

## **Wpływ właściwości asfaltu i składu mieszanki mineralno-asfaltowej na cechy reologiczne betonu asfaltowego o wysokim module sztywności**

### **STRESZCZENIE**

Przedmiotem prac badawczych podjętych w ramach rozprawy doktorskiej było opracowanie modeli analityczno-empirycznych do obliczania modułu sztywności  $E_{4PB}$  i kąta przesunięcia fazowego  $\Phi$  betonu asfaltowego o wysokim module sztywności (AC WMS). Modele analityczno-empiryczne wykorzystuje się do projektowania nawierzchni asfaltowych w Stanach Zjednoczonych i innych krajach, w których do projektowania nawierzchni stosuje się mechanistyczno-empiryczne metody projektowania nawierzchni drogowej (MEPDG).

Spośród opracowanych w ramach rozprawy modeli analityczno-empirycznych za najistotniejsze uważa się trzy:

- 1) model GE pozwalający na przybliżone określenie modułu sztywności  $E_{4PB}$  tylko na podstawie modułu ścinania asfaltu  $|G^*|$ ,
- 2) model B służący do bardziej dokładnego obliczania modułu sztywności  $E_{4PB}$  wykorzystujący większą liczbę zmiennych w tym także parametry objętościowe  $mma$ ,
- 3) model KPF służący do określania wartości kąta przesunięcia fazowego  $mma$   $\Phi$  na podstawie kąta przesunięcia fazowego asfaltu  $\delta$ .

Opracowane modele pozwalają na obliczanie wartości modułu sztywności  $E_{4PB}$  i kąta przesunięcia fazowego  $\Phi$   $mma$  odpowiadających laboratoryjnemu oznaczeniu tych wielkości z wykorzystaniem metody belki zginanej 4PBB, która jest najbardziej rozpowszechnioną metodą w Polsce i innych krajach Europy (z wyjątkiem Francji i Wielkiej Brytanii), a dla której takie modele nie były dotąd opracowane. Podstawowymi zmiennymi wykorzystywanymi w opracowanych modelach analityczno-empirycznych są moduł ścinania  $|G^*|$  i kąt przesunięcia fazowego  $\delta$  asfaltu oznaczane w reometrze dynamicznego ścinania (DSR). Dla modelu B wykonano analizę wrażliwości, która potwierdziła, iż na moduł sztywności  $mma$   $|E^*|$  największy wpływ ma moduł ścinania asfaltu  $|G^*|$ .

Modele zostały opracowane w oparciu o 471 wartości modułu sztywności  $E_{4PB}$  i kąta przesunięcia fazowego  $\Phi$ , które zostały oznaczone w laboratorium na 8.  $mma$ . Badania mieszanek mineralno-asfaltowych w urządzeniu 4PBB wykonano w temperaturze od 0 do 40°C i przy częstotliwości obciążania od 0,1 do 25 Hz. W ramach podjętych prac wykonano badania ośmiu asfaltów, w tym asfaltów drogowych, modyfikowanych i wysokomodyfikowanych. Asfalty wykorzystane do badań otrzymano od trzech

producentów. Wszystkie asfalty wykorzystane do badań są dostępne na polskim rynku. Badania asfaltów wykonano w reometrze dynamicznego ścinania w temperaturze od -20 do 80°C i przy częstotliwości obciążania od 0,1 do 50 Hz.

Według autora rozprawy opracowane modele analityczno-empiryczne mogą znaleźć zastosowanie na wielu etapach realizacji inwestycji drogowych. Podobnie jak w wielu innych krajach, modele te powinny stać się integralną częścią metod projektowania nawierzchni asfaltowych również w Polsce, do czego dążono już od dawna. Opracowane modele mogą się okazać przydatne także do oceny jakości asfaltu i projektowania mieszanek mineralno-asfaltowych. Ponadto mogą się okazać przydatne do wielu bardzo zaawansowanych analiz np. analizy możliwości wystąpienia spękań niskotemperaturowych, odkształceń lepkoplastycznych i spękań zmęczeniowych.

W rozprawie doktorskiej podjęto także inną tematykę pośrednio związaną z głównym zagadnieniem a dotyczącą trwałości mieszanek mineralno-asfaltowych i nawierzchni asfaltowych, rozumianej jako okres czasu od oddania nawierzchni do eksploatacji do czasu utraty przez nią nośności. Omówiono projektowanie mieszanek mineralno-asfaltowych, technologię betonu asfaltowego o wysokim module sztywności (AC WMS), systemy wspomagające proces inwestycji i utrzymania dróg. Omówiono także stosowane na świecie modele analityczno-empiryczne do obliczania modułu sztywności  $E_{DM}$  i kąta przesunięcia fazowego  $\Phi$  mieszanki mineralno-asfaltowej odpowiadające laboratoryjnej metodzie osiowego ściskania dynamicznego (DM). Na podstawie przeprowadzonych badań trwałości zmęczeniowej mieszanek mineralno-asfaltowych stwierdzono, że tzw. kryterium konwencjonalne może nie być właściwym kryterium oceny trwałości zmęczeniowej mieszanek mineralno-asfaltowych, w przeciwieństwie do kryterium dyssypacji energii.

28.01.2020

Bartkowiak Mikolaj

## **The influence of both bitumen properties and hot mix asphalt composition on rheological behavior of high modulus asphalt concrete**

### **SUMMARY**

The main aim of the PhD thesis was development of the analytical-empirical models which allow for the determination of the stiffness modulus  $E_{4PB}$  and the phase angle  $\Phi$  for High Modulus Asphalt Concrete (HMAC). These models, called as predictive equations, are used to design asphalt pavements in the United States of America and in other countries where pavements are designed using Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide (MEPDG).

From all models, which were developed in PhD thesis, the following three models are considered to be the most important:

- 1) GE model for rough estimating the stiffness modulus of hma  $E_{4PB}$ , which basis only on the shear modulus of asphalt binder  $|G^*|$ ,
- 2) B model for more accurate estimating the stiffness modulus of hma  $E_{4PB}$ , which use a larger number of data variables, including volumetric parameters of hma,
- 3) KPF model for estimating phase angle of hma  $\Phi$ , which basis on phase angle of bitumen  $\delta$ .

The developed models enables to calculate the stiffness modulus  $E_{4PB}$  value and the phase angle  $\Phi$  of hma, which are correspond to the laboratory values of these quantities determined by four point bending test (4PBB). This test is the most common test in Poland and in other European countries (except France and Great Britain). Until now the predictive equations wasn't developed for this test. The basic variables used in the developed analytical-empirical models are the shear modulus  $|G^*|$  and the phase angle  $\delta$  of bitumen, which are determined in Dynamic Shear Rheometer (DSR). A performed sensitivity analysis of the model B confirmed that for the stiffness modulus  $|E^*|$  the greatest impact has the shear modulus  $|G^*|$ .

The models were developed based on 471 values of stiffness modulus  $E_{4PB}$  and phase angle  $\Phi$ , which were obtained in the laboratory considering 8. various asphalt mixtures. The tests of asphalt mixtures in the 4PBB device were carried out at a temperature range from 0 to 40°C and with a load frequency in the range from 0.1 to 25 Hz. As part of the undertaken works, eight bitumens were tested, including unmodified, modified and highly modified bitumens. Bitumens used for the tests were obtained from three producers.

All bitumens used for testing are available on the Polish market. Bitumen tests were performed using Dynamic Shear Rheometer (DSR) at a temperature range from -20 to 80°C and with a load frequency range from 0.1 to 50 Hz.

In the author's opinion, the developed analytical-empirical models can be used at many stages of road projects. Similarly to other countries, these models should become an integral part of asphalt pavement design methods in Poland. It seems as a long-standing goal. The developed models may also be useful for assessing the quality of asphalt and designing asphalt mixtures. In addition, they can be useful for many very advanced analyzes, e.g. analysis of the possibility of occurrence of low-temperature cracks, viscoplastic deformations and fatigue cracks.

The PhD thesis also undertakes another topics indirectly related to the main issue regarding the durability of asphalt mixtures and asphalt pavements, understood as the time from putting the pavement into operation until it lost its bearing capacity. Asphalt mix design, technology of High Modulus Asphalt Concrete (HMAC), systems supporting the investment and road maintenance process were discussed. The analytical-empirical models used to calculate the dynamic modulus  $E_{DM}$  and the phase angle  $\Phi$  of hma were also discussed. Based on the tests of fatigue life of asphalt mixtures, it was found that the so-called conventional criterion may not be an appropriate criterion for assessing the fatigue life of asphalt mixtures, as opposed to the energy dissipation criterion.

28.01.2020

Bartkowiak Mikolaj