

Andrzej PLEWA*
Politechnika Białostocka

WPLYW KOHEZJI LEPI SZCZY MODYFIKOWANYCH NA WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI MIESZANEK MINERALNO- ASFALTOWYCH W TEMPERATURACH EKSPLOATACYJNYCH

Streszczenie. W nowoczesnym budownictwie drogowym powszechnie stosuje się lepiszcza modyfikowane w celu poprawy właściwości funkcjonalnych mieszanek mineralno-asfaltowych. Nawierzchnie drogowe z tymi lepiszczami charakteryzują się zwiększoną odpornością, między innymi na koleinowanie i działanie wody i mrozu. Dobór właściwych środków modyfikujących do osiągnięcia zalecanych poziomów odporności i trwałości mieszanek mineralno-asfaltowych w nawierzchniach drogowych jest trudny i wymaga wielu badań. Wpływ kohezji lepiszczy asfaltowych na wybrane właściwości (koleinowanie i mrozoodporność) mieszanek mineralno-asfaltowych nie jest w pełni rozpoznany. Tematyką tą w stosunku do lepiszczy modyfikowanych nie zajmowano się dotychczas w szerszy sposób.

INFLUENCE OF COHESION OF MODIFIED BITUMENS ON CHOSEN ASPHALT MIXES PROPERTIES IN EXPLOITATION TEMPERATURES

Summary. In modern road engineering modified bitumens are commonly used in order to improve functional properties of asphalt mixes. Road pavements with those bitumens characterize with higher resistance to rutting and affect of water and frost. Selection of proper modifiers to achieve recommended levels of asphalt mixes durability in road pavement is not easy and entail many tests. The influence of modified bitumens on chosen asphalt mixes properties (rutting, frost resistance) is not fully recognized. This topic has not been deeply researched so far.

* Opiekun naukowy: Dr hab. inż. Piotr Radziszewski, prof. Politechniki Białostockiej

1. Wstęp

W nowoczesnym budownictwie drogowym, w celu poprawy właściwości funkcjonalnych mieszanek mineralno-asfaltowych coraz częściej stosuje się lepiszcza modyfikowane. Nawierzchniowe mieszanki mineralno-asfaltowe są materiałami lepko-sprężystymi, których właściwości zależą przede wszystkim od lepiszcza wchodzącego w skład mieszanki. Asfalty drogowe niemodyfikowane charakteryzują się wąskim zakresem lepko-sprężystości, uwidaczniającym się szybkim przechodzeniem w stan plastyczny w podwyższonych dodatnich temperaturach otoczenia oraz kruchością w temperaturach ujemnych [1,3,4,5,10]. Poprawę właściwości lepko-sprężystych asfaltów uzyskuje się poprzez ich modyfikację. Dobór właściwych środków modyfikujących do osiągnięcia zalecanych poziomów odporności i trwałości mieszanek mineralno-asfaltowych w nawierzchniach drogowych jest trudny i wymaga wielu badań [1,3,4].

Według badań SHRP [2,6] przeprowadzonych w Stanach Zjednoczonych zniszczenie nawierzchni bitumicznych zależy od właściwości zastosowanych w niej lepiszczy asfaltowych. Oceniono, że wpływ ten jest następujący: trwałe deformacje lepko-plastyczne (koleinowanie) – 40%, zmęczenie – 60%, pękanie niskotemperaturowe – 90%. Powyższa ocena dotyczy mieszanek mineralno-asfaltowych z lepiszczami niemodyfikowanymi. Lepiszczka modyfikowane jeszcze w większym stopniu determinują właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych.

Można twierdzić, że znając odpowiednie charakterystyki lepiszczy asfaltowych, istnieje możliwość przewidywania zachowania się mieszanek mineralno-asfaltowych w nawierzchni drogowej. Z analizy literatury [1,3,4,10] i badań laboratoryjnych przeprowadzonych w Polsce i za granicą wynika, że najbardziej odpowiednią charakterystyką lepiszczy modyfikowanych do oceny właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych z tymi lepiszczami jest ich kohezja [1,4,8,9,10]. Zjawisko kohezji jest definiowane jako spójność wewnętrzna, stan w którym cząstki pojedynczej substancji są utrzymywane razem przez siły walencyjne [3]. Dla lepiszczy modyfikowanych do oceny kohezji najlepiej nadaje się badanie ciągłości z równoczesnym pomiarem siły rozciągającej [1,4, 8,9,10].

Nie przeprowadzono dotychczas szerszych badań nad wpływem kohezji lepiszczy modyfikowanych na ocenę odporności mieszanek mineralno-asfaltowych na koleinowanie i mrozoodporność. Taka ocena jest bardzo ważna do prognozowania zachowania się mieszanek mineralno-asfaltowych w nawierzchni drogowej w wysokiej temperaturze eksploatacji – deformacje trwałe w postaci kolein oraz w warunkach zamrażania i odmrażania

przy udziale środków odladzających. Przedstawiony temat pracy jest kontynuacją badań, jakimi zajmował się promotor rozprawy doktorskiej prof. dr hab. inż. Piotr Radziszewski, między innymi w zagadnieniach związanych z modelowaniem trwałości zmęczeniowej kompozytów mineralno-asfaltowych z zastosowaniem lepiszczy modyfikowanych [1].

2. Materiały i metodyka badań

Na podstawie analizy literatury dotyczącej modyfikacji lepiszczy asfaltowych różnymi dodatkami [1,3,4,7,8,9,10] szczególną uwagę zwrócono na lepiszcza modyfikowane miazgą gumowym ze zużytych opon samochodowych, elastomerem SBS, plastomerem termoplastycznym EVA i solą organometaliczną „Chemcrete”. Przeanalizowano metody badań i oceny właściwości lepkosprężystych lepiszczy modyfikowanych. Podobne analizy wykonano w stosunku do mieszanek mineralno-asfaltowych, w skład których wchodziły lepiszcza modyfikowane. W ostatnim czasie w związku z lawinowo narastającym obciążeniem dróg w Polsce wprowadza się do praktyki nowe rozwiązania technologiczne. Oprócz mieszanek grysowo-mastyksowych SMA coraz powszechniej stosuje się cienkie dywaniki z mieszanek o nieciągłym uziarnieniu. W wielu krajach stosuje się specjalne mieszanki drenażowe, natomiast w USA zyskują na popularności nawierzchnie z „Superpave”.

W ramach badań własnych przeprowadzono ocenę kohezji następujących lepiszczy modyfikowanych i niemodyfikowanych: lepiszcze gumowo-asfaltowe modyfikowane 15%, 17%, 19% i 21% dodatku miazgi gumowego, lepiszcze modyfikowane elastomerem SBS - Kraton 1192 w ilościach 3%, 5% i 7%, lepiszcze modyfikowane plastomerem termoplastycznym EVA, dodatek 3%, 5% i 7% kopolimeru octanu winylowo-etylowego, lepiszcze modyfikowane solą organometaliczną „Chemcrete” w ilości 1,5%, 2% , 2,5% dodatku, lepiszcze „Modbit” 50 i 80, asfalty drogowe 35/50 i 50/70.

Do określenia kohezji modyfikowanych lepiszczy asfaltowych wykonane zostały następujące badania laboratoryjne: ciągliwość z jednoczesnym pomiarem siły rozciągania i pracy odkształcenia w temperaturach: 5°C, 15°C i 25°C i prędkości rozciągania: 10 mm/min., 30 mm/min. i 50 mm/min., temperatura łamliwości wg badania Fraassa, penetracja w temperaturach: 5°C, 15°C i 25°C, temperatura mięknięcia PiK.

Do badań laboratoryjnych wybrano następujące mieszanki mineralno-asfaltowe: beton asfaltowy na warstwę ścieralną pod obciążenie ruchem KR5-KR6 – 0/12,8, 0/16 i 0/20, beton

asfaltowy na warstwę wiążącą 0/20, mieszankę SMA 0/12,8, mieszankę „Superpave” 0/12,8, mieszankę drenującą 0/12,8, mieszankę o nieciąglym uziarnieniu MNU 0/12,8.

We wszystkich mieszankach mineralno-asfaltowych zostały zastosowane jednakowe kruszywa, natomiast mieszanki były zróżnicowane ze względu na zastosowane w nich lepszczka asfaltowe.

Wszystkie mieszanki mineralno-asfaltowe zostały poddane następującym badaniom laboratoryjnym: koleinowania w małym koleinomierzu w temperaturze 60°C, stabilności według Marshalla, modułu sztywności sprężystej w rozciąganiu pośrednim w temperaturach 5°C, 15°C i 25°C. Badanie Marshalla i wyznaczenie modułu sztywności sprężystej były wykonane na próbkach przed i po procesie zamrażania i rozmrażania. Badanie zamrażania i rozmrażania wykonane zostało zgodnie z następującą procedurą: 30-minutowe nasycenie próbek w podciśnieniu 200 hPa w temperaturze 20°C, 24-godzinne termostatowanie próbek w roztworze 2% NaCl i wody w temperaturze 20°C, 10 cykli: zamrażania w temperaturze - 20°C przez 16 godzin i rozmrażania w 2% roztworze NaCl w temperaturze 20°C przez okres 8 godzin.

3. Wstępne wyniki badań

Wstępne wyniki badań wykazały bardzo istotny bądź istotny wpływ parametrów kohezji lepszczki modyfikowanych na właściwości funkcjonalne mieszanek mineralno-asfaltowych z ich zastosowaniem. Wstępne wyniki badań przedstawiono w tabelach 1, 2, 3 i 4.

Do ilościowego określenia związków między zmiennymi zastosowano analizę korelacji. Związki między zmiennymi wyrażono w następujący sposób:

- korelacja bardzo duża, gdy liniowy współczynnik korelacji według Pearsona $|r| \geq 0,95$ (BDK),
- korelacja duża, gdy liniowy współczynnik korelacji według Pearsona zawiera się w przedziale $0,75 \leq |r| < 0,95$ (DK),
- korelacja istotna, gdy liniowy współczynnik korelacji według Pearsona zawiera się w przedziale $0,50 \leq |r| < 0,75$ (IK),
- korelacja nieistotna, gdy liniowy współczynnik korelacji według Pearsona $|r| > 0,50$ (NK).

Tabela 1

Analiza współczynnika korelacji między właściwościami lepiszczy gumowo-asfaltowych a właściwościami funkcjonalnymi (moduł sztywności sprężystej) betonu asfaltowego z ich zastosowaniem

Beton asfaltowy 0/16 z zastosowaniem lepiszczy gumowo-asfaltowych						
Właściwości lepiszczy gumowo-asfaltowych	Moduł sztywności sprężystej			Moduł szt. sprężystej – zamr. rozm.		
	0°C	10°C	20°C	0°C	10°C	20°C
Penetracja 5°C	BDK	BDK	IK	DK	BDK	DK
Penetracja 15°C	NK	NK	IK	DK	NK	NK
Penetracja 25°C	NK	NK	IK	IK	NK	NK
Temp. mięknięcia	DK	NK	IK	DK	DK	DK
Ciągliwość 5°C	BDK	IK	NK	BDK	DK	DK
Ciągliwość 15°C	DK	DK	NK	DK	DK	DK
Ciągliwość 25°C	DK	IK	NK	BDK	DK	DK
Praca odkształcenia 5°C	BDK	DK	IK	BDK	DK	IK
Praca odkształcenia 15°C	DK	DK	IK	BDK	DK	IK
Praca odkształcenia 25°C	BDK	DK	DK	DK	BDK	DK
Temp. łamliwości	BDK	DK	NK	DK	BDK	DK

BDK – bardzo duża korelacja IK – istotna korelacja,
DK – duża korelacja NK – nieistotna korelacja

Tabela 2

Analiza współczynnika korelacji między właściwościami lepiszczy gumowo-asfaltowych a właściwościami funkcjonalnymi (stabilności, odkształcenia, sztywności, głębokości koleiny, współczynnika koleinowania) betonu asfaltowego z ich zastosowaniem

Beton asfaltowy 0/16 z zastosowaniem lepiszczy gumowo-asfaltowych					
Właściwości lepiszczy gumowo-asfaltowych	Stabilność	Odształcenie	Sztywność	Głębokość koleiny	Wsp. koleinowania
Penetracja 5°C	NK	DK	DK	IK	DK
Penetracja 15°C	NK	IK	NK	NK	NK
Penetracja 25°C	IK	DK	IK	NK	NK
Temp. mięknięcia	IK	DK	IK	IK	IK
Ciągliwość 5°C	NK	DK	IK	IK	IK
Ciągliwość 15°C	NK	DK	IK	IK	IK
Ciągliwość 25°C	NK	DK	IK	IK	IK
Praca odkształcenia 5°C	NK	BDK	DK	IK	IK
Praca odkształcenia 15°C	IK	BDK	IK	IK	IK
Praca odkształcenia 25°C	IK	DK	DK	DK	DK
Temp. łamliwości	NK	DK	DK	IK	DK

BDK – bardzo duża korelacja IK – istotna korelacja
DK – duża korelacja NK – nieistotna korelacja

W dalszych analizach statystycznych określone zostaną zależności pomiędzy parametrami opisującymi kohezję lepiszczy modyfikowanych a właściwościami funkcjonalnymi mieszanek mineralno-asfaltowych w temperaturach eksploatacji: wysokiej – koleinowania, niskiej - mrozoodporności. Opracowane zostaną zależności funkcyjne

opisujące kohezję lepiszczy modyfikowanych z różną zawartością dodatków modyfikujących na koleinowanie i mrozoodporność badanych mieszanek mineralno-asfaltowych..

Tabela 3

Analiza współczynnika korelacji między właściwościami lepiszczy gumowo-asfaltowych a właściwościami funkcjonalnymi (moduł sztywności sprężystej) mieszanki o nieciąglym uziarnieniu MNU z ich zastosowaniem

Właściwości lepiszczy gumowo-asfaltowych	Moduł sztywności sprężystej			Moduł szt. sprężystej – zamr. rozm.		
	0°C	10°C	20°C	0°C	10°C	20°C
Penetracja 5°C	DK	DK	NK	DK	BDK	DK
Penetracja 15°C	NK	NK	IK	NK	NK	NK
Penetracja 25°C	NK	NK	NK	NK	NK	IK
Temp. mięknięcia	DK	DK	DK	DK	DK	DK
Ciągliwość 5°C	BDK	BDK	IK	BDK	IK	NK
Ciągliwość 15°C	DK	DK	DK	DK	DK	DK
Ciągliwość 25°C	BDK	BDK	DK	BDK	DK	DK
Praca odkształcenia 5°C	BDK	DK	NK	BDK	DK	IK
Praca odkształcenia 15°C	DK	DK	IK	DK	IK	DK
Praca odkształcenia 25°C	DK	DK	BDK	DK	DK	BDK
Temp. łamliwości	BDK	DK	NK	DK	DK	BDK

BDK – bardzo duża korelacja IK – istotna korelacja
DK – duża korelacja NK – nieistotna korelacja

Tabela 4

Analiza współczynnika korelacji między właściwościami lepiszczy gumowo-asfaltowych a właściwościami funkcjonalnymi (stabilności, odkształcenia, sztywności, głębokości koleiny, współczynnika koleinowania) mieszanki o nieciąglym uziarnieniu MNU z ich zastosowaniem

Właściwości lepiszczy gumowo-asfaltowych	Stabilność	Odkształcenie	Sztywność	Głębokość koleiny	Wsp. koleinowania
Penetracja 5°C	DK	IK	NK	DK	DK
Penetracja 15°C	NK	DK	DK	NK	NK
Penetracja 25°C	IK	DK	DK	NK	NK
Temp. mięknięcia	DK	NK	NK	IK	IK
Ciągliwość 5°C	BDK	NK	NK	IK	IK
Ciągliwość 15°C	BDK	NK	NK	IK	DK
Ciągliwość 25°C	DK	NK	NK	IK	IK
Praca odkształcenia 5°C	DK	NK	NK	IK	IK
Praca odkształcenia 15°C	DK	IK	IK	IK	IK
Praca odkształcenia 25°C	BDK	DK	IK	DK	DK
Temp. łamliwości	BDK	NK	NK	DK	DK

BDK – bardzo duża korelacja IK – istotna korelacja
DK – duża korelacja NK – nieistotna korelacja

Na podstawie analiz statystycznych wyników badań (analiza korelacji, analiza wariancji i analiza regresji) określone zostaną zależności funkcyjne opisujące wpływ ilości dodatku modyfikującego na parametry określające kohezję lepiszczy modyfikowanych oraz zależności funkcyjne między parametrami określającymi kohezję lepiszczy modyfikowanych a odpornością mieszanek mineralno-asfaltowych na odkształcenia trwałe i mrozoodporność.

4. Wnioski

Na podstawie analizy literatury i badań laboratoryjnych można sformułować następujące wnioski:

1. Mieszanki mineralno-asfaltowe pracują w szerokim zakresie temperatur eksploatacyjnych od -30°C zimą do $+70^{\circ}\text{C}$ (temperatura, do jakiej nagrzewa się warstwa ścieralna konstrukcji nawierzchni drogowej przy słonecznej pogodzie) w okresie letnim. W tak szerokim zakresie temperatur prawidłową pracę mieszanek mineralno-asfaltowych w warstwach ścieralnych konstrukcji nawierzchni mogą zapewnić tylko lepiszcza modyfikowane.
2. Kohezja lepiszczy modyfikowanych jest ważnym parametrem wpływającym na właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych z ich zastosowaniem.
3. Do oceny kohezji lepiszczy asfaltowych szczególnie nadaje się badanie ciągliwości z równoczesnym pomiarem siły rozciągania. Parametry lepiszczy uzyskane w tym badaniu (praca odkształcenia, maksymalna siła rozciągająca, ciągliwość) wykazują duże zależności korelacyjne z właściwościami mieszanek mineralno-asfaltowych.
4. Dalsze badania należy ukierunkowywać na określenie adekwatnych zależności regresyjnych opisujących wpływ kohezji lepiszczy modyfikowanych na odporność mieszanek mineralno-asfaltowych na koleinowanie i działanie wody i mrozu.

LITERATURA

1. Radziszewski P.: Modelowanie trwałości zmęczeniowej modyfikowanych kompozytów mineralno-asfaltowych. Rozprawa habilitacyjna, Rozprawy Naukowe Nr 45, Wydawnictwa Politechniki Białostockiej, Białystok 1997.
2. SHRP Project A - 003A. Performance related testing and measuring of asphalt - aggregate interactions and mixtures. Quarterly Technical Report, University of California, Berkeley 1991÷1992.
3. Gawęł I., Kalabińska M., Piłat J.: Asfalty drogowe. WKiŁ, Warszawa 2001.
4. Piłat J., Radziszewski P.: Nawierzchnie asfaltowe. WKiŁ, Warszawa 2004 (podręcznik akademicki).
5. Grabowski W.: Zagadnienia trwałości betonu asfaltowego w nawierzchni drogowej. Wydawnictwa Politechniki Poznańskiej, Poznań 1985.
6. Sybilski D.: Zastosowanie metody SHRP do oceny nawierzchni dróg w Polsce. IBDiM, Studia i Materiały, Warszawa 2000, zeszyt 50.
7. Sybilski D.: Długowieczne nawierzchnie asfaltowe w świecie i w Polsce. Drogownictwo nr 3, Warszawa 2004.
8. Radziszewski P., Piłat J.: Właściwości lepkosprężyste lepiszczy modyfikowanych dodatkiem soli organometalicznych. Pięćdziesiąta Konferencja Naukowa KILiW PAN i Komitetu Nauki PZITB, Krynica 2004.
9. Radziszewski P., Piłat J., Plewa A.: Influence of amount of crump rubber of used car tires and heating time on rubber asphalt properties. The Nineteenth International Conference on Solid Waste Technology and Management, Philadelphia, USA 2004.
10. Radziszewski P., Kalabińska M., Piłat J.: Ocena kohezji lepiszczy drogowych na podstawie badania ciągliwości w funkcji temperatury. Drogi i Mosty nr 1, Warszawa 2002.

Recenzent: Dr hab. inż. Dariusz Sybilski, prof. Politechniki Lubelskiej