

Dr hab. inż. Paweł Mieczkowski
Katedra Dróg i Mostów
Wydział Budownictwa i Architektury
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

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

Szczecin, 25 maj 2018 r.

OPINIA

o pracy doktorskiej **mgr inż. Macieja Maliszewskiego**
pt. „**Zastosowanie mikrofal podczas wykonywania i naprawy nawierzchni asfaltowej**”

wykonanej pod kierunkiem
dr hab. inż. Adama Zofka, prof. nzw. IBDiM – promotora
oraz dr inż. Agnieszki Woszuik – promotora pomocniczego

Przedmiot i podstawa opracowania recenzji

Przedstawiona rozprawa doktorska dotyczy problematyki z zakresu budownictwa drogowego, mieści się więc w dziedzinie nauk technicznych, dyscyplinie budownictwo. Przedmiotem oceny, zgodnie z art. 13 ust. 1 Ustawy z dnia 14.03.2003 r. o stopniach i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. nr 65 poz. 595), jest sprawdzenie czy praca stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, czy wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w danej dyscyplinie oraz jego umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Podstawą formalną do wykonania recenzji rozprawy doktorskiej jest pismo Pana Dziekana Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Lubelskiej prof. Bogusława Szmygina z dnia 09.05.2018 r. (WB-944/2018), realizującego uchwałę Rady Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Lubelskiej z dnia 25.04.2018 r.

Ogólna charakterystyka rozprawy, uzasadnienie wyboru tematyki

Recenzowana rozprawa dotyczy możliwości wykorzystania fal elektromagnetycznych podczas wykonywania i napraw nawierzchni asfaltowych, które mogą stanowić alternatywę dla obecnie stosowanych technologii. Wpisuje się to w ogólnoswiatową politykę dążącą do zmniejszenia emisji substancji szkodliwych do środowiska oraz podniesienia efektywności energetycznej procesów wytwórczych. Podjęte w pracy rozważania analizowano w oparciu o rozbudowany program badawczy, obejmujący swym zakresem ocenę możliwości nagrzewania mikrofalami mieszanek mineralno-asfaltowych (MMA), wpływ mikrofal na właściwości MMA (oraz jej głównych składników: asfaltu, kruszywa) oraz efektywności tej technologii przy naprawie pęknięć oraz wykonawstwie nawierzchni w obrębie szwów technologicznych. Zrealizowane badania, poparte racjonalnym planem

eksperymentu, bazują na nowoczesnej aparaturze (w skali światowej) i są adekwatne do założonych celów. Były częściowo realizowane w ramach programu badawczego NGAM2 (finansowanego przez NCBiR), którego doktorant był współpomysłodawcą oraz głównym autorem problematyki badawczej. Wyniki uzyskane z badań były poddane szczegółowej analizie statystycznej w zakresie ich istotności oraz współzależności pomiędzy ocenianymi cechami.

Prezentowany w pracy obszar tematyczny badań, dotyczący możliwości wykorzystania mikrofal w technologii drogowej z uwzględnieniem ich oddziaływania na właściwości MMA oraz poszczególnych jej składników, stanowi o poznawczej i użytkowej wartości problematyki rozprawy. Mogę stwierdzić, że tytuł rozprawy, podjęta tematyka badawcza jest aktualna i interesująca pod względem naukowym, zatem jej wybór i przedstawienie w rozprawie doktorskiej uznaję za merytorycznie uzasadnione.

Koncepcja pracy, jej cel, tezy i hipotezy badawcze. Problemy badawcze

Tytuł rozprawy jest jednoznaczny i zrozumiały. Koncepcja pracy opiera się na określeniu głównego celu, jakim jest sprawdzenie, czy technologia mikrofalowa może być korzystną z technologicznego punktu widzenia alternatywą wobec powszechnie stosowanych metod w technologii drogowej. Wymagało to sformułowania przez Autora czterech tez i hipotez badawczych oraz przypisanych im szczegółowych celów badawczych, popartych każdorazowo planami eksperymentów. Dysertacja zawiera zarówno studia teoretyczne jak i szeroki zakres badań empirycznych w zakresie omawianego problemu naukowego.

Obok głównego celu pracy na podstawie studiów literatury określono cztery tezy badawcze (w formie pytań problemowych) i przypisane im, wymagające udowodnienia, hipotezy:

- szybkość nagrzewania mikrofalami nawierzchni asfaltowej zależy od wybranych cech i składników mieszanek mineralno-asfaltowych,
- krótkotrwałe oddziaływanie mikrofalowe nie wpływa niekorzystnie na właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych,
- krótkotrwałe oddziaływanie mikrofalowe nie wpływa niekorzystnie na podstawowe właściwości asfaltu,
- zastosowanie techniki mikrofalowej może być z powodzeniem stosowane przy wykonywaniu nowej i naprawie nawierzchni asfaltowej.

Tak sformułowane zagadnienia w sensie poznawczym są interesujące, wynikają i korespondują z obszarem badawczym rozprawy. Merytorycznie i formalnie są prawidłowe i zrozumiałe.

Weryfikacja hipotez wymagała na wstępnym etapie nakreślenia szczegółowych celów badawczych, a następnie przeprowadzenia szeregu badań w skali laboratoryjnej jak również półtechnicznej. Do celów badawczych Autor zaliczył:

- określenie parametrów dielektrycznych asfaltu, kruszywa oraz zagęszczonej mieszanki mineralno-asfaltowej,
- określenie podatności na nagrzewanie asfaltu, kruszywa oraz mieszanki mineralno-asfaltowej,
- zbadanie zmian właściwości próbek mieszanki mineralno-asfaltowej poddanych oddziaływaniu mikrofal,
- zbadanie zmian podstawowych właściwości asfaltu, właściwości mechanicznych oraz składu chemicznego po zastosowaniu różnych technik starzenia, w tym temperaturowego, ciśnieniowego i oddziaływania mikrofalowego,

- ocenę wytrzymałościową obecnie stosowanych technik wykonania połączeń technologicznych oraz techniki mikrofalowej,
- ocenę możliwości wykonania naprawy spękanej nawierzchni przy wykorzystaniu techniki mikrofalowej.

Genezą i podstawą celów pracy, jej tezy i hipotezy stanowił problem badawczy, którym jest ocena możliwości efektywnego stosowania technologii mikrofalowej przy wykonywaniu i naprawach nawierzchni asfaltowych. Jest on interesujący, aktualny i ważny zarówno w aspekcie wykonawstwa czy napraw nawierzchni asfaltowych (aplikacja w gospodarce), ale również ze względu na ochronę środowiska naturalnego, a przede wszystkim ograniczenia emisji spalin do atmosfery.

Koncepcję rozprawy uważam za merytorycznie dojrzałą oraz interesującą. Opinię swoją uzasadniam:

- interesującą (i aktualną) problematyką wykorzystania mikrofal w technologii drogowej,
- merytorycznymi treściami sformułowanych celów pracy, tezy i hipotezy,
- wykorzystaniem właściwych metod do rozwiązania szeregu postawionych problemów badawczych,
- podziałem i układem treści rozprawy.

Metodyka badań

Rozwiązanie problemu badawczego, osiągnięcie celów rozprawy naukowej, udowodnienie zaprezentowanych tezy czy też weryfikacja hipotezy wymagało odpowiednich metod badawczych, realizacji odcinków doświadczalnych, zastosowania niekonwencjonalnej aparatury (współpracy z specjalistami z innych dziedzin nauki) oraz korzystania z wielu źródeł informacji. Oceniana praca ma charakter empiryczny. Przyjęty program badań, poparty analizą literatury oraz szczegółowymi planami eksperymentów, jak i zastosowane metody badawcze w tej pracy uważam za właściwe.

Szeroki program badawczy miał na celu całościowe ujęcie analizowanych zagadnień. Przyjęte metody, stanowiące ważny komponent części badawczej, dobrano z uwzględnieniem treści i celów badań, praktycznej możliwości i skuteczności ich zastosowania oraz przydatności do rozwiązania problemu badawczego. Należy zwrócić uwagę, że realizacja zadań obok części typowo empirycznej wymagała wykonania odcinków doświadczalnych (w skali półtechnicznej).

W opiniowanej rozprawie w procesie badawczym wykorzystano:

- metodykę pomiaru parametrów dielektrycznych próbek MMA, asfaltu i kruszyw w opracowanych do tego celu rezonatorach (prostokątnym i cylindrycznym) z analizatorem wektorowym,
- ocenę nagrzewalności MMA i kruszywa na odcinkach doświadczalnych z wykorzystaniem aplikatora mikrofalowego (skonstruowanego na potrzeby projektu NGAM2) wyposażonego w generator mikrofal o mocy 1 kW i 3 kW,
- metody pomiaru cech wytrzymałościowych MMA (odporność na działanie wody i morzu ITSr, zmęczenie i sztywność 4 PB-PR, odporność na koleinowanie oraz pękanie niskotemperaturowe TSRST, wytrzymałość na rozciąganie pośrednie ITS oraz rozciąganie przy zginaniu SCB),
- mikroskopię skaningową (SEM) przy użyciu mikroskopu elektronowego FEG Quanta 250 do analizy składu chemicznego kruszyw,
- rentgenowską analizę fazową XRD za pomocą dyfraktometru rentgenowskiego Panalytical X'pert APD z ogniometrem PW3020 i mapą Cu oraz monochromatorem grafitowym do identyfikacji faz mineralnych kruszywa,

- metodę energodispersyjnej fluoroscencji rentgenowskiej w spektrometrze Epsilon 3 do oceny składu pierwiastkowego kruszywa,
- metody pomiaru właściwości fizykomechanicznych asfaltu przed i po starzeniu wg RFTOT, PAV oraz M:800-900 (temperatura mięknięcia, penetracja, temperatura łamliwości wg Fraassa, moduł sztywności i kąt przesunięcia fazowego w DSR),
- metody pomiaru właściwości chemicznych asfaltu za pomocą chromatografu cienkopowłokowego z jonizującym detektorem płomienia TLC-FID (skład grupowy) oraz spektroskopu Fourierowskiego w podczerwieni w trybie całkowitego osłabionego odbicia FTiR-ATR (grupy funkcyjne),
- szeregu metod analizy statystycznej (testy normalności wg Andersona-Darlinga, Ryana-Joinera lub Kolmogorova-Smirnova i równości wariancji Levena i Bonetta, jednoczynnikową analizę wariancji, analizę wariancji Welch'a, test wielokrotnych porównań parami Fishera i Tukey, analizę regresji i regresji wielorakiej, analizę ogólnego modelu liniowego GLM).

Zastosowane metody badań i techniki pomiarowe przy wsparciu testów statystycznych umożliwiły przeprowadzenie pogłębionych analiz jakościowych i ilościowych. Na ich podstawie można było określić wpływ oddziaływań mikrofal na parametry MMA i jej składników oraz skuteczność i sensowność ich wykorzystania w technologii drogowej. Korepondują one z wyznaczonymi celami pracy oraz jej tezami i hipotezami.

Na uwagę zasługuje fakt, że program badań założony w ramach rozprawy doktorskiej (z uwzględnieniem programu badawczego NGAM 2 oraz prac własnych statutowych IBDiM) obejmuje szerokie spektrum zagadnień związanych z możliwością wykorzystania mikrofal w technologii drogowej, znacznie wykraczając swym zakresem w stosunku do obecnie publikowanych dokonań w skali światowej. Dotychczasowe osiągnięcia w tej dziedzinie nie dają odpowiedzi na wiele kwestii, a tym samym wymagają dalszych prac i badań rozwojowych.

Stwierdzam, że wykorzystane w pracy przez Autora metody badawcze umożliwiły realizację celów rozprawy, dowiedzenie prawdziwości postawionych tez i weryfikacji hipotez badawczych oraz skutecznie przyczyniły się do rozwiązania problemu badawczego (naukowego).

Zawartość pracy i struktura treści

(zawartość, uwagi krytyczne i dyskusyjne, pytania)

Rozprawa składa się 5 rozdziałów uzupełnionych o streszczenie w języku polskim i języku angielskim, bibliografii obejmującej 140 pozycji (z czego 12 stanowią normy przedmiotowe), spisu treści oraz wykazu najważniejszych symboli i oznaczeń.

Do pracy dołączono załącznik z receptami mieszanek mineralno-asfaltowych zróżnicowanych ze względu na ich rodzaj, przeznaczenie oraz zastosowane kruszywa (2 mieszanki na warstwę ścieralną SMA 8 45/80-55, 2 mieszanki na warstwę wiążącą AC 16 W 35/50 i 2 mieszanki na warstwę podbudowy AC 22 P 35/50). Brak w zestawieniu dwóch recept mieszanek AC 8 S 50/70 na bazie kruszywa bazaltowego i gabro, które również analizowano w pracy.

Praca została przedstawiona w formie papierowej.

Rozdział 1 – Wstęp

Rozdział składa się czterech podrozdziałów głównych.

W pierwszym (*Tematyka pracy*) zwrócono uwagę na konieczność poszukiwania alternatywnych w stosunku do obecnie stosowanych technologii w drogownictwie, przyjaznych środowisku i bardziej

efektywnych energetycznie, co może wpłynąć na zmniejszenie emisji szkodliwych substancji do otoczenia.

Problem naukowy łącznie z głównym celem pracy został przedstawiony w drugim podrozdziale. Dotyczy on możliwości wykorzystania mikrofal w technologii drogowej jako alternatywnego rozwiązania w stosunku do obecnie stosowanych. Wpisuje się to w strategię gospodarki niskoemisyjnej i pozwala usprawnić oraz zwiększyć efektywność procesów technologicznych.

Tezy badawcze, hipotezy i szczegółowe cele badawcze omówiono w trzecim podrozdziale. Autor podjął się weryfikacji czterech hipotez, m.in. w oparciu o realizację szeregu badań przypisanych do sześciu grup tematycznych.

Rozdział kończy omówienie zadań realizowanych w ramach pracy (*Zakres pracy*).

Uwagi, pytania:

1. Na str. 16, wers 7-9 g, Autor napisał: „Praktyczna ocena podatności na nagrzewanie materiałów z wykorzystaniem mikrofal była wykonywana przy użyciu techniki termowizyjnej, przy świadomości, że nagrzewany materiał nagrzewany jest „od środka”. Jednym z elementów efektywności omawianego rozwiązania (o czym wspominał Autor), a tym samym i sensu jego stosowania w skali przemysłowej, są koszty związane ze wzrostem temperatury MMA w stosunku do objętości ogrzewanego materiału. Technologia mikrofalowa zdaje się przewyższać dotychczas stosowane (np. promienniki podczerwieni), ale potwierdzenie tego wymagałoby określenia głębokości oddziaływania mikrofal na odcinkach w skali półtechnicznej oraz rzeczywistego zużycia energii.

Rozdział 2 – Analiza literatury

Rozdział składa się z czterech podrozdziałów głównych.

W pierwszym (*Trwałość nawierzchni asfaltowych*) Autor omawia główne przyczyny i mechanizmy uszkodzeń nawierzchni asfaltowych, do których zaliczył oddziaływania od ruchu pojazdów samochodowych oraz wpływ czynników klimatyczno-pogodowych i wody. Przedwczesne zniszczenia pojawiają się głównie w miejscach charakteryzujących się gorszymi parametrami wytrzymałościowymi (zależnymi m.in. od zwiększonej wolnej przestrzeni), co z kolei determinuje przyspieszone zjawiska starzenia (przede wszystkim długookresowego). Miejscem w nawierzchni, w którym zwiększona wolna przestrzeń występuje nagminnie, są szwy (przede wszystkim podłużne), mimo stosowania różnego rodzaju zabiegów technologicznych.

Drugi z podrozdziałów dotyczy zastosowania techniki ogrzewania mikrofalowego. Omówiono w jego ramach teorię fal elektromagnetycznych i ich oddziaływanie na materię, zjawisko przewodności dielektrycznej oraz zdefiniowano gęstość strumienia mocy fal elektromagnetycznych (mikrofalowych) jako zdolność do przenoszenia energii w przestrzeni (grzanie materiałów) z uwzględnieniem głębokości ich oddziaływania. Przedstawiono również przykłady zastosowań mikrofal w przemyśle, ze szczególnym uwzględnieniem nawierzchni asfaltowych. Na podstawie aktualnej wiedzy oceniano wpływ mikrofal na asfalt, kruszywo i mieszanki mineralno-asfaltowe na etapie wykonawstwa jak i napraw. Zagadnienia te analizowano ze względu na zdolność do ogrzewania oraz wpływ na właściwości ww. materiałów.

W końcowych dwóch podrozdziałach przedstawiono zagadnienia związane z zastosowaniem mikrofal w nawierzchniach asfaltowych, które zdaniem Autora, nie zostały dotychczas dostatecznie przeanalizowane (zarówno w kraju jak i za granicą) i mogą stanowić podstawę do prowadzenia badań i rozważań naukowych nad zastosowaniem ww. techniki, zarówno od strony teoretycznej jak i technologicznej.

Uwagi, pytania:

1. Na str. 39 stwierdzono, że efektem badań nad wpływem mikrofal na MMA przeprowadzonych przez Al-Ohaly i Terrel'a [35, 80] był wzrost modułu sztywności rozciągania pośredniego (wyższy niż przy tradycyjnym ogrzewaniu). Natomiast na str. 41 (badania Mitchell'a [86]) wyniki były zgoła odmienne – spadek moduły sztywności rozciągania pośredniego. Zróżnicowane wyniki badań różnych ośrodków naukowych świadczą o konieczności dalszego rozpoznawania problemu. Co zdaniem Autora mogło być przyczyną tych różnic?
2. Na str. 41 opisano badania nad poprawą nagrzewania MMA poprzez stosowanie różnego rodzaju dodatków (Gallego [90]) – drut stalowy, wełna stalowa, węgiel krzemu, żużel stalowniczy. Czy zdaniem Autora, opierając się na spostrzeżeniach i wynikach badań przeprowadzonych przez Chen'a [79], nie będzie to skutkowało miejscowym znacznym postarzeniem lepiszczka asfaltowego?

Rozdział 3 – Przedstawienie problemów badawczych

Rozdział składa się z trzech podrozdziałów głównych.

W pierwszym odniesiono się do dotychczasowych wyników prowadzonych prac, które wykazywały potencjalną możliwość wykorzystania w technologii drogowej grzania mikrofalowego. Dotychczasowe programy badawcze cechował brak kompleksowości oceny, powiązania materiałowego i sprzętowego pomiędzy etapem laboratoryjnym i przemysłowym. Należy zwrócić uwagę, że wykorzystanie przez Autora specjalnie zaprojektowanego aplikatora mikrofalowego w badaniach laboratoryjnych jak i w skali półtechnicznej jest oryginalnym rozwiązaniem na tle stosowanej dotąd aparatury.

W drugim podrozdziale w nawiązaniu do problemów badawczych (też) sformułowano cztery szczegółowe plany ich realizacji, opierając się na dziedzinie wiedzy w zakresie planowania eksperymentu. Przedmiotem oceny były zarówno mieszanki mineralno-asfaltowe, ich składniki bazowe (kruszywo, asfalt) jak również jakość wykonania szwów technologicznych (łączonych za pomocą różnych materiałów i w różnych technologiach) oraz przeprowadzonych napraw pęknięć. Badania prowadzono w skali laboratoryjnej i półtechnicznej. W zależności od problemu badawczego analizie poddano w sumie osiem rodzajów mieszanek mineralno-asfaltowych, trzy rodzaje kruszywa, cztery rodzaje asfaltów, osiem typów połączeń szwów technologicznych (w warstwie wiążącej i ścierealnej) oraz zespolone pęknięcie w istniejącej nawierzchni asfaltowej. Wymagało to wykonania odcinków doświadczalnych oraz przeprowadzenia szeregu badań i oznaczeń, do których należy zaliczyć:

- pomiar parametrów dielektrycznych materiałów w dostosowanych do nich rezonatorach wektorowych,
- ocenę nagrzewalności materiałów podgrzewanych przy użyciu aplikatora mikrofalowego (zaprojektowanego i skonstruowanego w ramach programu NGAM2) oraz komory mikrofalowej,
- oznaczenie parametrów wytrzymałościowych próbek MMA (odporność na działanie wody i mrozu ITSr, zmęczenie 4 PB-PR, sztywność 4 PB-PR, odporność na koleinowanie i pękanie niskotemperaturowe TSRST, wytrzymałość na rozciąganie pośrednie ITS oraz rozciąganie przy zginaniu SCB),
- badania lepiszczki asfaltowych w stanie oryginalnym oraz postarzonej wg RTFOT, RTFOT+PAV i mikrofalami (temperatura mięknięcia, penetracja, temperatura łamliwości, moduł sztywności i kąt przesunięcia fazowego, oznaczenie ilościowe składu grupowego asfaltu przy użyciu

chromatografu TLC-FID oraz grup funkcyjnych asfaltu za pomocą spektroskopu Fourierowskiego w podczerwieni,

- badania kruszyw (składu chemicznego przy użyciu mikroskopii skaningowej SEM i składu pierwiastkowego metodą energodispersyjnej fluoroscencji rentgenowskiej).

W trzecim podrozdziale wyszczególniono oprogramowanie użyte do oceny statystycznej oraz metody analizy wykorzystane w pracy.

W podsumowaniu należy zaznaczyć, że założony program badawczy pozwala na przeprowadzenie kompleksowej oceny wpływu mikrofali na mieszanki mineralno-asfaltowe, metodyka badań jest dobrana właściwie a zastosowana aparatura badawcza należy do najnowocześniejszych w skali światowej.

Uwagi, pytania:

1. Na str. 48 autor napisał, że do pomiaru parametrów dielektrycznych wybrał dwa rodzaje kruszyw, jedno o dobrej nagrzewalności (bazalt), drugie o słabej (wapień). W planie eksperymentu (str. 49) i dalej w wynikach badań (rozdz. 4.1.1) wymieniono dodatkowe kruszywo, tj. gabro.
2. Na str. 49 w planie eksperymentu wymieniono trzy rodzaje MMA (ze względu na uziarnienie), które miały być analizowane pod względem parametrów dielektrycznych (stratności i stałej dielektrycznej). Brak w załączniku 1 dwóch recept AC 8 S 50/70 z udziałem kruszywa bazaltowego i gabro, które wyniki (w odniesieniu do właściwości fizycznych i składu) przedstawiono w rozdz. 4.1.1.
3. W rozdz. 3.2.2 omówiono metody określania parametrów dielektrycznych materiałów. Czy w przypadku kruszyw badania prowadzono po ich wysuszeniu do stałej masy? Czy racjonalnym byłoby nagrzewanie kruszyw wilgotnych, szczególnie w przypadku wapieni?
4. Na str. 69 w planie badań połączeń technologicznych wyszczególniono kolejny rodzaj MMA (AC WMS 16 z kruszywem wapiennym), o którym wcześniej nie wspomniano.
5. Na str. 72 jest napisane, że „Do wykonania nawierzchni zastosowano mieszanki mineralno-asfaltowe zaprojektowane w pracy, tj. AC 16 W 35/50 z kruszywem bazaltowym i wapiennym...” W dalszej części (str. 73, wers 3-4 g) jest mowa wyłącznie o AC 16 W z kruszywem bazaltowym, co pokrywa się z planem badań (rys. 8).
6. Na str. 75-76 jest napisane „... idea naprawy polegała na doprowadzeniu jej do stanu urabialności, następnie ujednorodnieniu materiału (przemieszania) i ponownego zagęszczenia”. W jaki sposób planowano przeprowadzenie procesu ujednorodnienia MMA w obrębie pęknięcia?
7. Na str. 76-77 stwierdzono, że przy naprawie istniejących nawierzchni (pęknięć) z udziałem mikrofali tworzą się wybrzuszenia, które ułatwiają i przyspieszają proces naprawy. Czy zdaniem Autora celowym byłoby wprowadzanie emulsji asfaltowej w szczelinę pomiędzy krawędziami pęknięcia, co mogłoby zwiększyć efektywność i skuteczność prowadzonych napraw, szczególnie przy większej rozwarości rys?
8. Przy wykonawstwie nowych nawierzchni szwy technologiczne celem porównania były wykonywane w różnych technologiach. Dlaczego podobne podejście do problemu nie zostało przyjęte przy naprawie pęknięć (np. zastosowanie podczerwieni)?

Rozdział 4 – Faza badawcza – przedstawienie wyników badań

Rozdział składa się z czterech podrozdziałów, odpowiadających tematycznie przyjętym programom badawczym. Stanowi on najobszerniejszą część pracy (115 stron).

Przedstawiono w nim wyniki badań omówionych w pkt. 3 powyższej opinii. Oznaczenia parametrów wykonano na próbkach poddanych zróżnicowanym warunkom oddziaływania mikrofal, zarówno w zakresie mocy, częstotliwości jak i czasu. Dodatkowym czynnikiem klasyfikującym była temperatura wykonywanych oznaczeń.

Uzyskane wyniki badań każdorazowo były szczegółowo analizowane za pomocą testów statystycznych. Autor doszukiwał się wpływu oddziaływania mikrofalowego na parametry badanych materiałów.

Każdy z podrozdziałów kończył się krótkim podsumowaniem, w którym Autor zamieszczał najważniejsze spostrzeżenia i wnioski z części badawczej i analitycznej ze wskazaniem kierunku dalszych prac naukowych. Pewne elementy wykonanych analiz były pobieżne i dotyczyły opisu zależności bez podania prawdopodobnych przyczyn zaistniałej sytuacji czy też ewentualnych skutków zachodzących zmian, ale wynikało to prawdopodobnie z bardzo dużej ilości danych.

Uwagi, pytania:

1. Na str. 85, wers 7-8g, jest napisane: „Natomiast wartość $\tan \delta$ w temperaturze badania w przedziale 10 – 40°C wynosiła ok. $1,56 \times 10^{-3}$ ”. Zdaniem recenzenta, opierając się na wynikach zawartych w tab. 11-12, wartość $\tan \delta$ powinna być nieznacznie wyższa (ok. $1,64 \times 10^{-3}$).
2. Udział lepiszcza asfaltowego w MMA oceniano w ujęciu wagowym. Czy nie byłoby bardziej racjonalnym podejściem określenie udziału lepiszcza w ujęciu objętościowym?
3. Parametry dielektryczne mieszanek z kruszywem bazaltowym i wapiennym określano przy pięciu częstotliwościach, natomiast z kruszywem gabra przy dwóch. Co było powodem tego rodzaju ograniczeń?
4. Czy pomiary parametrów dielektrycznych kruszyw nie powinny być analizowane z uwzględnieniem zawartości wolnych przestrzeni (szczególnie porównując wyniki dla kruszywa bazaltowego i pyłu bazaltowego)?
5. Na str. 97-98 jest napisane: „Z zestawienia wynika również, że sam asfalt jest niemalże transparentny wobec oddziaływania mikrofalowego, natomiast po połączeniu z kruszywem wynikowa mm-a wykazała 3-4 krotną poprawę podatności na nagrzewanie niż samo kruszywo”. Czy efekt poprawy nagrzewalności (przy transparentności lepiszcza) nie był efektem różnicy w wolnej przestrzeni kruszywa i MMA?
6. Na str. 128, wers 2-4g, jest napisane: „Lepsze, czyli niższe wartości temperatury pęknięcia (rzędu -25 – -32°C) uzyskano w przypadku mieszanek SMA, co w głównej mierze było spowodowane zastosowaniem asfaltu modyfikowanego w tej mieszance”. Zdaniem recenzenta przedstawiony wniosek odnośnie asfaltu modyfikowanego nie ma jednoznacznego odzwierciedlenia w badaniach. Temperatura pęknięcia zależy w głównej mierze od zdolności lepiszcza do relaksacji naprężeń w niskich temperaturach, a to z kolei zależy od właściwości lepiszcza bazowego (który jest przynajmniej o jeden poziom bardziej miękki przy asfalcie modyfikowanym), w mniejszym stopniu od samej modyfikacji (wzrasta wraz ze stopniem modyfikacji – ilością modyfikatora). Wpływ na relaksację ma również grubość błonki lepiszcza, która w przypadku mieszanek SMA jest znacznie większa niż mieszanek typu AC.
7. Wyniki badań spektroskopii Fourierowskiej (str. 165-168) wykazały znaczące spadki grup sulfotlenkowych i karbonylowych (czyli związków silnie polarnych) w asfalcie modyfikowanym (PMB 65/105-65) w wyniku oddziaływania mikrofal. Co mogło być wg Autora przyczyną takich zmian i czy nie ma wpływu na zdolność do nagrzewania lepiszcza (odnosząc się do zapisów na str. 34).

8. Przy ocenie wytrzymałości na rozciąganie pośrednie ITS na rys. 96 (str. 182) przedstawiono zależność pomiędzy siłą maksymalną (P_{max}) a wydłużeniem maksymalnym (S_{max}). Czym było podyktowane wyróżnienie (kolorem czerwonym) wartości siły na poziomie 10 kN i wydłużenia o wielkości 2 mm.
9. W ramach badań oznaczano wytrzymałość na zginanie SCB próbek walcowych pobieranych ze szwów technologicznych (str. 185-188) oraz z miejsc naprawianych w technologii mikrofalowej (str. 194-195). Czy Autor zaobserwował, czy pęknięcia próbek pokrywały się ze spoiną technologiczną bądź miejscem wcześniejszej nieciągłości?
10. Na fotografiach 6 i 7 (str. 191) przedstawiono wygląd próbek pobranych z nawierzchni w obszarze pęknięcia po jej naprawie metodą mikrofalową. Porównując ich wygląd z próbkami sprzed remontu na rys. 15 (str. 74) można zaobserwować, że oprócz zasklepienia pęknięcia uzyskano poprawę (przynajmniej wizualną) połączenia międzywarstwowego. Czy Autor może potwierdzić wpływ promieniowania mikrofalowego na poprawę szczepności międzywarstwowej?

Rozdział 5 – Wnioski końcowe

Rozdział składa się z dwóch podrozdziałów głównych.

Pierwsza część (*Wnioski – ocena rozwiązania*) dotyczy potwierdzenia słuszności stawianych hipotez. Autor przeprowadził analizę całego spektrum zagadnień cząstkowych związanych z zastosowaniem mikrofal przy wykonawstwie i naprawach nawierzchni asfaltowych. To dało możliwość zaplanowania i realizacji szeregu eksperymentów, pozwalających ocenić skuteczność i efektywność technologii mikrofalowej w porównaniu do obecnie stosowanych. Uzyskane wyniki dały podstawę do twierdzenia, że oddziaływanie mikrofalowe, którym można precyzyjnie sterować, nie wpływa negatywnie na właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych (i jej składników), a w niektórych przypadkach stwierdzono poprawę parametrów (np. odporności na zmęczenie, odporność na koleinowanie i pękanie niskotemperaturowe).

W drugiej części Autor nakreśla kierunki dalszych badań, będąc świadomym, że technologia ta wymaga szeroko rozumianych działań optymalizacyjnych, m.in. w zakresie mocy i częstotliwości, co przekłada się na efektywność energetyczną procesu oraz głębokość oddziaływania czy też konstrukcji samego urządzenia. Dalsze kroki powinny być również ukierunkowane na określenie stałych dielektrycznych materiałów nawierzchniowych, czy też rozpoznanie możliwości szerszego stosowania ogrzewania mikrofalowego w szeroko rozumianej technologii recyklingu materiałów drogowych. Na uwagę zwraca również możliwość wykorzystania mikrofal do poprawy szczepności międzywarstwowej, co znacząco może wpłynąć na wydłużenie trwałości zmęczeniowej nawierzchni.

Uwagi, pytania:

1. Czy Autor rozważał w zakresie dalszych badań możliwość wykorzystania mikrofal do wstępnego ogrzewania wilgotnego kruszywa przy produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych w technologii HMA i WMA (przed wejściem do bębna suszarki)?
2. Czy zdaniem Autora istnieje możliwość wykorzystania ogrzewania mikrofalowego do napraw spękanych warstw podbudowy asfaltowej (na skutek zmęczenia) bez usuwania górnych warstw (w procesie „ogrzać – zagęścić”).

Bibliografia

Bibliografia wykorzystana w pracy jest obszerna i obejmuje 140 pozycji, wśród których można wyróżnić książki, monografie, publikacje w czasopismach naukowych, referaty konferencyjne, raporty z badań (w sumie 126 pozycji) oraz normy europejskie (13 pozycji) i jedną normę amerykańską.

Numeracja poszczególnych pozycji bibliografii jest powiązana z kolejnością cytowań w tekście pracy. Znacznie częściej numer pozycji wynika z uszeregowania alfabetycznego, co pozwala na łatwiejsze znalezienie ich w zestawie cytowanej literatury.

Uwagi, pytania:

1. Na str. 35, wers 2g, Autor powołał się na poradnik Shell'a przypisując pozycję z bibliografii nr [42]. Pozycja ta jest pod nr [12].
2. W zestawieniu brak norm klasyfikujących badane mieszanki mineralno-asfaltowe (serii PN-EN 13108) oraz opisujących procedury oznaczeń ich cech fizycznych.

Załącznik nr 1

W załączniku przedstawiono recepty sześciu mieszanek mineralno-asfaltowych. Dwie dotyczą warstwy ścieralnej z mieszanki SMA o uziarnieniu do 8 mm z udziałem kruszywa bazaltowego i gabro, dwie warstwy wiążącej z betonu asfaltowego AC o uziarnieniu do 16 mm z kruszywa bazaltowego i wapiennego, dwie ostatnie warstwy podbudowy z betonu asfaltowego AC o uziarnieniu do 22 mm również z kruszywa bazaltowego i wapiennego. Zawarto w nich wszystkie podstawowe informacje zgodnie z wymaganiami dokumentu technicznego WT-2:2010 oraz norm przedmiotowych, odpowiednio PN-EN 13108-5 i PN-EN 13108-1.

Uwagi, pytania:

1. Brak numeracji stron w załączniku.
2. W receptach na mieszanki SMA 8 w tab. 1 podano, że próbki do oznaczenia parametrów fizycznych będą zagęszczane energią odpowiadającą 2×75 uderzeń na stronę. W dalszej części (tab. 8) energię określono na poziomie 2×50 na stronę próbki, co jest zgodne z WT-2.
3. Wymagania odnośnie odporności na deformacje trwałe dla betonów asfaltowych nie są zgodne z WT-2:2010.

Układ rozprawy, język i redakcja pracy

Praca jest kompletna, jej układ jest czytelny, logiczny i prawidłowy.

Przy całościowej ocenie rozprawy mgra inż. Macieja Maliszewskiego należy mieć na uwadze, że jako inżynier budownictwa eksperymentował, wartościował oraz opisywał problematykę badawczą z pogłębionymi zagadnieniami fizyko-mechanicznymi i chemicznymi z uwzględnieniem teorii fal elektromagnetycznych. Na uwagę zasługuje bardzo rozbudowany, kompleksowy program badawczy, zwłaszcza w zakresie oceny parametrów ciał lepko-sprężystych poddanych oddziaływaniu mikrofal. Oprócz badań laboratoryjnych Autor wykonał odcinki doświadczalne w skali półtechnicznej, co podnosi wartość merytoryczną pracy i pozwala na bezpośrednie przeniesienie uzyskanych efektów do praktyki inżynierskiej. Mimo tak obszernego zakresu praca napisana została poprawnym językiem, chociaż pojawiają pojedyncze niedociągnięcia pod względem gramatycznym, np. na str. 101, wers 5-6g: „Wyniki przeprowadzonych badań wytrzymałości na rozciąganie pośrednie w temperaturze 0°C i modułu rozciągania pośredniego przedstawiona Rysunek 101.”

Uwagi, pytania:

1. Podpisy pod rysunkami, opisy tabel i fotografii nie powinno się kończyć kropkami.
2. Numeracja tabel, rysunków, fotografii powinna być dwuczłonowa, z podaniem numeru rozdziału.

3. Nazewnictwo fotografii i rysunków powinno być ujednoczone. Dla przykładu zdjęcia z realizacji odcinka doświadczalnego opisano jako rys. 7 (str. 68), natomiast zdjęcia próbek z badań jako fotografię (fot. 3, str. 188).

Wniosek końcowy

Opiniowaną pracę oceniam wysoko. Dotyczy to zarówno jej strony naukowej jak i formalnej, które nie budzą większych zastrzeżeń. Dodatkowo należy podkreślić duży nakład pracy autora związany z zakresem przeprowadzonych badań i analiz, jak również praktycznym wykorzystaniem proponowanych rozwiązań w skali póltechnicznej na odcinku doświadczalnym. Autor rozprawy wykazał się pasją, pracowitością, innowacyjnością, precyzją w zapewnieniu wiarygodności badań i opracowaniu ich wyników. Świadczy to o jego uzdolnieniach do samodzielnej pracy naukowej i rozwiązywania trudnych zagadnień badawczych. Praca wnosi istotny wkład w rozwój technologii nawierzchni drogowych na etapie jej wykonawstwa i napraw, oparty na mikrofalowym ogrzewaniu, ograniczającym negatywne oddziaływania na właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej, jej elementów składowych oraz środowisko naturalne i wnioskuje o jej wyróżnienie.

W związku z powyższym uważam, że praca doktorska Pana mgr inż. Macieja Maliszewskiego spełnia wszystkie wymagania przewidziane przez Ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14.03.2003 r. (Dz. U. nr 65 poz. 595 z późn. zmianami) oraz Rozporządzeniem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19.01.2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzenia czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. z 19.01.2018, poz. 261) i wnoszę o dopuszczenie Kandydata do jej publicznej obrony.

