

MATEUSZ M. IWAŃSKI¹
KRZYSZTOF MACIEJEWSKI²
PIOTR RAMIĄCZEK³
Kielce University of Technology

¹ matiwanski@tu.kielce.pl

² kmaciejewski@tu.kielce.pl

³ p.ramiaczek@tu.kielce.pl

INFLUENCE OF HYDRATED LIME ON THE PROPERTIES OF FILLER-BITUMEN COMPOSITE

Abstract

To guarantee the quality of warm mix asphalt, one of the prerequisites is to provide adequate adhesion between the bituminous binder and the aggregates. To achieve this goal, filler-bitumen mixes were examined with a replacement of mineral filler with hydrated lime in amounts of 0%, 10%, 20%, 30% and 40%. A 35/50 bitumen was used as a binder in the filler-bitumen mix in amounts of 4.8%, 5.1%, 5.4% and 5.8%. The assessed properties of filler-bitumen composite comprised: penetration, softening point and Fraass breaking point. The influence of the hydrated lime on the properties of the filler-bitumen compound was found to be significant and beneficial.

Keywords: WMA, HWMA, filler-bitumen composite, hydrated lime

1. Introduction

The most widely used types of mineral-bitumen mixes are produced in high temperatures, depending on the type of bitumen used, reaching even up to 180°C. In the recent years, new techniques of asphalt production in line with the world trends for reducing emissions and energy intensity of industrial processes have been introduced. These new methods, which are often labeled as warm mix asphalt (WMA) and half-warm mix asphalt (HWMA), concentrate around decreasing processing temperatures in asphalt production. Current solutions permit the processing temperatures to be lowered by 20°C to even 60°C [1-3], especially when foamed bitumen is used [4-6].

An important aspect to achieving proper quality of mineral-bitumen mixes, is obtaining sufficient adhesion between bitumen and aggregates. This problem is crucial in mixes produced in lowered temperatures, where complete aggregate coating is often not possible. Therefore, an adhesion promoter has to be introduced to aid the aggregate-bitumen bonding. Some commonly used fatty-amine based adhesion promoters are unstable in high temperatures and can in negative way impact the rheological

properties of the bitumen. Because of these problems, our attention was turned towards the investigation of hydrated lime as a natural, mineral adhesion agent. The beneficial role of hydrated lime in improving bitumen-aggregate affinity, resistance to water and frost damage and mechanical properties has been well documented [7-10]. However, the performance of hydrated lime in WMA and HWMA with foamed bitumen has been scarcely investigated.

2. Materials

A set of experiments was planned to assess the influence of hydrated lime on the properties of filler-bitumen composite. Mixtures of filler and bitumen were designed, with filler with contributions of hydrated lime ranging from 0% to 40% and 35/50 penetration bitumen contents corresponding to bitumen contents in an asphalt concrete mix ranging from 4.2% to 5.1%. The adopted experimental plan is presented in Figure 1. To assess the influence of the hydrated lime in the filler, each filler-bitumen composition was tested for penetration (*Pen*), softening point (ring and ball method, $T_{R\&B}$) and Fraass breaking point (T_{Fraass}).

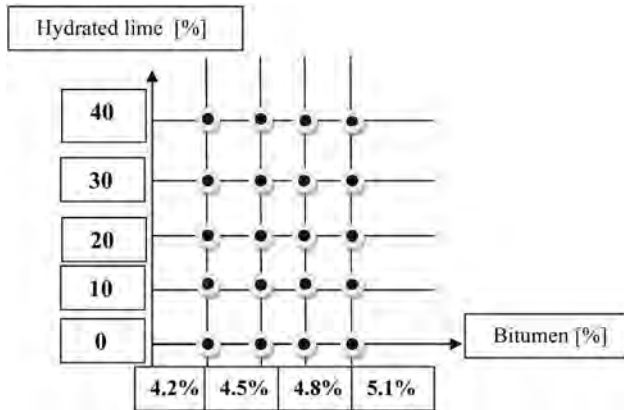


Fig. 1. The experimental plan

Statistical analysis was conducted to assess the influence of hydrated lime and amount of bitumen on the properties of the tested composites. A second order response surface models were calculated (as in eq. (1)) based on the tests results to quantify the effects of the analyzed factors on the properties of the composites:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_1 \cdot x_2 + b_4 \cdot x_1^2 + b_5 \cdot x_2^2 \quad (1)$$

where: y – response, x_1 – hydrated lime content in the filler [%], x_2 – bitumen content in the final asphalt concrete mix [%], $b_0 \div b_5$ – model parameters.

3. Results and discussion

The obtained results of the conducted tests and computed responses from the mathematical models are presented in Figures 2, 3 and 4. Figure 2 depicts the response surface and results of penetration tests carried out on the analyzed composites and the assessment of the significance of model parameters is presented in Table 1.

$$P [0,1mm] = -79,0631 + 33,8762 \cdot x + 0,0525 \cdot y - 2,2222 \cdot x^2 - 0,0767 \cdot x \cdot y - 0,0002 \cdot y^2$$

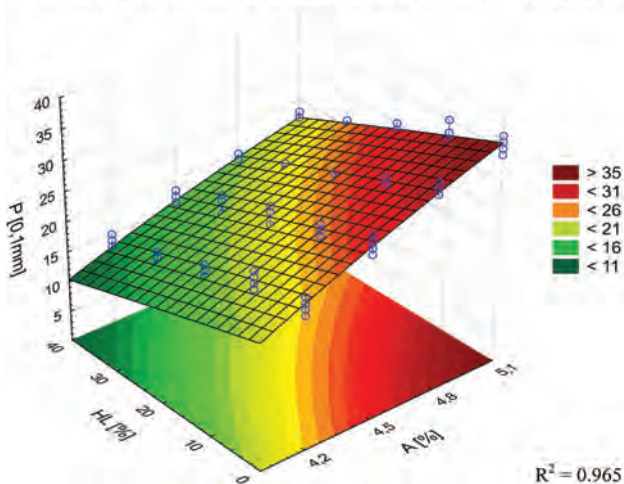


Fig. 2. Penetration measured at 25°C response surface for the mineral-bitumen composites

Table 1. Tests of significance of the model parameters for the penetration response

Effect	Univariate Tests of Significance for Pen [0.1 mm] Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition; Std. Error of Estimate: 1.054770				
	SS	Degr. Of Freedom	MS	F	p
Intercept	15.166	1	15.166	13.632	0.000
A [%]	15.009	1	15.009	13.490	0.000
A [%]^2	5.600	1	5.600	5.033	0.026
HL [%]	0.376	1	0.376	0.338	0.045
HL [%]^2	0.206	1	0.206	0.185	0.037
A [%]*HL [%]	18.515	1	18.515	16.642	0.000
Error	149.080	134	1.112		

The analysis of the results shown in Table 1 leads to a conclusion that both analyzed variables, the bitumen content and hydrated lime content had statistically significant influence on the properties of the bitumen-filler composite. The p-values calculated for all of the model parameters were smaller than the adopted significance level $\alpha = 0.05$, leading to a rejection of the null hypothesis.

The tests showed that an increase in hydrated lime content in the mineral filler component of the composition resulted in a decrease in penetration, whereas the increase in bitumen content resulted in an increase in penetration. The obtained relationships were mostly linear, meaning that a change in the hydrated lime and bitumen content produced proportional results.

The assessment of significance of the analyzed factors on the penetration of the bitumen-filler composite is presented in Table 2.

Table 2. Assessment of significance of the analyzed factors on the penetration of the bitumen-filler composite

Effect	Univariate Tests of Significance for Pen [0.1 mm] Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. Of Freedom	MS	F	p
Intercept	80256.46	1	80256.46	72025.03	0.000
A [%]	2155.37	3	718.46	644.77	0.000
HL [%]	2751.26	4	687.81	617.27	0.000
A [%]*HL [%]	27.20	12	2.27	2.03	0.026
Error	133.71	120	1.11		

To sum up, it can be said that the use of hydrated lime causes the bitumen-filler composite to stiffen and the addition of bitumen counteracts this behavior.

Softening point temperature was the second analyzed property of the bitumen-filler composite, which has a great impact on the rutting performance of pavements subjected to increased temperatures. The test results and the softening point response surface is shown in Figure 3 and the assessment of the significance of model parameters is presented in Table 3.

$$T_{Pik} [^{\circ}C] = -2,0493+36,7889*x-0,0833*y-4,8148*x*x+0,0328*x*y+0,0014*y*y$$

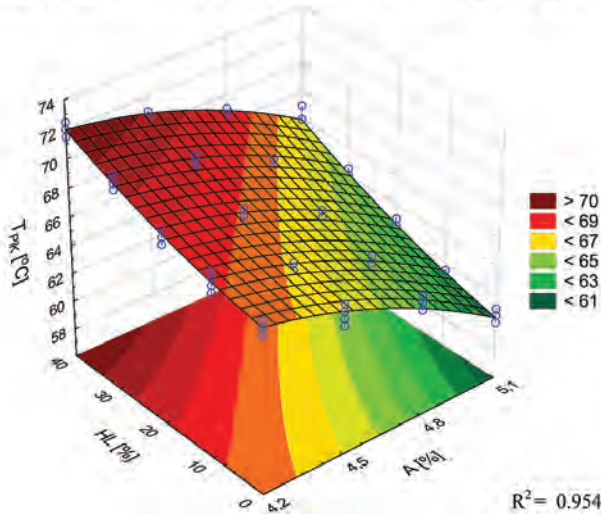


Fig. 3. Softening point temperature response surface for the mineral-bitumen composites

Table 3. Tests of significance of the model parameters for the softening point temperature response

Effect	Univariate Tests of Significance for $T_{R88} [^{\circ}C]$ Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition; Std. Error of Estimate: 0.4163633				
	SS	Degr. Of Freedom	MS	F	p
Intercept	0.008	1	0.008	0.050	0.008
A [%]	15.172	1	15.172	87.519	0.000
A [%]^2	22.533	1	22.533	129.981	0.000
HL [%]	0.814	1	0.814	4.695	0.032
HL [%]^2	6.857	1	6.857	39.554	0.000
A [%]*HL [%]	2.900	1	2.900	16.733	0.000
Error	19.762	114	0.173		

The analysis of the results shown in Table 3 leads to a conclusion that again, both analyzed variables, the bitumen content and hydrated lime content had statistically significant influence on the softening point temperature of the composite. Also, the interaction term was found to be significant. The calculated p-values associated with the model parameters were

smaller than the adopted significance level $\alpha = 0.05$, allowing to reject the null hypothesis.

Based on the analysis of the results it can be said that the hydrated lime content in the filler had a nearly linear effect on the softening point of the composite, whereas bitumen contents in the mix exceeding 4.5% resulted in a not-proportional drop in the softening point.

The assessment of significance of the analyzed factors on the softening point temperature of the bitumen-filler composite is presented in Table 4.

Table 4. Assessment of significance of the analyzed factors on the penetration of the bitumen-filler composite

Effect	Univariate Tests of Significance for $T_{R88} [^{\circ}C]$ Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. Of Freedom	MS	F	p
Intercept	532400.4	1	532400.4	3086379	0.000
A [%]	748.9	3	249.6	1447	0.000
HL [%]	389.9	4	97.5	565	0.000
A [%]*HL [%]	4.5	12	0.4	2	0.017
Error	17.2	100	0.2		

The next investigated property of the bitumen-filler composite, which has an important effect on the low-temperature cracking properties of mineral-bitumen mix and its frost resistance, was the Fraass breaking point. The test results and the Fraass breaking point response surface is shown in Figure 4 and the assessment of model parameters is presented in Table 5.

$$T_{Fraass} [^{\circ}C] = 51,3705-26,5156*x+0,1687*y+2,6481*x*x-0,0317*x*y+0,0009*y*y$$

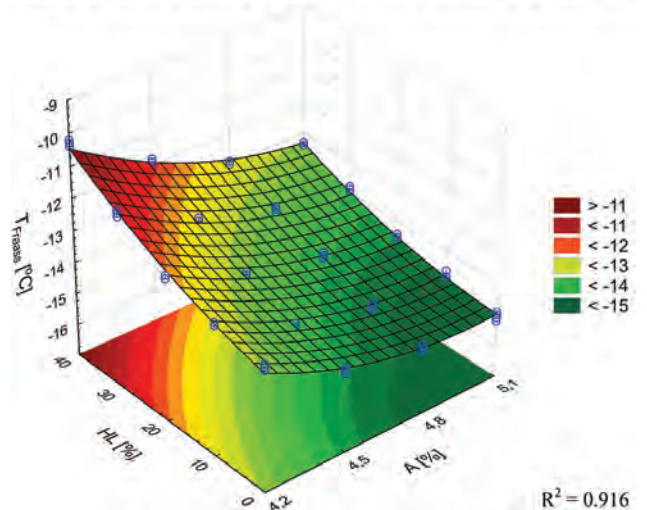


Fig. 4. Fraass breaking point temperature response surface for the mineral-bitumen composites

Table 5. Tests of significance of the model parameters for the Fraass breaking point temperature response

Effect	Univariate Tests of Significance for T_{Fraass} [°C] Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition; Std. Error of Estimate: 0.1439221				
	SS	Degr. Of Freedom	MS	F	p
Intercept	5.488	1	5.488	264.949	0.000
A [%]	7.881	1	7.881	380.507	0.000
A [%]^2	6.816	1	6.816	329.075	0.000
HL [%]	3.339	1	3.339	161.223	0.000
HL [%]^2	2.520	1	2.520	121.672	0.000
A [%]*HL [%]	2.717	1	2.717	131.170	0.000
Error	2.361	114	0.020		

The results shown in Table 5 indicate that all of the model parameters were statistically significant for predicting the Fraass breaking point. Additionally, a significant interaction between the variables was observed. The calculated p-values were smaller than the adopted significance level $\alpha = 0.05$, allowing for a rejection of the null hypothesis.

The use of hydrated lime as a partial substitute of the filler resulted in a substantial increase in Fraass breaking point. Increase in the amount of the bitumen on the other hand, had a positive effect by decreasing this property. The negative effects were mostly visible at concentrations of hydrated lime above 20% and smallest amounts of bitumen. At the 4.8% bitumen concentration in the mineral-bitumen mix the negative effects of hydrated lime in respect to the Fraass breaking point were maintained at a considerable level.

The assessment of significance of the analyzed factors on the Fraass breaking point temperature of the bitumen-filler composite is presented in Table 6.

Table 6. Assessment of significance of the analyzed factors on the penetration of the bitumen-filler

Effect	Univariate Tests of Significance for T_{Fraass} [°C] Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. Of Freedom	MS	F	p
Intercept	21627.68	1	21627.68	3134446	0.000
A [%]	92.98	3	30.99	4492	0.000
HL [%]	77.48	4	19.37	2807	0.000
A [%]*HL [%]	4.08	12	0.34	49	0.000
Error	0.69	100	0.01		

4. Conclusions

Based on the acquired data it can be concluded that the use of hydrated lime as an additive in the bitumen-filler composite contributes to its stiffening, causing simultaneously the increase in Fraass breaking point. To great increase in the stiffness of the composite can, however, cause a drop in the low-temperature performance of the final mineral-bitumen mix by decreasing the resistance to moisture and frost damage and to low-temperature fracturing. On the other hand, addition of bitumen to the bitumen-filler composite had an inverse effect on its properties. The increased relative bitumen content in the mix contributed to a decrease of Fraass breaking point temperature and softening point temperature, in turn decreasing the stiffness of the bitumen-filler composite. The following detailed observations were made during the research:

- hydrated lime contributes to the increased stiffness of the bitumen-filler composite; uncontrolled rise in the mix stiffness can impair the pavement durability;
- the addition of bitumen plays a significant role by decreasing the stiffness of the composite;
- in mixtures containing up to 20% of hydrated lime in the filler, the relative amount of 4.5% bitumen in the mix allowed to counteract the stiffening effect;
- the synergy of hydrated lime and bitumen allowed to shape the properties of the bitumen-filler composite in a favorable way.

References:

- [1] Judycki J., Stiens M.: *Badania mieszanek mineralno-asfaltowych o obniżonej temperaturze otaczania*, Raport końcowy GDDKiA, 2011.
- [2] Kilas M., Vaitkus A., Paliukaitė M.: *Warm Mix Asphaltes Research, Analysis and Evaluation*, Proc of the 10th Int. Conf. ‘Modern Building Materials, Structures and Techniques’, Vilnius 2010, pp. 149-155.
- [3] Yuksel T.: *High temperature properties of wax modified binders and asphalt mixtures*, „Construction and Building Materials”, 23, 2009, pp. 3220-3224.
- [4] Iwański M., Mrugała J.: *Beton asfaltowy w technologii na półciepło z asfaltem spienianym*. „Drogownictwo”, 4, 2013, s. 110-115.
- [5] Iwański M.M, Chomicz-Kowalska A.: *Influence of synthetic fibers on the properties of asphalt concrete produced at reduced temperature*, „Structure and Environment”, Vol. 5 (3), 2013, pp. 21-29.
- [6] Iwański M., Chomicz-Kowalska A., Maciejewski K.: *Application of synthetic wax for improvement of foamed bitumen parameters*, Construction and Building Materials, 83 (2015), pp. 62-69.

- [7] Stefańczyk B., Mieczkowski P.: *Mieszanki mineralno-asfaltowe*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. Warszawa, 2008. s. 320.
- [8] Iwański M., Chomicz-Kowalska A., Iwański M.M.: *Influence of hydrated lime on durability of SMA asphalt pavement with quartzite aggregate*, „Structure and Environment”, Vol. 5 (4), 2013, pp. 5-14.
- [9] Jaskuła P., Judycki J.: *Evaluation of effectiveness of hydrated lime additive in protecting asphalt concrete against water and frost*. Proc. of 6th Int. Conf. on Environmental Engineering, Vilnius 2005.
- [10] Iwański M., Mazurek G.: *Hydrated Lime as the Anti-aging Bitumen Agent*. Proc of 11th Int. Conf. on Modern Building Materials, Structure and Techniques, MBMST 2013, Elsevier, Procedia Engineering 57. 2013, pp. 424-432.
- [11] Iwański M., Mazurek G.: *Hydrated Lime Effect on Rutting Resistance of SMA Pavements*. Road and Bridges, 12, Warszawa 2013, pp. 361-383.

Mateusz M. Iwański
Krzysztof Maciejewski
Piotr Ramiączek

Wpływ wapna hydratyzowanego na właściwości kompozytu mineralno-asfaltowego

1. Wstęp

Powszechnie stosowane mieszanki mineralno-asfaltowe (beton asfaltowy, mieszanka SMA) wytwarzane są w wysokiej temperaturze dochodzącej nawet do 180°C, zależnie od zastosowanego asfaltu. W ostatnich latach w związku ze światowymi tendencjami dążącymi do redukcji gazów cieplarnianych powstających w procesach technologicznych oraz ograniczeniem energochłonności materiałów budowlanych w drogownictwie wdraża się mieszanki mineralno-asfaltowe wytwarzane i wbudowywane w technologii na ciepło (WMA) oraz na półciepło (HWMA). Charakteryzują się one obniżeniem temperatury wytwarzania w zakresie od 20 do nawet 60°C [1-3], zwłaszcza w przypadku zastosowania jako lepiszcza asfaltu spienionego [4-6].

Istotnym problemem związanym z uzyskaniem wymaganej jakości mieszanek mineralno-asfaltowych jest zapewnienie prawidłowej adhezji asfaltu z kruszywem. Jest to szczególnie ważne w przypadku mieszanek mineralno-asfaltowych wytwarzanych w obniżonej temperaturze, w której może wystąpić problem z otoczeniem ziaren kruszywa przez lepiszcze. W związku z tym w składzie mieszanki mineralno-asfaltowej należy zastosować środek adhezyjny. Powszechnie stosowane aminy tłuszczowe dodawane do asfaltu mogą

w pewnych przypadkach powodować również niekorzystne procesy, np. związane z obniżeniem temperatury mięknięcia asfaltu. Dlatego też w badaniach zastosowano wapno hydratyzowane, które jest naturalnym mineralnym środkiem adhezyjnym. Pozytywna jego rola znana jest w przypadku tradycyjnych mieszanek mineralno-asfaltowych. Wpływa ono nie tylko na poprawę powinowactwa asfaltu z kruszywem, ale również na wzrost ich charakterystyk mechanicznych oraz odporności na oddziaływanie wody oraz wody i mrozu [7-10]. Natomiast oddziaływanie wapna hydratyzowanego na właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych typu WMA oraz HWMA w technologii asfaltu spienianego jest mało rozpoznane. W związku z tym nieodzowne jest wykonanie badań w tym zakresie.

2. Badane materiały

Przedmiotem badań był kompozyt mineralno asfaltowy składający się z asfaltu 35/50 oraz wypełniacza mieszanego zawierającego dodatek wapna hydratyzowanego. Zawartość asfaltu w badanym kompozycie odpowiadała zawartości asfaltu w mieszance mineralno asfaltowej od 4,2% do 5,2%. Udział wapna hydratyzowanego w wypełniaczu mieszanym mieścił się w granicach od 0% do 40%. Badanymi parametrami kompozytu była penetracja, temperatura mięknięcia oraz temperatura łamliwości wg Fraassa.

3. Wyniki badań i ich analiza

Uzyskane wyniki badań dotyczących wpływu wapna hydratyzowanego oraz asfaltu na właściwości kompozytu mineralno-asfaltowego poddane analizie statystycznej przedstawiono na rysunkach 2-4.

Dokonując analizy wyników zestawionych w tabelach 1-6 można stwierdzić, że badane zmienne, tj. zawartość asfaltu w kompozycie mineralno-asfaltowym oraz zawartość wapna hydratyzowanego w wypełniaczu mieszanym, miały istotny statystycznie wpływ na wszystkie badane właściwości kompozytu (penetrację, temperaturę mięknięcia i temperaturę łamliwości wg Fraassa).

Zwiększenie zawartości wapna hydratyzowanego w wypełniaczu mieszanym spowodowało spadek penetracji kompozytu mineralno-asfaltowego, a zwiększenie ilości asfaltu przyczyniło się do wzrostu tego parametru. Zastosowanie wapna hydratyzowanego w kompozycie mineralno-asfaltowym wpływa na jego usztywnienie. Natomiast asfalt przeciwdziała temu procesowi. Dopiero przy zawartości powyżej 30% wapna hydratyzowanego można zaobserwować jego intensywne oddziaływanie na analizowaną charakterystykę.

Kolejną badaną właściwością kompozytu mineralno-asfaltowego była temperatura mięknięcia, która odgrywa istotną rolę w ocenie odporności na deformacje trwale nawierzchni asfaltowych. Zwiększenie ilości dodawanego wapna hydratyzowanego spowodowało wzrost temperatury mięknięcia badanego kompozytu, dodatek asfaltu miał natomiast ponownie odwrotny efekt. Zastosowanie asfaltu w ilości powyżej 4,5% wpłynęło w znaczący sposób na obniżenie temperatury mięknięcia kompozytu mineralno-asfaltowego.

Kolejną analizowaną właściwością kompozytu mineralno-asfaltowego była temperatura łamliwości wg Fraassa, która odgrywa istotną rolę w ocenie odporności na spękania niskotemperaturowe i odporności na oddziaływanie wody oraz mrozu nawierzchni asfaltowych. Wapno hydratyzowane w kompozycie mineralno-asfaltowym wpłynęło na wzrost temperatury łamliwości, szczególnie przy koncentracjach przekraczających 20% w wypełniaczu mineralnym. Natomiast zwiększenie koncentracji asfaltu wpłynęło korzystnie na ten parametr. Przy zawartości asfaltu odpowiadającej 4,8% w mieszance mineralno-asfaltowej, neutralizowany został negatywny wpływ wapna hydratyzowanego na tę charakterystykę kompozytu mineralno-asfaltowego.

4. Podsumowanie

Reasumując, należy stwierdzić, że zastosowanie wapna hydratyzowanego w kompozycie mineralno-asfaltowym wpłynęło na jego usztywnienie. Zbyt duży wzrost sztywności kompozytu, chociaż pozytywnie wpływa na odporność na deformacje trwale nawierzchni, to może przyczynić się do zmniejszenia odporności nawierzchni asfaltowej na spękania niskotemperaturowe, jak również na obniżenie jej odporności na oddziaływanie wody i mrozu. Natomiast efekt oddziaływania asfaltu jest odwrotny. Zwiększenie koncentracji asfaltu wpływa korzystnie na temperaturę Fraassa, powodując jej obniżenie.

Na podstawie wykonanych badań wpływu wapna hydratyzowanego i asfaltu na właściwości kompozytu mineralno-asfaltowego można sformułować następujące wnioski:

- wapno hydratyzowane wpływa na wzrost sztywności kompozytu mineralno-asfaltowego, przy czym nadmierne jego przeszywnienie może odgrywać niekorzystny wpływ na trwałość nawierzchni asfaltowej;
- asfalt w kompozycie mineralno-asfaltowym odgrywa istotną rolę, zmniejszając jego sztywność spowodowaną dodatkiem wapna hydratyzowanego;
- do zawartości 20% wapna hydratyzowanego w mączce mineralnej zastosowanie asfaltu w ilości powyżej 4,5% wpływa korzystnie na zmniejszenie efektu usztywnienia kompozytu mineralno-asfaltowego;
- w wyniku efektu synergii wapna hydratyzowanego i asfaltu kształtowane są korzystne charakterystyki kompozytu mineralno-asfaltowego.