

Politechnika Świętokrzyska
Wydział Budownictwa i Architektury
Katedra Inżynierii Komunikacyjnej

Doktorant: **mgr inż. Małgorzata Cholewińska**
Promotor pomocniczy: **dr inż. Grzegorz Mazurek**
Promotor: **prof. dr hab. inż. Marek Iwański**

WPLYW PROCESU STARZENIA NA WŁAŚCIWOŚCI LEPISZCZA ASFALTOWEGO STOSOWANEGO W TECHNOLOGII WMA

STRESZCZENIE

Przedmiotem badań i analiz przedstawionych w pracy jest ocena wpływu procesu starzenia krótko- i długoterminowego na właściwości polimeroasfaltu, który dodatkowo modyfikowanego środkami niskowiskozowymi stosowanymi w technologii WMA (Warm Mix Asphalt).

W badaniach jako materiał wyjściowy zastosowano polimeroasfalt PMB 45/80-65. W roli środków zmniejszających lepkość wykorzystano wosk syntetyczny uzyskiwany w procesie syntezy Fischera-Tropscha (SW) oraz płynny środek powierzchniowo czynny (PAS). Asfalt referencyjny PMB został poddany modyfikacji środkiem powierzchniowo czynnym dozowanym w ilości od 0,2% do 0,6%, z krokiem co 0,1% . Modyfikator w postaci wosku syntetycznego dodano w ilości od 1,5% do 3,5%, z krokiem co 0,5%.

Pierwszy etap badań obejmował badania podstawowych właściwości lepiszcza tzn. penetrację w 25°C, temperaturę mięknięcia wg metody „Pierścień i Kula” oraz temperaturę łamliwości wg Fraassa. Na podstawie powyższych parametrów obliczono wartość indeksu penetracji IP oraz temperaturowy zakres plastyczności TZP. Właściwości lepiszczy w niskich (ujemnych) temperaturach eksploatacyjnych określono wykonując pomiar sztywności pełzania w reometrze zginanej belki (BBR). Badanie wykonano w czterech wartościach temperatury: -10°C, -16°C, -22°C i -28°C.

Kolejnym etapem prac było określenie właściwości reologicznych asfaltów w zakresie liniowej i nieliniowej lepkośćsprężystości. Za pomocą reometru dynamicznego ścinania DSR na wszystkich próbkach (w temperaturze 40°C, 60°C i 80°C oraz w zakresie częstotliwości od 0,005 do 10 Hz) zostały wykonane badania lepkości zespolonej η^* oraz lepkości zerowego ścinania η_0 . Ustalono także parametry lepkośćsprężyste takie jak moduł zespolony G^* oraz kąt przesunięcia fazowego δ . Za pomocą krzywych Blacka przedstawiono zależność między nimi oraz na ich podstawie wyznaczono parametr $G^*/\sin\delta$.

W celu określenia wpływu asfaltu na odporność mieszanki mineralno-asfaltowej na deformacje trwałe (koleinowanie) oraz oceny stopnia i skuteczności modyfikacji wykonano

test MSCR (Multiple Stress Creep Recovery). W rezultacie przeprowadzonego testu otrzymano dwa parametry: nieodwracalną podatność na pełzanie J_{nr} oraz nawrót R . Właściwości te oznaczono dla dwóch poziomów naprężenia: 0,1kPa (LVE) i 3,2kPa (N-LVE).

Wszystkie wymienione powyżej parametry określono w trzech etapach: przed starzeniem, po starzeniu krótkoterminowym (technologicznym) oraz po starzeniu długoterminowym (eksploatacyjnym). Do symulacji starzenia technologicznego w warunkach laboratoryjnych zastosowano metodę RTFOT (Rolling Thin Film Oven Test). Z uwagi na zastosowane modyfikatory niskowiskozowe, a tym samym możliwość produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej w niższych temperaturach próbki kondycjonowano w temp. 135°C (zamiast 163°C - zgodnie z normą PN-EN 12607-1). Proces starzenia eksploatacyjnego przebiegał z użyciem urządzenia PAV (Pressure Aging Vessel).

Ponadto w rezultacie wykonanych badań reologicznych do opisanie zachowania się asfaltu w trakcie procesu starzenia lepiszcza w pracy wykorzystano model CAM (Christensen Anderson Marasteanu). Stanowi on modyfikację modelu CA (Christensen Anderson) i pozwala na lepsze dopasowanie modelu do wyników pomiaru modułu zespolonego ścinania G^* znajdujących się w zakresie bardzo niskich i wysokich częstotliwości. Do estymacji parametrów modelu CAM wykorzystano nieliniową metodę najmniejszych kwadratów. Poszukiwanie rozwiązania optymalnego, którego zadaniem było jak najlepsze dopasowanie danych eksperymentalnych z danymi uzyskanymi z modelu, zrealizowano poprzez równoczesne zastosowanie solverów Hooke-Jeevesa i Quasi-Newtona. W rezultacie uzyskano zbiór parametrów dopasowania modelu CAM: f_c , w oraz v . Właściwości te posłużyły do oszacowania współczynnika reologicznego R , który jest niezwykle użyteczny z uwagi na fakt, iż jest bardzo wrażliwy na zmiany sztywności asfaltów w aspekcie czasu obciążenia/temperatury. W związku z tym niewielka zmiana sztywności analizowanych asfaltów wywołana przez proces starzenia i zmiany chemiczne zachodzące w asfalcie spowodowała zauważalną zmianę indeksu reologicznego R .

Wyniki eksperymentu mającego na celu symulację procesu starzenia asfaltu z modyfikatorami niskowiskozowymi zmieniały się zgodnie z kształtem sigmoidalnej funkcji CAM. Sugeruje to, że model Christensen Anderson Marasteanu jest dobrym narzędziem matematycznym do opisu zjawiska pełzania zachodzącego w asfalcie uwzględniając równowagę czasu i temperatury.

Dopełnieniem całej analizy reologicznej są fotografie wykonane za pomocą mikroskopu epi-fluorescencyjnego.

Na zakończenie pracy sformułowano wnioski ogólne i szczegółowe oraz przedstawiono plan dalszych badań.

Matgorzata Cholewińska

THE IMPACT OF AGEING ON THE PROPERTIES OF THE WMA BINDER

SUMMARY

The research and analysis presented in the doctoral thesis is to assess the impact of the short-term and long-term aging on the properties of polymer modified bitumen (PMB), which was additionally modified with low-viscosity agents used in WMA (Warm Mix Asphalt) technology.

The base bitumen used in the tests was PMB 45/80-65. The mixing additives used to lower viscosity included the synthetic wax produced by the Fischer-Tropsch process (SW) and the liquid surface active agent (PAS). The PMB reference bitumen was modified with a liquid surfactant in an amount from 0.2% to 0.6%, in increments of 0.1%. The synthetic wax was added in an amount of 1.5% to 3.5%, with a 0.5% increment.

The first stage of the research included tests of the basic properties of the asphalt binder, i.e., penetration at 25°C, the softening point according to the "Ring and Ball" method and Fraass breaking point. On the basis of these parameters, the values of the penetration index IP and temperature plasticity range TZP were calculated. The properties of the binders at low (below zero) in-service temperatures were determined through the measurement of the flexural creep stiffness with the Bending Beam Rheometer (BBR). The test was performed over a range of four temperatures: -10°C, -16°C, -22°C and -28°C.

The next stage was to determine the rheological properties of bitumens in the range of linear and non-linear viscoelasticity. Using the dynamic shear rheometer DSR on all samples (at 40°C, 60°C and 80°C and in the frequency range 0.005 Hz to 10 Hz) complex viscosity η^* and zero shear viscosity η_0 were performed. Viscoelastic parameters such as complex modulus G^* and phase angle δ were also determined. Using Black's diagrams, the relationship between them was presented and the parameter $G^*/\sin\delta$ was determined based on them.

To determine the effect of bitumen on the resistance of the asphalt mixture to permanent deformation (rutting) and to assess the level and effectiveness of the modification, the MSCR (Multiple Stress Creep Recovery) test was performed. Two parameters: non-recoverable creep compliance J_{nr} and recovery R were obtained as a result of the test. These properties were determined for two stress levels: 0.1 kPa (LVE) and 3.2 kPa (N-LVE).

All parameters studied were determined in three stages: before ageing, after short-term ageing and after long-term ageing. Short-term ageing was performed using the RTFOT (Rolling Thin Film Oven Test) method. Since the low viscosity modifiers were used to enable the asphalt mix production at lower temperatures, the samples were conditioned at 135°C (instead of conventional 163°C – as specified in PN-EN 12607-1). The PAV (Pressure Ageing Vessel) was used for the long-term ageing process.

Moreover, this paper applies the CAM (Christensen Anderson Marasteanu) model to describe the behaviour of bitumen and predict the ageing process. It is a modified version of the CA (Christensen Anderson) model which provides better fit of the model to the G^* results within very low and very high frequencies. Parameters of the CAM model were estimated via the non-linear least squares method. Optimisation performed to find the best fit between the

experimental and model data was aided by the simultaneous use of Hooke-Jeeves and Quasi-Newton solvers. As a result, a set of CAM model parameters was obtained: f_c , w and v . These properties were used to estimate the rheological index R . This parameter is a very useful tool due to its sensitivity to changes in bitumen stiffness in terms of loading time/frequency. Even minor variations in the bitumen stiffness induced by ageing and chemical changes cause a detectable change in rheological index values.

The results of the experiment aimed to simulate the ageing process of bitumen with low-viscosity modifiers changed according to the shape of the sigmoidal CAM function. This suggests that the Christensen Anderson Marasteanu model is a good mathematical tool to describe the creeping phenomenon occurring in asphalt binder taking into account the equivalence of time and temperature.

The photographs taken using an epifluorescence microscope supplemented the analysis.

Finally, general and detailed conclusions were formulated and a plan for further research was presented.

Matgorzata Cholewicka