

AGNIESZKA RÓG
Kielce University of Technology
e-mail: arog@tu.kielce.pl

THE INFLUENCE OF THE SYNTHETIC ZEOLITE ON THE PROPERTIES OF ASPHALT BINDER 35/50

Abstract

The primary objective of this study was to investigate the impact of the mineral additive to Warm Mix Asphalt – the synthetic zeolite, on the properties of the asphalt binder 35/50. A synthetic zeolite is an additive in the form of very fine powder that – when added to the hot bitumen – generates a foaming effect and allows to increase the workability of the asphalt mixture at lower mixing and laying temperatures. The laboratory tests, which were carried out on asphalt binder 35/50 with 3 contents of synthetic zeolite, proved that it does not significantly influence the thermal sensitivity of the asphalt and increases the viscosity of the bitumen as a result of the mineral filling effect of the zeolite which – after initial foaming – remains un-dissolved in the binder.

Keywords: warm mix asphalt, road pavements, synthetic zeolite, asphalt binder 35/50

1. Introduction

In modern civil engineering, environment friendly technologies are one of the main targets for engineers. A great progress is noticed in this area. European countries are using technologies that appear to allow a reduction in the temperatures at which asphalt mixes are produced and placed. These technologies have been labeled Warm Mix Asphalt (WMA). The immediate benefit of production of WMA is the reduction in energy consumption required by burning fuels to heat traditional Hot Mix Asphalt (HMA) to temperatures in excess of 160°C at the production plant. These high production temperatures are needed to allow the asphalt binder to become viscous enough to completely coat the aggregate in the HMA, have good workability during laying and compaction, and durability during traffic exposure. With the decreased production temperature comes the additional benefit of reduced emissions of fumes and odors from burning fuels, generated at the plant and the paving site, longer paving ‘seasons’, longer hauling distances, reduced ageing and oxidative hardening of binders thus reduce cracking in the pavements [3].

Technologies that have been developed to produce WMA can be classified by the methodology used to improve asphalt concrete workability and two main categories can be identified: foaming process and the addition of dopes [6]. The foaming process that results in a binder’s volume expansion can be obtained by

the direct injection of water to the bitumen or by the utilization of hydro-thermally crystallized minerals such as zeolites [7].

Zeolites can occur as natural mineral or can be synthesized. The synthetic ones are finely powdered hydrated sodium aluminum silicates that are principally composed of a siliceous structure with large and interconnected spaces. Thanks to these spaces, zeolite can accommodate molecules of water in its structure (approx. 20%) and remove it reversibly by the application of heat. From a technical point of view, at mixing temperature, synthetic zeolite gradually releases a small amount of water and, as a consequence of water vapor emission, generates a foaming effect in the bitumen. This process allows to increase the workability of the asphalt mixture at mixing and laying temperatures about 30°C lower than traditional ones [9].

2. Objective

The usage of zeolite as a warm mix agent is relatively new in the asphalt industry, but in some countries like USA or Germany advanced researches are being carried out. The scientists who are undertaking investigation, restrict themselves to assessing the effect of zeolite on mix asphalt. Not enough attention is paid on evaluation of the effect of zeolite on the performance of asphalt binder, while it has a great influence on behavior of the mixes during the production and compaction phase. That is why the primary objective of this study was to

investigate the impact of the interactions between the synthetic zeolite and the asphalt binder.

3. Materials experimental procedure

Asphalt binder 35/50 and synthetic zeolite (structure A) were selected for the study. The output content of the zeolite was evaluated by converting the recommended 0.3% content of all mixture [1–4, 6, 8, 9] and as a result the optimum content averaged 5.5% from the quantity of asphalt binder. To achieve authoritative results, the test were carried out with pure asphalt binder, with the output content (5.5%) and with one higher content (7.5%) and one lower than the optimum one (3.5%). The following laboratory tests were carried out:

- penetration at 25°C, according to PN-EN 1426:2009,
- softening point, according to PN-EN 1427:2009,
- Fraass breaking point, according to PN-EN 12593:2009,
- dynamic viscosity at temperatures: 60°C, 90°C, 135°C, 160°C, according to PN-EN 12596:2009.

The samples for these tests were prepared by mixing the proper amount of the zeolite with the asphalt heated up to 150°C with enough time to liquidize the bitumen. To create conditions similar to ones at the paving site, all the tests were carried out the same day the samples were prepared, but keeping the conditioning time demanded for the particular test.

4. Results and discussion

To determine the thermal sensitivity of the asphalt binder, softening point test and Fraass breaking point test were conducted with and without the addition of the zeolite. The results are shown in Figure 1.

The Fraass breaking point test results oscillate between –11 and –12°C. In accordance with PN-EN 12593:2009, the acceptable difference between the results is 3°C for the particular type of asphalt binder. Taking that into consideration, the received results are compatible with the norm condition and the addition of zeolite can be acknowledged as insubstantial on the breaking point.

A similar situation was performed for the softening point test. The received temperatures, for each content of the zeolite, were higher in comparison to the pure asphalt, but still the differences were not significant. In accordance with PN-EN 1427:2009, that estimates 2°C as the acceptable difference between the results for the particular type of asphalt binder, it can be assumed that the softening point was slightly increased but not significantly changed by the addition of the zeolite.

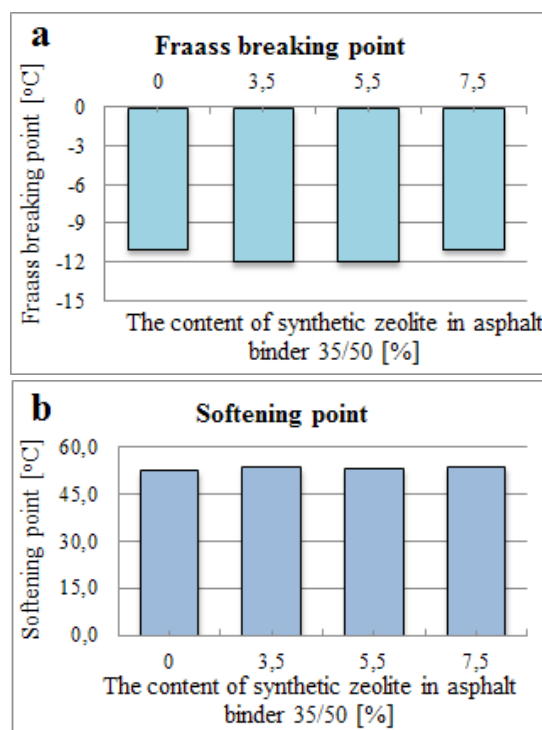
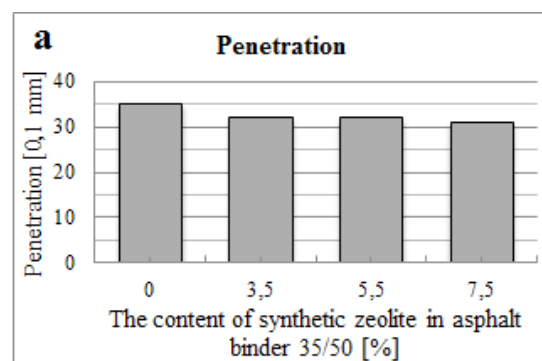


Fig. 1. Tests results depending on the contents of synthetic zeolite in asphalt 35/50: a) Fraass breaking point b) Softening point

Another test that was carried out was the penetration test to evaluate the consistency of the binder. Once the softening point and penetration were determined, these results were used to evaluate another thermal sensitivity parameter – the penetration index. The results are shown in Figure 2.

Figure 2 shows that the addition of the zeolite dropped the penetration and the higher content of the zeolite in the asphalt the lower value of penetration.

The penetration index, evaluated on the penetration and softening point test data, established in a level of –1,3 for all binders with different contents of the zeolite. At the same time these results correlate well with the previous tests, validating the earlier claim that the addition of the zeolite does not affect the thermal sensitivity of the asphalt binder.



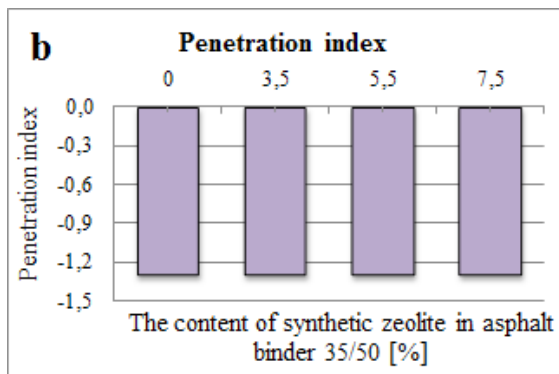


Fig. 2. Tests results depending on the contents of synthetic zeolite in asphalt 35/50: a) Penetration b) Penetration index

To determine the rheological feature of the asphalt binder, dynamic viscosity test was evaluated at 4 temperatures equivalent to production and traffic exposure conditions: 60°C – exploitation, 90°C – compaction, 135°C – placement, 160°C - production. One sample, with the particular addition of the zeolite, was used to evaluate the viscosity at every temperature. It was first heated up to the lowest temperature (60°C) and after the end of the test, the heating and testing processes were continued. Figure 3 presents dynamic viscosity results at 60°C and 90°C, while Figure 4 at 135°C and 160°C, respectively.

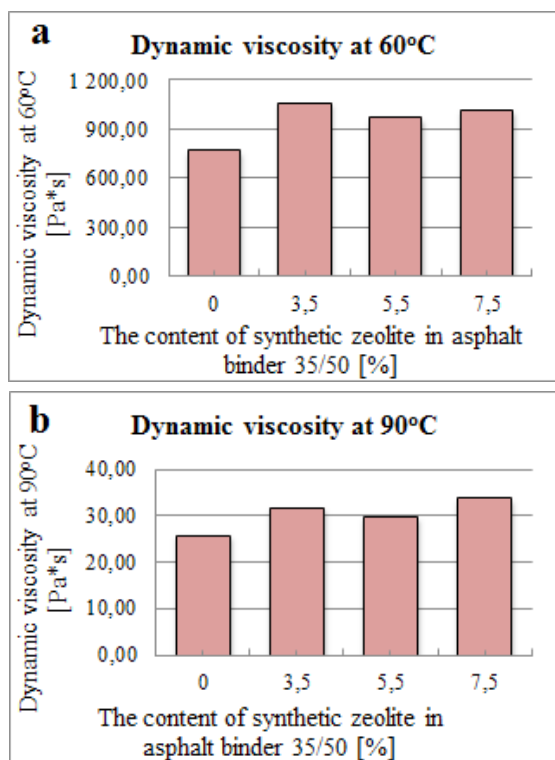


Fig. 3. Dynamic viscosity test results depending on the contents of synthetic zeolite in asphalt 35/50 at: a) 60°C, b) 90°C

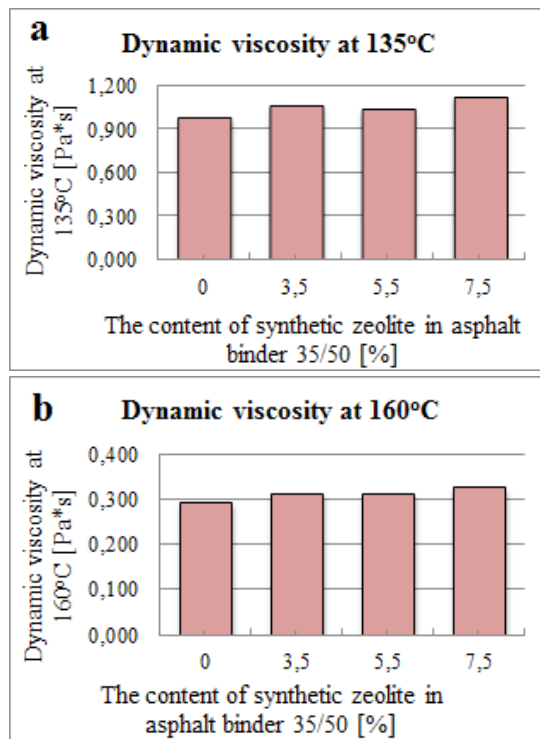


Fig. 4. Dynamic viscosity test results depending on the contents of synthetic zeolite in asphalt 35/50 at: a) 135°C, b) 160°C

In general, it is observed that every content of the zeolite results in a rise of the dynamic viscosity as compared to the pure asphalt, irrespective of the test temperature. Another tendency that can be observed is that the lowest viscosity values were obtained for the content of 5.5% of the zeolite at every test temperature. Therefore, 5.5% content can be evaluated as the optimum one, which confirms the accurate recommended addition of 0.3% of the zeolite from the quantity of all asphalt mix [1-4, 6, 8, 9] which equals 5.5% from the quantity of the asphalt binder. The reason for the increase in viscosity can be attributed to the addition of solid material in a form of a fine powder to the binder, which – after initial foaming – remains un-dissolved in the binder and acts as a filler.

The changes in the viscosity values of the asphalt binder with the synthetic zeolite are still being investigated by many scientists. There are findings in the literature that confirm the above claim that the zeolite causes the increase of the asphalt viscosity [1-3], but there are also test results that proves the opposite statement [7, 8]. It is certain though, that such unequivocal tendency is a result of the materials used in the experiments: the type of the asphalt binder, its output properties, the chemical structure and source of the particular synthetic zeolite.

The matter that should be evaluated in further investigations is the impact of the synthetic zeolite on the properties of asphalt mixes, especially on the content of air voids and moisture sensitivity at lower production and compaction temperatures. Such evaluation would stand for the claim that chemical reactions other than viscosity of the binder are behind the positive impact of the zeolite as warm mix additive.

5. Conclusions

Based on the results from the laboratory testing using the synthetic zeolite as warm mix additive to the asphalt binder, the following conclusions were made:

- the addition of synthetic zeolite does not influence the thermal sensitivity of the asphalt binder, which was confirmed by the following tests: softening point, Fraass breaking point and penetration index,
- the addition of synthetic zeolite slightly lowers the penetration of the asphalt binder,
- the addition of synthetic zeolite results in a rise of the dynamic viscosity due to the filling effect of the additive that after the initial release of water and foaming effect in the bitumen, remains undissolved in the binder.

References

- [1] Akisetty C., Amirkhanian S., Lee S.J.: *High temperature properties of rubberized binders containing warm asphalt additives*, Construction and Building Materials, Elsevier Ltd., No. 23, 2007, pp. 565–573.
- [2] Amirkhanian S., Biro S., Gandhi T.: *Determination of Zero Shear Viscosity of Warm Asphalt Binders*, Construction and Building Materials, Elsevier Ltd., No. 23 (5), 2009, pp. 2080–2086.
- [3] Amirkhanian S., Gandhi T.: *Laboratory investigation of warm asphalt binder properties – a preliminary analysis*, Proceedings of 5th International Conference on Maintenance and Rehabilitation of Pavements and Technological Control (MAIREPAV5), Park City, USA 2007.
- [4] Barthel W., Marchand J.-P., Von Devivere M.: *Warm asphalt mixes by adding aspha-min® a synthetic zeolite*, Proceedings of the Third Eurasphalt and Eurobitume Conference, Book 1, Foundation Eurasphalt, Breukelen, The Netherlands, 2004.
- [5] Castelo Branco V.T.F.: *Modification of asphalt mixtures (hot and warm) by the addition of zeolite*, Vanconcelos et al 2008.
- [6] Gallelli V., Iuele T., Vaiana R.: *Warm Mix Asphalt with Synthetic Zeolite: a Laboratory Study on Mixes Workability*, International Journal of Pavement Research and Technology, Chinese Society of Paving Engineering, Vol. 6 No. 5 Sep. 2013, pp. 562–569.
- [7] Gorkem C., Sengoz B., Topal A.: *Evaluation of natural zeolite as warm mix asphalt additive and its comparison with other warm mix additives*, Construction and Building Materials, Elsevier Ltd., No. 43, Turkey 2013, pp. 242–252.
- [8] Guegan M., Selvamohan S., Wasiuddin N., Zaman M.: *Comparative Laboratory Study of Sasobit and Aspha-Min Additives in Warm-Mix Asphalt*, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2007, pp. 82–88.
- [9] Hurley G.C., Prowell B.D.: *Evaluation of Aspha-Min zeolite for use in arm mix asphalt*, National Center for Asphalt Technology, NCAT Auburn University 2005.

Agnieszka Róg

Wpływ syntetycznego zeolitu na właściwości asfaltu 35/50

1. Wstęp

Ochrona środowiska naturalnego jest jednym z głównych zadań w nowoczesnym budownictwie drogowym. W tej dziedzinie notuje się ostatnio znaczny postęp. W krajach europejskich pojawiają się nowe technologie zmniejszające emisję gazów podczas produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych i budowy nawierzchni. Technologie te nazywane są WMA – *Warm Mix Asphalt* (mieszanki mineralno-asfaltowe na ciepło). Bezpośrednią korzyścią wynikającą z budowy WMA jest redukcja energii potrzebnej do wyprodukowania tradycyjnej mieszanki mineralno-asfaltowej na gorąco HMA – *Hot Mix Asphalt*. Wysokie temperatury konieczne do produkcji mieszanek na gorąco wynikają z potrzeby obniżenia lepkości lepiszcza asfaltowego, aby mogło otoczyć kruszywo, zapewniało dobrą urabialność oraz zagęszczalność podczas wbudowywania mieszanki, a także zapewniało trwałość w całym okresie eksploatacji nawierzchni. Z obniżeniem temperatury mieszanek związane są inne korzyści, jak: redukcja emisji gazów, wydłużony sezon budowlany, dłuższe dystanse transportu mieszanki, redukcja starzenia i utleniania się asfaltu, a tym samym zmniejszenie spękań nawierzchni [3].

Rozwinięte technologie WMA można podzielić ze względu na sposób poprawy urabialności betonu asfaltowego na dwie kategorie: wykorzystujące proces spieniania i stosowania dodatków [6]. Proces spieniania, który powoduje wzrost objętości asfaltu może być osiągnięty dwoma sposobami: dodaniem pod ciśnieniem wody do gorącego lepiszcza lub zastosowaniem hydrotermalnie krystalizowanych minerałów, takich jak zeolity [7].

Zeolity mogą być naturalne lub syntetyczne. Syntetyczne zeolity to krzemiany wapniowo-glinowe, występujące w postaci bardzo drobnego proszku. Oznaczają się dużą zawartością połączonych ze sobą mikrokanalików, które zawierają wodę (nawet do 20% m/m) i mają zdolność oddawania jej pod wpływem ciepła. Z technicznego punktu widzenia

pod wpływem temperatury mieszania woda z porów zeolitu stopniowo uwalnia się i paruje, powodując spienianie dodanego asfaltu. Proces ten pozwala na obniżenie temperatur, a piana asfaltowa otacza ziarna kruszywa mineralnego, co pozwala na poprawę urabialności mieszanki w temperaturach niższych nawet o ok. 30°C niż tradycyjne [9].

2. Cel opracowania

Stosowanie syntetycznego zeolitu jako środka obniżającego temperaturę produkcji MMA nie jest zbyt powszechne, ale w krajach takich jak USA czy Niemcy prowadzi się zaawansowane badania. Naukowcy podejmujący się badania wpływu tego dodatku ograniczają się jednak do badania jego wpływu na właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej. Mało uwagi poświęca się badaniu wpływu syntetycznego zeolitu na właściwości samego lepiszcza asfaltowego, podczas gdy ma on ogromne znaczenie na właściwości mieszanki w czasie jej produkcji i zagęszczania. Z tego względu przedmiotem niniejszego opracowania było zbadanie wpływu dodatku syntetycznego zeolitu na właściwości asfaltu.

3. Materiały i procedury badawcze

Do badań wykorzystano asfalt zwykły 35/50 i syntetyczny zeolit o strukturze A. Wyjściową ilość zeolitu względem asfaltu określono przeliczając zalecaną zawartość tego dodatku w stosunku dla masy całej mieszanki mineralno-asfaltowej, która wynosi 0,3% [1–4, 6, 8, 9], w wyniku czego uzyskano wartość wyjściową równą 5,5% zeolitu w stosunku do masy asfaltu. Dla uzyskania miarodajnych wyników zbadano asfalt bez dodatku zeolitu, z wyjściową ilością (5,5%) oraz z zawartościami mniejszą (3,5%) i większą (7,5%) od wyjściowej. Wykonano następujące badania:

- penetracji w 25°C zgodnie z normą PN-EN 1426:2009,
- temperatury mięknięcia zgodnie z normą PN-EN 1427:2009,

- temperatury łamliwości Fraassa zgodnie z normą PN-EN 12593:2009,
- lepkości dynamicznej w temperaturach: 60°C, 90°C, 135°C, 160°C zgodnie z normą PN-EN 12596:2009.

4. Wyniki i ich analiza

W celu określenia wrażliwości termicznej asfaltu bez i z różnymi zawartościami zeolitu, przeprowadzono badanie temperatury łamliwości Fraassa oraz badanie temperatury mięknięcia metodą Pierścienia i kuli, których wyniki przedstawiono na rysunku 1.

Wyniki badania łamliwości Fraassa oscylują między -11 a -12°C. Zgodnie z normą PN-EN 12593:2009, różnica między wynikami uzyskanych temperatur nie powinna być większa niż 3°C dla danego badanego rodzaju asfaltu. Biorąc to pod uwagę uzyskane wyniki spełniają warunek różnicy pomiaru, a ich rozbieżność jest tak mała, iż można uznać, że dodatek zeolitu do asfaltu, niezależnie od jego zawartości procentowej, nie ma wpływu na temperaturę łamliwości.

Podobną tendencję zaobserwowano dla badania temperatur mięknięcia. Można zauważyć, że dla wszystkich asfaltów z dodatkiem zeolitu uzyskano wyższą temperaturę w stosunku do czystego asfaltu bez dodatku, ale różnice nie były znaczące. W tym przypadku również mieszczą się w zakresie rozbieżności wyników pomiarów podanych w stanowiącej podstawę badania normie PN-EN 1427:2009, zgodnie z którą dopuszczalne różnice w wynikach nie powinny być większe niż 2°C. Można zatem uznać, że temperatura mięknięcia asfaltu była delikatnie zwiększona, ale nie znacząco zmieniona przez dodatek zeolitu.

W celu określenia konsystencji asfaltu z różnymi zawartościami zeolitu przeprowadzono badanie penetracji. Uzyskane wyniki tego badania oraz temperatury mięknięcia pozwoliły na obliczenie dodatkowego parametru charakteryzującego wrażliwość termiczną lepiszcza – indeksu penetracji. Wyniki badania penetracji oraz obliczonego indeksu penetracji przedstawiono na rysunku 2.

Z analizy wykresów wynika, że dodatek zeolitu do asfaltu spowodował obniżenie jego penetracji. Im większa była zawartość zeolitu w asfalcie, tym niższa penetracja.

Indeks penetracji, obliczony na podstawie wyników badań penetracji i temperatury mięknięcia, ustabilizował się na poziomie -1,3 dla wszystkich kombinacji asfaltu z zeolitem. Wyniki te dobrze korelują z poprzednimi wynikami badań, potwierdzając wcze-

śniejsze wnioski, że dodatek zeolitu nie wpływa na wrażliwość termiczną lepiszcza.

W celu zbadania właściwości reologicznych asfaltu, przeprowadzono badania lepkości dynamicznej w 4 temperaturach odpowiadających temperaturom, jakim poddany jest asfalt: 60°C – w czasie eksploatacji nawierzchni, 90°C – w czasie zagęszczania mieszanki, 135°C – w czasie wbudowywania oraz 160°C – w czasie produkcji. Jedną próbkę asfaltu z daną zawartością zeolitu była wykorzystana do zbadania lepkości w każdej temperaturze. Najpierw była ona podgrzewana do najniższej temperatury badania i po jego zakończeniu ponownie doprowadzana do kolejnych wyższych temperatur badania aż do ich zakończenia. Na rysunku 3 przedstawiono wyniki badania lepkości w 60 i 90°C, a na rysunku 4 odpowiednio dla 135 i 160°C.

Generalnie zaobserwowano, że każda zawartość zeolitu w asfalcie skutkuje wzrostem jego lepkości niezależnie od temperatury badania. Kolejną zależnością jest, że dla zawartości 5,5% zeolitu uzyskano najniższe lepkości w każdej temperaturze. Z tego względu dodatek 5,5% można uznać za optymalny co potwierdza zasadność zalecanej ilości zeolitu równej 0,3% w stosunku do masy mieszanki [1–4, 6, 8, 9], co jest równe 5,5% w stosunku do masy asfaltu. Przyczyna wzrostu lepkości asfaltu z dodatkiem zeolitu może być przypisana formie dodatku, który jest w postaci ciała stałego – drobnego proszku, który po pierwotnym spienieniu w asfalcie, pozostaje nierozpuszczony i zachowuje się jak wypełniacz.

Zmiany lepkości asfaltu z zeolitem nadal są badane przez wielu badaczy. Można znaleźć dane literaturowe potwierdzające powyższe twierdzenie, że dodatek zeolitu powoduje wzrost lepkości asfaltu [1–3], jednak są też wyniki badań, które dowodzą przeciwnemu twierdzeniu [7, 8]. Pewne jest jednak, że takie niejednoznaczne zjawisko jest wynikiem stosowanych materiałów, które wykorzystywane są do badań: rodzaju asfaltu, jego wyjściowych właściwości oraz chemicznej budowy i pochodzenia konkretnego zastosowanego syntetycznego zeolitu.

Niewątpliwie przedmiotem dalszych badań powinna być ocena wpływu syntetycznego zeolitu na właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych, w szczególności na zawartość wolnych przestrzeni i odporność na oddziaływanie wody i mrozu w niższych temperaturach produkcji i zagęszczania. Taka ocena dałaby podstawę do stwierdzenia, że inne reakcje chemiczne niż zmiana lepkości asfaltu są odpowiedzialne za pozytywne działanie zeolitu jako dodatku do mieszanek mineralno-asfaltowych na ciepło.

5. Wnioski

Na podstawie przedstawionych wyników badań z użyciem syntetycznego zeolitu jako dodatku do asfaltu do produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych na ciepło, można wysnuć następujące wnioski:

- dodatek zeolitu do asfaltu nie powoduje zmian jego wrażliwości termicznej, co potwierdziło badanie łamliwości Fraassa, temperatury mięknięcia i indeksu penetracji;
- w nieznaczny sposób dodatek zeolitu powoduje obniżenie penetracji asfaltu;
- dodatek zeolitu do asfaltu powoduje wzrost jego lepkości w rezultacie obecności bardzo drobnych cząsteczek stałych zeolitu, które po początkowym uwolnieniu wody i spowodowaniu spienienia asfaltu, pozostają nierozpuszczone w lepiszczu.