, łamliwości, penetrację, moduł sztywności i kąt przesunięcia fazowego. Zaprezentował wykorzystanie techniki mikrofalowej przy wykonywaniu i naprawie nawierzchni asfaltowych. Wykorzystanie to dotyczyło wykonania złączy podłużnych oraz napraw spękań. Skuteczność zabiegu oceniano wykonując badania: odporności na pękanie niskotemperaturowe, wytrzymałość na rozciąganie przy ściskaniu oraz wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu.

W rozdziale 4 Doktorant zaprezentował wyniki badań. Autor konsekwentnie udowadnia sformułowane tezy, prezentując własne wyniki badań. W pierwszej kolejności określa właściwości dielektryczne materiałów wchodzących w skład mieszanki mineralno-asfaltowej tj. asfaltu, kruszywa oraz mieszanki mineralno-asfaltowej jako całości. W wyniku badań i analiz statystycznych wykazał, że asfalt odznacza się niską stałą dielektryczną, która maleje wraz podgrzewaniem asfaltu powyżej temperatury mięknięcia. Kruszywa odznaczały

się zróżnicowanymi właściwościami. Najlepsze miał bazalt gorsze kruszywo wapienne i gabbro. W przypadku mieszanek mineralno-asfaltowych wynikowe właściwości dielektryczne były lepsze niż poszczególnych składników. Istotny wpływ na zwiększenie właściwości ma zawartość wolnej przestrzeni oraz zawartość asfaltu. W rozdziale tym Doktorant przedstawił wyniki wpływu krótkotrwałego nagrzewania na właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych badając: odporność na działanie wody i mrozu, zmęczenie, sztywność, odporność na koleinowanie, odporność na pękanie niskotemperaturowe. W rezultacie otrzymanych wyników i analiz statystycznych pokazał brak wpływu krótkotrwałego nagrzewania na w/w cechy oraz skład chemiczny i mineralny kruszywa. Ponadto badał wpływ nagrzewania mikrofalowego na właściwości asfaltu, stwierdzając brak wpływu a w przypadku polimeroasfaltu nawet polepszenie niektórych właściwości. W rozdziale 4.4 przedstawił Doktorant wyniki badań zrealizowane *in situ* na odcinkach eksperymentalnych na których prowadził badania skuteczności połączeń technologicznych podłużnych z wykorzystaniem nagrzewania mikrofalowego oraz stosowania tradycyjnych materiałów takich jak taśmy czy pasty. W wyniku wyciętych prób i badań na spękanie niskotemperaturowe, wytrzymałości na rozciąganie pośrednie, zginanie próbki półwalcowej stwierdził, że najlepsze efekty i wyniki badań na rozciąganie uzyskuje się dla złączy podgrzewanych mikrofalami. W rozdziale 4.4 przedstawił również Doktorant wyniki badań spękanych mieszanek mineralno-asfaltowych i regenerowanych za pomocą mikrofal. Badania mieszanek zespolonych techniką mikrofalową wykazały bardzo dobre właściwości wytrzymałościowe (na rozciąganie). Porównywalne do szwa technologicznego.

Rozdział 5 kończy pracę w którym zamieszczone są wnioski z przeprowadzonych analiz i badań oraz kierunki dalszych badań. Zamieszczone wnioski są uogólnieniem wniosków prezentowanych po zakończeniu każdego rozdziału. Autor stwierdza jednoznacznie, że w pracy osiągnięto cel badawczy.

Załącznik zawiera zestawienie recept badanych w pracy mieszanek mineralno-asfaltowych oraz wyniki identyfikacji parametrów wytrzymałościowych i odkształceniowych analizowanych mieszanek.

3. Ocena rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Macieja Maliszewskiego dotyczy ważnego problemu występującego w drogownictwie (nie tylko polskim ale również światowym), związanego z regeneracją pojedynczych pęknięć mieszanek mineralno-asfaltowych za pomocą oddziaływania mikrofalowego. Autor podjął się trudnego i ambitnego zadania badawczego, którego efekty w praktyce mogą być widoczne w nawierzchniach drogowych po kilkuletnim okresie eksploatacji. Praca ta moim zdaniem ma ważne znaczenie poznawcze i techniczne dla rozwoju metod napraw spękanych warstw z mieszanek mineralno-asfaltowych jak również wspomaganie przy wykonywaniu warstw wzmacniających na istniejących nawierzchniach modernizowanych „pod ruchem” (tzw. układanie połówkowe). Problem ma również aspekt ekonomiczny i społeczny, gdyż przedwczesne degradacje nawierzchni drogowych (wskutek np. wadliwie wykonanych złączy lub nieskutecznie naprawionych pęknięć nawierzchni) prowadzi do wzrostu nieprzewidywanych kosztów budżetowych.

Doktorant wykonał bardzo obszerny program badań laboratoryjnych i eksperymentalnych *in situ*, badając właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych poddanych działaniom mikrofal jak również używając tychże do regeneracji mieszanek mineralno-asfaltowych w warunkach *in situ*. Program badań jaki realizował Doktorant wymagał nakładu pracy oraz wiedzy nie tylko z zakresu budownictwa drogowego ale również znajomości teorii fal elektromagnetycznych, metod statystycznych i metod analiz chemicznych w zakresie składu mineralogicznego kruszyw. Określił stałe dielektryczne (ile energii może zmagazynować materiał w postaci pola elektrycznego) oraz stratność dielektryczną (określa jaką część energii może wydysypować w postaci ciepła) materiałów wchodzących w skład mieszanek mineralno-asfaltowych – asfaltu, kruszywa i samych mieszanek. Wykazał, że podgrzewana w wyniku działania mikrofal mieszanka mineralno-asfaltowa oraz jej składniki tj. asfalt i kruszywo nie zmieniają swoich właściwości wytrzymałościowych i odkształceniowych w różnych temperaturach badania. Nie powoduje zmian starzeniowych mieszanek mineralno-asfaltowych charakterystycznych dla tradycyjnego transferu ciepła. W wyniku badań stwierdził, że w skutek oddziaływania mikrofalowego uzyskuje się polepszenie niektórych właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych np. odporności na zmęczenie, odporności na koleinowanie, czy odporności na spękania niskotemperaturowe. Wykazał, że bardzo dobre efekty uzyskuje się przy wykonywaniu złączy podczas układania warstw z mieszanek mineralno-asfaltowych. Jak również przy naprawie pęknięć pojedynczych. Uzyskuje się znacznie lepsze efekty niż przy naprawie tradycyjnymi metodami tj. zalewanie

spękań. Metodą mikrofalową uzyskuje się strukturalną naprawę pęknięcia a nie powierzchniową.

Przedstawione w zakończeniu pracy wnioski opierają się o rezultaty badań i studiów teoretycznych, stanowiąc ich uogólnienie.

4. Uwagi merytoryczne i pytania do Doktoranta

Po zapoznaniu się z treścią rozprawy nasuwają się następujące uwagi merytoryczne i pytania do Doktoranta:

- 1) Doktorant we wstępnej części pracy nadmienia, że praca doktorska powstała w wyniku realizacji grantu badawczego NGAM2 finansowanego przez NCBiR. Chciałbym zapytać Doktoranta w jakim stopniu wykorzystał te wyniki i czy to co prezentuje w pracy doktorskiej jest Jego autorskim dorobkiem?
- 2) Czym należy tłumaczyć wzrost parametrów mieszanek mineralno-asfaltowych w wyniku nagrzewania mikrofalami? Chodzi tutaj o wzrost odporności na zmęczenie, odporności na koleinowanie, czy odporność na spękania niskotemperaturowe.
- 3) Jakim zdaniem Doktoranta zaszły zjawiska w mieszankach mineralno-asfaltowych skoro uległy poprawieniu dwie przeciwstawne sobie cechy a mianowicie odporność na koleinowanie i odporność na zmęczenie?
- 4) Czy poprawa w/w cech jest zdaniem Doktoranta trwała czy to tylko efekt krótkotrwały?
- 5) Czy zdaniem Doktoranta zregenerowane pęknięcia będą odporne na obciążenia cykliczne?
- 6) Dlaczego obniżono poziom ufności przy analizie wyników badań mieszanek mineralno-asfaltowych do 90%, podczas gdy wyniki badań składników analizowano przy poziomie ufności 95%?

5. Uwagi redakcyjne

Praca moim zdaniem napisana jest poprawną polszczyzną i czyta się ją z zainteresowaniem. Doktorant zaproponował ciekawą redakcję i układ pracy. Na początku stawia tezy. Następnie podaje metody za pomocą których będzie udowadniał je. Z kolei prezentuje wyniki badań tj. dowody na prawdziwość tezy.

- 1) Moim zdaniem Autor powinien z punktu 4.4 zrobić nowy rozdział. Wtedy w sposób czytelny wyeksponowałby badania eksperymentalne *in situ*.
- 2) Doktorant często używa pojęcia warstwy asfaltowe (również w tytule). Moim zdaniem winno być warstwy z mieszanek mineralno-asfaltowych.
- 3) Występujące literówki mam nadzieję, że Doktorant wyszlifuje przy publikacji rozprawy.

6. Podsumowanie oceny rozprawy

Biorąc pod uwagę całość przedstawionej rozprawy stwierdzam, że dotyczy ona ważnego zagadnienia związanego z regeneracją uszkodzeń mieszanek mineralno-asfaltowych wbudowanych w nawierzchnie drogowe.

Badania Doktoranta udowodniły, że istnieje możliwość zastosowania techniki mikrofalowej do naprawy niektórych uszkodzeń (głównie spękań) mieszanek mineralno-asfaltowych.

Autor do realizacji celów i udowodnienia hipotez wykonał obszerny program badań w laboratorium i na poligonie eksperymentalnym, przeprowadził analizy teoretyczne z zakresu właściwości dielektrycznych mieszanek mineralno-asfaltowych oraz ich składników.

W sposób czytelny metodami naukowymi (na podstawie analiz i weryfikacji hipotez statystycznych wyników obserwacji zebranych w badaniach laboratoryjnych oraz *in situ* oraz studiów teoretycznych nad właściwościami dielektrycznymi mieszanek mineralno-asfaltowych i ich składników) Autor udowodnił postawione tezy badawcze i rozwiązał zadanie naukowe. Wykazał, że krótkotrwałe nagrzewanie mieszanek mineralno-asfaltowych nie powoduje zmian parametrów wytrzymałościowych i odkształceniowych mieszanek mineralno-asfaltowych o różnym rodzaju i składzie kruszywa oraz asfaltu. Udowodnił również, że stosowana metoda nagrzewania nie powoduje zmian właściwości asfaltu (głównie starzenia) oraz kruszywa. Zaproponował metodę nagrzewania mikrofalowego do naprawy (scalenia) pojedynczych spękań mieszanek mineralno-asfaltowych wbudowanych w nawierzchnie drogowe. Moim zdaniem zaproponowana metoda regeneracji pęknięć

mieszanek wpisuje się w strategię gospodarki niskoemisyjnej mogącej być zasilaną energią pochodzącą ze źródeł niskoemisyjnych (energetyka ze źródeł odnawialnych).

Doktorant wykazał się umiejętnością samodzielnego prowadzenia prac badawczych i rozwiązywania problemów naukowych.

Podane powyżej uwagi nie umniejszają wartości rozprawy jako całości.

7. Wniosek końcowy

Stwierdzam, że opiniowana rozprawa doktorska mgra inż. Macieja Maliszewskiego pt: "Zastosowanie mikrofal podczas wykonywania i naprawy nawierzchni asfaltowej" spełnia wszystkie wymagania określone przez ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 roku (i dalszych zmianach).

Przedkładam Wysokiej Radzie Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Lubelskiej niniejszą recenzję z wnioskiem o przyjęcie pracy jako rozprawy doktorskiej oraz dopuszczenie jej do publicznej obrony.

