

# THE INFLUENCE OF THE LIQUID LOW-VISCOSITY ADDITIVE (THPP) ON THE SELECTED PROPERTIES OF THE MODIFIED BITUMEN PMB 45/80-55

## Abstract

*The main subject of the research introduced in this article is the influence of compaction temperature on lowering the amount of additive during production and installation of asphalt. The research assesses the effect of the addition of tetrachdropirymidupropyly (THPP) on selected properties of modified bitumen PMB 45/80-55. The content of THPP dosed in the range of 0.2 to 0.6% by weight of the adhesive, increasing the concentration by 0.2%. Based on the obtained results and the results of this analysis, conclusions have been drawn regarding the effects on selected parameters of modified asphalt.*

**Keywords:** modified bitumen, compaction temperature lowering, binder, viscosity

## 1. Introduction

Development of road infrastructure forces the search for new technological solutions, which must have a high economic and energy efficiency. What is more, they should be environmentally friendly. In terms of road materials, particular attention is paid to the bituminous mixtures, which are produced at high temperatures from 160 to 180°C. Now there is a tendency to lower the preparation temperature. Of particular interest are “hot” asphalt mixes produced at around 20–40°C lower temperature comparing to traditional ones. They are characterized by significant energy savings and reduced greenhouse gas emissions. This trend is due to increased awareness and a global initiative about the prevention of global warming. Preparation of “hot” mineral-asphalt is possible through the plasticity of asphalt road, which are cationic active substances. To such substances amine and ammonium salts are included, which enable to reduce the temperature of surrounding mineral mix to 40°C [5]. A traditional bituminous mixtures produced and incorporated in the “hot” technology are prepared at a temperature range from 160 to 180°C, depending on the type of asphalt, and incorporated at the temperature of 140°C [3]. But now the aim is to reduce the temperature of the production and the technologies built using “hot” technology for the temperature range from 110 to 140°C. In order to achieve this effect it is necessary to apply a liquid reducing agent and the viscosity of asphalt binder,

aggregate wetting enhancer at a reduced temperature. The main advantage of this type of technology (THPP) is to reduce the aging of the asphalt.

Furthermore, the additive THPP affects one of the most important parameters, which is the content space, and the rate of compaction build in asphalt. The content of free space must ensure the requirements of the standard DIN EN 13108-1 and EN 13108-5 depending on the type of asphalt and the use of asphalt layers in the package. It translates directly into providing resistance to water and frost, and increased resistance to permanent deformation.

The correct density of asphalt, and consequently the required content of free space is affected by temperature. Associated with bringing the technology of asphalt in which the production of MMA asphalt viscosity is low enough to provide the right environment and the incorporation of aggregates to obtain the required specifications [2].

## 2. Effect of the binder properties THPP

In order to assess the impact of the chemical agent on lowering the thickening temperature the modified bitumen PMB 45/80-55 was applied. Addition was dosed in the amount from 0.2 to 0.6% by weight of binder PMB 45/80-55 increasing the concentration of 0.2%. The main aim of the study was to determine the effect of the standard selected rheological parameters of the modified asphalt. In order to ensure precision

the measurement uncertainty (denote by  $U$ ) was calculated in compliance with the following formula:

$$U_{(y)} = k \cdot u_{c(y)} \quad (1)$$

where:  $k$  – widen factor,  $u_{c(y)}$  – assumed measurement uncertainty.

### 2.1. Effect of the addition to the basic parameters of asphalt

In order to determine the effect of the addition of THPP no changes of the basic parameters, the study was made for the various contents of the weight of the base asphalt. For this purpose, the following tests were performed:

- softening point according to EN 1427
- penetration of asphalt at 25°C according to EN 1426
- Fraass brittleness temperature according to EN 12593.

Results on the effect of the basic parameters of the properties of THPP binder were presented in Figure 1. Uncertainty of measurement for this research fits within the  $\pm 2\%$  error bars represent the uncertainty of the drawings.

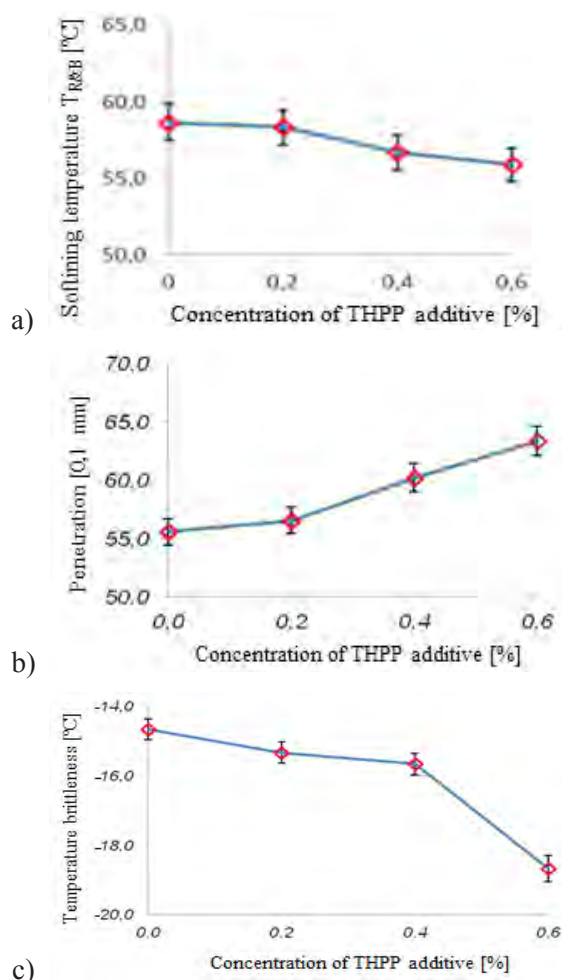


Fig. 1. The influence of the THPP additive content on basic parameters

The analysis of the softening temperature results (Fig. 1a) reveals that the increase of the concentration of the binder PMB 45/80-55 softening point decreases relative to the reference binder. At the level of 0.2% of THPP the effect is hardly noticeable. When increasing the concentration of the additive to the amount of 0.6% by weight, asphalt softening temperature dropped by only about 3°C. The maximum value of the softening point was obtained with a content of 0.2%, while the minimum – at the maximum amount of agent dispensed. It should also be noted that all the results obtained meet the requirements for modified bitumen PmB 45/80-55.

The next analyzed parameter in aspect of THPP is bitumen penetration (Fig. 1b), which determines its consistency. The tests were performed at 25°C. They show that with increasing concentration of the additive by weight the value of this parameter increases. Comparing the mean values obtained for the penetration of asphalt, there was only a slight change of penetration with a content of 0.4% which increases the concentration of agent in the tested range. The increase in penetration of approximately 10 units relative to the base bitumen is quite great.

A very important parameter is the temperature brittleness of the binder by Fraass (Fig. 1c). Based on the evaluation of temperature brittleness was found to play no significant role in changing this parameter. The brittleness temperature with increasing amounts of additive falls, but in the range of 0.2 to 0.4% the temperature drop is small and amounts to  $-0.4^\circ\text{C}$ , as evidenced by the low impact on the parameter in the tested dosage range. A significant drop in temperature brittleness occurs at the concentration of 0.6% of added THPP and is  $-3^\circ\text{C}$ . The test results show that the addition has a positive effect on the temperature brittleness. Obtaining a value of  $-18.7^\circ\text{C}$  shows a low sensitivity of asphalt PmB 45/80-55 0.6% of THPP at low temperatures. Moreover, the minimum value of the output temperature brittleness of asphalt is  $-12^\circ\text{C}$  with the addition of THPP has brittleness temperature as asphalt PmB 45/80-65.

### 2.2. Adhesion of binder to sand quartzite

The research of adhesion was performed according to the PN-84 B 06714/22 “designation of bitumen adhesion” to assess the resistance of asphalt to water and frost. To determine the adhesion of the binder to the aggregate strong acidic quartzite sandstone was used. The result of the study is to read the visual surface of the binder aggregate washed out. Therefore,

a series of digital images is produced are analyzed using a computer program. The results referred to the percentage of asphalt aggregate detachment, and the results are shown in Figure 2.

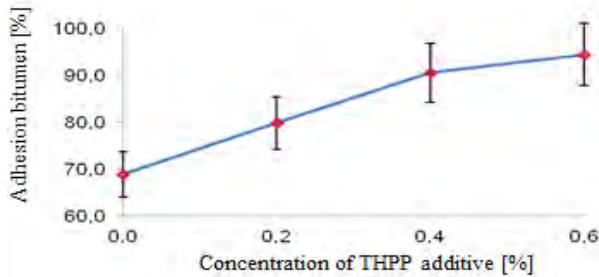


Fig. 2. The influence of THPP additive content on adhesion of bitumen to aggregate

Based on the results, it was found that beneficial effects of the adhesion of THPP addition to asphalt aggregate occur. At the concentration of 0.2% of THPP adhesion increased by about 11%. Adhesion of asphalt to aggregate increases with increasing addition of THPP in the binder. The maximum value is achieved at the content of 0.6% and is 25.6% higher compared to the reference asphalt. The increase in adhesion of the binder to the aggregate is a very advantageous feature and improves resistance of asphalt to water and frost. Adhesion measurement uncertainty does not exceed the value of  $\pm 7\%$ .

### 2.3. Penetration Index

Penetration Index (PI) is an indicator of the rheological properties of asphalt determining the viscosity of the elastic state, which is the measure of the thermal sensitivity calculated from measurements of the penetration and softening point of the asphalt. Penetration index is determined in accordance with BS EN 12591 using the following formula:

$$PI = \frac{20 \cdot T_{R\&B} + 500 \lg P - 1952}{T_{R\&B} - 50 \cdot \lg P + 120} \quad (2)$$

where:  $T_{R\&B}$  – asphalt softening point in  $^{\circ}\text{C}$ ,  $P$  – penetration asphalt at  $25^{\circ}\text{C}$ .

Effect of the addition of THPP to the penetration index of the modified bitumen PMB 45/80-55 has been shown in Figure 3.

The research have proven that with increasing concentration of additive reduced THPP penetration index value can be seen, and in the dosage range of 0 to 0.2% the decrease is small. However, in the range of 0.4 to 0.6% a significantly larger change in the parameter is observed. With the 0.6% decrease of the

additive penetration index is 0.36 and has a tendency towards negative values. It indicates a tendency to change the state of the pyrasol-adhesive gel in sol.

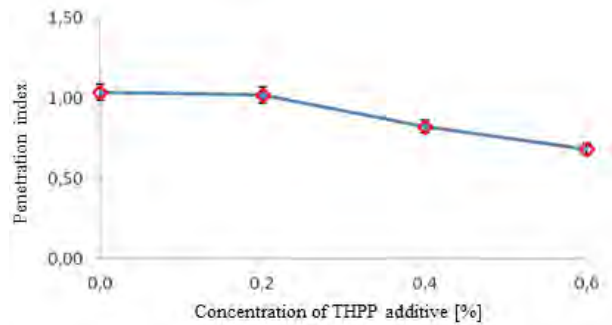


Fig. 3. The influence of THPP additive content on penetration index

Another important parameter is the temperature range of the calculated point, which is indicated by the formula:

$$TZP = T_{R\&B} - T_{column} \quad (3)$$

where:  $T_{R\&B}$  – asphalt softening point,  $T_{column}$  – Fraassa temperature brittleness.

The results of determination of temperature range of bitumen PMB 45/80-55 plasticity in terms of the amount of additive THPP have been shown in Figure 4.

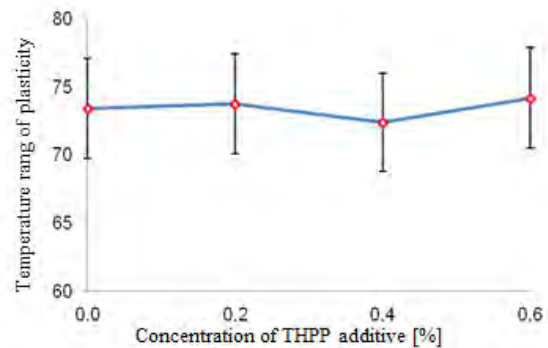


Fig. 4. The influence of THPP additive content on temperature range of plasticity

Based on the results, it was found that regardless of the amount of additive the temperature range remains virtually unchanged. A slight decrease in the parameter exists only when the content is 0.4% and  $1^{\circ}\text{C}$  compared to the reference binder. The obtained parameters beneficially affect the viscoelastic properties of the modified binder PmB 45/80-55.

### 2.4. Elastic recovery of binder

One of the most important parameters characterizing the impact of THPP on the properties of modified bitumen PMB 45/80-55 responsible for the increased surface durability and resistance to permanent

deformation is the return of spring. The results mark a return spring made in accordance with BS EN 13398, and is shown in Figure 5.

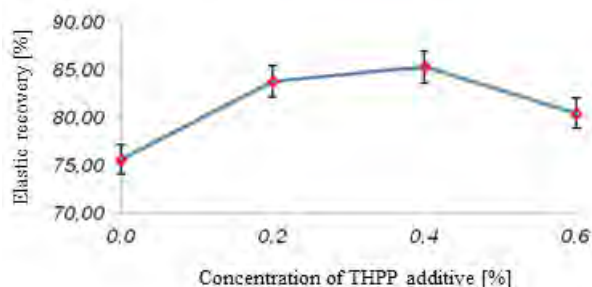


Fig. 5. The influence of THPP additive on elastic recovery at 15°C

Based on these values, it was found that the addition has a beneficial effect on the tested parameter. Based on the results measurement uncertainty was specified, which does not exceed  $\pm 2\%$ . THPP additive content in the range to 0.2 to 0.4% leads to higher values by 20% on average. However, with a content of 0.6% the elastic relapse decreased by 5% compared to the concentration of the binder add-on of 0.4%. This may be caused by an excess of THPP, which causes worse cohesion of the composite asphalt. The obtained values of PmB 45/80-55 binder with THPP cause an increase in the analysed parameter required for asphalt of higher modifier concentrations.

### 2.5. Dynamic viscosity as a function of temperature

Dynamic viscosity is a fundamental rheological property of the asphalt which describes the internal friction, which occurs due to the existence of cohesion forces when moving one asphalt layer relative to the other [1]. The viscosity studies of the modified asphalt were conducted with the device of coaxial arrangement of cylinders. Studies of PMB 45/80-55 modified bitumen with THPP were made in the range of 60 to 150°C by increasing the temperature by 10°C. Effects of additive concentration on asphalt THPP PmB 45/80-55 are shown in Figures 6 and 7.

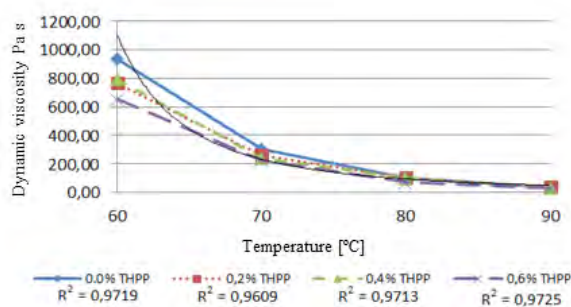


Fig. 6. The influence of THPP additive on dynamic viscosity in the temperature range 60 to 90°C

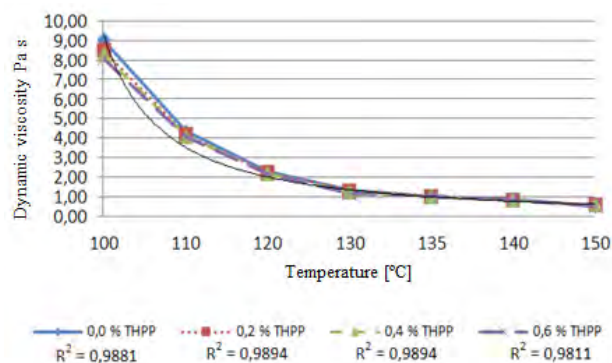


Fig. 7. The influence of THPP additive on dynamic viscosity in the temperature 100 to 150°C

Dynamic viscosity for the additive concentration in the range from 0.2 to 0.4% has very small variations with respect to the reference binder, which shows a small influence on the test parameter. The decrease in viscosity was observed in the range of 60 to 90°C at the concentration of 0.6% relative to the bitumen mass, which was  $312 \text{ Pa} \times \text{s}$  at 90°C and  $10 \text{ Pa} \times \text{s}$  at 60°C. In the range from 100 to 150°C the parameter values for the modified bitumen with THPP are close to the reference binder.

### 3. Conclusions

Based on obtained results of asphalt 45/0-55 with the THPP addition the following conclusions can be drawn:

- addition of THPP in the tested range from 0.2 to 0.6% has little effect on the softening point, penetration and penetration index of modified binders,
- increasing the THPP concentration above 0.4% by weight of modified bitumen leads to a positive brittleness temperature drop,
- with increasing concentration of the additive adhesion of THPP binder to the aggregate increases,
- an excessive amount of additive THPP may cause harmful interference to the integrity of the composite asphalt,
- an increase in the concentration of additive THPP has little effect on the reduction of dynamic viscosity of modified bitumen PMB 45/80-55, which may suggest that modified asphalt PMB 45/80-55 is responsible for the dominant process of aggregate wetting.

### References

[1] Błażejowski K., Olszacki J., Paciukowski H.: *Poradnik Asfaltowy* (2011), s. 60-87  
 [2] Gawel I., Kalabińska M., Piłat J.: *Asfalty drogowe*, WKŁ Warszawa 2001, s. 255.

[3] Iwański M., Mazurek G.: *Zależność temperatury zagęszczania betonu asfaltowego w aspekcie modyfikatora nisko-wiskozowego*, IV Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna Poznań 2009, s. 94-102.

[4] Piłat J., Radziszewski P.: *Nawierzchnie asfaltowe*, WKŁ, Warszawa 2010, s. 218.

[5] Stefczyński B., Mieczkowski P.: *Dodatki, katalizatory i emulgatory w mieszankach mineralno-asfaltowych*, WKŁ, Warszawa 2010 s. 49-147.

Karol Nowakowski

## Oznaczenie wpływu dodatku (THPP) na wybrane parametry asfaltu modyfikowanego PmB 45/80-55

### 1. Wprowadzenie

Rozwój infrastruktury drogowej wymusza poszukiwania nowych rozwiązań technologicznych, które przyczyniają się do zmniejszenia degradacji środowiska naturalnego. Szczególnym zainteresowaniem cieszą się mieszanki mineralno-asfaltowe „na ciepło”, co jest spowodowane wzrostem świadomości społeczeństwa i ogólnoswiatową inicjatywą w celu przeciwdziałaniu globalnemu ociepleniu klimatu. Są one zgodne z poszukiwaniem oszczędności energii w różnych dziedzinach przemysłu.

Duże możliwości w zakresie uplastycznienia asfaltów drogowych wynikają z wykorzystania substancji kationoaktywnych. Do takich dodatków zaliczają się substancje aminowe i amoniowe, które umożliwiają obniżenie temperatury otaczania mieszanki mineralnej nawet o 30°C [5].

Tradycyjne mieszanki mineralno-asfaltowe produkowane i wbudowywane w technologii „na gorąco” wytwarza się w temperaturze od 160 do 180°C w zależności od rodzaju zastosowanego asfaltu, a wbudowywane w temperaturze 140°C. Natomiast obecnie dąży się do obniżenia temperatury wytwarzania oraz wbudowania stosując technologie „na ciepło”, dla której zakres temperatury wynosi od 110 do 140°C [3]. W celu uzyskania takiego efektu konieczne jest zastosowanie płynnego środka obniżającego lepkość asfaltu i polepszającego zwilżanie kruszywa lepiszczem w obniżonej temperaturze. Podstawową zaletą środka tetrahydropiryminylopropylu (THPP) jest zmniejszenie wpływu starzenia technologicznego asfaltu.

Ponadto środek THPP wpływa na jeden z najważniejszych parametrów, jakim jest zawartość wolnej przestrzeni oraz wskaźnik zagęszczenia wbudowywa-

nej mieszanki mineralno-asfaltowej. Zawartość wolnych przestrzeni musi spełniać wymagania stawiane przez normy PN-EN 13108-1 i PN-EN 13108-5 w zależności od rodzaju mieszanki mineralno-asfaltowej oraz zastosowania w pakiecie warstw asfaltowych. Przekłada się to bezpośrednio na zapewnienie odporności na oddziaływanie wody i mrozu oraz wzrost odporności na deformacje trwałe.

Na prawidłowe zagęszczenie mieszanki mineralno-asfaltowej, a w konsekwencji uzyskanie wymaganej zawartości wolnej przestrzeni, ma wpływ temperatura – związana z doprowadzeniem asfaltu do technologicznego stanu, w którym podczas wytwarzania MMA lepkość asfaltu jest wystarczająco niska, aby zapewnić właściwe otoczenie kruszywa, a podczas wbudowywania uzyskać wymagane parametry techniczne [2].

### 2. Wpływ dodatku THPP na właściwości normowe i reologiczne

Do badań oznaczenia wpływu płynnego chemicznego środka obniżającego temperaturę zagęszczania na asfalt modyfikowany zastosowano lepiszcze PMB 45/80-55. Dodatek dozowano w ilości od 0,2 do 0,6% w stosunku do masy asfaltu PMB 45/80-55 zwiększając jego stężenie o 0,2%. Zasadniczym celem badań było określenie wpływu dodatku na standardowe wybrane parametry reologiczne asfaltu modyfikowanego.

W celu zapewnienia poprawności wykonywanych badań określono niepewność rozszerzoną  $U$  dla wszystkich pomiarów za pomocą wzoru (1).

#### 2.1. Wpływ dodatku na podstawowe parametry asfaltu

W celu określenia wpływu dodatku THPP na zmianę podstawowych parametrów wykonano badania dla

różnych zawartości środka w stosunku do masy asfaltu wyjściowego:

- temperatury mięknięcia według PN-EN 1427,
- penetracji asfaltu w temperaturze 25°C zgodnie z PN-EN 1426,
- temperatury łamliwości Fraassa według PN-EN 12593.

Wyniki podstawowych parametrów określających wpływ środka THPP przedstawiono na rysunku 1. Niepewność pomiaru dla powyższych badań mieści się w granicy  $\pm 2\%$ , słupki błędów reprezentujące niepewność przedstawiono na rysunkach 1a–c.

Analizując uzyskane wyniki badań temperatury mięknięcia (rys. 1a), można stwierdzić, że wraz ze wzrostem stężenia dodatku, temperatura mięknięcia asfaltu spada w stosunku do wyniku uzyskanego dla lepiszcza referencyjnego. Przy zawartości 0,2% w stosunku do asfaltu wpływ środka THPP jest praktycznie nie zauważalny. Podczas zwiększania stężenia dodatku do ilości 0,6% w stosunku do masy asfaltu występuje spadek temperatury mięknięcia jedynie o około 3°C. Maksymalną wartość temperatury mięknięcia uzyskano przy zawartości środka 0,2%, natomiast minimalną przy maksymalnej ilości dozowanego środka. Należy również podkreślić, że wszystkie uzyskane wyniki badań spełniają wymagania jak dla asfaltu modyfikowanego PMB 45/80-55.

Kolejnym rozpatrywanym parametrem w aspekcie ilości środka THPP jest penetracja asfaltu (rys. 1b), określająca jego konsystencję. Badania wykonano w temperaturze 25°C. Wykazują one, że w miarę wzrostu stężenia dodatku w stosunku do masy asfaltu występuje wzrost ocenianego parametru. Porównując uzyskane wartości średnie dla penetracji asfaltu, stwierdzono niewielką zmianę penetracji przy zawartości 0,4%, która rośnie wraz ze stężeniem środka w badanym zakresie. Wzrost penetracji o około 10 jednostek w stosunku do asfaltu wyjściowego jest stosunkowo niewielki.

Ostatnim a zarazem bardzo ważnym parametrem jest temperatura łamliwości wg Fraassa. Wyniki oznaczenia temperatury łamliwości asfaltu przedstawiono na rysunku 1c. Na podstawie oceny uzyskanych wartości temperatury łamliwości stwierdzono, że dodatek nie wpływa negatywnie na lepiszcze. Wartość temperatury łamliwości wraz ze wzrostem ilości dodatku spada, jednak w przedziale od 0,2 do 0,4% spadek temperatury jest mały i wynosi -0,4°C, co może świadczyć o małym wpływie na badany parametr w tym przedziale dozowania. Znaczny spadek temperatury łamliwości występuje przy stężeniu

0,6% dodatku THPP i wynosi -3°C. Uzyskane wyniki badań dowodzą, że dodatek korzystnie wpływa na temperaturę łamliwości. Uzyskanie wartości -18,7°C świadczy o małej wrażliwości asfaltu PMB 45/80-55 z dodatkiem 0,6% THPP na działanie niskich temperatur. Ponadto minimalna wartość temperatury łamliwości asfaltu wyjściowego wynosi -12°C, z dodatkiem THPP asfalt uzyskuje temperaturę łamliwości jak asfalt PMB 45/80-65.

## 2.2. Adhezja lepiszcza do piasku kwarcytowego

Badanie adhezji wykonane zostało zgodnie z PN-84 B 06714/22 „Oznaczenie przyczepności bitumów” w celu oceny odporności mieszanki mineralno-asfaltowej na oddziaływanie wody i mrozu. Aby określić adhezję lepiszcza do kruszywa o silnym odczynie kwaśnym zastosowano piaskowiec kwarcytowy. Wynik badania jest to odczyt wizualny powierzchni odmytej kruszywa. Z uwagi na to do oceny wizualnej wykonano serie obrazów cyfrowych, które poddano obróbce programu komputerowego. Na podstawie uzyskanych wyników określono procentowe odmycie asfaltu z kruszywa, a wyniki przedstawiono na rysunku 2.

Oznaczenie zmian adhezji lepiszcza do piaskowca kwarcytowego przedstawiono na rysunku 2. Na podstawie uzyskanych wyników, stwierdzono korzystny wpływ na badany parametr. Przy stężeniu 0,2% środka THPP adhezja poprawiła się o 11%. Adhezja asfaltu do kruszywa zwiększa się wraz ze wzrostem zawartości dodatku THPP w lepiszczu. Maksymalną wartość osiąga z zawartością 0,6% i jest ona większa o 25,6% w porównaniu do asfaltu referencyjnego. Wzrost adhezji jest bardzo korzystną cechą i świadczy o podniesieniu odporności na oddziaływanie wody i mrozu. Niepewność pomiaru adhezji nie przekraczała wartości  $\pm 7\%$ .

## 2.3. Indeks penetracji

Indeks penetracji (IP) to reologiczny wskaźnik asfaltu określający właściwości asfaltu w zakresie stanu lepkosprężystego, który jest miarą jego wrażliwości termicznej, obliczanej na podstawie pomiarów temperatury mięknięcia i penetracji asfaltu. Zmianę indeksu penetracji (rys. 3) określono zgodnie z PN-EN 12591 za pomocą wzoru (2).

Wpływ dodatku THPP na indeks penetracji asfaltu modyfikowanego PMB 45/80-55 przedstawiono na rysunku 3. Badania wykazały, że wraz ze wzrostem stężenia dodatku THPP spada indeks penetracji, przy czym w przedziale od 0 do 0,2 jest niewielki. Natomiast w przedziale od 0,4 do 0,6% występuje spadek bada-

nego parametru. Przy zwiększaniu zawartości dodatku do 0,6% spadek indeksu penetracji wynosi 0,36, co powoduje tendencje do zmiany stanu z zolo-żelowego w zolowy, ponieważ zaobserwować można spadek parametru w kierunku wartości ujemnych.

Kolejnym istotnym parametrem obliczonym jest temperaturowy zakres plastyczności przedstawiony na rysunku 4. Obliczony za pomocą wzoru (3).

Na podstawie wyników badań temperatury mięknięcia i temperatury łamliwości wg Fraassa obliczono temperaturowy zakres plastyczności (TZP). Na podstawie uzyskanych wyników badań temperaturowego zakresu plastyczności stwierdzono, że wszystkie badane próbki posiadają wartość większą od 60°C. Nieznaczny spadek badanego parametru występuje jedynie przy zawartości 0,4% i wynosi 1°C w stosunku do asfaltu referencyjnego. Uzyskane parametry korzystnie wpływają na właściwości lepko-sprężyste lepiszcza modyfikowanego PmB 45/80-55.

#### 2.4. Nawrót sprężysty

Jednym z ważniejszych parametrów charakteryzujących wpływ środka THPP na właściwości asfaltu modyfikowanego PMB 45/80-55 odpowiadającym za zwiększenie trwałości i odporności nawierzchni na deformacje trwałe jest nawrót sprężysty. Wyniki oznaczenia nawrotu sprężystego wykonano zgodnie z PN-EN 13398 i przedstawiono na rysunku 5.

Na podstawie uzyskanych wartości stwierdzono, że dodatek ma korzystny wpływ na badany parametr. Na podstawie uzyskanych wyników określono niepewność pomiaru, która nie przekracza wartości  $\pm 2\%$ . Zawartość dodatku THPP w przedziale do 0,2 do 0,4 powoduje wzrost badanej cech średnio o 20%. Natomiast przy zawartości 0,6% wartość nawrotu sprężystego spada o 5% w stosunku do lepiszcza ze stężeniem 0,4% dodatku. Spowodowane to może być przez nadmiar środka THPP, który powoduje zakłócenia spójności kompozytu asfaltowego. Uzyskane wartości dla lepiszcza PmB 45/80-55 z THPP powodują wzrost badanego parametru wymaganego dla asfaltu o większym stężeniu modyfikatora.

#### 2.5. Lepkość dynamiczna w funkcji temperatury

Lepkość dynamiczna jest jedną z podstawowych właściwości reologicznych asfaltu. Opisuje ona tarcie wewnętrzne, które występuje w wyniku istnienia sił kohezji przy przesuwaniu jednej warstwy asfaltu względem drugiej [1]. W badaniach lepkości asfaltu modyfikowanego z dodatkiem zastosowano urządzenie o współosiowym układzie cylindrów. Badania asfaltu modyfikowanego PMB 45/80-55 z dodatkiem

THPP został wykonane w przedziale temperatur od 60 do 150°C zwiększając temperaturę o 10°C. Wpływ stężenia dodatku THPP na asfalt PmB 45/80-55 przedstawiono na rysunkach 6 i 7.

Dla lepkości dynamicznej w zakresie stężenia dodatku od 0,2 do 0,4% stwierdzono bardzo małe różnice w stosunku do asfaltu referencyjnego, co może świadczyć o małym wpływie na badany parametr. Spadek lepkości zanotowano w przedziale od 60 do 90°C przy stężeniu 0,6% środka w stosunku do masy asfaltu, który wynosił w 60°C 312 Pa·s a w 90°C 10 Pa·s. W przedziale temperatur od 100 do 150°C wartości badanego parametru dla asfaltu modyfikowanego z dodatkiem THPP są zbliżone do wartości lepiszcza podstawowego.

### 3. Podsumowanie

Na podstawie analizy wyników badań asfaltu 45/0-55 z dodatkiem środka THPP można sformułować następujące wnioski:

- zastosowanie środka THPP w badanym zakresie od 0,2 do 0,6% ma nieznaczny wpływ na temperaturę mięknięcia, penetrację i indeks penetracji,
- zwiększanie zawartości dodatku THPP powyżej 0,4% w stosunku do masy asfaltu modyfikowanego powoduje korzystny spadek temperatury łamliwości,
- wraz ze wzrostem stężenia dodatku wzrasta adhezja lepiszcza do kruszywa,
- nadmierna ilość dodatku THPP, może powodować zakłócenia w integralności kompozytu asfaltowego,
- wzrost stężenia dodatku THPP ma niewielki wpływ na obniżenie lepkości dynamicznej asfaltu modyfikowanego PMB 45/80-55, co może sugerować, że za dominujący proces zwilżania kruszywa odpowiada asfalt modyfikowany PmB 45/80-55.