

mgr inż. Katarzyna Konieczna
(tytuł zawodowy, imię nazwisko)

Warszawa, dnia 23.09.2025 r.

Politechnika Warszawska
(miejsce zatrudnienia lub kształcenia)

STRESZCZENIE ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

pt. „*Cohesion-based evaluation of viscoelasticity in Bitumen Stabilised Materials*”

promotor: dr hab. inż. Jan Król, prof. uczelni
promotor pomocniczy: dr inż. Wojciech Sorociak

Przedmiotem niniejszej rozprawy doktorskiej są mieszanki stabilizowane emulsją asfaltową (ang. BSM-E) do podbudów drogowych wykonywanych w technologii recyklingu na zimno. Głównym celem pracy była kompleksowa ocena kohezji i jej rozwoju w czasie ze szczególnym uwzględnieniem wpływu czynników materiałowych wraz z oceną lepkości sprężystości mieszanek BSM-E.

Rozprawa składa się z siedmiu rozdziałów: trzech stanowiących część studialną oraz czterech poświęconych części badawczej.

Część studialna rozprawy obejmuje wprowadzenie do tematyki badawczej oraz przegląd literatury naukowej. Sformułowano tezę, główne i szczegółowe cele badawcze oraz zakres rozprawy. W części literaturowej dokonano kompleksowego przeglądu stanu wiedzy dotyczącego technologii recyklingu na zimno, przedstawiając rys historyczny oraz stosowane metody i techniki recyklingu. Omówiono zasady klasyfikacji mieszanek wykonywanych w technologii recyklingu na zimno oraz scharakteryzowano mieszanki BSM-E, skupiając się na roli poszczególnych składników w kształtowaniu właściwości mechanicznych oraz wskazując na praktyczny aspekt zastosowania tych materiałów w nawierzchni drogowej. Przedstawiono także dotychczasowy stan wiedzy na temat właściwości mechanicznych mieszanek BSM-E, w tym ewolucji tych właściwości w czasie oraz hipotez dotyczących mechanizmów zniszczenia. Szczególną uwagę poświęcono zagadnieniom oceny lepkości sprężystości i kohezji mieszanek BSM-E, podsumowując zróżnicowane podejścia i metody badawcze stosowane do charakteryzowania właściwości tych materiałów.

Część badawcza rozprawy została podzielona na trzy obszary tematyczne: opis programu badań, analizę kohezji mieszanek BSM-E oraz ocenę ich właściwości lepkości sprężystych. W ostatnim rozdziale rozprawy przedstawiono końcowe wnioski z przeprowadzonych badań i analiz oraz wskazano kierunki dalszych badań dotyczących kohezji i lepkości sprężystości w mieszanekach BSM-E.

W ramach opisu programu badań scharakteryzowano zastosowane materiały składowe mieszanek BSM-E, przedstawiono procedurę projektowania składów, a także określono

warunki przygotowania i dojrzewania próbek. Przedstawiono autorską metodę długoterminowego kondycjonowania próbek, symulującą warunki skrzepowania bocznego i nacisku występujące w warstwie podbudowy nawierzchni asfaltowej.

Do przeprowadzenia kompleksowej oceny kohezji mieszanek stabilizowanych emulsją asfaltową zaimplementowano metodę Flow Number (AASHTO T378-22). Dziesięć zaprojektowanych mieszanek, różniących się zawartością destruktu asfaltowego (RAP) w zakresie 0%–90% oraz emulsji asfaltowej w zakresie 4%–7.4%, poddano badaniom w okresach kondycjonowania od 0 do 120 dni. Pozytywnie zweryfikowano możliwość zastosowania metody badawczej Flow Number do ilościowej oceny rozwoju kohezji w czasie z wykorzystaniem parametrów FN, ϵ (FN) i FN index, służących jako miary odporności na deformacje trwałe. Wykazano, że czynniki materiałowe – zawartość RAP i emulsji asfaltowej – istotnie wpływają na kohezję mieszanek BSM-E, przy czym mieszanki o wysokiej zawartości RAP oraz umiarkowanej zawartości emulsji asfaltowej wykazują najbardziej korzystne właściwości w zakresie rozwoju kohezji. Opracowana w rozprawie metoda drzewa decyzyjnego, oparta na hierarchicznej ocenie zawartości RAP, rozwoju kohezji w czasie oraz zawartości emulsji asfaltowej, umożliwiła prognozowanie odpowiedzi lepkosprężystej materiału oraz selekcję mieszanek BSM-E do ostatniego etapu programu badawczego.

Zmiany modułu dynamicznego i kąta przesunięcia fazowego mieszanek BSM-E przeanalizowano w szerokim zakresie temperatur badania i częstotliwości obciążenia, modelując właściwości lepkosprężyste tych materiałów z wykorzystaniem podejścia tradycyjnie stosowanego do mieszanek mineralno-asfaltowych. Przeprowadzona analiza jakościowa i ilościowa krzywych Blacka, Cole–Cole oraz krzywych wiodących z użyciem metod statystycznych pozwoliła na scharakteryzowanie odpowiedzi lepkosprężystej mieszanek BSM-E. Na podstawie analizy wyników badań zaprojektowanych mieszanek BSM-E zaproponowano próg zawartości RAP ($\geq 70\%$) oraz zakres zawartości emulsji asfaltowej (4%–5%) jako warunki materiałowe determinujące kohezję mieszanek BSM-E i umożliwiające scharakteryzowanie ich właściwości jako ciała lepkosprężystego.

Na podstawie wyników zrealizowanego programu badawczego można stwierdzić, że główny cel rozprawy – ocena kohezji i jej rozwoju w czasie wraz z oceną lepkosprężystości mieszanek BSM-E – został osiągnięty. Stało się to możliwe poprzez osiągnięcie celów cząstkowych w postaci: identyfikacji i weryfikacji możliwości zastosowania określonych metod badawczych oraz procedur kondycjonowania do ilościowej oceny zmian właściwości mieszanek; oceny zmian kohezji zachodzących w mieszankach BSM-E w czasie z uwzględnieniem zmiennych materiałowych; oraz zastosowania zasady superpozycji czasowo-temperaturowej do opisu odpowiedzi lepkosprężystej mieszanek BSM-E.

Wnioski końcowe z przeprowadzonych badań i analiz potwierdzają, że zrealizowany program eksperymentalny umożliwił udowodnienie prawdziwości postawionej tezy rozprawy.

Słowa kluczowe: *mieszanki stabilizowane emulsją asfaltową, kohezja, lepkosprężystość, emulsja asfaltowa, RAP, recykling na zimno.*


(czytelny podpis kandydata)