

GRZEGORZ MAZUREK

Kielce University of Technology
Faculty of Civil and Environmental Engineering
al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7
25-314 Kielce, Poland
e-mail: gmazurek@tu.kielce.pl

THE ASSESSMENT OF THE RESILIENT MODULUS OF ELASTICITY OF ASPHALT CONCRETE WITH LOW-VISCOSITY MODIFIER

Abstract

Based on the experiments it was found that the operating temperature significantly influenced the resilient modulus of elasticity of asphalt concrete. The study was intended for asphalt concrete used for the wearing course AC II S. In the experiment bitumen 35/50 was used which was modified with synthetic wax (Fisher-Tropsh) in the range of 1.5% - 4.0% with steps every 0.5%. The asphalt concrete has been compacted at the optimum characteristic temperature of 125°C. The study revealed a low susceptibility of temperature of asphalt concrete with asphalt low-viscosity in the range of 5°C to 25°C. In addition a negative impact of the lack of compaction level on resilient modulus of elasticity of the asphalt concrete was found.

Keywords: resilient modulus of elasticity, surface, synthetic wax.

1. Introduction

The increase in requirements in relation to the load of road surfaces is a result of increasing level of maximum wheel load that is transmitted to the ground and destruction of roads exaggerated by a climatic factor [1]. An important element in lowering the bearing capacity of pavement is decreasing a compaction temperature in the autumn season. Possible solution of this problem is the use of mineral mix asphalt produced in the “warm technology” (WMA). The implementation of asphalt concrete in such technologies requires modification of the viscosity of the binder by foaming or chemical modification. Chemical modification is done by using synthetic waxes which can substantially reduce the level of viscosity of asphalt at temperatures above 110°C. An additional advantage of this type of technology is an improved characteristics of visco-elastic asphalt concrete bears on a resilient modulus of elasticity expressed by a thermal susceptibility of the material. Analysis of a resilient modulus of elasticity according to EN 12697-26 [2], in particular temperature ranges, gives a chance of

quick evaluation of excessive stiffness of the asphalt concrete leading to the reduction in fatigue life. The study of a resilient modulus of elasticity broadens knowledge of the potential rutting of the asphalt concrete.

2. Dynamic viscosity of low-viscosity bitumen

The tests of the impact of the low-viscosity modifier on changes of the bitumen properties were conducted for the traditional 35/50 bitumen. This binder was modified by low-viscosity modifier in the range of 1.5% to 4.0% with steps every 0.5% in relation to the amount of the bitumen. The samples were blended according to the condition of production [3]. Dynamic viscosity expresses the internal friction which occurs due to the existence of cohesion forces between the constituents of bitumen as they move relative to each other [4]. The viscosity of bitumen was measured at a shear rate of 1 s⁻¹. The viscosity measurement was carried out in three specific temperatures 60°C, 90°C and 135°C.

The changes of dynamic viscosity as a function of temperature have been presented in Figure 1.

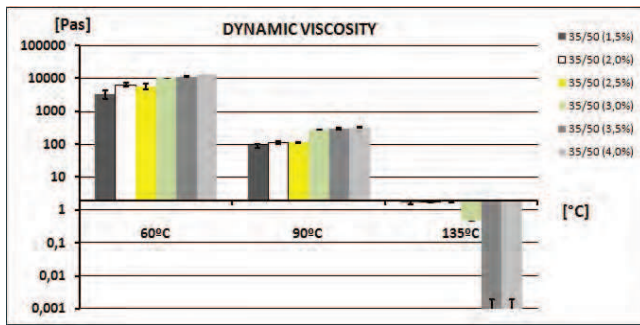


Fig. 1. Dynamic viscosity versus temperature

The results show that as the content of the low-viscosity modifier increases, there is a considerable diversity in the measurement of dynamic viscosity of bitumen at medium temperatures. It should be noted that as the temperature increased the dynamic viscosity of the bitumen decreased. With the increasing amount of low-viscosity modifier up to 90°C the dynamic viscosity still increased. In particular at the temperature 60°C stiffening of the bitumen will have a positive effect on the resistance to forming permanent deformation. It must be linked to an increase of the resilient modulus of elasticity. The fact of stiffening of the bitumen as well as an increase in viscosity will depend on the level of crystallization of paraffin in wax. The increase of stiffening of low-viscosity bitumen, on a smaller scale, is reproduced at 90°C, which generates a conclusion that there is a strong plate lattice of micro crystalline paraffins in bitumen. At the temperature of 135°C the situation changed. This time the increase of the wax content caused radical reduction of the viscosity below 2 Pa·s, which was adopted as a necessary viscosity level of optimal covering aggregate. To make observation easier, values of dynamic viscosity were presented in a semi-logarithmic scale. The value of dynamic viscosity of 2 Pa·s was presented as the main axis of the domain. It can be concluded that the temperature of 135°C is sufficient to ensure the optimum viscosity level of covering aggregate. It must be noted that the temperature of compaction could be decreased down to 30°C which is necessary for proper compaction of the asphalt concrete in the range of viscosity between 2 to 20 Pa·s [5]. The proper compaction of the asphalt concrete also affects the resilient modulus of asphalt concrete.

3. Methodology and test results analysis of resilient modulus of asphalt concrete with low-viscosity modifier

The experiment was carried out on asphalt concrete AC 11 S which was designed for wearing course layer in accordance with PN EN 13108-1. The reference asphalt concrete which constrained the main aggregate

of quartzite in the amount of 55% was designed. A dolomite mix 0/4 in the amount of 24% and granite fractured sand were used to increase fraction contents. The modification of asphalt synthetic wax was made in the amounts of 1.5%, 2.0%, 2.5%, 3.0%, 3.5%, 4.0% by weight, in proportion to 35/50 virgin bitumen [3].

During the determining process of these parameters, an important element of research was to evaluate the homogeneity of the work. The study allows only a sample, in which the voids in the group ranged within outlier results in line with the Grubbs test [6, 7].

The experiment was realized according to the research program within the confines of two factorial design of experiment. Fitted statistically significant model was a polynomial of the second degree [8, 9]. The fixed factors were set as the amount of low-viscosity modifier (L_V) and operation temperature (TEMP). Void fraction content (Wp) was a quantitative and random factor. The visual characteristic of variation of resilient modulus of elasticity, as a regression model, have been presented in Figure 2.

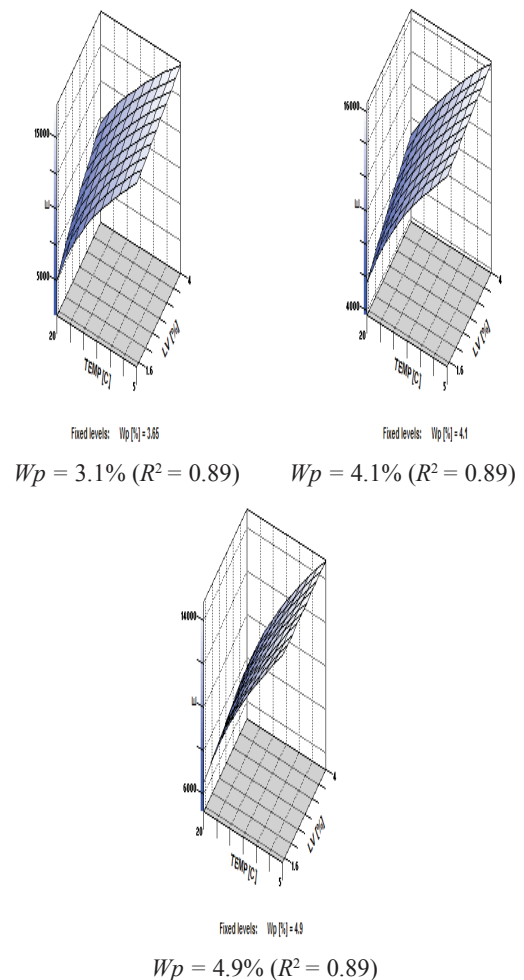


Fig. 2. Resilient modulus of elasticity versus operational temperature and low-viscosity modifier

It should be noted that the amount of low-viscosity modifier had a statistically significant influence on the resilient modulus of elasticity (p -value = 0.0215), as the amount of low-viscosity modifier increased. However, the greatest changes in the level the resilient modulus of elasticity were observed during changing of the operate temperature (p -value < 0.001). This situation is related to the level of crystallization of aliphatic modifier, which in turn can lead to excessive stiffening of asphalt concrete. The void fraction content had a relevant influence. The highest resilient modulus of elasticity values were registered when the level of void fraction content was in the range of 3.0 and 3.5%. The constant increase in void fraction content, revealed as a lack of proper compaction, resulted in lowering the resilient modulus of elasticity especially at 25°C. This situation may affect the ability of constant compaction of asphalt concrete and it is the beginning of rut forming process at higher temperatures. Additionally, the excess void fraction content causes the marginalization of the effect of the modifier, as can be seen for void fraction content of 4.9%. Thus, the impact of the lack of rigor in the compaction process eliminates the benefits of using synthetic wax.

Resilient modulus of elasticity depends on the time of loading and temperature measurement. To further analyze the test results an assessment of the thermal susceptibility of the resilient modulus of elasticity of asphalt concrete with asphalt low-viscosity modifier. The study was conducted for the Marshall samples in temperature ranges of 5°C, 12°C and 25°C, all of them have been compacted at the optimum temperature of 125°C [5]. The temperature of 12°C is accepted as equivalent in the Polish standard and it is a level of visco-elastic characteristics as accepted to the mechanistic designing method. The results of the dynamics of the expected and predicted value of resilient modulus of elasticity in term of the temperature (performed in SAS) have been presented in Figure 3.

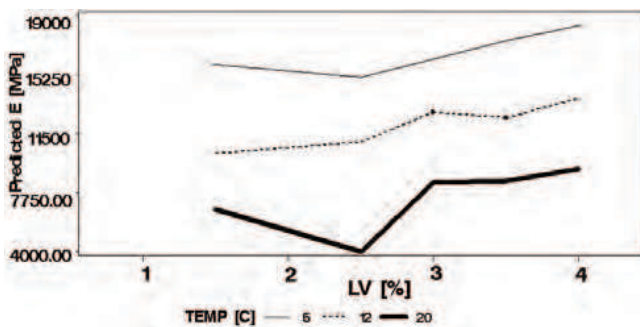


Fig. 3. Predicted value of resilient modulus of elasticity versus the content of low-viscosity modifier (L-V) and operational temperature (TEMP)

Analyzing the growth rate of the stiffness, it should be noted that the proportional growth rate in relation to the level of the measurement temperature. The slope angle of trend growth of the x-axis is similar for different temperatures without the impact of the dosage of the low-viscosity modifier. It can be concluded that a low dosage of the modifier in the amount of 4% did not cause a sudden increase in stiffening of the asphalt compared to other variants of dosage. Thermal susceptibility of low-viscosity bitumen with different variants of dosage of synthetic wax will not cause an excessive increase in the complex viscosity of asphalt concrete. The level of resilient modulus of elasticity will proportionally vary depending on the amount of the modifier concentration.

4. Conclusions

Based on the analysis of the test results of asphalt concrete the following conclusions can be drawn:

- the increase in the amount of synthetic wax causes the stiffening of the bitumen at operating temperatures below 60°C and significant liquidation at 135°C;
- the measurement of both temperature and amount of the low-viscosity modifier significantly affect the resilient modulus of elasticity. In relation to the dynamics, the temperature measurement had the greatest influence;
- excessive void fraction content significantly limited the beneficial stiffening effect of the modifier;
- thermal susceptibility of the asphalt concrete with the low-viscosity modifier remains at a similar level in the modifier dosage up to 4%.

References

- [1] Stefańczyk B., Mieczkowski P.: *Mineral mix asphalt*, WKiŁ, Warsaw 2008.
- [2] PN-EN 12697-26:2004 Hot mix asphalt - requirements – Test methods for hot mix asphalt: Stiffness.
- [3] Product Information, The Bitumen Additive for Highly Stable Easy Compactible Asphalts, 2008.
- [4] Gawęł I., Kalabińska M., Piłat J.: *Asfalt drogowy* [Road bitumen], WKŁ, Warsaw, 2001
- [5] Iwański M., Mazurek G.: *Asphalt concrete of low-viscosity modifier*, 2nd International Conference on Transport Infrastructures in Sao Paulo, Brazil, August 2010.
- [6] Grubbs F.E.: *Procedures for detecting outlying observation in samples*, Technometrics, Vol. 11, No 1, p 1-21, February 1969.
- [7] Guide to Expression Uncertainty in Measurement, ISO Switzerland 1995.
- [8] Piasta Z., Lenarcik A.: *Methods of statistical multi-criteria optimisation*, [in:] A.M. Brandt (ed.), Optimization Methods for Material Design of Cement based Composites, E & FN Spon, London, New York, 1998, pp. 45-59.
- [9] Montgomery D.G., *Design and Analysis of Experiments*, 5th Edition, John Wiley and Sons, 2001.

Grzegorz Mazurek

Badania modułu sztywności sprężystej betonu asfaltowego z asfaltem niskowiskozowym

1. Wstęp

Wzrost wymagań w odniesieniu do obciążeń nawierzchni drogowych wynika ze wzrostu poziomu maksymalnego obciążenia ruchem ulicznym przekazywanego do gruntu i niszczenia dróg, co dodatkowo pogarsza wpływ czynników klimatycznych [1].

2. Lepkość dynamiczna asfaltu niskowiskozowego

W badaniach wpływu modyfikatora niskowiskozowego na zmiany właściwości asfaltu zastosowano jako lepszycze asfalt zwykły 35/50 pochodzący z Petrochemii w Płocku. Modyfikator dozowano w przedziale od 0,5% do 4,0% w stosunku do masy asfaltu 35/50 zwiększając jego ilość o 0,5%. Próbkki zostały wykonane w blenderze symulując warunki wykonania zgodnie z [3]. Lepkość dynamiczna wyraża tarcie wewnętrzne występujące w wyniku istnienia sił kohezji między składnikami grupowymi przy przesuwaniu jednej warstwy asfaltu względem drugiej [4]. Do badań wykorzystano lepkościomierz obrotowy typu „Rheotest 2” z układem cylindrów współosiowych typu H2. Wszystkie lepkości asfaltów zostały zmierzone przy szybkości ścinania wynoszącej 1 s^{-1} . Pomiar lepkości był realizowany w zakresie temperatur 60°C, 90°C i 135°C. Zmiany lepkości w funkcji temperatury przedstawiono na rysunku 1.

Wyniki badań wskazują, że w miarę wzrostu modyfikatora niskowiskozowego. Występuje duże zróżnicowanie w pomiarze lepkości dynamicznej w średnich. Należy zwrócić uwagę, że w miarę wzrostu temperatury następuje obniżenie lepkości dynamicznej asfaltu. W miarę wzrostu ilości modyfikatora niskowiskozowego w zakresie do 90°C następuje wzrost lepkości. Szczególnie w temperaturze 60°C usztywnienia asfaltu będzie miał korzystny wpływ na odporność takiej mieszanki na powstawanie odkształceń trwałych. Przy takim stanie rzeczy należy się spodziewać wzrostu modułu sztywności sprężystej. Fakt usztywnienia asfaltu jak i również wzrost lepkości będzie uzależniony od poziomu krystalizacji parafin twardych w woskach. Wzrost usztywnienia asfaltu przez modyfikator niskowiskozowy, choć w mniejszej skali, jest powielony w temperaturze 90°C, co generuje wniosek, że nadal w asfalcie istnieje silna sieć krystaliczna węglowod-

ów parafinowych. W temperaturze 135°C sytuacja ulega zmianie. Tym razem wzrost zawartości wosków powoduje diametralne obniżenie lepkości poniżej 2 Pa·s, czyli poziomu przyjętego jako optymalny otaczania kruszywa. Dla ułatwienia obserwacji wartości lepkości przedstawiono w skali półlogarytmicznej. Wartość lepkości dynamicznej wynoszącej 2 Pa·s przedstawiono jako oś główną dziedzinę. Można stwierdzić, że temperatura 135°C jest wystarczająca do zapewnienia optymalnego poziomu lepkości niezbędnej do otoczenia kruszywa. W miarę wzrostu dozowania modyfikatora można obniżyć poziom temperatury nawet o 30°C która jest niezbędna do prawidłowego zagęszczenia mieszanki w przedziale od 2 do 20 Pa·s [5]. Należy zwrócić uwagę, że właściwe zagęszczenia betonu asfaltowego rzutuje bezpośrednio na poziom modułu sztywności sprężystej.

3. Metodologia oraz analiza wyników modułu sztywności sprężystej betonu asfaltowego z asfaltem niskowiskozowym

W celu oceny wpływu ilości modyfikatora niskowiskozowego na właściwości betonu asfaltowego badania wykonano na betonie asfaltowym o uziarnieniu 0/11 mm przeznaczonym na warstwę ścieralną nawierzchni obciążonej ruchem KR4 zgodnie z PN-EN 13108-1. Zaprojektowano beton asfaltowy referencyjny z kruszywem głównym kwarcytowym w ilości 52%. Jako kruszywo doziarniające zastosowano mieszankę doloomitową 0/4 w ilości 24% oraz piasek łamany granitowy 19%. Modyfikację asfaltu woskiem syntetycznym dokonano w ilościach 1,5%, 2,0%, 2,5%, 3,0%, 3,5%, 4,0% wagowo, w stosunku do asfaltu 35/50 na bazie którego wykonano beton asfaltowy [3].

Podczas określania wyżej wymienionych parametrów, istotnym elementem badań była ocena jednorodności wykonywanych prac. Do badań przyjmowano tylko próbki, w których zawartość wolnych przestrzeni w danej grupie zawierała się w przedziale wyników nieodstających zgodnie z założeniami testu Grubbsa [6, 7].

Doświadczenie realizowano zgodnie z programem badań opracowanym na podstawie trójczynnیکowego planu eksperymentu. Istotnym statystycznie mo-

delem dopasowania okazał się wielomian drugiego stopnia [8, 9]. Jako elementy stałe jakościowe ustanowiono zawartość modyfikatora niskowiskozowego (L_V) oraz temperaturę pomiaru (TEMP). Zawartość wolnych przestrzeni (W_p) miała charakter ilościowy i losowy. Wizualny charakter przebiegu zmienności cechy moduł sztywności sprężystej w formie modelu regresyjnego powierzchni odpowiedzi przedstawiono na rysunku 2.

Należy zwrócić uwagę, że w miarę wzrostu ilości modyfikatora nisko- wiskozowego (p -value = 0,0215) następuje istotny statystycznie wzrost poziomu modułu sztywności sprężystej. Jednak największy poziom zmian modułu sztywności sprężystej zanotowano przy zmianie poziomu temperatury pomiaru (p -value < 0,001). Taka sytuacja jest związana z poziomem krystalizacji węglowodorów alifatycznych modyfikatora, co w konsekwencji może doprowadzić do nadmiernego przesztywnienia betonu asfaltowego. Zawartość wolnych przestrzeni nie była tu bez znaczenia. Najwyższe wartości modułu sztywności sprężystej zanotowano przy zawartości ilości wolnych przestrzeni w zakresie 3,0 do 3,5 %. Dalszy wzrost wolnych przestrzeni, czyli brak właściwego zagęszczenia, skutkowało obniżeniem modułu sztywności sprężystej szczególnie w temperaturze 25°C. Taka sytuacja może rzutować na możliwość samodogęszczania betonu asfaltowego oraz początek powstawania kolein w wyższych temperaturach eksploatacyjnych. Dodatkowo nadmierna zawartość wolnych przestrzeni powoduje marginalizację efektu modyfikatora, co można zauważyć na regresji dla maksymalnej zawartości wolnych przestrzeni wynoszącej 4,9%. Zatem wpływ braku rygoru podczas zagęszczania eliminuje korzyści wynikające z zastosowania wosku syntetycznego.

Moduł sztywności sprężystej zależy od czasu obciążenia oraz temperatury pomiaru. Celem dalszej analizy wyników badań była ocena podatności termicznej modułu sztywności betonu asfaltowego z asfaltem niskowiskozowym. Badanie przeprowadzono dla próbek zagęszczanych sposobem Marshalla badanych w trzech zakresach temperaturowych: 5°C, 12°C oraz 25°C przy czym wszystkie zostały zagęszczane w temperaturze optymalnej 125°C [5]. Temperatura 12°C jest przyjmowana w Polsce jako równoważna i dla jej poziomu w projektowaniu przyjmowane są charakterystyki lepko-sprężyste w metodzie mechanicznej. Wyniki dynamiki zmian oczekiwanej wartości prognozowanego modułu sztywności sprężystej w zależności od temperatury badania (wykonane w programie SAS) przedstawiono na rysunku 3.

Analizując tempo wzrostu modułu sztywności sprężystej należy zwrócić uwagę na proporcjonalny poziom wzrostu badanej cechy w odniesieniu do temperatury pomiaru. Kąt nachylenia wzrostu do osi x jest zbliżony dla różnych temperatur bez względu na poziom ilości modyfikatora niskowiskozowego. Można stwierdzić, że dozowanie modyfikatora niskowiskozowego w zakresie do 4% nie spowoduje nagłego przyrostu usztywnienia asfaltu w stosunku do innych wariantów dozowania. Wrażliwość termiczna asfaltu niskowiskozowego z różnymi wariantami ilości wosków syntetycznych nie spowoduje nadmiernego przyrostu ogólnej lepkości betonu asfaltowego. Poziom modułu sztywności sprężystej będzie zmieniła się proporcjonalnie w zależności od ilości modyfikatora nisko- wiskozowego.

4. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski:

- wzrost ilości wosków syntetycznych powoduje usztywnienie asfaltu w temperaturach eksploatacyjnych poniżej 60°C oraz znaczne upłynnienie w temperaturze 135°C;
- zarówno temperatura pomiaru jak ilość modyfikatora niskowiskozowego istotnie statystycznie wpływają na zmiany modułu sztywności sprężystej. W odniesieniu do dynamiki to temperatura pomiaru odznacza się największym wpływem;
- nadmierna zawartość wolnych przestrzeni znacznie marginalizuje korzystny wpływ usztywnienia asfaltu modyfikatorem niskowiskozowym;
- wrażliwość termiczna betonu asfaltowego modyfikowanego woskiem syntetycznym pozostaje na zbliżonym poziomie w zakresie dozowania modyfikatora 4%.