



Dr hab. inż. **Adam Zofka**, prof. nzw. IBDIM  
Zakład Technologii Nawierzchni  
Instytut Badawczy Dróg i Mostów (IBDIM)  
Ul. Instytutowa 1, 03-302 Warszawa  
[azofka@ibdim.edu.pl](mailto:azofka@ibdim.edu.pl)  
+48 604 132 971

Warszawa, 10 maj 2016

**RECENZJA**  
**rozprawy doktorskiej mgr inż. Agnieszki Woszuk**  
**WPŁYW DODATKU ZEOLITÓW NA OBNIŻENIE TEMPERATURY**  
**PRODUKCJI I ZAGĘSZCZANIA MIESZANEK MINERALNO-ASFALTOWYCH**

**1. PODSTAWA FORMALNA RECENZJI**

Podstawą formalną wykonania recenzji jest ustawa 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.) a w szczególności Artykuły 11, 12 oraz 13 (zwana dalej *Ustawą*). Recenzja została wykonana na prośbę dziekana Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Lubelskiej przekazaną w formie pisma z dnia 14.03.2016.

**2. PRZEDMIOT RECENZJI**

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska pod tytułem „Wpływ dodatku zeolitów na obniżenie temperatury produkcji i zagęszczania mieszanek mineralno-asfaltowych” przygotowana na Wydziale Budownictwa i Architektury Politechniki Lubelskiej przez Panią mgr inż. Agnieszkę Woszuk. Promotorem niniejszej rozprawy jest dr hab. inż. Wojciech Franus, prof. PL a promotorem pomocniczym dr inż. Jerzy Kukielka.

Rozprawa została przygotowana w formie książki i składa się z 175 stron, w tym 23 strony to Bibliografia oraz spisy tabel i rysunków. Bibliografia obejmuje 155 pozycji i dodatkowo 37 normy oraz 5 odwołań do stron internetowych.

**3. OMÓWIENIE TREŚCI ROZPRAWY**

Rozprawa składa się zasadniczo z czterech części: 1) przeglądu literatury wraz z tezami, celem oraz zakresem pracy, 2) opisu materiałów oraz metodyki badań laboratoryjnych, 3) analizy wyników badań, oraz 4) opisu i badań odcinka doświadczalnego. Ponadto znajdują się jeszcze dwa typowe rozdziały, tj. Wstęp (Rozdział 1) i Wnioski Końcowe (Rozdział 8). Wszystkie części rozprawy stanowią logiczną całość, tzn. kolejne rozdziały stopniowo wprowadzają czytelnika do tematyki rozprawy i wzajemnie się uzupełniają.

Nadrzędnym celem pracy doktorskiej jest ocena wpływu typu i ilości dodatku zeolitu naturalnego (klinoptilolitu) i syntetycznego (NaP1) na efekt obniżenia temperatury procesu produkcji i zagęszczania mieszanek mineralno-asfaltowych (mm-a). Jest to wyjątkowo aktualny cel biorąc pod uwagę obecne nakierunkowanie nauki na inżynierię materiałów oraz ochronę zasobów naturalnych. Obniżenia temperatury mm-a wiąże się z szeregiem zalet środowiskowych, ekonomicznych jak i technologicznych. I to właśnie było główną motywacją Pani mgr inż. Agnieszki Woszuk na zbadanie tezy czy jest możliwe zastosowanie naturalnych i syntetycznych zeolitów oraz ich odmian modyfikowanych wodą jako dodatków mineralnych spieniających asfalt.

Rozdział 2 stanowi wprowadzenie do studiów nt. mm-a wykonywanych w technice „na ciepło” (WMA). W szczególności ten rozdział zawiera ciekawy i obszerny przegląd literatury odnośnie właściwości asfaltów i kruszyw, które mają wpływ na temperaturę procesu produkcji i zagęszczania mm-a. Następnie zostały omówione różne technologie produkcji mieszanek WMA ze szczególnym naciskiem na spienianie asfaltów z wykorzystaniem zeolitów naturalnych i sztucznych. Ta tematyka została przedstawiona całościowo począwszy od podstaw dotyczących składu i budowy chemicznej zeolitów i wpływu tych właściwości na powinowactwo z asfaltami i kruszywami. W kolejnej części został zaprezentowany wpływ zeolitów na cechy mechaniczne asfaltów i WMA, jak również konsekwencje zastosowania zeolitów na proces projektowania WMA.

Rozdziały 4 i 5 stanowią logiczny i komplementarny ciąg. W Rozdziale 4 zostały szczegółowo przedstawione materiały składowe mm-a w tym dwa zeolity naturalne i sztuczne. Rozdział 5 przedstawia opis metodyki badań laboratoryjnych wraz z interpretacją ich wyników. Metodyka została przedstawiona w sposób obszerny i wyczerpujący. Opis rozpoczęto od metodyki przygotowania materiałów i próbek co stanowi bardzo istotny element wpływający bezpośrednio na wiarygodność wyników. Następnie przedstawiono opisy badań poszczególnych składników. Na szczególną uwagę zasługuje opis dotyczący krzywej wiodącej (strona 59) oraz wykorzystanie nowoczesnych urządzeń do oceny zeolitów i wypełniacza wapiennego (strona 61). Należy także zauważyć, że Pani mgr inż. Agnieszka Woszuk w swoich badaniach skupiła się na jakości badania zjawiska a nie na ilości – świadczy o tym użycie tylko jednego asfaltu bazowego, ale za to w sposób bardzo dobrze zaplanowany i poprawny. Rozdział 5 kończy się z opisem elementów analizy statystycznej, które zostały użyte przy analizowaniu wyników w kolejnym rozdziale. Jest to element niezbędny w badaniach mm-a, ale często niestety pominięty. Wykorzystanie metod statystycznych świadczy ponownie o wysokiej jakości recenzowanej pracy.

Rozdział 6 zawiera przedstawienie danych laboratoryjnych oraz ich analizę co dobrze reprezentuje przykład samodzielnej pracy naukowej Pani mgr inż. Agnieszki Woszuk. Wyniki zostały przedstawione dla poszczególnych składników mm-a jak i dla rozpatrywanych zeolitów oraz ich wariacji. Szczególnie ciekawe jest określenie optymalnej zawartości dodatków zeolitowych w AC 16 zaprezentowane na stronach 102-113. Jest to podejście wielokryterialne, które wymagało rozpatrzenie dużej ilości kombinacji temperatur zagęszczenia i koncentracji dwóch różnych dodatków zeolitowych jak i referencyjnej mm-a. Kolejną istotną część Rozdziału 6 stanowi analiza rozrzutu wyników i współczynnika zmienności. Teoria zaprezentowana w poprzednim rozdziale została tutaj wdrożona co bezsprzecznie podniosło wiarygodność wyników i wzmocniło powiązane z nimi wnioski.

W Rozdziale 7 jest zaprezentowany odcinek doświadczalny oraz wyniki badań laboratoryjnych wraz z analizą dla próbek pobranych z odcinka zaraz po jego wybudowaniu. Według recenzenta jest to doskonałe uzupełnienie poprzednich części pracy, które prezentowały wyniki z próbek przygotowanych w warunkach laboratoryjnych. Na podstawie otrzymanych wyników Pani mgr inż. Agnieszka Woszuk stwierdziła, że dodatek zeolitu naturalnego pozwala obniżyć temperaturę zagęszczania o 25-30C w porównaniu do typowych mm-a wykonywanych na gorąco. Potwierdziło to obserwacje laboratoryjne i podobnie jak analiza statystyczna podniosło wiarygodność wniosków pracy doktorskiej.

Całość rozprawy zamykają wnioski końcowe z całej pracy. Zostały przedstawione w syntetycznej formie co bardzo ułatwia zapoznanie się z głównymi osiągnięciami rozprawy.

#### **4. OCENA ROZPRAWY**

Ocena rozprawy została przedstawiona w dwóch częściach. W pierwszej części znajduje się ogólna ocena merytoryczna z wyszczególnieniem wybranych pozytywnych aspektów rozprawy. Z kolei w drugiej części oceny są zawarte szczegółowe uwagi recenzenta na temat poprawności merytorycznej i stylistycznej niektórych elementów rozprawy, jak również zauważone błędy przypadkowe. Ogólnie można stwierdzić, iż zauważone błędy mogłyby się zdażyć w każdej rozprawie doktorskiej i jako takowe nie obniżają wartości naukowej tej rozprawy.

### **Ocena merytoryczna**

Dobór tematu, zakres i cele recenzowanej rozprawy bardzo dobrze wpisują się w zagadnienia praktyczne i naukowe w dziedzinie drogownictwa obecnie rozpatrywane w Polsce i na świecie. Zagadnienie jest potraktowane poprawnie i kompleksowo, tzn. zawiera szeroki przegląd literatury oraz rozbudowane badania laboratoryjne, które zostały poparte wnioskami z odcinka doświadczalnego. Według recenzenta jest to bardzo słuszne ujęcie zagadnienia i efektywna próba zrozumienia zjawiska spieniania asfaltów z wykorzystaniem zeolitów.

Pracę otwiera obszerny i szczególnie ciekawym przeglądem literatury, w którym zostały szeroko uwzględnione studia krajowe i zagraniczne. Przegląd zawiera różne technologie obniżania temperatury produkcji i zagęszczenia mm-a opisane zarówno ze strony chemicznej jak i wpływu na cechy mechaniczne samych asfaltów i mm-a. Ze względu na tematykę szczególnie nacisk został położony na zeolity – naturalne i sztuczne.

Kolejnym godnym wyróżnienia aspektem recenzowanej pracy jest wykorzystanie metod statystycznych, które stanowią, według recenzenta, niezbędną część analizy wyników laboratoryjnych. Pani mgr inż. Agnieszka Woszuk wykorzystała to podejście w analizie rozrzutu i zmienności wyników zarówno w części laboratoryjnej jak i terenowej (tj. z odcinka doświadczalnego). Wyniki z analizy statystycznej poparły inne obserwacje i wzmocniły wyciągnięte wnioski.

Bardzo ciekawa analiza została również przedstawiona przez Panią mgr inż. Agnieszkę Woszuk z wykorzystaniem krzywych wiodących. Jest to bardzo naukowe podejście do analizy materiałów lepkosprężystych, których zachowanie zmienia się z czasem (częstotliwością) obciążenia jak i temperaturą. Pani mgr inż. Agnieszka Woszuk znakomicie opisała teorię dot. krzywych wiodących i stworzyła narzędzie do ich konstrukcji, które później wykorzystała do analizy wyników uzyskanych dla asfaltów i mm-a. Te kroki świadczą o dojrzałej postawie naukowej Pani mgr inż. Agnieszki Woszuk.

Kolejnym nowatorskim elementem recenzowanej pracy jest wykorzystanie nowoczesnych metod do oceny zeolitów i wypełniacza wapiennego takich jak XRF, XRD, SEM-EDS czy TGA. Są to zaawansowane metody regularnie wykorzystywane w nowoczesnej inżynierii materiałowej, jednakże ich zastosowanie do materiałów asfaltowych jest w dalszym ciągu podejściem nowatorskim i unikalnym nawet na arenie międzynarodowej. Ponadto wykorzystanie tych metod nadaje interdyscyplinarny charakter tej pracy i świadczy o gotowości Pani mgr inż. Agnieszki Woszuk do ciągłej nauki i otwartości na wyzwania w prowadzeniu badań naukowych.

Na zakończenie ogólnej oceny merytorycznej należy również zaznaczyć, iż Pani mgr inż. Agnieszka Woszuk już opublikowała część wyników swojej rozprawy w czasopiśmie krajowych i zagranicznych (w tym z listy A), np. w *Construction and Building Materials*. Jest to bardzo respektowane i prestiżowe czasopismo w obszarze budownictwa o zasięgu światowym.

### **Uwagi merytoryczne, stylistyczne i błędy przypadkowe**

#### Uwagi merytoryczne

- 1) Str. 9: 5 publikacji – poszukiwanie publikacji było zawężone do jakiś konkretnych baz danych?
- 2) Str. 11 Tab. 2.1: czy są to wartości uniwersalne? Jak one zostały wyznaczone i w oparciu o jakie materiały?
- 3) Str. 13 Rys. 2.1: czemu nie asfalt tylko woda?
- 4) Str. 14: MMA na zimno – od 0C?
- 5) Str. 15+ Tab. 2.4: lista tych produktów na pewno ciągle się zmienia więc jest to raczej lista poglądowa ale nie kompletna
- 6) Str. 20: przydałby się przekrój poprzeczny bębna double barrel firmy ASTEC

- 7) Str. 22: czy poprawa urabialności zawsze trwa około 2 godzin?
- 8) Str. 22: zeolit zastępuje chyba tylko „częściowo” wypełniacz...
- 9) Str. 23: 0,3 % masy MMA – zawsze?
- 10) Str. 26 Tab. 2.5: co to jest „zdolność wymienna”?
- 11) Str. 27: jak została pomierzona emisja wycieków i aerozoli?
- 12) Str. 29 (czwarta linia): chyba WMA zamiast HMA ?
- 13) Str. 30 Tab. 2.7: dlaczego nie PLN?
- 14) Str. 31 Tab. 2.8: dlaczego nie PLN?
- 15) Str. 32: proces projektowania WMA zależy od technologii WMA
- 16) Str. 33 Tab. 2.9: a jeżeli konieczna jest wymiana wypełniacza na zeolit – to pozycja 2 nie jest do końca prawdziwa
- 17) Str. 34 rys. 2.12 i komentarz poniżej: skoro wykres BTDC jest bezużyteczny, to możnaby go pominąć
- 18) Str. 46: bardzo dobre podejście do przygotowania próbek asfaltów do badań
- 19) Str. 46: czy obie frakcje 4/8 i 11/16 pochodziły z Ukrainy?
- 20) Str. 48, rys. 4.2: dodać opisy ponumerowanych części
- 21) Str. 50: czy dla wszystkich dodatków użyto 5 %?
- 22) Str. 52: czy próbki MMA były termostatowane w taki sam sposób dla każdej temperatury zagęszczania?
- 23) Str. 54: jak wyznaczono zakres liniowy?
- 24) Str. 56+: bardzo dobry opis wyznaczania krzywych wiodących
- 25) Str. 61: bardzo ciekawy opis urządzeń do badań zeolitów
- 26) Str. 73+: bardzo pożyteczny i konieczny rozdział nt. analizy statystycznej
- 27) Str. 80/81: czemu aż trzy miejsca po przecinku? Mogłyby być trzy znaczące cyfry.
- 28) Str. 96 tab. 6.11: odchodzi się od parametru  $G \cdot \sin(d)$
- 29) Str. 96: czy znaczenie wpływu materiału zeolitowego zostało potwierdzone w analizie statystycznej?
- 30) Str. 100: możnaby zastosować pełną ANOVA żeby ocenić co ma największy relatywny wpływ na lepkość
- 31) Str. 101: dobre podsumowanie
- 32) Str. 103 tab. 6.15: co oznaczają wyfłuszczone wiersze? (podobnie tab. 6.16)
- 33) Str. 110 rys. 6.20 (i inne): co oznaczają zakresy wokół wartości średnich?
- 34) Str. 112/113: dobre podsumowanie
- 35) Str. 122: słuszna uwaga na temat niewłaściwego sposobu przygotowywania próbek w innych pracach
- 36) Str. 125 tab. 6.21: współczynniki C1 i C2 wydają się istotnie różne dla mieszanki „C 15\_0,50” – powinien być jakiś komentarz
- 37) Str. 125 rys. 6.39: czy krzywe reprezentują poszczególne przesunięte isotermy czy model sigmoidalny?
- 38) Str. 137+: bardzo dobrze, że został wykonany odcinek doświadczalny, który posłużył do przeprowadzenia szeregu obserwacji i przygotowaniu próbek do badań laboratoryjnych

#### Uwagi stylistyczne

- 1) Opisy rysunków powinny być w języku polskim (np. rys. 2.10, 2.14, 2.15, 2.17 itd.)
- 2) Str. 35: brak przypisu do Lai
- 3) Str. 38 poniżej tab. 2.10: wzrost modułu sztywności ze spadkiem temperatury i wzrostem częstotliwości nie jest cechą wynikającą z użycia zeolitu – tak sugeruje obecny tekst
- 4) Str. 39: w tytule 2.8 brakuje jakiegoś zwrotu
- 5) Str. 40: powinien być komentarz, że takie wyniki koleinowania mogą zależeć od użytej metody badawczej i warunków badania, typu kruszywa, szkieletu kruszywowego, rodzaju asfaltu, zeolitu itd.
- 6) Str. 85: rozwinąć TG i DTA

- 7) Str. 97: „wiek badanego lepiszcza” zamienić na „stan postarzenia”
- 8) Str. 110: zdanie w pierwszej linii jest niejednoznaczne
- 9) Str. 143 pierwsza linia w punkcie 7.3: poprawić szyk zdania

Błędy przypadkowe

- 1) Str. 29: chyba rys. 2.10 zamiast rys. 2.13 ?
- 2) Str. 47, podpis do rys. 4.1: czy na pewno użyta została ref. [195] ?
- 3) Str. 55, 4 linia od dołu: powinno być „Zgodnie z...”
- 4) Str. 123: temperatura 23C ?
- 5) Str. 124 rys. 6.38: powinno być  $\log(aT)$
- 6) Str. 125 tab. 6.21: powinno być „parametry modelu sigmoidalnego” (też tab. 7.11)
- 7) Str. 136: temperatura -2C ?

## 5. WNIOSKI KOŃCOWE

Pomimo pewnej (niewielkiej) liczby błędów, bardzo wysoko oceniam zarówno zakres oraz wykonanie rozprawy doktorskiej. Pani mgr inż. Agnieszka Wozzuk wykazała się bardzo dobrymi umiejętnościami organizacyjnymi, laboratoryjnymi oraz analitycznymi. Mam nadzieję, że Pani mgr inż. Agnieszka Wozzuk będzie w najbliższej przyszłości rozwijała i udoskonalała wprowadzenie zeolitów na rynku mm-a w Polsce co przyniesie szereg korzyści technologicznych, ekonomicznych i środowiskowych.

Niniejszym potwierdzam, że rozprawa doktorska autorstwa Pani mgr inż. Agnieszki Wozzuk spełnia warunki Ustawy i stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Jednocześnie recenzowana rozprawa wykazuje bardzo dobrą ogólną wiedzę teoretyczną i praktyczną Pani mgr inż. Agnieszki Wozzuk i potwierdza Jej umiejętności do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. **Uważam, że praca Pani mgr inż. Agnieszki Wozzuk w pełni zasługuje na wyróżnienie i niniejszym uprzejmie proszę Radę Wydziału o pozytywne rozpatrzenie takiego wniosku.**

**Wnoszę o przyjęcie recenzowanej rozprawy i dopuszczenie Pani mgr inż. Agnieszki Wozzuk do publicznej obrony przed Komisją Rady Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Lubelskiej.**

Z poważaniem,

Adam Zofka

Dr hab. inż. Adam Zofka