

prof. dr hab. inż. Wojciech Grabowski
dr inż. Mieczysław Słowik
dr inż. Jarosław Wilanowicz
mgr inż. Tomasz Soból
Politechnika Poznańska
Instytut Inżynierii Lądowej
Polska

WPLYW WYPEŁNIACZY WŁASNYCH NA STARZENIE LEPISZCZY MODYFIKOWANYCH ELASTOMEREM SBS ZACHODZĄCE W ZACZYNACH ASFALTOWYCH

BAGHOUSE FILLERS INFLUENCE TO SBS POLYMER MODIFIED BINDERS AGEING OCCURRED IN ASPHALT MASTICS

Streszczenie

Przedmiotem badań i analiz były dwa rodzaje wypełniaczy – pyły mineralne uzyskane z instalacji odpylania podczas produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych oraz wypełniacz wapienny jako referencyjny. Przebieg procesu starzenia oceniano metodą laboratoryjną TFOT dla próbek lepiszczy modyfikowanych elastomerem SBS i zaczynów sporządzonych z udziałem lepiszczy oraz wymienionych powyżej wypełniaczy. Badania i ocenę struktury i morfologii wypełniaczy przeprowadzono według własnej metodyki, którą oparto na analizie jakościowej i ilościowej kształtu i tekstury ziaren. Ocenę właściwości fizycznomechanicznych i funkcjonalnych, w szczególności właściwości usztywniających wypełniaczy w zaczynach asfaltowych dokonano na podstawie wyników oznaczania lepkości dynamicznej oraz temperatury mięknienia wg PiK. Te dwie miary są uznawane za najbardziej wiarygodne do oceny właściwości usztywniających, ze względu na dobrą powtarzalność wyników i małą wrażliwość na zjawisko sedimentacji wypełniacza w zaczynie asfaltowym. Rezultaty badań wykazały wpływ zarówno stopnia modyfikacji lepiszcza, jak i rodzaju zastosowanego wypełniacza na właściwości zaczynów asfaltowych sporządzonych z ich udziałem po starzeniu metodą TFOT.

Summary

The objects of presented tests and analysis were two types of fillers – mineral dust obtained from de-dusting system during asphalt mixtures production, as well as limestone filler as a referenced material. Ageing process was assessed using laboratory method TFOT for samples of SBS polymer modified bituminous binders and mastics prepared as a composite of these binders and the fillers mentioned above. Tests and assessment of the fillers structure and morphology were carried out according to the authors' own methodology based on qualitative and quantitative analysis of shape and texture of filler grains. Physical, mechanical and functional properties, particularly stiffening properties of fillers in asphalt mastics were assessed on the basis of test results of dynamic viscosity and Softening Point acc. to "R&B" method. These two parameters are acknowledged as the most reliable to fillers' stiffening properties assessment because of good repeatability of the results and small susceptibility to sedimentation of filler grains in asphalt mastic. The test results showed influence of bitumen modification degree, as well as type of filler used on properties of asphalt mastics composed on the basis of these materials, aged with TFOT method.

1. Wprowadzenie

Od wielu lat producenci mieszanek mineralno-asfaltowych wykazują zainteresowanie możliwością wykorzystania pyłów mineralnych do budowy warstw asfaltowych nawierzchni drogowych w Polsce. Aktualnie obowiązujące przepisy nie pozwalają na szerokie wykorzystanie do produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych pyłów uzyskanych z filtrów workowych podczas procesu odpylania kruszywa. Jako wypełniacz należy obowiązkowo stosować mączkę wapienną produkowaną przemysłowo. Znaczna część wypełniacza własnego pozostającego w filtrach workowych po odpyleniu kruszywa (szczególnie piasku łamanego, gdzie zawartość ziaren mniejszych od 0,075 mm dochodzi do 15%) musi zostać potraktowana jako odpad przemysłowy i zutyliзована. Prace badawcze prowadzone przez autorów referatu od 2002 roku mają na celu wykazanie przydatności wypełniaczy własnych do wykonywania warstw asfaltowych nawierzchni.

Na podstawie analizy literatury dotyczącej rozpatrywanego zagadnienia można stwierdzić, że:

- bardzo drobne pyły zastosowane w mieszankach mineralno-asfaltowych powodują zwiększenie ich nasiąkliwości oraz obniżenie stabilności [1];
- pyły zatrzymane w filtrach workowych mogą być przydatne do produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych pod warunkiem, że jakość kruszywa z którego zostały uzyskane jest odpowiednia [2];
- bardzo drobny pył o ziarnach < 0,02 mm zachowuje się jak domieszka do lepiszcza asfaltowego, co może skutkować koniecznością zmniejszenia zawartości asfaltu w mieszance mineralno-asfaltowej [3]. Podobne spostrzeżenia zawarte są w pracy [1];
- temperaturę mięknięcia oznaczoną wg metody PiK oraz lepkość dynamiczną można uznać za najbardziej wiarygodne miary oceny właściwości usztywniających pyłów w kompozytach mineralno-asfaltowych [4, 5];
- uziarnienie pyłów z filtrów workowych może być bardzo zróżnicowane. Rezultaty badań przeprowadzonych w 32 wytwórniach MMA wykazały zmienność uziarnienia podczas produkcji zarówno w czasie dnia roboczego jak i w poszczególnych dniach tygodnia [6];
- krytyce poddano zastosowanie metody reometru ścinania dynamicznego (DSR) do oceny właściwości usztywniających pyłów z powodu problemów związanych z niekontrolowanym rozsegregowaniem kompozytu w czasie prowadzenia badań [7];

Przedmiotem badań wykonanych w Politechnice Poznańskiej w latach 2003÷2005 [8, 9, 10, 11] były pyły uzyskane z instalacji odpylania czterech rodzajów kruszywa: grano-diorytowego, bazaltowego, dolomitowego i melafirowego. Wypełniacz wapienny, stosowany jako wypełniacz podstawowy do MMA, uwzględniono w programie badań jako wypełniacz referencyjny. Badania te obejmowały ilościową ocenę morfologii ziaren pyłów mineralnych, która istotnie rozszerzyła zakres poznawczy dotyczący wpływu ich struktury i morfologii pyłów na ich właściwości funkcjonalne.

Celem niniejszej pracy było poznanie wpływu wypełniaczy o zróżnicowanym pochodzeniu na właściwości zaczynów asfaltowych z udziałem asfaltów modyfikowanych, z uwzględnieniem zjawiska starzenia technologicznego. Ponieważ zagadnienie jest bardzo złożone, metodykę badań usystematyzowano w taki sposób, aby możliwa była ocena wyników badań na trzech poziomach obserwacji:

- ocena wpływu rodzaju wypełniacza na właściwości zaczynów asfaltowych;
- poznanie wpływu zawartości elastomeru SBS na właściwości lepiszczy i zaczynów modyfikowanych;
- ocena wpływu starzenia technologicznego na właściwości lepiszczy i zaczynów asfaltowych.

W niniejszej pracy przedstawiono rezultaty badań cech strukturalnych wypełniaczy własnych: bazaltowego i dolomitowego oraz wypełniacza wapiennego jako materiału referencyjnego. Badaniu poddano próbki wypełniaczy uzyskane po odsianiu ziaren większych od 0,075 mm. Próbkę te następnie wymieszano z próbkami asfaltu gatunku 100/150, a także z próbkami lepiszczy modyfikowanych dodatkiem 3, 5 oraz 7% elastomeru SBS (Kraton D-1101 CM o strukturze liniowej), uzyskując zaczyny asfaltowe. We wszystkich próbkach zaczynów asfaltowych zachowano identyczną wartość stosunku wagowego lepiszcza i wypełniacza wynoszącą 1:1,5. W tablicy 1 przedstawiono sposób nazewnictwa poszczególnych próbek wypełniaczy, lepiszczy i zaczynów asfaltowych poddanych badaniom.

Badania właściwości funkcjonalnych zaczynów asfaltowych przeprowadzono zarówno na próbkach nie poddanych starzeniu, jak i na próbkach poddanych symulowanemu starzeniu technologicznemu metodą laboratoryjną TFOT (Thin Film Oven Test).

Tablica 1. Symboliczne oznaczenie badanych próbek

Zawartość elastomeru SBS	Lepiszczce asfaltowe	Zaczyny asfaltowe		
		Rodzaj wypełniacza		
		bazaltowy (B)	dolomitowy (D)	wapienny (W)
0%	100/150	100/150+B	100/150+D	100/150+W
3%	100/150+3%SBS	100/150+3%SBS+B	100/150+3%SBS+D	100/150+3%SBS+W
5%	100/150+5%SBS	100/150+5%SBS+B	100/150+5%SBS+D	100/150+5%SBS+W
7%	100/150+7%SBS	100/150+7%SBS+B	100/150+7%SBS+D	100/150+7%SBS+W

2. Badania charakterystyk strukturalnych wypełniaczy własnych

W celu oceny właściwości strukturalnych i funkcjonalnych analizowanych wypełniaczy mineralnych, oznaczono następujące parametry:

- graficzną średnią średnicę ziaren \varnothing_{sr} – według metody Folka i Warda stosowanej w badaniach sedymentacji osadów mineralnych [12], według wzoru:

$$\varnothing = \log_2 d \quad (1)$$

gdzie: d – średnica ziarna, mm;

- powierzchnię właściwą P_w – metodą Blaine’a według EN 196-6;
- porowatość P – obliczona została na podstawie oznaczonej gęstości i gęstości objętościowej w stanie zagęszczonym;
- wskaźnik aktywności A_w ;
- koncentrację objętościową K_o ;
- wskaźnik błękitu metylenowego – według EN 933-9.

Rezultaty oznaczenia cech strukturalnych i funkcjonalnych analizowanych wypełniaczy mineralnych zestawiono w tablicy 2.

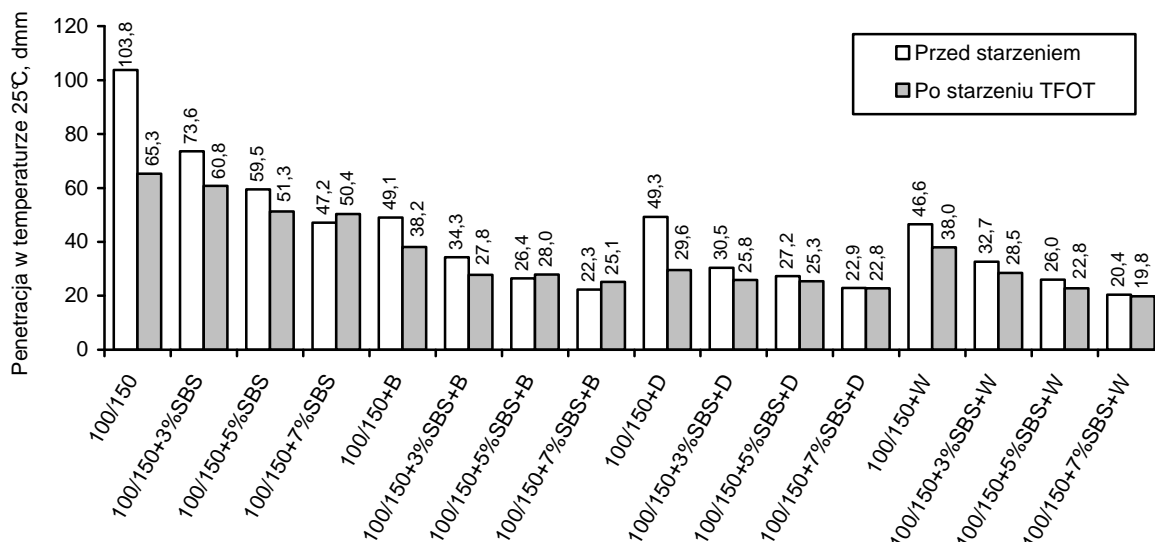
Tablica 2. Właściwości strukturalne i funkcjonalne ocenianych próbek wypełniaczy mineralnych

Wypełniacz	Graficzna średnia średnica	Powierzchnia właściwa	Porowatość	Wskaźnik aktywności	Koncentracja objętościowa	Wskaźnik błękitu metylenowego
	\varnothing_{sr}	P_w , cm ² /g	P, %	A_w	K_o , %	MB_F , g/kg
Bazaltowy	5,70	3 781	51,7	1,5	46,6	0,7
Dolomitowy	6,69	8 222	67,1	14,8	38,1	25,0
Wapienny	6,57	8 808	61,1	10,4	43,4	2,7

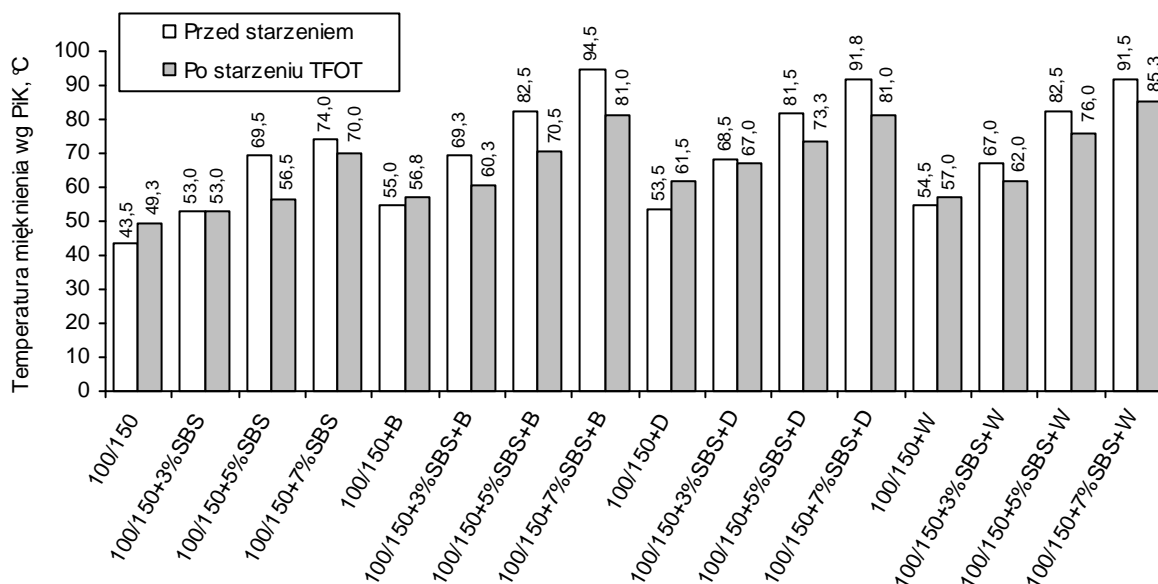
3. Rezultaty badań właściwości funkcjonalnych oraz odporności na starzenie zaczynów asfaltowych

Próbki asfaltów zwykłych i modyfikowanych oraz zaczynów asfaltowych przygotowane zgodnie z opisem zamieszczonym w p. 1, poddano badaniom laboratoryjnym, oznaczając następujące właściwości:

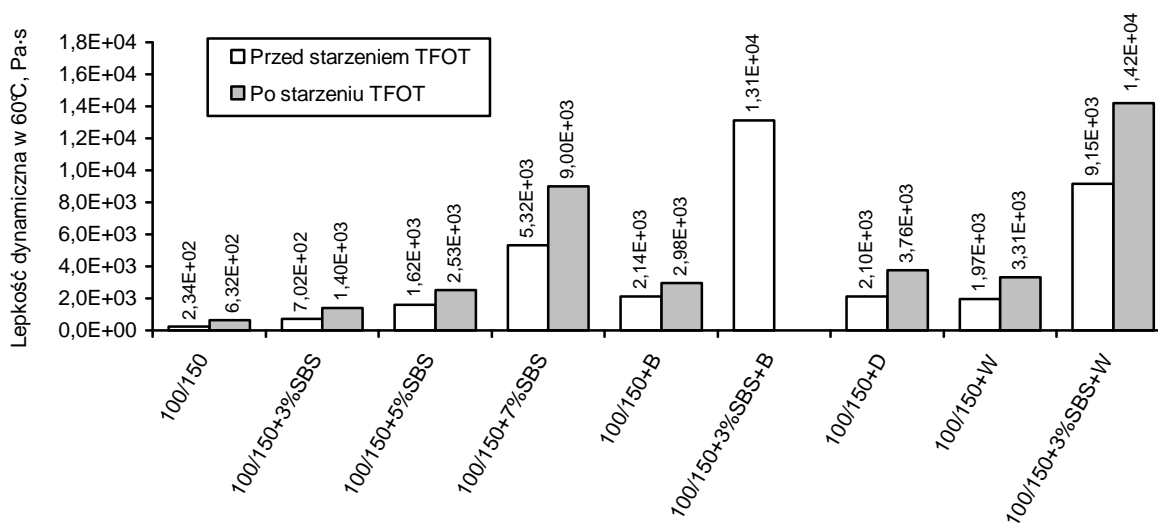
- penetrację w temperaturze 25°C – zgodnie z PN-EN 1426 – wyniki pomiarów przedstawiono na rys. 1;
- temperaturę mięknięcia według metody „Pierścień i Kula” – zgodnie z PN-EN 1427 – wyniki pomiarów przedstawiono na rys. 2;
- lepkość dynamiczną w temperaturach: 60, 90 i 110°C; pomiary przeprowadzono z użyciem lepkościomierza rotacyjnego – wyniki pomiarów przedstawiono odpowiednio na rysunkach 3, 4 i 5; w przypadku zaczynów sporządzonych z udziałem lepiszczy modyfikowanych dodatkiem 5 i 7% elastomeru SBS nie przeprowadzono pomiarów lepkości dynamicznej ze względu na zbyt niski zakres pomiarowy zastosowanego lepkościomierza.



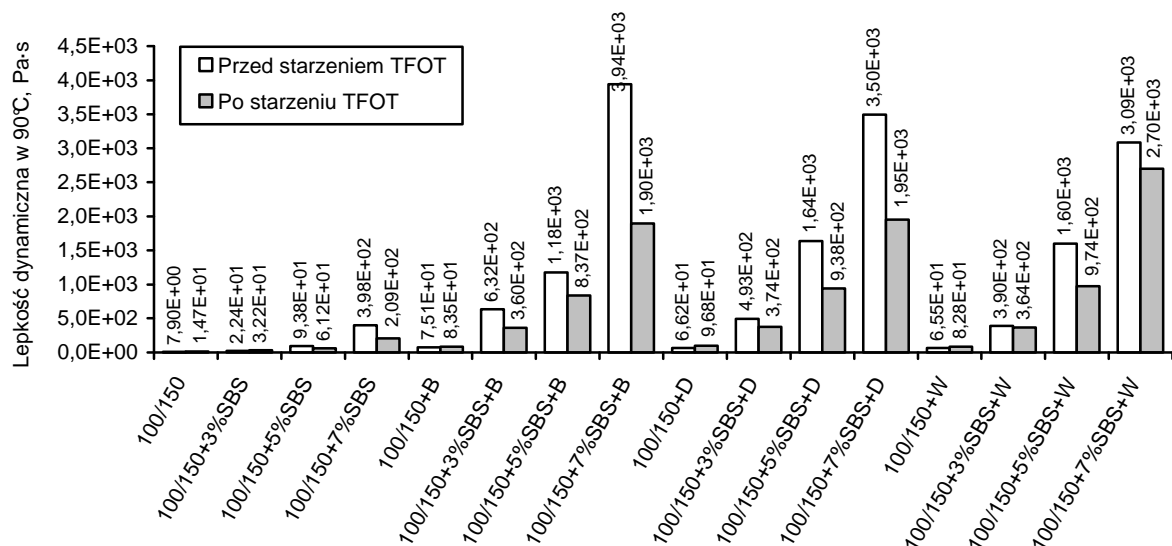
Rys. 1. Wyniki oznaczania penetracji w temperaturze 25°C lepiszczy i zaczynów asfaltowych



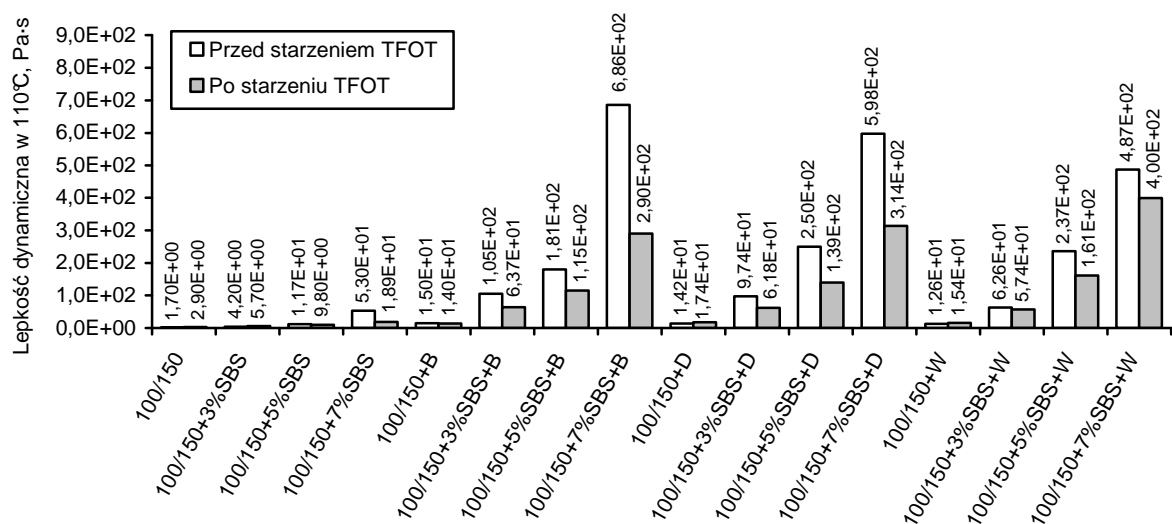
Rys. 2. Wyniki oznaczania temperatury mięknięcia lepiszczy i zaczynów asfaltowych



Rys.3. Wyniki oznaczania lepkości dynamicznej lepiszczy i zaczynów asfaltowych w temperaturze 60°C



Rys.4. Wyniki oznaczania lepkości dynamicznej lepiszczy i zaczynów asfaltowych w temperaturze 90°C



Rys.5. Wyniki oznaczania lepkości dynamicznej lepiszczy i zaczynów asfaltowych w temperaturze 110°C

4. Analiza i dyskusja wyników

Analizę rezultatów badań przeprowadzono z uwzględnieniem trzech poziomów obserwacji opisanych w p. 1.

Oceniając cechy strukturalne i funkcjonalne badanych wypełniaczy mineralnych (tablica 2) można zauważyć duże zróżnicowanie uzyskanych wyników. Wypełniacz bazaltowy charakteryzuje się ziarnami o największym średnim wymiarze (najniższa wartość $\bar{\varnothing}_{sr} = 5,70$), czego konsekwencją są najmniejsze wartości powierzchni właściwej ($3\,781\text{ cm}^2/\text{g}$), porowatości (51,7%), wskaźnika aktywności (1,5) i najwyższa wartość koncentracji objętościowej (46,6%). Stwierdzono również bardzo niską wartość wskaźnika błękitu metylenowego wynoszącą 0,7, która świadczy o bardzo niskiej zawartości cząstek ilastych. Wypełniacz dolomitowy cechuje się natomiast najniższym średnim wymiarem ziaren (najwyższa wartość $\bar{\varnothing}_{sr} = 6,69$), co może mieć wpływ na wartości liczbowe pozostałych parametrów – wysokie wartości powierzchni właściwej ($8\,222\text{ cm}^2/\text{g}$), porowatości (67,1%), wskaźnika aktywności (14,8) i najniższą wartość koncentracji objętościowej (38,1%). Szczególną uwagę należy zwrócić na bardzo wysoką wartość wskaźnika błękitu metylenowego (25,0), która świadczy o zbyt dużej zawartości cząstek ilastych (wartość wskaźnika MB_F nie powinna przekraczać 10). W przypadku wypełniacza wapiennego nie stwierdzono ekstremalnych wartości poszczególnych parametrów. Wyjątek stanowi największa wartość powierzchni właściwej wynosząca $8\,808\text{ cm}^2/\text{g}$. Na podstawie niskiej wartości wskaźnika błękitu metylenowego (2,7) można również wnioskować o niskiej zawartości cząstek ilastych w wypełniaczu wapiennym.

Oceniając konsystencję lepiszczy i zaczynów asfaltowych poprzez analizę wyników oznaczania penetracji w temperaturze 25°C (rys. 1) oraz temperatury mięknięcia wg PiK (rys. 2) można zauważyć, że:

- dodanie każdego z wypełniaczy do asfaltu wyjściowego 100/150 spowodowało jego usztywnienie obserwowane poprzez spadek wartości penetracji i wzrost temperatury mięknięcia; a efekt dodatku każdego z wypełniaczy do asfaltu jest zbliżony;
- modyfikacja asfaltu elastomerem SBS spowodowała spadek wartości penetracji i wzrost temperatury mięknięcia zarówno w przypadku lepiszczy jak i zaczynów asfaltowych; efekt modyfikacji rośnie wraz ze wzrostem zawartości elastomeru SBS w asfalcie; największe zmiany ilościowe zaobserwowano w przypadku próbek: 100/150+7%SBS+W (najniższa wartość penetracji wynosząca 20,4 dmm) oraz 100/150+7%SBS+B (najwyższa wartość temperatury mięknięcia równa 94,5°C);
- wpływ starzenia technologicznego jest zróżnicowany; w przypadku asfaltu niemodyfikowanego i zaczynów sporządzonych z jego udziałem starzenie zawsze powoduje spadek wartości penetracji oraz wzrost temperatury mięknięcia; modyfikacja elastomerem SBS (szczególnie przy dużych zawartościach: 5 i 7%) powoduje odwrócenie tej prawidłowości, które można szczególnie wyraźnie zaobserwować w przypadku wyników oznaczania temperatury mięknięcia; przyczyną tego zjawiska jest prawdopodobnie degradacja polimeru, która zachodzi podczas wygrzewania próbek w temperaturze 163°C w czasie 5 h.

Zachowanie lepiszczy i zaczynów asfaltowych w wysokich temperaturach eksploatacji nawierzchni oraz w temperaturach stosowanych w procesach technologicznych oceniano na podstawie wyników pomiaru lepkości w temperaturach 60, 90 i 110°C zamieszczonych na rys. 3-5, na których zaobserwowano, że:

- zarówno dodatek poszczególnych wypełniaczy, jak i modyfikacja elastomerem SBS powodują usztywnienie zaczynu asfaltowego – potwierdza to wyniki uzyskane podczas oznaczania penetracji i temperatury mięknięcia; jednak zmiany ilościowe charakteryzowane przyrostem względnym lepkości są znacznie większe niż w przypadku penetracji i temperatury mięknięcia, przy czym zmiany te są coraz większe, im wyższa jest temperatura pomiaru lepkości (np. modyfikacja asfaltu 100/150 elastomerem SBS w ilości 7%, a następnie dodanie wypełniacza bazaltowego spowodowały ponad 400-krotny wzrost wartości lepkości oznaczonej w temperaturze 110°C);
- charakter zmian lepiszczy spowodowanych symulowanym starzeniem technologicznym jest podobny jak zaobserwowano w przypadku wyników oznaczania temperatury mięknięcia; lepkość dynamiczna oznaczona w temperaturach 90 i 110°C wzrasta w efekcie starzenia w przypadku asfaltu 100/150 oraz zaczynów sporządzonych z jego udziałem, natomiast maleje w przypadku lepiszczy i zaczynów modyfikowanych elastomerem SBS; prawidłowości takiej nie zaobserwowano w przypadku wyników oznaczania lepkości w temperaturze 60°C, jednak brak jest wyników pomiaru lepkości zaczynów wysokomodyfikowanych (dodatkiem 5 i 7% elastomeru SBS) w tej temperaturze, dla których można się spodziewać spadku wartości lepkości dynamicznej w wyniku starzenia; dla lepszego zobrazowania zmian zachodzących w lepiszczach i zaczynach asfaltowych w efekcie starzenia, na rys. 6 przedstawiono wartości indeksu stwardnienia obliczone na podstawie wyników pomiaru lepkości dynamicznej w temperaturze 90°C próbek lepiszczy i zaczynów asfaltowych przed starzeniem i po starzeniu metodą TFOT, z zastosowaniem wzoru:

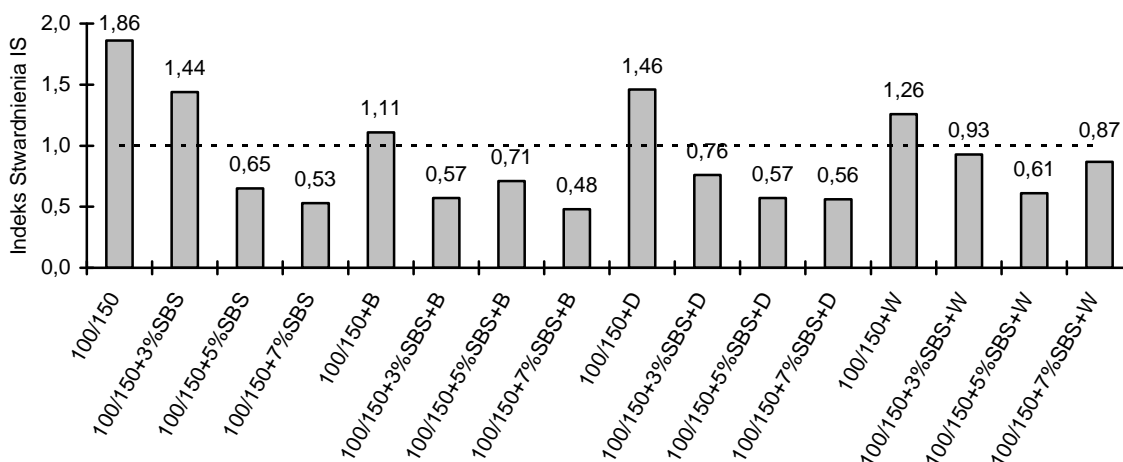
$$IS = \frac{\eta_{90}^{TFOT}}{\eta_{90}} \quad (2)$$

gdzie:

η_{90}^{TFOT} - lepkość dynamiczna oznaczona w temperaturze 90°C na próbce lepiszcza lub zaczynu asfaltowego poddanego starzeniu metodą TFOT;

η_{90} - lepkość dynamiczna oznaczona w temperaturze 90°C na próbce lepiszcza lub zaczynu asfaltowego nie poddanego starzeniu

Na rys. 6 można zauważyć, że przyrosty lepkości w wyniku starzenia ($IS > 1$) nastąpiły w przypadku lepiszcza i zaczynów niemodyfikowanych (najwyższy przyrost zaobserwowano dla próbki asfaltu 100/150 – $IS = 1,86$), a także próbki lepiszcza niskomodyfikowanego (dodatkiem 3% elastomeru SBS). Dla wszystkich pozostałych próbek lepiszczy i zaczynów modyfikowanych elastomerem SBS zanotowano spadek wartości lepkości w efekcie starzenia, czyli wartości $IS < 1$.



Rys. 6. Indeks stwardnienia lepiszcz i zaczynów asfaltowych obliczony na podstawie lepkości dynamicznej oznaczonej w temperaturze 90°C

Na rysunku 7 zamieszczono wartości współczynnika wrażliwości termicznej lepkości lepiszcz i zaczynów asfaltowych obliczone według wzoru Walthera [14]:

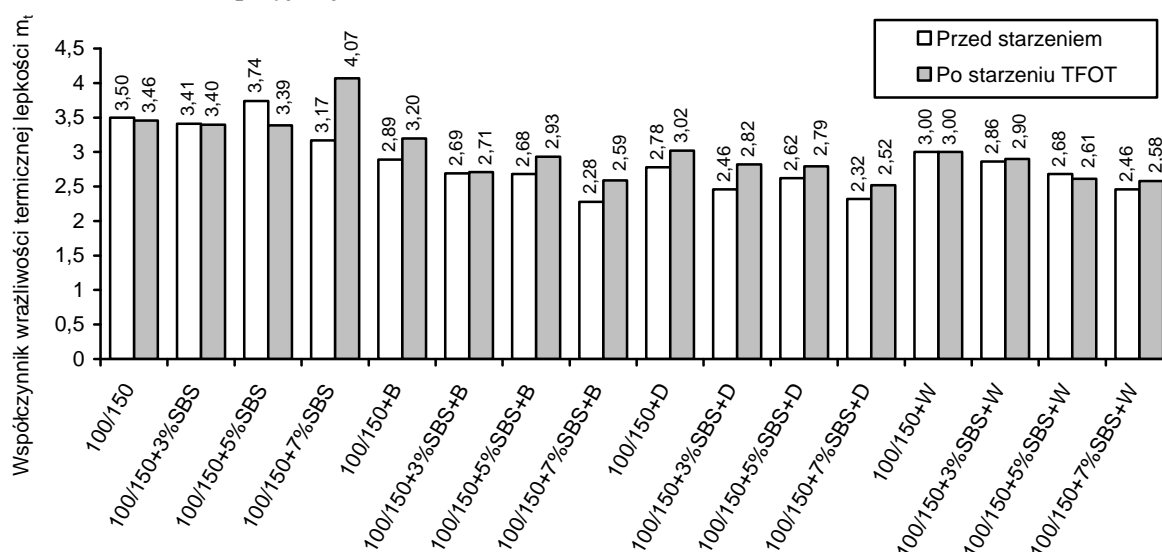
$$m_t = \frac{\log \log(\eta_{T_2} + c) - \log \log(\eta_{T_1} + c)}{\log T_2 - \log T_1} \quad (3)$$

gdzie:

η_{T_1} , η_{T_2} - lepkość dynamiczna oznaczona w temperaturze odpowiednio T_1 i T_2 , mPa·s;

T_1 , T_2 – temperatury pomiaru lepkości, K (przyjęto: $T_1 = 90^\circ\text{C} = 363,15\text{ K}$, $T_2 = 110^\circ\text{C} = 383,15\text{ K}$);

c – stała, dla asfaltów przyjmuje się wartość 0,8 mPa·s.



Rys. 7. Współczynnik wrażliwości termicznej lepkości

Na rys. 7 można zauważyć, że dodatek wypełniacza powoduje bardziej intensywne zmniejszenie wrażliwości lepkości zaczynów na zmiany temperatury niż modyfikacja elastomerem SBS. Największe zmiany ilościowe zaobserwowano w przypadku zaczynów z wypełniaczem dolomitowym. Starzenie zaczynów spowodowało nieznaczne zwiększenie wrażliwości termicznej lepkości.

5. WNIOSKI

Rozpatrywanie zaczynu asfaltowego z udziałem wypełniaczy o zróżnicowanym pochodzeniu oraz lepiszcz modyfikowanych należy uznać za przypadek bardzo złożony. Algorytm wzajemnego oddziaływania dla tego przypadku można przedstawić następująco: rodzaj lepiszcz asfaltowego, rodzaj i zawartość modyfikatora oraz rodzaj wypełniacza wzajemnie oddziałują na siebie zarówno przed jak

i w czasie procesu starzenia. Na interakcję komponentów zaczynu asfaltowego wpływ ma zawartość lepiszcza i wypełniacza w zaczynie asfaltowym. Rodzaj wypełniacza należy rozpatrywać jako dwa elementy: skład chemiczny i mineralogiczny oraz charakterystykę strukturalną. Można zauważyć, że rodzaj wypełniacza i zawartość modyfikatora asfaltu stanowią dwa z czterech elementów algorytmu. Dlatego poznanie wpływu tych dwóch komponentów na zmiany właściwości zaczynów asfaltowych w wyniku procesu starzenia w warunkach ustalonych (metodą TFOT) możliwe było metodami pośrednimi na poszczególnych poziomach obserwacji. Rezultaty badań upoważniają do sformułowania następujących wniosków.

- Modyfikacja asfaltu wyjściowego elastomerem SBS powoduje obniżenie wartości indeksu stwardnienia lepiszczy modyfikowanych z wyraźną zależnością od stopnia modyfikacji.
- Wypełniacze w istotny sposób obniżają usztywnienie spowodowane procesem starzenia zaczynu asfaltowego z ich udziałem w porównaniu z asfaltem wyjściowym.
- Wartości indeksu stwardnienia obliczonych dla zaczynów asfaltowych z udziałem asfaltów modyfikowanych są mniejsze od 1, co oznacza że wartości lepkości dynamicznej zaczynów oznaczonej w temperaturze 90°C są większe przed starzeniem niż po starzeniu metodą TFOT.
- Małe różnice wartości indeksu stwardnienia dla zaczynów z udziałem lepiszczy o zróżnicowanym stopniu modyfikacji oraz trzech rozpatrywanych wypełniaczy świadczą o interakcji wpływu stopnia modyfikacji asfaltu i rodzaju wypełniacza.

LITERATURA

- [1] SCHRIMSER T., Baghouse Dust and its Effect on Asphaltic Mixtures. Research Report CA-DOT-TL-3140-1-76-50. California Department of Transportation, October, 1976.
- [2] EICK J. M., SHOOK J. F., The Effects of Baghouse Fines on Asphalt Mixtures. Asphalt Institute. Research Report 78-3, November, 1978.
- [3] WARD R. G., MCDUGAL J. M., Bituminous Concrete Plant Dust Collection System – Effect of Using Recovered Dust In Paving Mix. Research Report FHWA/WV-79-003, Charleston, WV, West Virginia Department of Highways, December, 1979.
- [4] KANDHAL P. S., Evaluation of Baghouse Fines in Bituminous Paving Mixtures. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists. 1981, Volume 50.
- [5] KANDHAL P. S., Evaluation of Baghouse Fines in Bituminous Paving Mixtures. Pennsylvania Department of Transportation Research Report 70-23, October, 1980.
- [6] ANDERSON D. A., TARRIS J. P., Effect of Baghouse Fines on Mixture Design Properties. National Asphalt Pavement Association, QIP 102, April, 1982.
- [7] COOLEY L., STROUP-GARDINER M., BROWN E. R., HANSON D. I., FLETCHER M., Characterization of Asphalt-Filler Mortars with Superpave Binder Tests. Paper Presented at the 1998 Annual Meeting of the Association of Asphalt Paving Technologists, Boston, March, 1998.
- [8] GRABOWSKI W., SŁOWIK M., WILANOWICZ J., SOBÓL T., Badania i ocena struktury wybranych wypełniaczy mineralnych stosowanych do mieszanek mineralno-asfaltowych. L Konferencja Naukowa KILiW PAN i Komitetu Nauki PZiTb, „Problemy Naukowo-badawcze budownictwa”. Krynica 2004, Wyd. Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2004, Tom V „Mosty, Inżynieria Komunikacyjna”, s.137-144.
- [9] GRABOWSKI W., WILANOWICZ J., SŁOWIK M., SOBÓL T., Ocena właściwości usztywniających wypełniaczy mineralnych uzyskanych z instalacji odpylającej wytwórni mieszanek mineralno-asfaltowych. III Międzynarodowa Konferencja Naukowo – Techniczna „Nowoczesne technologie w budownictwie drogowym”. Poznań 2005, str. 299-309.
- [10] GRABOWSKI W., SŁOWIK M., WILANOWICZ J., SOBÓL T., Badania i ocena wpływu wypełniaczy mineralnych na ich właściwości usztywniające w zaczynach asfaltowych poddanych starzeniu laboratoryjnemu. X Międzynarodowa Konferencja „Trwałe i bezpieczne nawierzchnie drogowe”. Kielce 2004, Wyd. IBDiM, Warszawa 2004, s.31-38.
- [11] GRABOWSKI W., WILANOWICZ J., SŁOWIK M., SOBÓL T., Badanie wpływu starzenia technologicznego na zmiany właściwości reologicznych zaczynów asfaltowych z udziałem wypełniaczy o zróżnicowanym pochodzeniu. III Międzynarodowa Konferencja Naukowo – Techniczna „Nowoczesne technologie w budownictwie drogowym”. Poznań 2005, str. 289-298
- [12] GRADZIŃSKI R., KOSTECKA A., RADOMSKI A., UNRUG R., Zarys sedymentologii, Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa 1986
- [13] GAWEŁ I., KALABIŃSKA M., PIŁAT J., Asfalty drogowe, WKŁ, Warszawa 2001
- [14] SYBILSKI D., Polimeroasfalty drogowe. Jakość funkcjonalna, metodyka i kryteria oceny, Studia i materiały, zeszyt 45, IBDiM, Warszawa 1996