

mgr inż. **Joanna Dębicka**, mgr inż. **Natalia Piłatowska**, dr inż. **Robert Jurczak**, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Przydatność asfaltów modyfikowanych w świetle badań lepkości dynamicznej

Właściwie dobrane lepiszcze asfaltowe w sposób istotny kształtuje właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej, zwiększając odporność nawierzchni na działanie obciążeń ruchem pojazdów i czynników klimatycznych. Większe wymagania wobec nawierzchni wymuszają bardziej przemyślane dobór materiałów. Coraz częściej stosowane są jednak asfalty modyfikowane, dzięki którym możliwe jest spełnienie wysokich wymagań stawianych nawierzchniom asfaltowym. Odzwierciedleniem powyższej tendencji są znowelizowane Wymagania Techniczne dotyczące mieszanek mineralno-asfaltowych (w skrócie WT-2), zalecane przez Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad do stosowania na drogach krajowych.

Asfalty modyfikowane zgodnie z WT-2 zaleca się stosować we wszystkich mieszankach przeznaczonych do nawierzchni o kategorii ruchu KR3-6, a w przypadku niektórych mieszanek – wyłącznie asfaltów modyfikowanych, niezależnie od kategorii ruchu (np. beton asfaltowy do bardzo cienkich warstw – BBTM, asfalt porowaty – PA). O przewodzie asfaltu modyfikowanego decyduje szerszy niż w „czystym” asfalcie przedział plastyczności PP (różnica między temperaturą mięknięcia wg PiK a temperaturą łamliwości wg Fraassa). Oznacza to, że w tym przedziale lepiszcze asfaltowe wykazuje cechy lepko-sprężyste, czyli charakteryzuje się optymalnymi cechami zarówno w niskiej, jak i wysokiej temperaturze, co jest bardzo pożądane. Nie można zapomnieć, że lepiszcze asfaltowe jest materiałem, którego właściwości reologiczne zależą od czasu obciążenia i temperatury. W niskiej temperaturze (lub krótkim czasie obciążenia) pracuje sprężysto i staje się kruche.

Natomiast w wysokiej temperaturze (lub długim czasie obciążenia) wykazuje właściwości lepkie. Zastosowanie asfaltów modyfikowanych w mieszankach mineralno-asfaltowych przeznaczonych do nawierzchni poprawia jej odporność na deformacje trwałe (koleiny) w wysokich temperaturach przy jednoczesnej poprawie odporności na spękania nawierzchni w niskich temperaturach.

Materiały do badań

Do badań wytypowano jeden z najczęściej stosowanych w Polsce asfaltów modyfikowanych – PMB 45/80-55, który jest odpowiednikiem dawnego DE80B. Jest to asfalt modyfikowany elastomerem termoplastycznym (kopolimer styren-butadien-styren – w skrócie SBS), przeznaczony do stosowania w mieszankach nawierzchni drogowych o wysokim obciążeniu, w szczególności do produkcji mieszanek mastyksowo-grysowej SMA, asfaltu porowatego i be-

Summary

Properly selected asphalt binder shapes the properties of asphalt pavements significantly by increasing the resistance to the operation of vehicles, traffic loads and climatic factors. Increased requirements for pavement force more thoughtful selection of materials. Thus, modified bitumens are becoming increasingly popular so that it is possible to meet the high requirements. The trend is reflected by the revised technical requirements for the asphalt mixtures (abbreviated as WT-2) to be used on roads and recommended by the General Directorate for National Roads and Highways.

tonu asfaltowego do bardzo cienkich warstw. Charakteryzuje się penetracją w zakresie 45-80 (0,1 mm) i temperaturą mięknięcia wg PiK nie mniejszą niż 55°C. W badaniach użyto jednego gatunku asfaltu modyfikowanego, ale produkowanego przez trzech różnych producentów – próbki oznaczono jako A, B i C.

Metodyka badawcza

W badaniach lepkości dynamicznej wykorzystano rotacyjny wiskozymetr Brookfield (fot. 1), w którym pomiaru lepkości dokonuje się przez obracanie zanurzonej w próbce końcówki pomiarowej (zwanej wrzecionem) sprzężonej z kalibrowaną sprężyną. Wynikająca z lepkości próbki siła oporu hamuje obracające się wrzeciono i powoduje odkształcenie sprężyny, którego stopień skrętu mierzony jest elektronicznie. Utrzymanie stałej (założonej) temperatury badania zapewniał system Thermosel (3). Badania próbek asfaltów modyfikowanych wykonywano po okresie godzinnej stabilizacji termicznej, rozpoczynając je od najmniejszych prędkości ścinania aż do maksymalnie możliwej liczby poziomów prędkości obrotowej wrzeciona. Temperatury badania w zakresie 90-120°C zmieniano co 10°C, notując prędkości ścinania i towarzyszące im naprężenia, które posłużyły następnie do obliczania lepkości dynamicznej. Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów sporządzono wykresy zależności lepkości i naprężenia ścinającego od prędkości ścinania.

W zależności od charakteru struktury asfalt modyfikowany, podobnie jak asfalt, jest układem koloidalnym i charakteryzuje się lepkością strukturalną η_{str} (5, 6). Lepkość ta wraz z lepkością newtonowską η_N stanowi lepkość efektywną η (zwaną również lepkością zerowego ścinania) zgodnie ze wzorem:

$$\eta = \eta_{str} + \eta_N \quad [1]$$

Lepkość newtonowska jest wartością stałą w danej temperaturze i nie podlega zmianie w wyniku zmiany prędkości ścinania. Związana jest przede wszystkim z lepkością „czystego” asfaltu i lepkością



Fot. 1. Lepkościomierz rotacyjny Brookfield wraz z systemem Thermosel, utrzymującym żądaną temperaturę badania

polimeru po zniszczeniu jego struktury. Dlatego bardzo często nazywana jest lepkością struktury granicznie naruszonej. Natomiast lepkość strukturalna związana jest ze strukturą polimeru. Zależy nie tylko od prędkości ścinania, ale również od temperatury (4). W związku z tym, wyznaczając lepkość dynamiczną przy różnych prędkościach ścinania, w prosty sposób można określić reologiczny charakter badanego materiału.

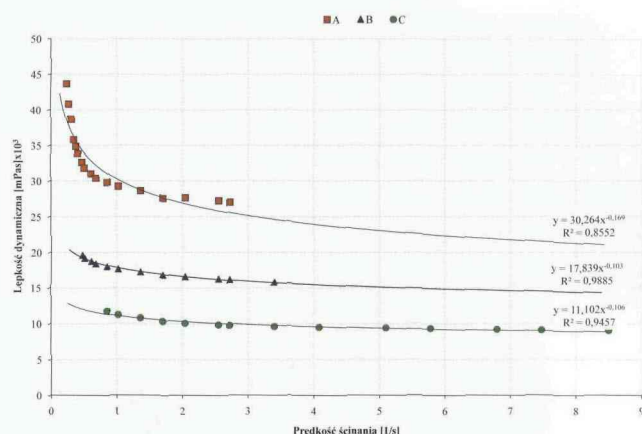
Wyniki badań i ich analiza

Większość badań właściwości asfaltów modyfikowanych polimerami wykonuje się tradycyjnymi metodami przewidzianymi dla asfaltów niemodyfikowanych. Aktualny zestaw badań obejmuje badanie penetracji, temperatury mięknięcia wg PiK i łamliwości wg Fraassa, nawrotu sprężystego przed odparowaniem i po odparowaniu oraz temperatury zapłonu i stabilności, a także kohezji metodą ciągłości z pomiarem siły. Niestety nie pozwalają one na pełną charakterystykę asfaltu w szerokim przedziale temperaturowym, obejmującym warunki eksploatacji i produkcji. Dla próbek asfaltów modyfikowanych będących przedmiotem badań określono ww. właściwości. Jednak w artykule zrezygnowano z przedstawienia podstawowych właściwości asfaltów modyfikowanych, ponieważ wszystkie użyte w badaniach próbki asfaltów spełniały wymagania postawione w załączniku NA do normy PN-EN 14023:2009. Zatem nasuwa się pytanie: który asfalt wybrać? W takich przypadkach bardzo często o wyborze decyduje cena, która nie zawsze jest gwarantem wysokich parametrów technicznych.

Metodę badań i ocenę oparto na systemie rozszerzonej oceny właściwości asfaltów modyfikowanych polimerami opisanym w pracy (2). Przykładowe wyniki badań lepkości dynamicznej w zależności od prędkości ścinania dla asfaltów modyfikowanych przeprowadzonych w lepkościomierzu Brookfield w temperaturach 90°C i 120°C przedstawiono na rys. 1 i 2.

Punkty na wykresach przedstawiają wartości średnich arytmetycznych wyników, natomiast linie łączące poszczególne punkty ►

materiały



Rys. 1. Zależność lepkości asfaltów modyfikowanych od prędkości ścinania w temperaturze 90°C (1)

► są rezultatem aproksymacji wyników pomiarów z wykorzystaniem modelu potęgowego o równaniu:

$$\eta = A \cdot (\gamma)^B \quad [2]$$

gdzie: γ – gradient prędkości ścinania (zmienna niezależna), 1/s, η – wartość lepkości dynamicznej (zmienna zależna), mPa·s, A, B – parametry modelu.

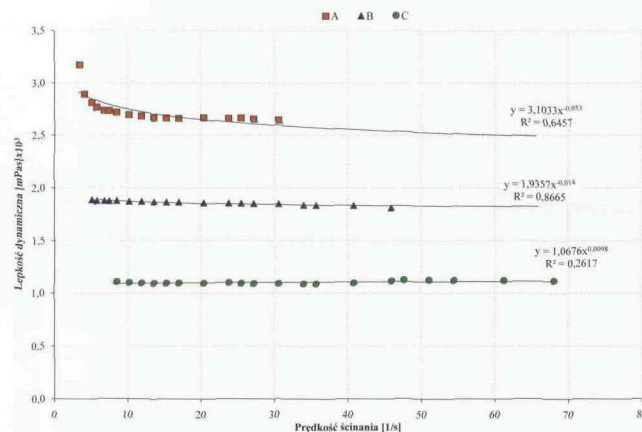
Analizując krzywe płynięcia (rys. 1 i 2), obrazujące zależność lepkości dynamicznej asfaltów modyfikowanych od prędkości ścinania w temperaturze 90°C i 120°C, można zauważyć, że lepkość dynamiczna wszystkich badanych asfaltów modyfikowanych maleje wraz ze wzrostem prędkości ścinania i temperatury.

Największą lepkość strukturalną we wszystkich temperaturach badania wykazuje próbka asfaltu modyfikowanego oznaczona jako A, a najmniejszą – próbka oznaczona jako C. Wynikające różnice w wartościach lepkości strukturalnej badanych próbek asfaltów modyfikowanych świadczą prawdopodobnie o różnej ilości polimeru w asfalcie. Lepkość strukturalna dla wszystkich próbek maleje wraz ze wzrostem temperatury badania.

Można również zauważyć, że przebieg krzywych płynięcia podlega istotnym zmianom w zależności od temperatury badania. Początkowo krzywe płynięcia asfaltów modyfikowanych w temperaturze 90°C (rys. 1) można dość dobrze opisać równaniem potęgowym. Natomiast w miarę wzrostu temperatury badania obserwuje się zmianę charakteru przebiegu krzywej płynięcia (rys. 2), która jest szczególnie widoczna dla asfaltu oznaczonego jako C.

Analiza uzyskanych zależności (rys. 1 i 2) pozwala stwierdzić, że reologiczny charakter asfaltów modyfikowanych polimerami powyżej temperatury mięknięcia odpowiada wyraźnie cieczy pseudoplastycznej (rozrzedzanej ścinaniem), której lepkość maleje wraz ze wzrostem prędkości ścinania (naprężeń ścinających).

Do oceny niezawodności modelu wykorzystano kwadrat współczynnika korelacji R^2 . Otrzymane zależności (rys. 1) dobrze opisują związek między lepkością dynamiczną a prędkością ścinania w temperaturze 90°C, o czym świadczy duża wartość kwadratu współczynnika korelacji ($R^2 > 0,8$). W przypadku związku między lepkością a prędkością ścinania dla asfaltu modyfikowanego oznaczonego jako C w temperaturze 120°C (rys. 2) kwadrat współczynnika korelacji przyjmuje wartość bardzo małą ($R^2 < 0,5$),



Rys. 2. Zależność lepkości asfaltów modyfikowanych od prędkości ścinania w temperaturze 120°C (1)

co świadczy o niezbyt dobrym dopasowaniu zależności do danych doświadczalnych. Może to wynikać z nieadekwatności proponowanej zależności (zmiana charakteru przebiegu krzywej płynięcia).

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań i uzyskanych wyników oraz ich analizy nasuwają się następujące wnioski:

1. Określenie lepkości dynamicznej asfaltów modyfikowanych w zakresie 90-120°C pozwala stwierdzić charakter reologiczny asfaltów modyfikowanych. Potwierdzono, że powyżej temperatury mięknięcia są one wg PiK cieczami nienewtonowskimi rozrzedzanymi ścinaniem (pseudoplastycznymi).
2. Wyznaczenie krzywych płynięcia umożliwia określenie np. lepkości strukturalnej, która może być pomocna w ocenie efektywności modyfikacji asfaltów.
3. Badania lepkości dynamicznej asfaltów modyfikowanych wykazały, że znacznie rozszerza ona możliwość oceny ich właściwości i pozwala wskazać lepsze o najkorzystniejszej strukturze wewnętrznej i właściwościach funkcjonalnych, co może przyczynić się do uzyskania nawierzchni asfaltowych o większej trwałości.

Podsumowując należy zauważyć, że zastosowana wobec badanych asfaltów modyfikowanych metodyka pozwala z dużym prawdopodobieństwem wskazać asfalt o najlepszych właściwościach w zależności od przeznaczenia. Z badań wynika, że takim asfaltem jest próbka oznaczona jako A. □

Piśmiennictwo

1. Dębicka J., Piłatowska N.: *Analiza i ocena lepkości asfaltowych na podstawie badań lepkości*. Praca magisterska, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Szczecin 2010 (praca niepublikowana).
2. Jurczak R.: *Badania nad rozszerzeniem skali ocen właściwości technicznych rolowych materiałów hydroizolacyjnych na obiektach inżynierskich*. Praca doktorska, Politechnika Szczecińska, Szczecin 2005 (praca niepublikowana).
3. *More solutions to sticky problems*. Brookfield Engineering Labs.
4. Stefańczyk B.: *Badania reologiczne jako metoda oceny struktury asfaltów*. „Drogownictwo”, 3/1984, s. 84-88.
5. Stefańczyk B.: *Materiały drogowe*. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 1989.
6. Sybilski D.: *Polimeroasfalty drogowe. Jakość funkcjonalna. Metodyka i kryteria oceny*. „Studia i Materiały”, zeszyt 45, IBDiM, Warszawa 1996.