

prof. dr hab. inż. Piotr Radziszewski

Politechnika Białostocka, Polska

prof. dr hab. inż. Jerzy Piłat

Politechnika Warszawska, Polska

Wpływ soli organometalicznych na właściwości lepkosprężyste betonu asfaltowego do warstwy wiążącej

Research of organometalic soil on visco-elastic properties of concrete bending course influence

Streszczenie

Duże natężenie ruchu i obciążeń osi pojazdów samochodowych w ostatnich latach wymaga stosowania nowych technologii z zastosowaniem asfaltów modyfikowanych. Oprócz modyfikacji dodatkami polimerów możliwa jest modyfikacja lepiszczy dodatkami chemicznymi w tym solami organometalicznymi manganu i kobaltu typu Chemcrete lub innymi.

W referacie przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych i polowych lepiszczy modyfikowanych solami organometalicznymi i MMA zastosowanych do warstw wiążących. Przeanalizowano właściwości lepkosprężyste lepiszczy jakie zachodzą w warstwie wiążącej nawierzchni nie przykrytej warstwą ścieralną na okres zimowy i wiosenny.

Summary

Heavy traffic and increasing axle weights of motor vehicles in the last years demand new technologies with modified bitumen. Besides modification with polymer additives there is a possibility to modify binder by chemical additives, including organometalic salts of manganese and cobalt like Chemcrete, or by others.

In the paper laboratory and "in situ" researches' results of modified binders with organometalic salts and results of asphalt concrete used to binder courses are presented. Binder visco-elastic properties appearing during winter and spring season in the bending course of pavement were analyzed.

1. Wstęp

Budowa nawierzchni asfaltowych wymaga stosowania wysokiej jakości materiałów oraz stosowania nowych technologii wykonania nawierzchni. Jako lepiszcza stosuje się powierzchnie lepiszcza modyfikowane spełniające wysokie wymagania w zakresie lepkosprężystego zachowania się nawierzchni w temperaturach eksploatacyjnych nawierzchni.

Oprócz modyfikacji dodatkami polimerów możliwa jest modyfikacja lepiszczy dodatkami chemicznymi w tym solami organometalicznymi manganu i kobaltu typu Chemcrete. Chemcrete jest substancją chemiczną o działaniu katalitycznym. Dodany do asfaltu reaguje z nim, powodując jego usztywnienie w wyniku polimeryzacji. W pierwszej fazie reakcji z asfaltem, która wymaga obecności tlenu, Chemcrete katalizuje powstawanie dwuketonów w punktach najłatwiej utleniających się asfaltu. „Blokada” dokonana w ten sposób uodparnia asfalt na starzenie. W drugiej fazie reakcji mangan tworzy z ketonami kompleksy powodujące usieciowanie asfaltu w wyniku czego wzrasta lepkość materiału, zachowanie staje się bardziej sprężyste i zmniejsza wrażliwość temperaturową [1,2].

Katalityczne działanie Chemcrete polega na ułatwieniu tworzenia się wiązań między jonami metalu i cząstkami asfaltu. Sole organometaliczne wprowadza się w nośniku olejowym wskutek czego przed rozpoczęciem reakcji z solami, penetracja asfaltu wzrasta prawie dwukrotnie. Utlenienie zachodzi po wymieszaniu z kruszywem. Reakcja asfaltu z Chemcrete rozwija się w czasie i jest bardzo szybka w okresie między otaczaniem kruszywa i rozścielaniem MMA, następnie przebiega wolniej na miejscu wbudowania, gdzie jej szybkość jest zależna od temperatury i zawartości wolnych przestrzeni w MMA. Reakcja zachodzi jeszcze po jednym roku [1,2]. Chemcrete stosowane jest głównie do warstw wiążących i podbudowy ze względu na możliwość wystąpienia nadmiernego usztywnienia, którego wynikiem mogą być spękania odbite [1].

W referacie przedstawiono wyniki badań lepkosprężystych właściwości lepiszczy i mieszanek mineralno asfaltowych zastosowanych do budowy warstwy wiążącej odcinka drogi Nr 8 Białystok-Augustów. Przeanalizowano zmiany zachodzące w lepiszczu podczas produkcji i wbudowanie MMA określając ich właściwości reologiczne. Określano również zmiany właściwości jakie zachodzą w warstwie wiążącej nawierzchni nie przykrytej warstwą ścieralną na okres zimowy i wiosenny.

2. Badania lepiszczy asfaltowych modyfikowanych Chemcrete

Badaniem poddano następujące lepiszcza asfaltowe modyfikowane i niemodyfikowane:

- asfalt drogowy 35/50 zastosowany do produkcji lepiszcza modyfikowanego jako asfalt bazowy pobrany w trakcie produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej,
- lepiszcze modyfikowane – asfalt drogowy 35/50 z dodatkiem 2% soli organometalicznej „Chemcrete” pobrany w trzech próbkach – na początku, w środku i pod koniec produkcji oraz w następnym dniu na początku produkcji. Lepiszcze modyfikowane Chemcrete zostało wytworzone w dodatkowym zbiorniku lepiszcza wyposażonym w mieszadło.

Ocenę właściwości lepkosprężystych lepiszczy asfaltowych dokonano na podstawie następujących badań:

- penetracji w temperaturze 5 °C, 15 °C i 25 °C,
- temperatury mięknięcia PiK,
- lepkości dynamicznej w aparacie Brookfielda w temperaturze 90 °C, 110 °C i 135 °C,
- ciągliwości przy prędkości rozciągania 50 mm/min w temperaturze 5 °C 15 °C i 25 °C (określenie maksymalnej siły rozciągającej i pracy odkształcenia),
- w reometrze dynamicznego ścinania DSR w temperaturach: -20, 0, +20, +40, +60 °C – określono następujące parametry: moduł zespolony G*, składowe moduły zespolonego G', G'', lepkość zespolona γ^* i jej składowe γ' , γ'' , kąt przesunięcia fazowego δ oraz $\text{tg}\delta$.

Ocena zmian struktury lepiszczy przeprowadzono w mikroskopie fluorescencyjnym.

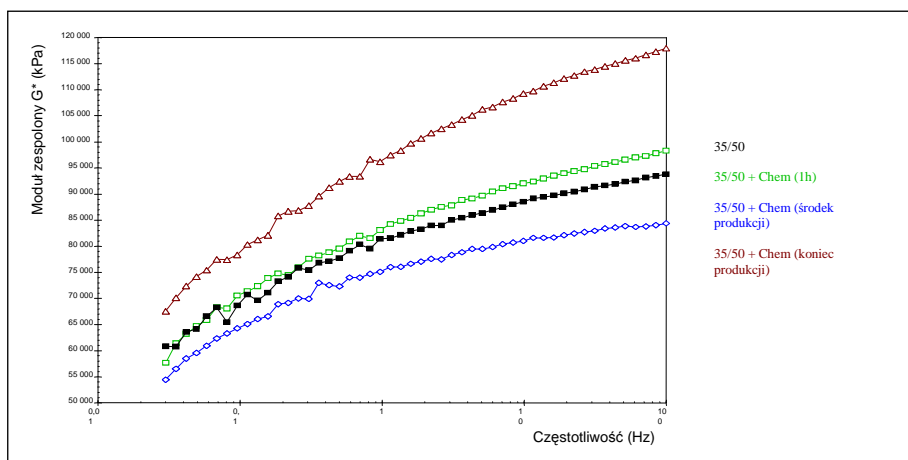
2.1. Badania reologiczne asfaltów

Wyniki badań laboratoryjnych przedstawiono w tablicy 1. Podsumowując wyniki badań można stwierdzić, że zastosowana technologia produkcji asfaltu modyfikowanego zapewniała jednorodność materiału. Nieznaczne usztywnienie lepiszcza modyfikowanego, jest głównie efektem starzenia asfaltu.

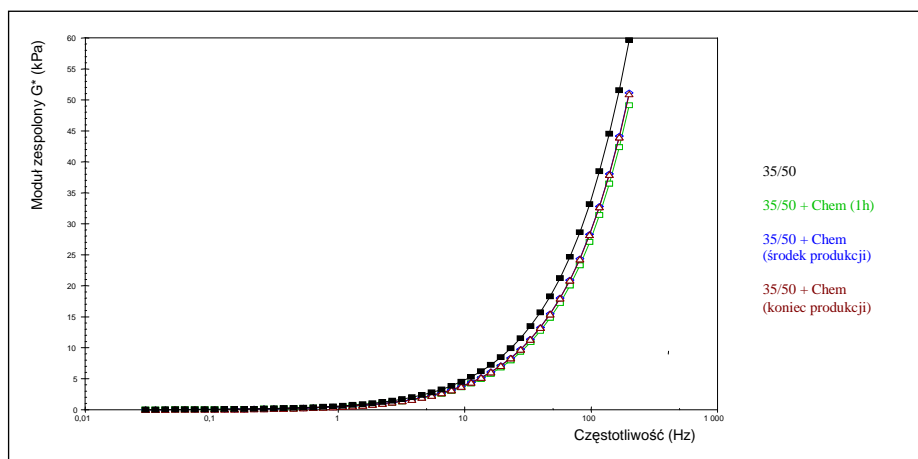
Wyniki badań lepiszczy modyfikowanych solą organometaliczną „Chemcrete”

Właściwości	Rodzaj lepiszcza			
	35/50	35/50+2%Chem – początek produkcji	35/50+2%Chem – środek produkcji	35/50+2%Chem – koniec produkcji
Penetracja, 0.1 mm				
5 °C	7.5	7.2	7.0	7.2
15 °C	21.1	22.1	22.1	22.7
25 °C	50.0	60.0	60.8	63.1
Temperatura mięknięcia, °C	52,3	50.5	50.5	50.6
Lepkość, Pa·s				
90 °C	18.3	14,8	14.8	14.9
110 °C	3.3	3.1	3.0	2.9
135 °C	0.7	0.7	0.6	0.6
Ciągliwość, mm				
5 °C	53.0	48,6	45.5	40.1
15 °C	294.2	321.2	313.6	328.8
25 °C	>1000	>1000	>1000	>1000
Maksymalna siła rozciągająca, N				
5 °C	117.7	127.5	129.5	121.9
15 °C	23.1	18.4	19.4	20.7
25 °C	3.5	2.7	2.7	2.8
Praca odkształcenia, N·mm				
5 °C	2885.6	3161.1	2907.4	2700.3
15 °C	912.3	733.9	758.5	810.7
25 °C	365.5	331.6	314.7	309.8

Badanie właściwości reologicznych w reometrze DSR wykonano w Politechnice Warszawskiej w Katedrze Inżynierii Materiałów Budowlanych. Określono wyniki badań modułu G^* dla czterech badanych lepiszczy (35/50, 35/50+Chemcrete po 1h produkcji, w środku zmiany, na koniec zmiany roboczej). Porównawcze wyniki badań w temperaturze -20°C i $+60^\circ\text{C}$ przedstawiono na rys. 1 i 2.



Rys. 1. Wartości modułu zespolonego G^* w funkcji częstotliwości. Temperatura -20°C .



Rys. 2. Wartości modułu zespolonego G^* w funkcji częstotliwości. Temperatura $+60^\circ\text{C}$.

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że:

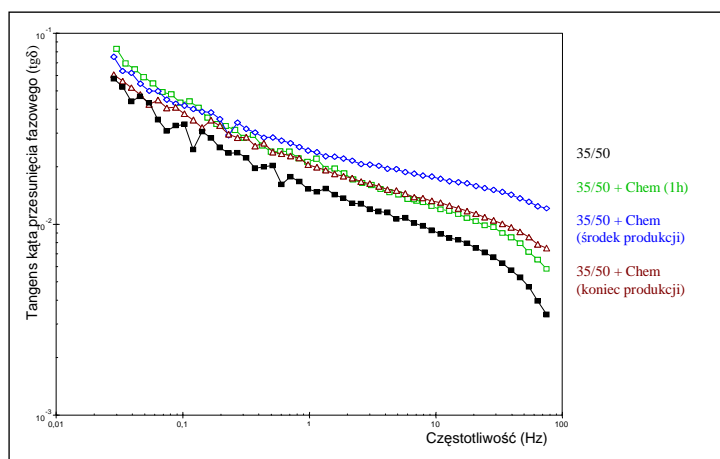
- w temperaturze $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ największe usztywnienie wykazuje lepiszcze 35/50 + Chemcrete (koniec produkcji), mniejsze lepiszcze 35/50 + Chemcrete (1h produkcji), asfalt 35/50 oraz lepiszcze 35/50 + Chemcrete (środek produkcji). Najlepsze właściwości wykazuje lepiszcze pobrane w środku produkcji.
- maksymalna wartość modułu sztywności dla asfaltów niemodyfikowanych przy częstotliwości 5 rad/s powinna wynosić poniżej $3 \cdot 10^8\text{ Pa}$. Obliczone wartości modułu sztywności S^* wyniosły:
 - dla asfaltu 35/50 $2,59 \cdot 10^8\text{ Pa}$
 - dla lepiszcza 35/50 + Chemcrete (1h produkcji) $2,69 \cdot 10^8\text{ Pa}$
 - dla lepiszcza 35/50 + Chemcrete (środek produkcji) $2,38 \cdot 10^8\text{ Pa}$
 - dla lepiszcza 35/50 + Chemcrete (koniec produkcji) $3,19 \cdot 10^8\text{ Pa}$

Wartości modułu S^* wykazują, że asfalt 35/50 uzyskuje w temperaturze -20°C stan zbliżony do sprężystego.

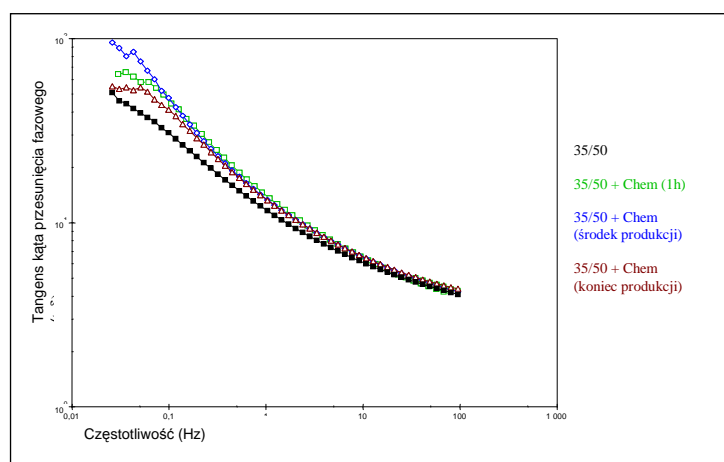
- w temperaturze $+40$ i $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ badane lepiszcza wykazują podobne właściwości niezależnie od czasu mieszania asfaltu z dodatkiem soli organometalicznej.

Kąt przesunięcia fazowego δ jest najlepszym parametrem oceny lepkosprężystych właściwości lepiszcza. Dobre lepiszcze drogowe powinno charakteryzować się w temperaturach ujemnych wartością $\text{tg}\delta > 0$, a w wysokich temperaturach eksploatacyjnych $\text{tg}\delta$ nie powinien dążyć do nieskończoności. Wartość $\text{tg}\delta = 0$ wskazuje, że materiał wykazuje całkowicie właściwości sprężyste, a wartość $\text{tg}\delta$ dążąca do nieskończoności wykazuje osiągnięcie przez materiał stanu całkowicie lepkiego.

Analiza porównawcza wyników badań tangensa kąta przesunięcia fazowego $\text{tg}\delta$ dla czterech badanych lepiszczy przedstawiono na rys. 3 i 4 w temperaturze badania -20°C i $+60^{\circ}\text{C}$.



Rys. 3. Wartości $\text{tg}\delta$ w funkcji częstotliwości. Temperatura -20°C .



Rys. 4. Wartości $\text{tg}\delta$ w funkcji częstotliwości. Temperatura $+60^{\circ}\text{C}$.

Analizując wyniki można stwierdzić, że wszystkie badane lepiszcza charakteryzują się wartościami $\text{tg}\delta$ w zakresie od 0,001 do 100. W temperaturach ujemnych lepiszcza nie wykazują całkowitej sprężystości ($\text{tg}\delta$

= 0) i w temperaturach dodatnich +60 °C nie wykazują cech cieczy newtonowskiej ($\text{tg}\delta \rightarrow \infty$). Wszystkie lepiszcza charakteryzują się szerokim zakresem lepkościowości wynoszącym 80°C. W temperaturze -20°C największe usztywnienie asfalt 35/50 osiąga przy częstotliwości 100 rad/s. W temperaturze 0, 20, 40 i 60°C badane lepiszcza wykazują małe zróżnicowanie wartości $\text{tg}\delta$. Lapiszcza modyfikowane wykazują w niższych częstotliwościach nieznacznie większe upłynnienie w porównaniu do asfaltu wyjściowego 35/50.

2.2 Badania struktury lepiszczy

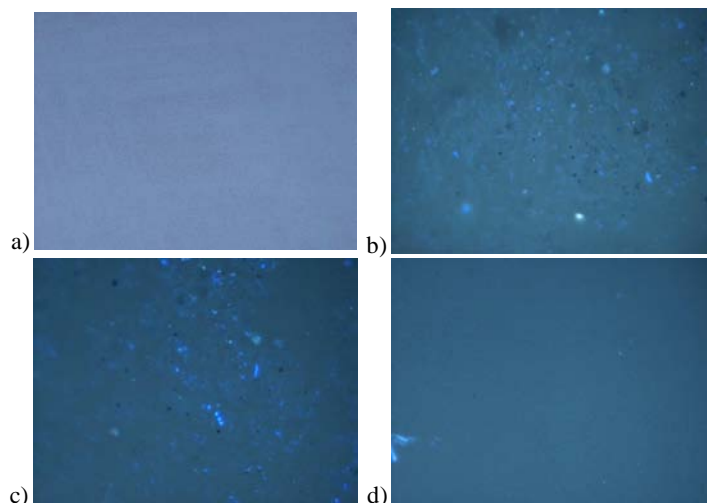
Badania struktury lepiszczy modyfikowanych w mikroskopie fluorescencyjnym wykonano w Politechnice Warszawskiej w Katedrze Inżynierii Materiałów Budowlanych. Obserwacja struktury materiału wyjaśnia często przyczyny powstawania zmian właściwości, które mogą wynikać ze zmian strukturalnych materiału, na styku dwóch materiałów lub styku dwu lub więcej faz w obszarze tego samego materiału.

Struktura modyfikowanego lepiszcza może ulegać zmianie w wyniku zmieniających się warunków produkcji, zachodzących reakcji fizyko-chemicznych, zmiany składu grupowego asfaltu wyjściowego lub procesów technologicznych [6].

W efekcie oświetlenia próbki asfaltu modyfikowanego światłem UV zauważalna jest różnica we wzbudzeniu fluorescencyjnym fazy asfaltowej oraz nierozpuszczonych kryształów dodatku Chemcrete. Przy zastosowaniu systemu filtrów UV-2A dodatek Chemcrete możemy obserwować w jaskrawo niebieskim kolorze na pierwszym planie oraz jasnoniebieskim i srebrnobiałym na drugim planie. Fazę asfaltową można obserwować w kolorze ciemnoniebieskim lub niebieskoszarym o charakterze ciągłej matrycy.

Badania w mikroskopie fluorescencyjnym wykonano dla trzech lepiszczy modyfikowanych dodatkiem Chemcrete na różnych etapach procesu produkcji (początek produkcji, środek produkcji, koniec produkcji). Porównawczo wykonano również zdjęcia asfaltu wyjściowego 35/50.

Obraz mikroskopowy asfaltu wyjściowego 35/50 przedstawiono na rys. 5.a. Obraz mikroskopowy jest jednorodny bez zanieczyszczeń. Strukturę tego lepiszcza można zakwalifikować do materiałów jednofazowych.



Rys. 5. Obraz struktury lepiszczy: a) 35/50, b) 35/50 +Chemcrete po 1h c) 35/50 +Chemcrete w środku dnia produkcji, d) 35/50 +Chemcrete na koniec dnia produkcji. Powiększenie 400x.

Na rys. 5.b przedstawiono obraz struktury lepiszcza 35/50 + Chemcrete (1h). Obserwowana struktura tego lepiszcza jest niejednorodna, obserwuje się ciemne niejednorodne aglomeracje modyfikatora w głębi lepiszcza (można sądzić, że modyfikator Chemcrete nie uzyskał wymaganego stopnia rozproszenia w matrycy asfaltowej). Cząstki rozproszonego modyfikatora Chemcrete będące przy powierzchni obserwowanego obrazu są dobrze widoczne w postaci jasnych silnie świecących punktów.

Na rys. 5.c przedstawiono obraz struktury lepiszcza 35/50 + Chemcrete (środek produkcji). Obserwowana struktura tego lepiszcza uległa stopniowemu ujednorodnieniu. Świecące jasne cząstki dodatku Chemcrete stanowią większą część obserwowanej powierzchni próbki lepiszcza. Są równomiernie rozproszone. Nie obserwuje się występujących na drugim planie ciemnych niejednorodnych aglomeracji modyfikatora.

Na rys. 5.d przedstawiono obraz struktury lepiszcza 35/50 + Chemcrete (koniec produkcji).

Obserwowana struktura tego lepiszcza uległa znacznemu ujednorodnieniu. Obserwuje się pojedyncze świecące cząstki dodatku Chemcrete, który nie uległ jeszcze wymieszaniu z asfaltem. Należy stwierdzić, że większa część obrazów mikroskopowych obserwowanych struktur lepiszcza na tym etapie produkcji wskazuje na dobre rozproszenie Chemcretu widocznej w postaci drobnych cząstek rozproszonych w matrycy asfaltowej.

Wyniki przeprowadzonych badań mikroskopowych wskazują na istnienie różnic w mikrostrukturze asfaltu modyfikowanego dodatkiem Chemcrete w zależności od czasu mieszania lepiszcza z modyfikatorem.

3. Badania mieszanek mineralno-asfaltowych z lepiszczem modyfikowanym dodatkiem „Chemcrete”

Właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych z dodatkiem soli organometalicznej określono na podstawie badań laboratoryjnych próbek pobranych z zagęszczonej warstwy nawierzchni drogowej i próbek uformowanych w laboratorium z mieszanki mineralno-asfaltowej pobranej z kosza zasypowego rozściełacza.

Do warstwy wiążącej konstrukcji nawierzchni badanego odcinka zastosowano beton asfaltowy modyfikowany dodatkiem soli organometalicznej 0/20 mm. Projektowany skład betonu asfaltowego był następujący:

- zawartość asfaltu modyfikowanego: 4.4%,
- zawartość wypełniacza: 5.3%,
- zawartość ziarn grysowych (>2 mm): 69.8%.

Podczas realizacji robót pobrano w 8 miejscach próbki z warstwy wiążącej i zbadano skład mieszanki mineralno-asfaltowej. Wyniki badań przedstawiono w tabelicy 2.

Tablica 2

Wyniki badań składu mieszanki mineralno-asfaltowej z warstwy wiążącej

Lokalizacja Km+hm	Zawartość lepiszcza	Odchyłka/zawartość dopuszczalna ±	Ziarna >2mm	Odchyłka/zawartość dopuszczalna ±4%	Ziarna <0.075 mm	Odchyłka/zawartość dopuszczalna ±1.5%
723+615P	4.5	0.1	66.5	-3.3	4.9	-0.4
723+907L	4.3	-0.1	69.0	-0.8	5.1	-0.2
724+535L	4.3	-0.1	70.4	0.6	5.5	0.2
724+750P	4.4	0.0	69.5	-0.3	4.5	-0.8
725+375P	4.5	0.1	66.9	-2.9	4.7	-0.6
726+175P	4.5	0.1	67.1	-2.7	4.7	-0.6
726+670L	4.6	0.2	65.8	-4.0	5.5	0.2
727+075P	4.7	0	65.8	-4.0	4.8	-0.5
Średnia arytmetyczna		4.5		67.6		5.0

Wyniki zawarte w tabelicy 2 świadczą o tym, że wbudowana mieszanka posiada skład bliski projektowanemu, krzywe uziarnienia nie wybiegają poza krzywe graniczne a odchyłki od recepty nie przekraczają wartości dopuszczalnych wg PN-S-96025:2000.

Tablica 3

Wyniki badań cech fizyko-mechanicznych próbek uformowanych w laboratorium

Lokalizacja Km+hm	Stabilność wg Marshalla, kN	Odkształcenie wg Marshalla mm	Badanie pełzania		Moduł sztywności sprężystej, MPa			
			Odkształcenie %	Moduł sztywności MPa	5 °C	10 °C	15 °C	25 °C
723+615P	18.2	2.6	0.1756	57.4	23164.3	20200.5	15321.3	9845.5
723+907L	17.8	2.3	0.2105	47.8	22794.0	20114.5	15546.5	8973.8
724+535L	22.1	3.2	0.2172	45.1	22021.8	19256.8	14568.3	8856.3
724+750P	19.7	3.1	0.2106	47.6	20850.0	17394.8	13981.3	7952.8
725+375P	23.0	2.7	0.1959	52.2	21284.0	18777.0	14939.8	9109.8
726+175P	23.4	3.2	0.1544	65.0	22285.3	19815.8	16511.8	9466.8
726+670L	22.0	3.4	0.2245	45.0	21288.0	18221.0	14466.8	8205.5
727+075P	23.5	3.0	0.1797	56.1	23735.5	20023.3	16106.5	9713.0
Średnia arytmetyczna	21.2	2.9	0.1961	52.0	22177.9	19225.5	15180.3	9015.4

Podczas układania warstwy wiążącej w dniach 12 – 24.11.2006 r. pobrano próbki mieszanki mineralno-asfaltowej, z której w laboratorium uformowano wg metody Marshalla próbki badawcze. Próbki te poddano badaniom wg metody Marshalla, badaniom modułów sztywności sprężystej oraz modułów sztywności pełzania dynamicznego w aparacie „Ele Matta”. Wyniki badań przedstawiono w tabelicy 3.

Wyniki zawarte w tablicy 3 wskazują, że mieszanka mineralno-asfaltowa z dodatkiem soli organo-metalicznej uległa usztywnieniu. Dodatek Chemcrete spowodował podwyższenie stabilności betonu asfaltowego, zmniejszył podatność na pełzanie oraz zwiększył jego sprężystość.

Z wykonanej warstwy wiążącej nawierzchni drogowej wycięto próbki (w dniu 31.01.2006 r.) do badania koleinowania (w aparacie Wessex) oraz modułów sztywności sprężystej (w aparacie NAT). Średnie wyniki badań przedstawiono w tablicy 4.

Tablica 4

Wyniki badań cech fizyko-mechanicznych próbek wyciętych z wykonanej warstwy wiążącej

Lokalizacja Km+hm	Moduł sztywności sprężystej, MPa					Badanie koleinowania	
	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	Max. głębokość koleiny mm	Współczynnik koleinowania mm/h
723+615P	13784.1	9156.6	5631.7	3820.8	2400.2	4.48	2.60
723+907L	13853.3	8255.4	4883.0	3337.6	1749.0		
724+535L	12225.0	7230.8	4913.6	2989.3	2019.5		
724+750P	10719.5	7113.1	4865.0	2839.9	1516.5		
725+375P	13845.7	8650.8	6282.9	3890.9	2712.1		
726+175P	9424.5	7185.2	4618.2	2932.8	1806.9	3.19	2.83
726+670L	13048.6	7935.5	6103.5	3554.4	2316.8		
727+075P	10806.0	7312.1	4677.8	2838.2	2875.5		
Średnia arytmetyczna	12213.3	7854.9	5247.0	3275.5	2174.6	3.11	2.15

Wyniki badań zawarte w tablicy 3 wskazują, że mieszanka mineralno-asfaltowa spełnia wymagania normowe (stabilność ≥ 11.0 kN, odkształcenie od 1.5 do 4.5 mm), wyniki pełzania i wyniki modułu sztywności sprężystej świadczą o tym, że beton asfaltowy modyfikowany dodatkiem soli organometalicznej powinien charakteryzować się zwiększoną odpornością na powstawanie odkształceń trwałych. Z porównania wyników zestawionych w tablicy 3 i 4 wynika, że moduł sztywności próbek wyciętych z nawierzchni charakteryzuje się mniejszymi wartościami niż moduł sztywności próbek wykonanych w laboratorium. Wyniki koleinowania są gorsze od wyników otrzymanych na innych odcinkach drogowych z warstwami wiążącymi modyfikowanymi dodatkiem „Chemcrete” (np. droga nr 8, odcinek Szypliszki – Szwajcaria: maksymalna głębokość koleiny – średnia wartość 1.78 mm, prędkość koleinowania – średnia wartość 0.92 mm/h). Można sądzić, że główna część reakcji między MMA a dodatkiem Chemcrete ze względu na zbyt krótki okres wygrzewania MMA nie została zakończona. Główna część reakcji Chemcrete z asfaltem zachodzi po wymieszaniu lepiszcza modyfikowanego z kruszywem w wysokiej temperaturze. Reakcja ta rozwija się w czasie i jest najbardziej intensywna w okresie między otaczaniem kruszywa i rozścielaniem mieszanki w nawierzchni drogowej, następnie przebiega wolniej i jej szybkość zależy od temperatury i zawartości wolnych przestrzeni w betonie asfaltowym.

W celu wyjaśnienia zaistniałych wątpliwości oraz określenia stopnia usztywnienia betonu asfaltowego w warstwie wiążącej pozostawionej bez przykrycia warstwą ścieralną na okres zimowy, postanowiono, że część próbek wyciętych na wiosnę z nawierzchni, dodatkowo po badaniu modułu sztywności sprężystej, będzie termostowana w temperaturze 40 °C. Boki tych próbek, w celu przybliżenia warunków rzeczywistych, podczas przechowywania były oklejone folią. Również zostały pobrane z nawierzchni próbki do badania po wykonaniu na warstwie wiążącej warstwy ścieralnej z SMA (07.06.2006 r.). Wyniki badań przedstawiono w tablicy 5.

Tablica 5

Wyniki badania modułu sztywności sprężystej próbek, z warstwy wiążącej, pobranych z nawierzchni po wykonaniu warstwy ścieralnej SMA

Lokalizacja Km+hm	Moduł sztywności sprężystej, średnia wartość, MPa			
	5 °C	10 °C	20 °C	25 °C
723+615P	10458.2	7669.6	3571.2	2050.1
723+907L	12391.5	10386.5	4051.8	2236.4
724+535L	11208.3	7582.0	3534.1	2364.5
724+750P	10656.5	7876.2	3195.5	1789.3
Średnia arytmetyczna na odcinku badawczym	11178.6	8378.4	3588.2	2110.1

Z tablicy 5 wynika, że od chwili pierwszego pobrania próbek po wykonaniu warstwy wiążącej do momentu przykrycia warstwą ścieralną, wzrost modułu sztywności jest nieznaczny (8.4% w temperaturze

5 °C, 6.7% - 10 °C, 9.5% - 20 °C, 3% - 20 °C). Na podstawie tych wyników nie można twierdzić, że wzrost sztywności nastąpił na skutek reakcji soli organometalicznej z asfaltem (błąd statystyczny).

Tablica 6

Wyniki badania modułu sztywności sprężystej w temperaturze 20 °C próbek wyciętych w miesiącu kwietniu z warstwy wiążącej nawierzchni drogowej i przechowywanych w temperaturze 40 °C przez okres 7, 17 i 27 dni.

Lokalizacja Km+hm	Moduł sztywności sprężystej, średnia wartość, MPa			
	Badanie po wycięciu próbek	Badanie po 7 dniach termostowania próbek w temperaturze 40 °C	Badanie po 17 dniach termostowania próbek w temperaturze 40 °C	Badanie po 27 dniach termostowania próbek w temperaturze 40 °C
723+615P	4238.0	4844.7	4992.4	5633.4
723+907L	3760.0	4408.0	4701.2	5764.9
724+535L	2842.0	3250.8	4110.6	5837.7
724+750P	2979.0	3654.5	4121.0	4384.4
725+375P	3109.0	3942.8	5062.3	5876.0
726+175P	2967.0	3559.1	3990.6	3942.5
726+670L	3570.5	3632.8	3880.6	4570.1
727+075P	3272.5	4358.5	5516.5	5387.5
Średnia arytmetyczna na odcinku badawczym	3342.2	3956.4 Wzrost o 18.4%	4546.9 Wzrost o 36.0%	5174.6 Wzrost o 54.8%

Tablica 7

Wyniki badania modułu sztywności sprężystej próbek wyciętych w miesiącu kwietniu z warstwy wiążącej nawierzchni drogowej i przechowywanych w temperaturze 40 °C przez okres jednego miesiąca.

Lokalizacja Km+hm	Moduł sztywności sprężystej, średnia wartość, MPa			
	5 °C	10 °C	20 °C	25 °C
723+615P	18150.9	11865.1	5633.4	3284.4
723+907L	19716.5	13157.9	5764.9	3859.1
724+535L	15843.6	10306.3	5837.7	3523.2
724+750P	17880.9	10704.0	4384.4	2853.0
725+375P	18994.0	12960.8	5876.0	3690.1
726+175P	13570.8	9097.5	3942.5	2796.7
726+670L	15566.7	12308.9	4570.1	2489.7
727+075P	17778.0	13050.9	5387.5	3748.8
Średnia arytmetyczna na odcinku badawczym	17187.7 Wzrost o 53.8%	11681.4 Wzrost o 39.4%	5174.6 Wzrost o 44.2%	3280.6 Wzrost o 55.5%

Interesujące dane zawarte są w tablicy 6. Wskazują one, że usztywnienie betonu asfaltowego zależy od czasu wygrzewania próbek w temperaturze 40 °C. Moduły sztywności sprężystej zmieniają się w stosunku wprost proporcjonalnym do czasu wygrzewania. Tak duże wzrosty wartości modułu nie można tłumaczyć procesem starzenia eksploatacyjnego (symulacja w laboratorium poprzez wygrzewanie w wysokiej temperaturze z dostępem powietrza). Najprawdopodobniej usztywnienie betonu asfaltowego nastąpiło pod wpływem dodatku modyfikującego Chemcrete. Nie obserwowano zachodzenia tego zjawiska w warstwie wiążącej w warunkach polowych, być może ze względu na niską temperaturę powietrza (temperatura poniżej 20 °C). Korzystnym z punktu widzenia eksploatacji nawierzchni drogowej jest to, że największy wzrost modułu sztywności próbki osiągnęły w temperaturze badawczej najwyższej, tj. w 25 °C - tablica 7.

W podsumowaniu należy stwierdzić, że badana mieszanka mineralno-asfaltowa warstwy wiążącej została wbudowana w nawierzchnię drogową, gdy nie do końca nastąpiła reakcja polimeryzacji, nie utworzyły się wiązania między jonami metalu (Chemcrete) i cząsteczkami asfaltu. Można sądzić, że powodem tego był zbyt krótki czas od chwili wyprodukowania mieszanki mineralno-asfaltowej do czasu zagęszczenia jej w warstwie wiążącej (około 45 minut – informacja uzyskana od wykonawcy). Według uzyskanych informacji wymagany jest dłuższy czas wygrzewania mieszanki mineralno-asfaltowej z dodatkiem soli organometalicznej (około dwie godziny) by pierwsza główna część reakcji zachodząca w wysokiej temperaturze została zakończona.

Zakończenie

W referacie przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych i polowych wykonanych w okresie jesieni 2005 r. i w okresie wiosny 2006 r. na drodze K8. Ocenie podlegały właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej warstwy wiążącej z dodatkiem Chemcrete nie przykrytej przez okres około pół roku warstwą ścieralną. Na podstawie otrzymanych wyników badań sformułowano następujące wnioski:

- zastosowana technologia modyfikacji asfaltu dodatkiem soli organometalicznej daje możliwość produkcji lepszycza jednorodnego o wysokich parametrach lepkosprężystych,
- zajście reakcji pomiędzy dodatkiem soli organometalicznej a asfaltem uwarunkowane jest wysoką temperaturą i dostępem powietrza i trwaniem tego stanu przez okres około dwóch godzin (reakcja zachodzi po wymieszaniu lepszycza z kruszywem). Wszystkie te trzy parametry muszą zaistnieć równocześnie od momentu dodania asfaltu z Chemcrete do kruszywa do zakończenia zagęszczenia,
- ze względu na zbyt krótki czas wygrzewania wyprodukowanej mieszanki mineralno-asfaltowej, uważa się, że nie zaszła reakcja Chemcrete z asfaltem i kruszywem, dlatego nie można było ocenić w pełni zachowania się warstwy wiążącej nie przykrytej warstwą ścieralną w okresie zimy i wiosny, a w szczególności określić w jakim stopniu nastąpiło zmniejszenie intensywności reakcji w wyniku spadku temperatury i ograniczenia dostępu powietrza,
- na podstawie badań laboratoryjnych można twierdzić, że temperatura podwyższona jest głównym czynnikiem usztywniania się modyfikowanej mieszanki mineralno-asfaltowej z Chemcrete. Gdy jest niska temperatura otoczenia (okres zimy i wiosny – temperatura powietrza poniżej 15 °C) beton asfaltowy w zagęszczonej warstwie wiążącej, nie przykrytej warstwą ścieralną, nie powinien podlegać niekorzystnym zmianom przyrostu sztywności.

Literatura

1. Gawęł I., Kalabińska M., Piłat J.: Asfalty drogowe. WKiŁ, Warszawa 2001 r.
2. Piłat J., Radziszewski P.: Nawierzchnie asfaltowe. WKiŁ, Warszawa 2004 r.
3. Radziszewski P., Piłat J.: Właściwości lepkosprężyste lepszyczy modyfikowanych dodatkiem soli organometalicznych. Pięćdziesiąta Konferencja Naukowa KILiW PAN i Komitetu nauki PZITB, Krynica 2004 r.
4. Piłat J., Radziszewski P.: Właściwości lepkosprężyste lepszyczy modyfikowanych dodatkiem soli organometalicznych. Konferencja KILiW PAN. Krynica 2004 r.
5. Jabłoński K., Piłat J., Radziszewski P., Szydło A.: Wyniki badań i doświadczeń dotyczących mieszanek mineralno-asfaltowych z asfaltami modyfikowanymi dodatkiem soli organo-metalicznej Chemcrete. Drogownictwo nr 3, 2005 r.
6. Piłat J., Król J., Zmiany struktury asfaltów modyfikowanych w wyniku starzenia na podstawie analizy obrazu, III Międzynarodowa Konferencja: Nowoczesne technologie w budownictwie drogowym, Poznań 2005 r.

Autorzy dziękują Dyrektorom GDDKiA w Białymstoku za umożliwienie przeprowadzenia interesujących badań nad zastosowaniem soli organometalicznych.