

Jan B. KRÓL¹
Piotr RADZISZEWSKI²
Karol KOWALSKI³
Politechnika Warszawska
Piotr ŚWIEŻEWSKI⁴
Mostostal Warszawa S.A.

WŁAŚCIWOŚCI NISKOTEMPERATUROWE LEPISZCZY ASFALTOWYCH Z DODATKIEM PARAFIN NOWEJ GENERACJI

STRESZCZENIE

Jedną z metod obniżenia temperatury technologicznej wytwarzania mieszanki mineralno-asfaltowej jest zastosowanie dodatków parafinowych modyfikujących właściwości lepiszcza asfaltowego. Modyfikator parafinowy powoduje obniżenie lepkości lepiszcza co pozwala prowadzić efektywne otaczanie kruszywa lepiszczem w obniżonej temperaturze technologicznej. W referacie przedstawiono wyniki badań drogowych lepiszczy asfaltowych z dodatkami parafinowymi nowej generacji stosowanych w technologii WMA (ang. warm mix asphalt) w aspekcie właściwości niskotemperaturowych. Modyfikacja lepiszczy dodatkami parafinowymi w technologii WMA jest rozwiązaniem ekologicznym, poprawia komfort pracy robotników na budowie, umożliwia wydłużenie sezonu budowlanego oraz pozwala na transport mieszanki na większe odległości, natomiast nie powinna w znacznym stopniu pogarszać właściwości technicznych i użytkowych lepiszczy. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że większość dostępnych na rynku dodatków parafinowych nie powoduje znaczącego pogorszenia właściwości niskotemperaturowych lepiszczy asfaltowych. Zaobserwowano jednak, że dodatki parafinowe wpływają na większe usztywnienie lepiszczy w wyniku procesu starzenia.

SŁOWA KLUCZOWE: asfalt, parafina, WMA, technologia na ciepło, modyfikacja

1. WSTĘP

We współczesnym budownictwie drogowym, zgodnie z założeniami technologii WMA, dąży się do obniżenia temperatury produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych do temperatury 100-140°C. Jedną z metod obniżenia temperatury technologicznej wytwarzania mieszanki jest zastosowanie dodatków parafinowych modyfikujących właściwości lepiszcza [1,2].

¹ j.krol@il.pw.edu.pl

² p.radziszewski@il.pw.edu.pl

³ k.kowalski@il.pw.edu.pl

⁴ p.swiezewski@mostostal.waw.pl

Parafiny są to nasycone węglowodory łańcuchowe o ogólnym wzorze sumarycznym C_nH_{2n+2} , inaczej zwane alkanami. Alkany o liczbie n we wzorze ogólnym $n \geq 17$ przyjmują postać ciała stałego. Łańcuch węglowy w cząsteczce alkanu może mieć strukturę prostą (n-alkany) bądź rozgałęzioną (izo-alkany). Wraz ze wzrostem liczby atomów węgla w cząsteczce wzrasta temperatura wrzenia parafiny. Natomiast wraz ze zwiększeniem udziału struktur rozgałęzionych lub pierścieni naftenowych temperatura wrzenia parafiny maleje. Zjawisko to można tłumaczyć wzrostem liczby rozgałęzień w łańcuchu węglowym utrudniające zbliżanie się cząsteczek, a tym samym powodujące osłabienie oddziaływania międzycząsteczkowego. Również temperatura topnienia n-alkanów wzrasta w szeregu homologicznym, a maleje wraz ze wzrostem liczby rozgałęzionych struktur parafinowych [2,3,4].

Wraz z rozwojem przemysłu petrochemicznego oraz technologii otrzymywania lepiszczy asfaltowych w latach 70-tych XX wieku sądzono, że parafina stanowiąca jeden ze składników asfaltu jest główną przyczyną złej jakości lepiszczy asfaltowych. Sądzono, że duża jej zawartość obniża temperaturę mięknięcia oraz lepkość dynamiczną w 60°C , natomiast w temperaturze ujemnej powoduje kruchość i pękanie asfaltu [5]. W latach 80--90-tych XX wieku wykazano, że nie istnieje ścisła korelacja pomiędzy obecnością parafiny asfaltowej a właściwościami reologicznymi lepiszcza, w szczególności wrażliwością termiczną [6]. Stwierdzono, że wysoka zawartość parafiny asfaltowej w lepiszczu nie ogranicza jego przydatności jako materiału do nawierzchni drogowej, aczkolwiek duża zawartość tej substancji w asfalcie może doprowadzić do jego niehomogeniczności. Wykazano, że twarde parafiny asfaltowe znacznie bardziej niekorzystnie oddziałują na właściwości lepiszcza niż miękkie parafiny asfaltowe. Niekorzystny wpływ parafiny asfaltowej można tłumaczyć tym, że kryształy parafiny zakłócają oddziaływania pomiędzy cząsteczkami asfaltu. Również zmiana objętości parafiny asfaltowej przy przejściu ze stanu ciekłego w stan stały pogarsza jakość lepiszcza [7].

Biorąc pod uwagę ilość czynników wpływających na zmianę właściwości lepiszczy z różną zawartością parafiny oraz różnice przy laboratoryjnym oznaczaniu jej zawartości, nie można jednoznacznie określić dopuszczalnej zawartości parafiny asfaltowej w lepiszczu asfaltowym. Aby prawidłowo wyznaczyć tę zawartość należy wziąć pod uwagę skład chemiczny asfaltu, metody jego produkcji, gatunek oraz konsystencję [7]. W normie PN-EN 12591 z 2004 roku dopuszczalna zawartość parafiny w asfalcie wynosiła 2,2%. W obecnie obowiązującej znowelizowanej wersji normy PN-EN 12591 z 2009 roku usunięto wymagania dotyczące zawartości parafiny asfaltowej w lepiszczach, poszerzając jednocześnie wymagania w zakresie indeksu penetracji.

Obecnie na rynku dostępnych jest wiele nowych dodatków parafinowych stosowanych do mieszanek mineralno-asfaltowych w technologii WMA w celu obniżenia temperatury ich wytwarzania. Pod względem właściwości, dodatki te znacząco różnią się od parafiny asfaltowej. Dodatki parafinowe charakteryzują się długimi wiązaniami łańcuchowymi, zawierającymi od 40 do 100 atomów węgla, a przedział temperaturowy w jakim następuje topnienie parafin zawiera się pomiędzy 70°C a 145°C i jest zdecydowanie wyższy niż w parafinach asfaltowych [8].

2. MATERIAŁY I PLAN BADAŃ

W referacie przedstawiono wyniki badań właściwości niskotemperaturowych lepiszczy modyfikowanych dodatkami parafinowymi. W celu określenia wpływu starzenia na zmianę właściwości niskotemperaturowych lepiszczy, określono temperaturę łamliwości wg Fraassa po starzeniu technologicznym (RTFO) i eksploatacyjnym (PAV). Zgodnie z metodyką przyjętą w Superpave (USA) zbadano lepiszcze asfaltowe z wybranymi dodatkami po starzeniu PAV w reometrze zginanej belki BBR (bending beam rheometer). Określono moduł

szttywności pełzania w ujemnej temperaturze oraz szybkość zmiany modułu sztywności w czasie po starzeniu PAV. Badanie pełzania wykonano w reometrze zginanej belki BBR w temperaturze -6°C , -12°C , -18°C .

Asfalt drogowy 35/50 poddano modyfikacji osiemnastoma dostępnymi na rynku dodatkami parafinowymi. W trakcie realizacji pracy badawczej przeanalizowano wpływ tych dodatków na zmianę konsystencji w niskiej, średniej i wysokiej temperaturze eksploatacyjnej oraz na zmianę lepkości asfaltu w temperaturze technologicznej (ze względu na dopuszczalną objętość artykułu, w referacie omówiono jedynie wyniki badań niskotemperaturowych). Po wstępnej selekcji dodatków przeprowadzono rozszerzone badania reologiczne z uwzględnieniem starzenia krótkoterminowego RTFO oraz długoterminowego PAV z wybranymi dodatkami parafinowymi. Modyfikację przeprowadzono w tych samych warunkach stosując dwie temperatury modyfikacji (150°C lub 190°C), zależnie od temperatury topnienia dodatku. Badano wpływ ilości dodatku na właściwości lepiszcza: każdy z dodatków parafinowych wprowadzany był do asfaltu w ilości: 2,0%, 2,5% oraz 3,0% w stosunku do masy wyjściowej asfaltu.

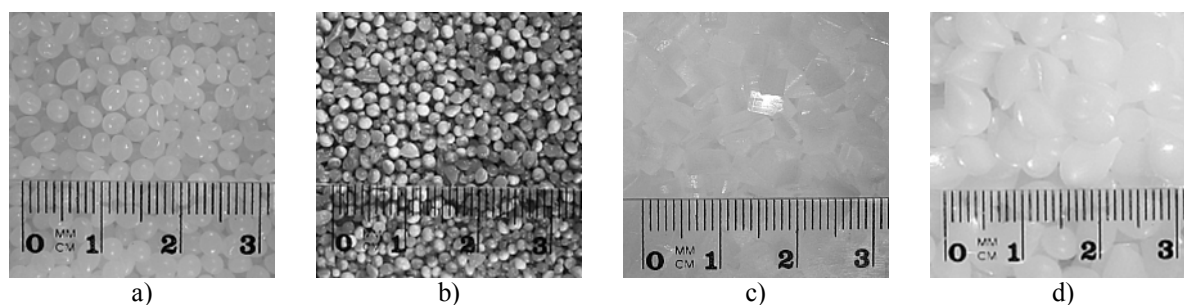
Na podstawie kart charakterystyk, osiemnaście dodatków parafinowych (kodowanych w pracy numerem 1 do 18) podzielono na cztery grupy:

- dodatki syntetyczne (1 do 2),
- dodatki naturalne modyfikowane (3 do 6),
- dodatki częściowo syntetyczne (7 do 15),
- dodatki rafinowane (16 do 18).

Dodatki parafinowe syntetyczne to związki otrzymywane w procesie Fischera – Tropscha. Nie wydzielają zapachu, a ich temperatura krzepnięcia wynosi od 70°C do około 100°C . Parafiny syntetyczne należące do tej grupy są najczęściej stosowanymi dodatkami w technologii WMA jako dodatki obniżające temperaturę technologiczną wytwarzania mieszanek mineralno-asfaltowych (Rys. 1a).

Parafinowe dodatki naturalne modyfikowane są związkami w skład których wchodzi m. in. estry kwasów tłuszczowych. Dodatki te otrzymywane są w wyniku ekstrakcji różnych gatunków węgla brunatnego oraz charakteryzują się intensywnym zapachem. Ich temperatura krzepnięcia wynosi między 75°C a 145°C (Rys. 1b).

Do kategorii dodatków częściowo syntetycznych zaliczono alkany o zróżnicowanych właściwościach fizycznych i chemicznych. Temperatura krzepnięcia tych dodatków wynosi od 90°C do 140°C . Dodatki częściowo syntetyczne charakteryzują dość intensywnym zapachem. Do tej grupy zaliczane są również woski polietylenowe (Rys. 1c).



Rys. 1 Przykład parafinowych dodatków modyfikujących: a) syntetyczny, b) naturalny modyfikowany, c) częściowo syntetyczny, d) rafinowany.

Ostatnią grupę stanowią dodatki rafinowane, czyli węglowodory mikrokrystaliczne powstałe w procesie oczyszczania i uszlachetniania substancji naturalnych. Dodatki te stosowane są głównie w chemii przemysłowej. Temperatura topnienia tych dodatków jest

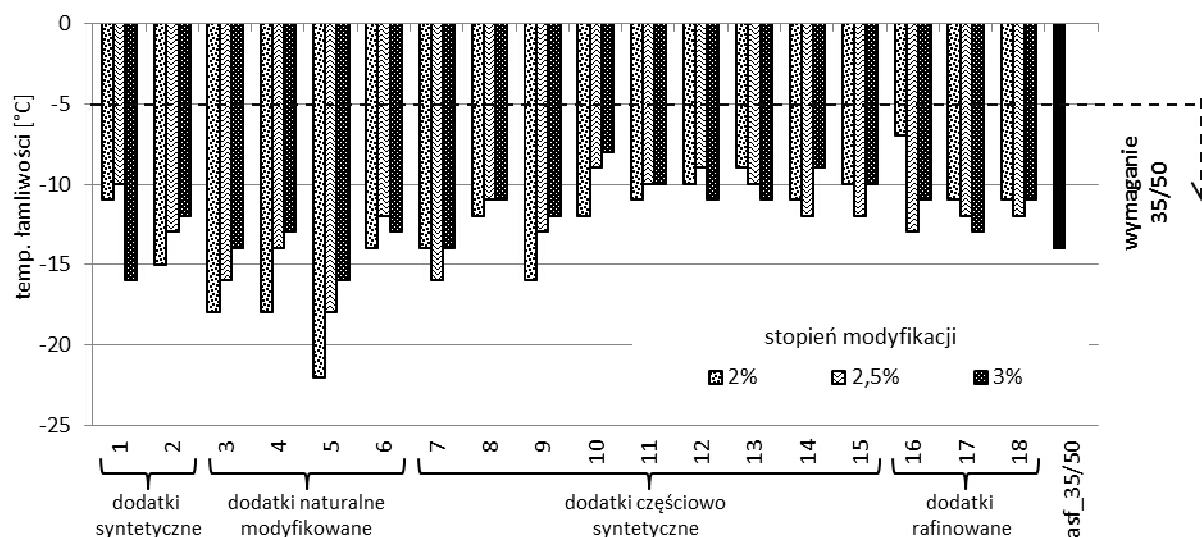
stosunkowo niska w porównaniu z innymi badanymi dodatkami parafinowymi i wynosi maksymalnie 70°C (Rys. 1d).

3. OCENA WŁAŚCIWOŚCI NISKOTEMPERATUROWYCH LEPISZCZY

Na podstawie badań wykonanych w Politechnice Warszawskiej [2] można stwierdzić, że większość dodatków parafinowych usztywnia lepiszcza asfaltowe w temperaturze eksploatacyjnej. Stopień usztywnienia lepiszcza uzależniony jest od ilości dodawanego modyfikatora. Niezmiernie istotne jest więc określenie stopnia usztywnienia lepiszcza asfaltowego w wyniku modyfikacji parafinami połączone z oceną właściwości niskotemperaturowych. Obecność związków parafinowych w lepiszczu asfaltowym powszechnie jest utożsamiana z pogorszeniem kohezji, zwiększeniem wrażliwości temperaturowej oraz spadkiem odporności na spękania w niskiej temperaturze [9].

3.1 Właściwości niskotemperaturowe lepiszczy przed starzeniem

Zachowanie się lepiszczy w niskiej temperaturze było oceniane na podstawie temperatury łamliwości wg Fraassa, która określa najwyższą temperaturę w której warstwa asfaltu nałożona na stalową płytkę pęka.



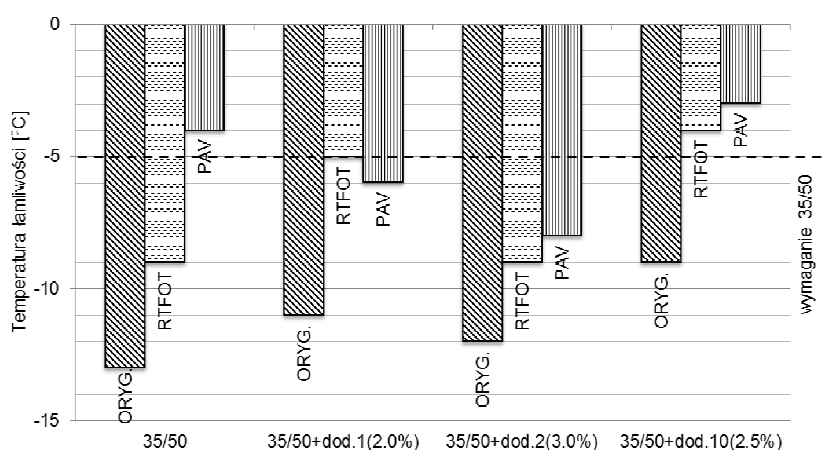
Rys. 2 Wyniki badań temperatury łamliwości wg Fraassa asfaltu 35/50 zmodyfikowanego dodatkami parafinowymi.

Analiza właściwości niskotemperaturowych (Rys. 2) wskazuje, że wszystkie badane dodatki parafinowe zmieniają właściwości asfaltu 35/50 w granicach wymagań normowych (<-5°C). Wszystkie dodatki modyfikujące przy najwyższym (trzy procentowym) stopniu modyfikacji powodują podwyższenie temperatury łamliwości, z wyjątkiem dodatku nr 5 który niezależnie od ilości modyfikatora poprawia właściwości niskotemperaturowe lepiszcza. Większość lepiszczy modyfikowanych dodatkami parafinowymi charakteryzuje się wzrostem temperatury łamliwości wraz ze zwiększeniem stopnia modyfikacji, jedynie dodatki 1, 13 oraz 17 wykazują odwrotne działanie.

3.2 Właściwości niskotemperaturowe lepiszczy po starzeniu

Nawierzchnia asfaltowa jest szczególnie narażona na powstawanie spękań niskotemperaturowych w wyniku gwałtownego spadku temperatury otoczenia oraz gdy lepiszcze asfaltowe utraci część swoich właściwości lepkich np. w wyniku postępującego procesu starzenia. Przy ocenie zachowania się materiału asfaltowego w ujemnej temperaturze mniej istotna jest częstotliwość oddziaływania czynnika niszczącego (np. pojazdy) w porównaniu do naprężeń wywołanych przez spadek temperatury. Dlatego w celu oceny właściwości niskotemperaturowych lepiszczy asfaltowych zasadne jest określanie sztywności asfaltu pod obciążeniem statycznym w badaniu pełzania w ujemnej temperaturze oraz szybkości zmiany modułu sztywności w czasie. Do zaawansowanych badań reologicznych w reometrze BBR wybrano modyfikatory 1, 2 i 10. Wybór ten podyktowany był względami ekonomicznymi nie przedstawionymi w tej pracy. W pracy przyjęto następujące oznaczenia: np. modyfikator nr 1 zastosowany w ilości 2%: oznaczenie 1/2%.

Na podstawie wyników badań temperatury łamliwości wg Fraassa przedstawionych na Rys. 3 można stwierdzić, że lepiszcze z dodatkami parafinowymi nr 1 i nr 10 po procesie starzenia RTFO charakteryzuje się podwyższoną temperaturą łamliwości o $5\div 6^{\circ}\text{C}$ w porównaniu do lepiszcza nie starzonego. Lepiszcze z dodatkiem nr 2 wykazało najmniejszą zmianę łamliwości w porównaniu do lepiszcza nie starzonego ($+3^{\circ}\text{C}$).

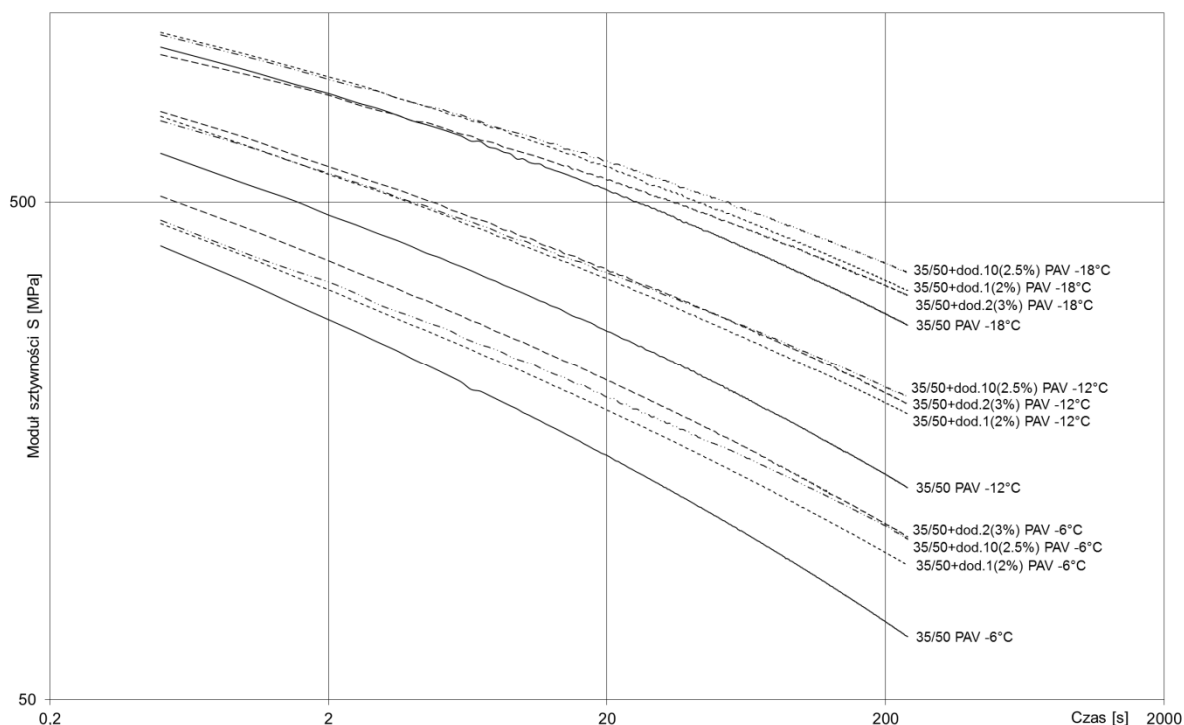


Rys. 3 Wyniki badań temperatury łamliwości wg Fraassa asfaltu 35/50 zmodyfikowanego wybranymi dodatkami parafinowymi po starzeniu RTFO i starzeniu PAV.

Na podstawie analizy zmiany temperatury łamliwości lepiszczy w wyniku starzenia PAV można stwierdzić, że lepiszcza zmodyfikowane dodatkami parafinowymi charakteryzują się znacznie mniejszą zmianą temperatury łamliwości niż asfalt 35/50. Wzrost temperatury łamliwości lepiszcza 35/50 po procesie PAV w porównaniu do temperatury łamliwości po starzeniu RTFO jest równy wzrostowi temperatury łamliwości lepiszcza 35/50 po procesie RTFO. Zmiana taka nie zachodzi w lepiszczach zmodyfikowanych dodatkami parafinowymi, w których po starzeniu RTFO nie zachodzą dalsze zmiany starzeniowe (Rys. 3).

Analiza właściwości parametru m oraz modułu sztywności pełzania pozwala na określenie granicznej temperatury spełniającej wymaganie Superpave w zakresie ujemnej temperatury, co pozwala w przybliżony sposób prognozować o przydatności danego lepiszcza w odniesieniu do strefy klimatycznej. Na Rys. 4 porównano izotermie modułu sztywności lepiszcza 35/50 bez i z dodatkami parafinowymi w funkcji czasu obciążenia. Można stwierdzić, że wszystkie dodatki parafinowe powodują usztywnienie lepiszcza asfaltowego 35/50 w niskiej temperaturze eksploatacyjnej oraz, że stopień usztywnienia

jest porównywalny. Drugim ważnym kryterium decydującym o odporności na spękania niskotemperaturowe w przypadku asfaltów ponaftowych jest prędkość zmiany modułu sztywności w czasie obciążenia.



Rys. 4 Izotermi zmiany modułu sztywności w funkcji czasu obciążenia w badaniu pełzania asfaltu 35/50 zmodyfikowanego wybranymi dodatkami parafinowymi po starzeniu PAV.

Można zauważyć, że izotermi modułu sztywności lepiszcza 35/50 charakteryzują się większym nachyleniem niż izotermi lepiszczy z dodatkami parafinowymi, co świadczy o największej podatności tego lepiszcza w niskiej temperaturze. Spośród lepiszczy zmodyfikowanych parafinami, najmniejszą podatnością charakteryzuje się lepiszcze z dodatkiem nr 10 którego izotermi przy długim czasie obciążenia od 100s do 250s mają najmniejsze nachylenie.

Uwzględniając usztywnienie lepiszcza (moduł S) w wyniku oddziaływania procesu PAV oraz podatność lepiszcza wyrażoną nachyleniem izotermi modułu sztywności (parametr m) można określić wartość temperatury krytycznej wg Superpave wybierając wyższą temperaturę pomniejszoną o 10°C przy której spełnione są warunki $S \leq 300$ oraz $m \geq 0,3$ w 60-te sekundzie obciążenia (tablica 1).

Tablica 1 Zestawienie kryteriów Superpave do oceny dolnego zakresu funkcjonalnego PG wybranych lepiszczy.

Lepiszczce	-6°C		-12°C		-18°C		Temp. przy $S_{60} \leq 300$ [MPa]	Temp. przy $m_{60} \geq 0,3$ [°C]	Temp. krytyczna [°C]
	S [MPa]	m [-]	S [MPa]	m [-]	S [MPa]	m [-]			
35/50	109	0,331	203	0,289	408	0,248	-15,0	-10,0	-20
35/50 + dod. 1(2,0%)	141	0,286	269	0,249	464	0,227	-13,0	-3,0	-13
35/50 + dod. 2(3,0%)	162	0,288	283	0,250	446	0,212	-12,5	-4,0	-14
35/50 + dod. 10(2,5%)	155	0,263	283	0,231	487	0,203	-12,5	0,0	-10

Na podstawie uzyskanych wyników badań lepiszczy po starzeniu długoterminowym (PAV) w reometrze BBR można stwierdzić, że asfalt 35/50 charakteryzuje się najniższą temperaturą krytyczną spośród badanych lepiszczy (-20°C). Wszystkie trzy (1, 2 i 10) dodatki parafinowe podwyższają temperaturę krytyczną (tj. pogarszają właściwości niskotemperaturowe) o około $7-10^{\circ}\text{C}$. Zgodnie z oceną przebiegu izoterm modułu sztywności można stwierdzić, że dodatek nr 10 wpływający najbardziej na zmniejszenie podatności, powoduje największe podwyższenie temperatury krytycznej do poziomu -10°C .

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Ze względu na rosnącą popularność dodatków parafinowych do lepiszczy asfaltowych stosowanych w technologii WMA, istnieje konieczność kompleksowej oceny ich właściwości modyfikujących, w szczególności ich wpływu na właściwości niskotemperaturowe.

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że większość dodatków parafinowych usztywnia lepiszcza asfaltowe. Stopień usztywnienia lepiszcza uzależniony jest od rodzaju i ilości dodawanego modyfikatora.

Na podstawie wyników badania temperatury łamliwości wg Fraassa można stwierdzić, że dodatki parafinowe nowej generacji nie pogarszają właściwości niskotemperaturowych lepiszczy w zakresie wymagania przewidzianego dla lepiszcza wyjściowego, a dodatki z grupy parafin syntetycznych i parafin naturalnych modyfikowanych wpływają na obniżenie temperatury łamliwości lepiszcza. Charakterystyczną cechą lepiszczy z dodatkami parafinowymi jest inne zachowanie się po starzeniu w porównaniu do asfaltów tradycyjnych. Stwierdzono, że starzenie lepiszczy modyfikowanych parafinami zachodzi głównie w procesie starzenia krótkotrwałego (RTFO), niemniej jednak usztywnienie w procesie starzenia długotrwałego (PAV) powoduje niekorzystne podwyższenie dolnej granicy przydatności lepiszcza wynikające z klasyfikacji Superpave (podwyższenie dolnej temperatury funkcjonalnej PG).

Podziękowania

Niniejsza praca powstała przy wsparciu finansowym Narodowego Centrum Badań i Rozwoju oraz Firmy Mostostal Warszawa S.A. w ramach projektu celowego numer 6 ZR6 2009 C/07290pt. "Przyjazne dla środowiska mieszanki mineralno-asfaltowe na ciepło jako nowoczesne rozwiązanie technologiczne zwiększające wydajność budowy nawierzchni asfaltowych". Projekt jest realizowany we współpracy Politechniki Warszawskiej z Instytutem Badawczym Dróg i Mostów, Zakład Technologii Nawierzchni oraz z firmą Mostostal Warszawa S.A.

Autorzy dziękują prof. dr hab. inż. Jerzemu Piłatowi za cenne uwagi i pomoc w realizacji projektu badawczego oraz inż. Karolinie Matraszek za pomoc w wykonaniu badań laboratoryjnych.

Jan B. Król dziękuje za wsparcie otrzymane w ramach stypendium współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego, które przyznawane jest przez Centrum Studiów Zaawansowanych Politechniki Warszawskiej w ramach projektu „Program Rozwojowy Politechniki Warszawskiej”.

Piśmiennictwo

- [1] D'Angelo J., Harm E., Bartoszek J., Baumgardner G., Corrigan M., Cowser J., Harman T., Jamshidi M., Jones W., Newcomb D., Prowell B., Sines R., Yeaton B. Warm-Mix Asphalt: European Practice. FHWA Report. Washington 2008.
- [2] Król J., Matraszek K., Piłat J., Radziszewski P., Kowalski K. Właściwości lepizczy asfaltowych modyfikowanych parafinami nowej generacji. Projekt MMAC – cz.1. Magazyn Autostrady 5/2011, str. 72-76.
- [3] Kupryszewski G.: Wstęp do chemii organicznej. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1979.
- [4] Gawęł I. Kalabińska M. Piłat J.: Asfalty drogowe. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2001.
- [5] Łopieńska H. Nowe poglądy na zależność właściwości asfaltów od ich składu i budowy, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1969.
- [6] Kamiński M., Kotuła Z.: Parafina w asfaltach. Drogownictwo 11/2000.
- [7] Gawęł I.: Problem parafiny w asfaltach drogowych. Drogownictwo 8/1997.
- [8] Danowski M. Wpływ dodatków obniżających temperaturę zagęszczania mieszanek mineralno-asfaltowych. Opracowanie na podstawie artykułu Larsa Kellera i Heinza Patzolda, Nowości Zagranicznej techniki drogowej 167/2007.
- [9] Piłat J., Radziszewski P.: Nawierzchnie asfaltowe. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2004.

LOW TEMPERATURE PROPERTIES OF BITUMEN MODIFIED WITH NEW GENERATION OF THE PARAFFIN ADDITIVES

Summery

Using paraffin additives is one of the ways to decrease production temperature of hot mix asphalt (HMA). Paraffin modifier decreases binder viscosity thereby increases the effectiveness of covering a mineral mixture with a binder at lower temperature.

In the paper properties of bituminous binders modified with new generation paraffin additives are presented. WMA (Warm Mix Asphalt) modifiers are characterised together with their influence on low temperature properties of the binder.

Warm Mix Asphalt technology is ecological and improves the working environment during production and paving. Beneficial extension of the construction season and hauling distance are also possible but it cannot decrease the properties of final bituminous materials.

Based on the obtained results, decreasing of low temperature properties of bituminous binder modified by paraffin additives has not been observed. It was concluded that paraffin additives harden binders during ageing process.

Grzegorz MAZUREK¹
Politechnika Świętokrzyska w Kielcach

ODPORNOŚĆ BETONU ASFALTOWEGO MODYFIKOWANEGO WOSKIEM SYNTETYCZNYM NA DEFORMACJE TRWAŁE

STRESZCZENIE

Celem badań była analiza wpływu nowoczesnego wosku syntetycznego F-T na deformacje trwałe betonu asfaltowego. Na wstępie wykonano badania oddziaływania modyfikatora na właściwości asfaltu 35/50, obejmujące takie cechy jak penetracja, temperatura mięknięcia (indeks penetracji), temperatura łamliwości. Ocenę odkształcalności betonu asfaltowego wykonano przy wykorzystaniu oznaczenia pełzania dynamicznego ze skrępowaniem bocznym oraz testów koleinowania. Badania ujawniły efekt usztywnienia asfaltu poprzez wzrost koncentracji wosku syntetycznego F-T. Usztywnienie asfaltu w sposób bezpośredni rzutowało na obniżenie wielkości deformacji betonu asfaltowego. Wzrost koncentracji wosku syntetycznego F-T umożliwia również obniżenie temperatury zagęszczania betonu asfaltowego o około 30°C.

1. WSTĘP

Postępujący w kolejnych latach wzrost poziomu obciążeń na nawierzchnię drogową związany jest z ustawicznym wzrostem natężenia ruchu pojazdów oraz zwiększaniem się pojazdów ciężarowych w ogólnej strukturze ruchu. Oddziaływanie czynników klimatycznych na nawierzchnie w obszarze Polski należy do najbardziej niekorzystnych w porównaniu do innych krajów europejskich [1]. Na podstawie szeregu badań stwierdzono, że zniszczenia nawierzchni związane są głównie z rodzajem zastosowanego lepiszcza. Główną przyczyną powstawania odkształceń plastycznych mieszanek mineralno-asfaltowych jest efekt pełzania. Jest to zjawisko charakterystyczne dla materiałów z lepiszczem asfaltowym. Proces pełzania można zaobserwować w sytuacji poddania ścinaniu mieszanek w aspekcie długotrwałego stałego obciążenia lub przy zadanym gradiencie ścinania [2]. Dotyczy to sytuacji obciążenia w miejscach długich postojów pojazdów w rejonie skrzyżowań, parkingów [3]. Aby uzyskać mieszanek mineralno-asfaltową odporną na powstawanie kolein należy ograniczyć ilość asfaltu, tym samym uzyskując większą zawartość wolnych przestrzeni oraz wzrost nakładów na energię zagęszczania. Ograniczenie ilości asfaltu może doprowadzić do obniżenia odporności betonu asfaltowego na oddziaływanie wody i mrozu. W konsekwencji przyczyni się do pojawienia się przedwczesnych uszkodzeń [4]. O odporności betonu asfaltowego

¹ gmazurek@tu.kielce.pl

decyduje głównie struktura mieszanki mineralnej i związany z nią poziom kąta tarcia wewnętrznego. Jednakże wprowadzenie lepiszcza o wysokim poziomie lepkości, głównie lepkości strukturalnej, istotnie obniża podatność mieszanki mineralno-asfaltowej. Należy pamiętać, że mieszanki odporne na koleinowanie wymagają stosowania twardszych asfaltów oraz zaprojektowania rozbudowanej struktury kontaktowej co powoduje, że niezbędne jest aby proces otaczania odbywał się w wysokiej temperaturze oraz w trakcie zagęszczania niezbędne jest stosowanie ciężkich walców [5, 6].

Obniżenie nakładów związanych z podnoszeniem asfaltu do odpowiedniego poziomu lepkości i tym samym obniżanie oporu zagęszczania przy zwiększeniu odporności na odkształcenia trwale można rozwiązać poprzez zastosowanie modyfikacji asfaltu związkami węglowodorów alifatycznych w postaci wosków syntetycznych (Fisher – Tropsh wax). Wzrost objętości wosku syntetycznego wpływa na rozproszenie fazy asfaltu redukując tym samym jego lepkość dynamiczną poniżej 2 Pas w temperaturze o około 10 - 30°C niższej w stosunku do temperatury asfaltu bazowego wynoszącej około 145°C [7, 8].

Zasadniczym celem pracy było wykazanie istotnych następstw obecności wosków syntetycznych w lepiszczu asfaltowym w podniesionych temperaturach. Ujawnione właściwości są związane z obecnością struktur długich drobnokrystalicznych węglowodorów alifatycznych uzyskanych w procesie syntezy F-T [9]. Woski syntetyczne F-T różnią się od parafin naturalnych większą ilością atomów węgla w cząsteczce (40-100) podczas gdy ilość atomów węgla w naturalnych parafinach nie przekracza 40. W związku z tym w temperaturze poniżej 105°C woski ulegają krystalizacji i jako bardzo drobny wypełniacz mineralny usztywniają strukturę asfaltu [9, 10]. Tym samym podnoszą poziom lepkości struktury nienaruszonej i temperatury mięknięcia asfaltu oraz obniżają jego poziom penetracji.

2. MATERIAŁY UŻYTE DO BADAŃ LEPISZCZY MODYFKOWANYCH

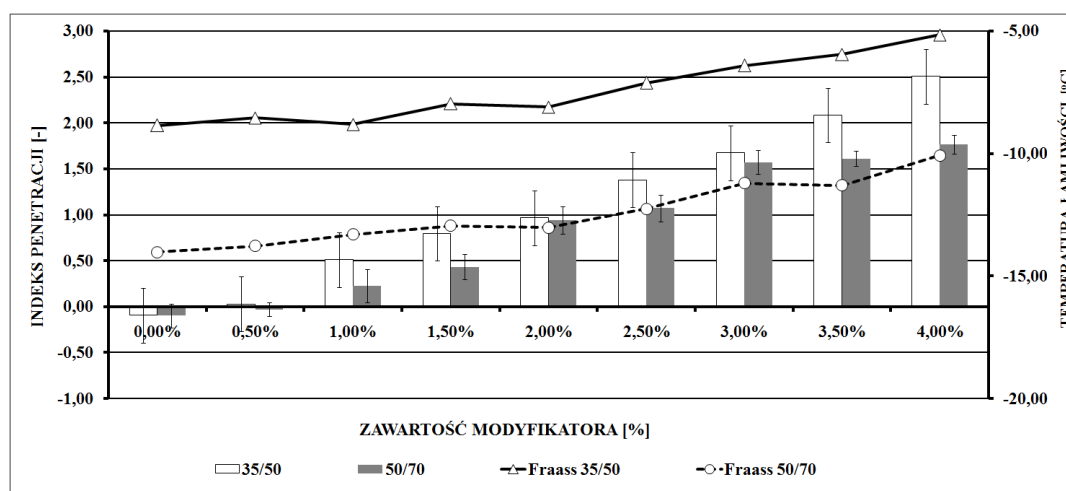
Badania właściwości reologicznych wykonano dla dwóch asfaltów o penetracji 35/50 oraz 50/70. Jako modyfikator zastosowano twardy wosk alifatyczny F-T (w procesie syntezy Fishera - Tropsha). Modyfikację wykonano w warunkach laboratoryjnych. Celem badania była ocena jakości wykonanej modyfikacji oraz wskazanie stopnia zmian reologicznych wywołanych różnym stopniem modyfikacji asfaltu woskiem syntetycznym.

2.1. Przygotowanie próbek asfaltu

Badane asfalty zostały zmodyfikowane woskiem syntetycznym F-T w ilości od 0,5% do 4% z krokiem 0,5%. wagowo. Proces przygotowania obejmował wydzielenie próbki asfaltu, dla każdego poziomu modyfikacji, w ilości 250g. Następnie próbka została podgrzana do temperatury 155°C i utrzymana w tej temperaturze przez 30 min. Kolejny etap polegał na ich wymieszaniu w celu zwiększenia homogenizacji i obejmował mieszanie w blenderze przy zachowaniu stałej temperatury przy 400 obr/min. Ocenę jakości wykonano zgodnie z [11].

2.2. Badanie podstawowych właściwości asfaltu

Badanie właściwości podstawowych asfaltu modyfikowanego woskiem syntetycznym w aspekcie jego reologii wykonano przy pomocy penetracji oraz temperatury mięknięcia. Obie wielkości wyrażono przy pomocy indeksu penetracji. Indeks penetracji stanowi ocenę wrażliwości termicznej asfaltu i wskazuje na charakter zmian sztywności asfaltu w czasie zmiany temperatury. Ponadto badania zostały uzupełnione o oznaczenie temperatury łamliwości wg Fraassa asfaltu poddanego modyfikacji różną zawartością wosku syntetycznego F-T. Wyniki badania przedstawiono na Rys.1.

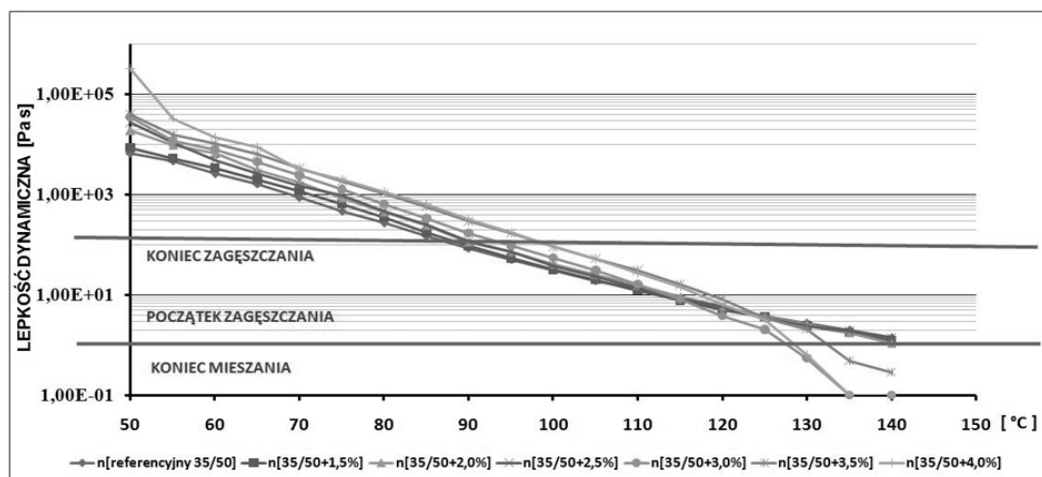


Rys. 1. Indeks penetracji oraz temperatura wg Fraassa dla asfaltów 35/50 oraz 50/70.

Wartości słupków błędów reprezentują rozszerzoną niepewność pomiaru wyniku pośredniego wg algorytmu [12] bazującej na ocenie odchylenia standardowego, błędzie eksperymentatora oraz tolerancji urządzenia. Należy zwrócić uwagę, że w miarę wzrostu ilości modyfikatora poziom indeksu penetracji również wzrasta. Wartość indeksu penetracji dla asfaltów 35/50 oraz 50/70 nie poddanych modyfikacji wynosi około 0. Wartość indeksu penetracji dla wartości 4% modyfikatora wosku dla asfaltu 35/50 osiągnęła wartość +2,5, co wskazuje na przejście asfaltu w stan żelu. W odniesieniu do asfaltu 50/70 poziom indeksu penetracji również ulega wzrostowi. W przypadku tego asfaltu poziom wartości indeksu penetracji, przy koncentracji wosku syntetycznego F-T wynoszącego 4,0%, jest mniejszy o około 0,5 w porównaniu do zastosowania asfaltu 35/50. Zalecana wartość indeksu penetracji ze względu na zachowanie pewnej rezerwy elastyczności powinna nie przekraczać wartości +2. Przebieg zmienności poziomu temperatury łamliwości wg Fraassa może stanowić wskazówkę na temat zmian strukturalnych zachodzących w asfalcie. Dla ilości około 2,0% - 2,5% ujawnia się pewien zauważalny wzrost temperatury łamliwości wskazujący na podnoszenie się kruchości asfaltu. W tym przypadku dalsze zwiększanie wosku syntetycznego F-T może przyczynić się do wzrostu prawdopodobieństwa spękań indukowanych niskimi temperaturami. Dlatego też początek tego zjawiska należy traktować jako górną wartość modyfikacji. W związku z tym najbardziej optymalną wartością stężenia wosków syntetycznych w asfalcie jest wartość 2,5%. Ten stan rzeczy wskazuje, że modyfikacja asfaltów powinna się odbywać poprzez świadome projektowanie lepiszcza z uwzględnieniem jego reologii poprzez przesunięcie proporcji pomiędzy częścią sprężystą reakcji asfaltu w stosunku do części lepkiej w zakresie indeksu penetracji od 0 do +2.

2.3. Lepkości dynamiczNE w funkcji temperatury

Badanie lepkości w pierwszej kolejności miało na celu określenie sił spójności asfaltu poddanego modyfikacji woskiem syntetycznym. Drugim wymiarem tego badania było wskazanie wpływu koncentracji wosku syntetycznego F-T na zmiany zachodzące w strukturze asfaltów. Ten rodzaj badań ma na celu określenie najbardziej właściwej temperatury zagęszczania oraz ocenę minimalnej temperatury w której następuje początek procesu krystalizacji wosku. Badanie wykonano wg [13]. Wyniki przebiegu zmienności lepkości dynamicznej w zakresie 50°C do 150°C przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Lepkość dynamiczna w funkcji temperatury

Należy zwrócić uwagę, że dla obu asfaltów (35/50 oraz 50/70) istnieją dwa charakterystyczne przedziały. Pierwszy jest zauważalny w temperaturze 80°C - 90°C. Poniżej tego przedziału następuje usztywnienie struktury asfaltu zauważalne jako odchylenie od linii wykresu asfaltu referencyjnego. Drugi przedział to w temperatura 100°C- 110°C. Powyżej tego zakresu temperatury następuje sukcesywne rozproszenie fazy asfaltu przez wosk syntetyczny F-T redukując tym samym zakres lepkości do poziomu od 0,2 do 2 Pas sprzyjającej poprawnemu otoczeniu kruszywa przez asfalt [2]. Na wykresie zmian lepkości w funkcji temperatury (rys. 2), nagły spadek lepkości przyczynia się do poprawnego otaczania ziaren kruszywa przez asfalt 35/50 w temperaturze powyżej 125 °C. Tym samym minimalny poziom temperatury asfaltu (lepkość od 2 do 20 Pas), odpowiedzialnej za właściwe zagęszczenie kompozytu mineralno-asfaltowego, może być obniżony do około 100°C.

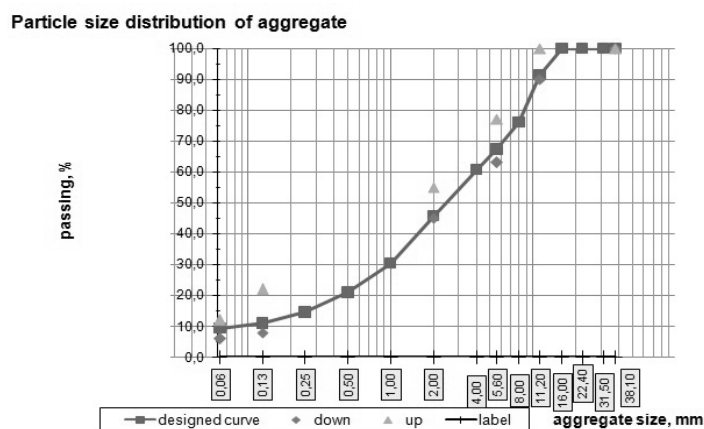
3. BADANIE ODKSZTAŁCEŃ TRWAŁYCH W BETONIE ASFALTOWYM Z WOSKIEM SYNTETYCZNYM

Badania wpływu obciążeń na deformację betonu asfaltowego wykonano dla betonu asfaltowego AC 11 S przeznaczonego na ruch kategorii KR 3-4. Jako lepszycze zastosowano asfalt 35/50 modyfikowany różną zawartością wosku syntetycznego. Kluczowymi metodami badawczymi było oznaczenie pełzania dynamicznego ze skrępowaniem bocznym (uproszczone ściskanie trójosiowe) oraz odporności na deformacje trwałe betonu asfaltowego za pomocą testów koleinowania.

3.1. Projekt mieszanki mineralno-asfaltowej

Do badań wykorzystano mieszankę mineralno-asfaltową AC 11 S dla KR 3-4 wg WT-2/2010 [14] oraz PN-EN 13108-01[15]. Wartość asfaltu ustalono na poziomie 5,2 co stanowi wartość minimalną dla tego typu uziarnienia mieszanki przy danych gęstościach kruszyw. Wartość tą ustalono na podstawie badań wytrzymałościowych. Ideą przewodnią projektowania optymalnego stosu okruszowego było uzyskanie takiego przebiegu krzywej uziarnienia mieszanki aby uzyskać dużą zawartość frakcji grysowych przy uzyskaniu maksymalnej gęstości szkieletu mineralnego. W tym celu zastosowano autorski optymalizacyjny algorytm projektowania składu stosu okruszowego napisany w języku VBA (ang. *Visual Basic for Application*), którego rdzeniem było wykorzystanie aproksymującej funkcji celu (znanej z modelowania regresyjnego). W wyniku optymalizacji osiągnięto

mieszanek składającą się w 55% ze skał gabra (2/5, 5/8, 8/11). Jako kruszywo doziarniające stanowiły piasek granitowy 0/2 oraz mieszanka dolomitowa 0/4. Wyniki optymalizacji przedstawiono na Rys. 3.

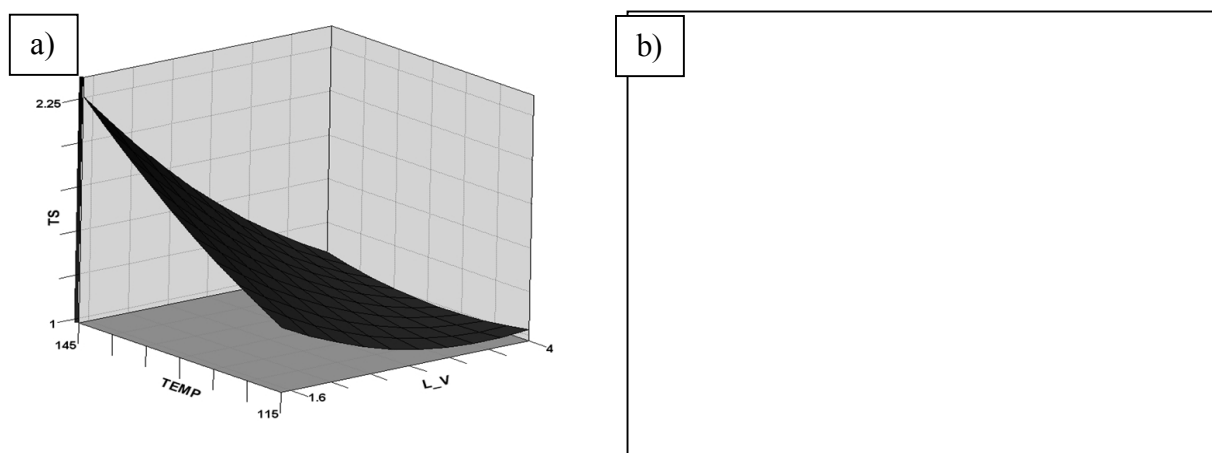


Rys. 3. Krzywa uziarnienia po procesie optymalizacji.

3.2. Badanie ściskania dynamicznego w układzie skrępowania bocznego

Badanie pełzania dynamicznego ze skrępowaniem bocznym wykonano zgodnie z [15, 16] metoda B. Dla uzyskania homogenicznego stanu naprężeń w próbkach zalecane jest ich wykonanie w stosunku wysokość/średnica w przedziale 1 do 2. Wg normy minimalna średnica oraz wysokość wynosi 50 mm w sytuacji maksymalnego wymiaru kruszywa mniejszego niż 16 mm. W związku z tym do przygotowania próbek zaadoptowano wymagania przygotowania próbek wg Zeszytu IBDiM 48/95[17].

Wynik badania stanowi ustalenie dwóch wielkości: całkowite odkształcenie oznaczonej jako TS [%], oraz szybkość przyrostu deformacji oznaczonej jako RTS [ϵ /cykl]. Poszukiwany model empiryczny został ustalony na planie eksperymentu czynnikowego kompozycyjnego. Dziedzinę stanowiły dwa czynniki: ilość modyfikatora wosku syntetycznego F-T (L_V) dla konfiguracji 1.5, 2.5, 3.0, 4.0%, oraz temperatura zagęszczenia (TEMP) dla konfiguracji 115, 125, 130, 145°C. W wyniku przeprowadzonego eksperymentu uzyskano model (Rys. 4). Ocenę parametrów modelu zamieszczono w tabeli 1.



Rys. 4. Wyniki badania trójosiowego ściskania ze skrępowaniem bocznym: a) parametr TS [%],

b) parametr RTS [ϵ /cykl].

Tabela 1. Ocena parametrów modelu

Parametr	Ln(RTS) ($R^2=0,87$)		TS ($R^2=0,84$)	
	Ocena	Pr > t	Ocena	Pr > t
L_V	3.145083	0.0001	1.335684	0.001517
TEMP	0.021689	0.545689	0.582428	0.017201
L_V*L_V	0.152282	0.128462	0.074939	0.330464
L_V*TEMP	0.128318	0.15916	0.30881	0.06458
TEMP*TEMP	0.176926	0.104347	0.021756	0.59363

Wyniki analizy wskazują na niezwykle istotny wpływ obecności wosku syntetycznego F-T w asfalcie na poziom usztywnienia struktury betonu asfaltowego (p -value < 0,05). W odniesieniu do parametru TS również temperatura zagęszczenia odgrywa istotną rolę. W związku z tym niezwykle istotnym czynnikiem jest zawartość wosku syntetycznego F-T a w szczególności jego faza krystaliczna w kompozycie asfaltu. Należy zwrócić uwagę, że wraz ze wzrostem temperatury dla danego poziomu wosku syntetycznego F-T następuje wzrost wielkości oraz szybkości powstawania deformacji trwałej. Fakt ten jest prawdopodobnie związany z efektem przegęszczenia mieszanki ze względu na zbyt niską lepkość lepiszcza. W związku z tym nie można tego typu mieszanek zagęszczać tak samo jak betonu asfaltowego z asfaltem zwykłym.

3.3. Badanie odporności na deformacje trwałe

Badanie odporności na deformacje trwałe wykonano zgodnie z wymaganiami [14, 18]. Stanowi ono podstawowy parametr oceniający przydatność zagęszczonych mieszanek mineralno-asfaltowych w aspekcie powstawania deformacji trwałych w procesie eksploatacji. Wynik badania stanowi ustalenie dwóch wielkości: przyrost koleiny WTS_{AIR} [mm/1000 cykli], oraz względna głębokość koleiny PRD [14]. Dziedzinę stanowiły dwa czynniki: ilość modyfikatora wosku syntetycznego (L_V) dla konfiguracji 1.5, 2.5, 4.0%, oraz temperatura zagęszczenia (TEMP) dla konfiguracji 115, 125 i 145°C. W wyniku przeprowadzonego eksperymentu uzyskano następujący model (Rys. 5). Ocena parametrów modelu zamieszczono w Tabeli 2.

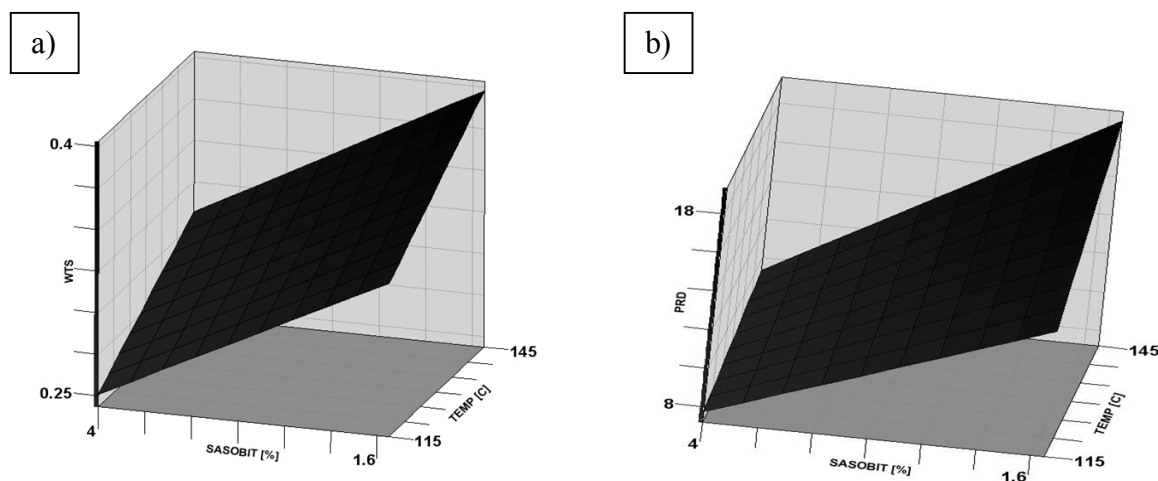
Rys. 5. Wyniki badania koleinowania: a) parametr WTS_{AIR} [mm/1000 cykli], b) parametr PRD [%].

Tabela 2. Ocena parametrów modelu

Parametr	WTS _{AIR} (R ² =0,83)		PRD (R ² =0,98)	
	Ocena	Pr > t	Ocena	Pr > t
L V	0.06375	0.00921	3.525	0.0002
TEMP	-0.09625	0.001257	-8.625	0.0001
L V*TEMP	-0.00375	0.831535	-2.125	0.0027

Wyniki analizy wskazują na istotny efekt wpływu ilości wosku syntetycznego F-T na sztywność betonu asfaltowego. Zasadniczo poziom krystalizacji wosku syntetycznego F-T odgrywa największy wpływ na zmiany obu rozpatrywanych cech. Nie mniej jednak poziom temperatury zagęszczania również odgrywa istotną rolę co może mieć związek z optymalnym poziomem zawartości wolnych przestrzeni. Podobnie jak w trakcie badań pełzania dynamicznego ze skrępowaniem bocznym wzrost temperatury zagęszczania przy danej zawartości wosku syntetycznego F-T powoduje obniżenie parametru WTS_{AIR} co znacznie podwyższa sztywność betonu asfaltowego w trakcie eksploatacji. W temperaturze 115 °C uzyskano najmniejszy poziom parametru WTS_{AIR} lecz przy znacznej ilości wosku syntetycznego F-T. Podobną zależność odnotowano przy pomiarze parametru PRD. Graniczną wartością parametru WTS_{AIR} wg [14] wynosi 0,5. Przy redukcji temperatury zagęszczania w zakresie od 120°C do 125°C oraz dodaniu wosku syntetycznego F-T w ilości 2,5% można uzyskać redukcję parametru WTS_{AIR} o około 50% w stosunku do wartości granicznej zgodnej z WT-2/2010. Taki stan rzeczy sugeruje, że można dokonać obniżenia temperatury zagęszczenia o około 30°C przy wykorzystaniu wosku syntetycznego w ilości do 3% przy braku istotnego wzrostu kruchości lepiszcza asfaltowego.

4. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski:

- modyfikacja asfaltu woskiem syntetycznym powoduje wzrost indeksu penetracji oraz wzrost temperatury Fraassa powyżej 2,5%,
- asfalt modyfikowany woskiem syntetycznym umożliwia otaczanie ziarn kruszywa w temperaturze od 125 °C,
- właściwości wosku syntetycznego umożliwiają obniżenie temperatury zagęszczania o około 30°C,
- wosk syntetyczny wywiera niezwykle istotny wpływ na wzrost sztywności betonu asfaltowego. badania przy pomocy testów koleinowania oraz pełzania dynamicznego ze skrępowaniem bocznym ujawniły silny wpływ obecności wosku syntetycznego F-T na wzrost odporności na deformacje trwałe o około 50% przy zawartości modyfikatora w asfalcie w ilości 2,5%.

Piśmiennictwo

- [1] Błażejowski K., Sybilski D. Nawierzchnie bitumiczne w polskim klimacie. Drogownictwo. 1, 1994.
- [2] Stefańczyk B., Mieczkowski P. Mieszanki mineralno-asfaltowe - Wykonawstwo i badania. WKŁ. Warszawa, WKŁ, 2008.
- [3] Grabowski W., Słowik M. Badania właściwości reologicznych asfaltów drogowych modyfikowanymi polimerami. Foundations of Civil and Environmental Engineering. 3, 2002.
- [4] Judycki J., Dołycki B., Jaskuła P. Przedwczesne uszkodzenia nawierzchni asfaltowych. I Kongres Drogowy. 5-7 październik 2006, str. 9.
- [5] Piłat J., Radziszewski P. Nawierzchnie asfaltów. Warszawa : WKŁ, 2008.

- [6] Monismith C. L., Epps J. A., Finn F. N. Improved Asphalt Mix Design. The Association of Asphalt Paving Technologists. 1985, Tom 54.
- [7] Danowski M., Application of hot mix asphalt of low-term consolidation – german experiences . Nowości Zagranicznej Techniki Drogowej. 2007, 196, strony 12-35.
- [8] Hurley G, Prowell B. NCAT report 05-06. Evaluation of Sasobit_ for use in warm mix asphalt. Auburn, 2005.
- [9] XIAOHU LU, M. LANGTON, P. Wax morphology in bitumen. OLOFSSON JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE. 2005, Tom 40, strony 1893 – 1900.
- [10] D., Lesueur. The colloidal structure of bitumen: Consequences on the rheology and on the mechanisms of bitumen modification. Advances in Colloid and Interface Science. 145, strony 42-82.
- [11] Information, Product. The Bitumen Additive for Highly Stable Easy Compatible Asphalts. 2008.
- [12] H., Szydłowski. Międzynarodowe normy oceny niepewności pomiarów. Postępy Fizyki. Poznań : Wydział Fizyki Uniwersytetu Adama Mickiewicza, 2000, Tom 51, Zeszyt 2.
- [13] EN-13702-2:2003. Bitumen and Bituminous Binder – Detrmination of dynamic viscosity of modified bitumen – Part 2. Coaxial cylinders method.
- [14] WT-2/2010, Wymagania Techniczne. Mieszanki mineralno-asfaltowe, Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych, GDDKiA 2010. 2010.
- [15] PN-EN13108-1:2006. Mieszanki mineralno-asfaltowe -- Wymagania - Beton asfaltowy.
- [16] PN-EN12697-25. Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 25: Badanie cyklicznego, jednoosiowego ściskania (oryg.), metoda B.
- [17] Katalog Wzmocnień i Remontów Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych. Warszawa : GDDKiA, 2001.
- [18] PN-EN12697-22. .Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 25: Koleinowanie.

DEFORMATION RESISTANCE OF ASPHALT CONCRETE MODIFIED WITH SYNTHETIC WAX

Summary

The purpose of research was an analysis of the effect of modern synthetic wax F-T on permanent deformation in asphalt concrete. First, the evaluation of synthetic wax F-T effect on neat bitumen 35/50 was carried out. Next, bitumen properties were analysed: penetration, softening point (penetration index), and breaking point temperature. The evaluation of deformation in asphalt concrete was made by means of dynamic creep with lateral confinement and rutting test. The study revealed the effect of stiffening of bitumen as the synthetic wax F-T content increased. Bitumen stiffening directly affected reduction of deformation in asphalt concrete. Synthetic wax F-T concentration increase enables compaction temperature reduction about 30 °C.