

MAREK IWAŃSKI<sup>1</sup>  
 RYSZARD ORZECZOWSKI<sup>2</sup>  
 Kielce University of Technology  
<sup>1</sup>e-mail: iwanski@tu.kielce.pl  
<sup>2</sup>e-mail: rorzeczowski@tu.kielce.pl

# EFFECTS OF RTFOT AGING ON SELECTED PROPERTIES OF BITUMEN 50/70 MODIFIED WITH RUBBER AND SYNTHETIC WAX

## Abstract

*This paper presents the results and analysis of the study devoted to the effect of RTFOT aging on selected properties of bitumen 50/70 modified with rubber and Fischer-Tropsch synthetic wax. The bitumen used in the tests had 10% and 15% addition of crumb rubber and 1÷2% addition of synthetic wax. The graphs prepared using the Statistica program illustrate the results of tests carried out to determine penetration, softening point, Fraass breaking point, elastic recovery, tensile force and viscosity. Other parameters established in the tests included the penetration index and the temperature range of plasticity. The tests were repeated for all the test series following the RTFOT aging. The results showed that RTFOT aging has a significant effect on the properties of bitumen 50/70.*

**Keywords:** asphalt binder, modification with rubber, synthetic wax, asphalt aging, RTFOT

## 1. Introduction

Properties of road bitumens during the production of bituminous mixtures and under the road pavement service conditions are subjected to detrimental changes referred to as aging. These changes make the bitumen lose its viscoelastic properties. A bituminous mixture containing such a binder fails to resist dynamic loads from traffic and climatic conditions, becoming susceptible to damage [1]. Bitumen changes its properties when heated, with temperature and the duration of heating as determinative factors. The processes occurring in heated bitumen cause evaporation of oil fractions, acceleration of bitumen oxidation, decreased penetration, increased softening point, increased (worsened) breaking point, reduced ductility and increase in viscosity [2]. The aging process is especially intense during mixing bitumen with aggregates at a high temperature. This processes is called short-term aging. Long-term aging occurs during service in pavement [2]. The RTFOT laboratory test was used to simulate physical and chemical changes in bitumen during short-term aging at an elevated temperature [3]. In addition to parameters such as time and temperature, all kinds of additives used in bitumen

influence the course of aging processes. An addition of rubber delays aging through oxidation inhibitors present in the rubber [4]. Increased thickness of the rubber-bitumen coating on the surface of aggregate grains in a bituminous mixture decreases the aging process in the binder [5]. Aging of binders with paraffin content differs from that of traditional bitumens and occurs mainly in the short-term aging range [6].

## 2. Characteristics of the material

Ordinary bitumen 50/70, which meets the requirements laid down in PN-EN 12591, was used in the tests. The test samples were taken in compliance with PN-EN 58 and prepared to PN-EN 12594. Rubber material with 0÷0.8 mm grain size derived from worn tyres and F-T synthetic wax were used to modify the bitumen.

## 3. Testing

To determine the effect of the rubber and the synthetic wax on the properties of bitumen 50/70, six test series were made. The bitumen samples were prepared to PN-EN 12594 and then blended with rubber and wax in varying proportions. The crump rubber was added in the amounts of 10% and 15% of

the total binder mass. The synthetic wax in the form of granules was added in the amount of 1% and 2% of the total binder mass. The mixture of bitumen 50/70, rubber and synthetic wax was heated up to 180°C prior to them being mixed with a high-speed mixer for five minutes. During mixing the containers with the samples were placed in a special flask to prevent loss of heat. Having been mixed, the mixture was dried at the temperature of 180°C in a dryer for 60 minutes. Following the baking process, the following tests were performed:

- penetration at the temperature of 25°C to PN-EN 1426,
- softening point using the Ball and Ring method to PN-EN1427,
- Fraass breaking point to PN-EN 12593,
- elastic recovery at the temperature of 25°C to PN-EN 13398,
- determining tensile force for modified bitumens to PN-EN 13589,
- determining dynamic viscosity to PN-EN 13302,
- RTFOT aging,
- following the RTFOT aging, all the parameters were re-tested.

**4. Effect of rubber and synthetic wax on parameters of bitumen 50/70 after RTFOT aging**

Analysis of the test results was performed using a three-way ANOVA in the Statistica program. The interaction effect for the investigated factors was tested. Interaction means the impact of one factor on the values taken by the second factor. Vertical bars represent 0.95 confidence intervals. From the diagrams in Figure 1 it follows that the binder modified with crump rubber and synthetic wax is characterized by aging changes dependent on the modifier content. The higher the rubber and wax content in the binder, the smaller the penetration change. An interesting phenomenon occurs here as before aging, penetration decreases with an increase in the rubber content and after aging, the penetration value increases with increasing content of the rubber. All the effects obtained in this study are statistically significant. Interaction does not occur only between the rubber content and the wax.

Diagrams in Figure 2 show that the higher rubber content in the binder, the lower softening point increase after RTFOT aging. The softening temperature increases with increasing amount of rubber added to the binder. All the effects are statistically significant and interaction occurs among all the factors.

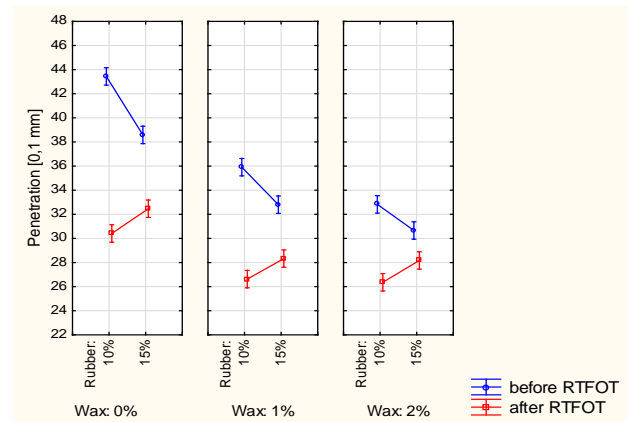


Fig. 1. Effect of rubber and synthetic wax content on bitumen 50/70 penetration before and after RTFOT aging

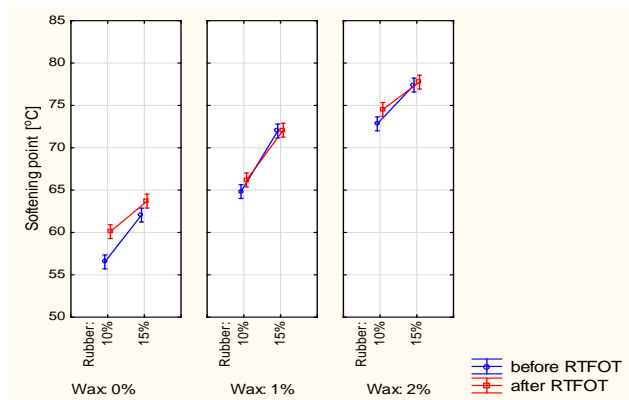


Fig. 2. Effect of rubber and synthetic wax content on bitumen 50/70 softening point before and after RTFOT aging, determined by a Ring and Ball method.

A slight reduction in the penetration index occurs following the RTFOT aging of the bitumen modified only with rubber, Figure 3. An addition of wax has a clear impact on the increase in the values of the penetration index and the temperature range of plasticity TZP, Figure 4.

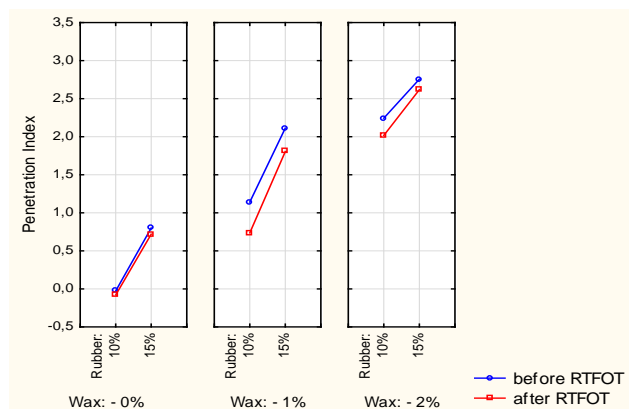


Fig. 3. Effect of rubber and synthetic wax content on bitumen 50/70 penetration before and after RTFOT aging

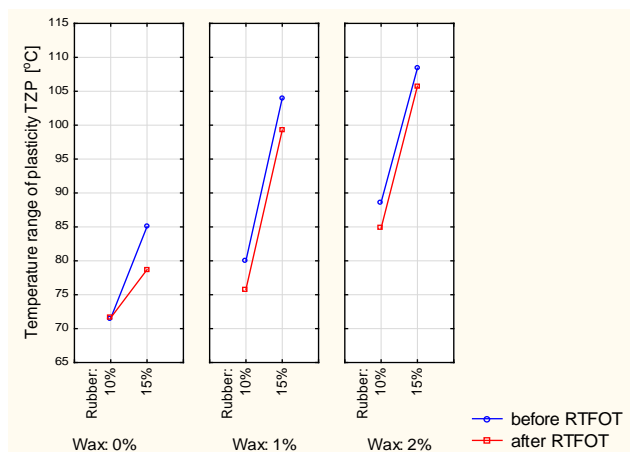


Fig. 4. Effect of rubber and synthetic wax content on bitumen 50/70 TzP before and after RTFOT aging

Short-term aging reduces the value of the Fraass breaking point. The best results were obtained when the bitumen was modified with 15% crumb rubber and 1% synthetic wax contents, Figure 5.

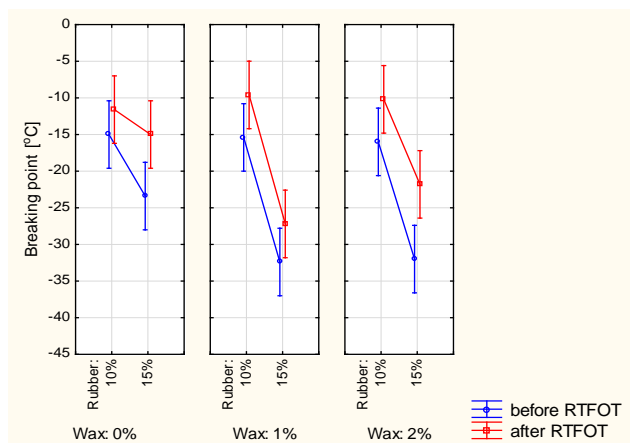


Fig. 5. Effect of rubber and synthetic wax content on bitumen 50/70 Fraass breaking point before and after RTFOT aging

No interaction occurs between the aging and the rubber content or the synthetic wax content for the breaking point. All the remaining effects are statistically significant.

Elastic recovery after RTFOT aging and when the binder contains 10-15% of rubber is much higher than before aging. The aging improved the properties of the elastic recovery. An addition of the wax to the rubber-bitumen binder before aging contributes to the increase in the elastic recovery value, with a slight decrease observed after aging, Figure 6. Univariate significance tests for the elastic recovery found the action of rubber and the interaction effect between the RTFOT and synthetic wax to be the only significant effects.

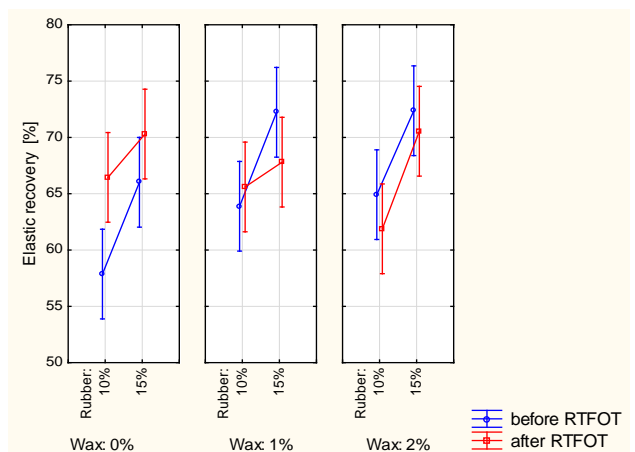


Fig. 6. Effect of rubber and synthetic wax content on bitumen 50/70 elastic recovery before and after RTFOT aging

RTFOT aging contributes to the increase of the maximum value of the breaking force. The higher rubber and wax content in the binder, the higher value of the breaking force. This increase, however, is slower than that observed for the binder before aging. In the case of the binder containing 2% wax, the breaking force value decreased, Figure 7.

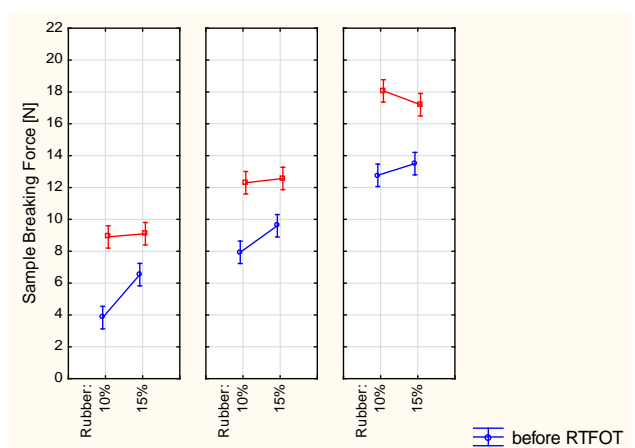


Fig. 7. Effect of rubber and synthetic wax content on the bitumen 50/70 breaking strength before and after RTFOT aging

Analysis of Figures 8-9 indicates that at the temperatures of 60°C and 90°C, there is an increase in the binder viscosity, occurring along the increase in the rubber and wax modifiers content. RTFOT aging has a considerable effect on the increase in the dynamic viscosity (stiffening of the binder at service temperatures). The higher the rubber content, the smaller differences occur between viscosities before and after RTFOT. At the temperature of 135°C, viscosity of the binder increases with an increase in the rubber content. The RTFOT has an influence on

a considerable increase in the viscosity of the binder modified with rubber. An addition of synthetic wax at a 10% content of rubber in the binder causes a slight decrease in viscosity, occurring both before and after the RTFOT. When the rubber content increases to 15%, the effect of RTFOT aging on the binder viscosity increase is definitely smaller.

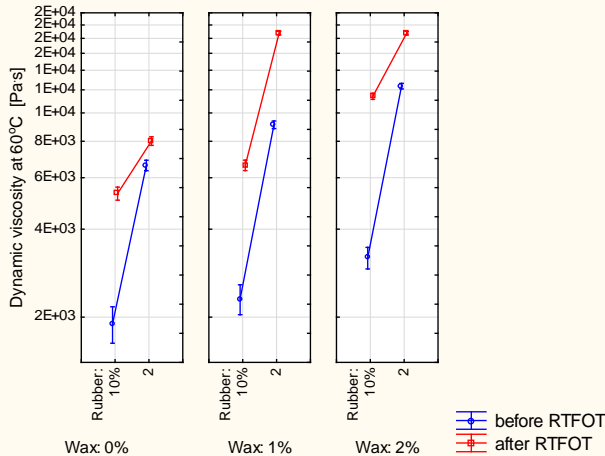


Fig. 8. Effect of rubber and synthetic wax content on bitumen 50/70 dynamic viscosity at 60°C before and after RTFOT aging

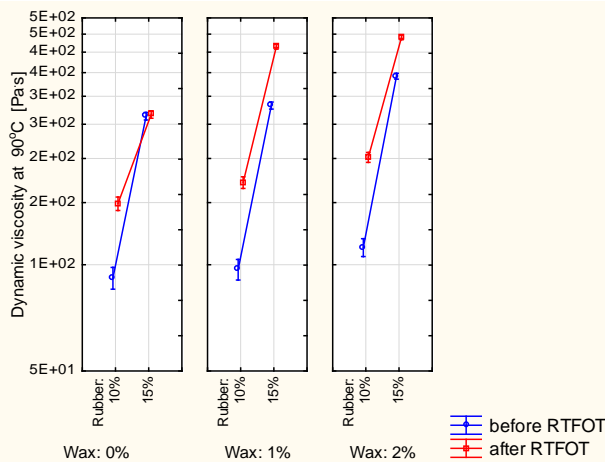


Fig. 9. Effect of rubber and synthetic wax content on bitumen 50/70 dynamic viscosity at 90°C before and after RTFOT aging

Significance tests of the dynamic viscosity at 60°C and 135°C indicated that all the effects of the action of rubber and synthetic wax as well as the interaction between the rubber and the wax are statistically significant. At 90°C, the interaction between the RTFOT and rubber was the only insignificant effect.

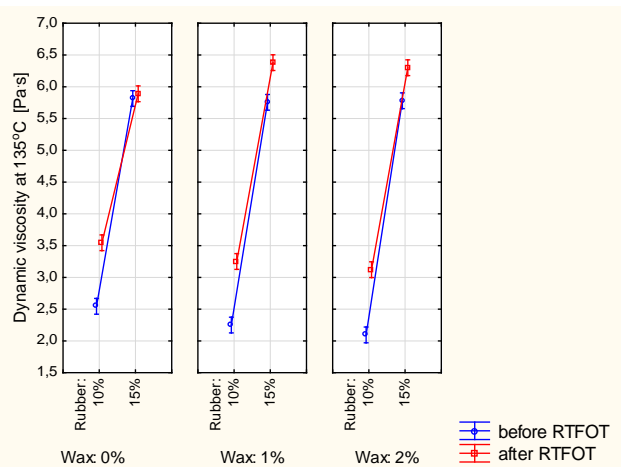


Fig. 10. Effect of rubber and synthetic wax content on bitumen 50/70 dynamic viscosity at 135°C before and after RTFOT aging

### Conclusions

Results of the laboratory tests and analyses lead to the following conclusions:

1. Aging of the bitumen modified with rubber and with a combination of rubber and synthetic wax causes a disadvantageous increase in the binder breaking point. An addition of the synthetic wax has an advantageous effect as it reduces the breaking temperature.
2. Aging decreases the penetration of the rubber-bitumen binder. Increased content of rubber reduces the penetration decrease after aging. An addition of wax decreases penetration and contributes to reducing the variation after aging.
3. An addition of rubber contributes to reducing thermal sensitivity of bitumen, increases the penetration index value and the temperature range of plasticity. An addition of wax increases these values. Aging decreases the penetration index. This decrease is not considerable and the binder still has advantageous positive values of the penetration index.
4. The binder analysed here has an advantageous high elastic recovery. Aging of the bitumen with rubber did not reduce the elastic recovery value but caused its increase. An addition of wax makes the binder more rigid and slightly decreases the elastic recovery.
5. Aging increases the breaking force. The variability between the breaking force values before and after RTFOT aging decreases with increasing rubber content.
6. Aging of the bitumen modified with rubber increases dynamic viscosity of the binder. At

low rubber content of 10%, the variability is considerable and decreases with the increase in the rubber content. An addition of synthetic wax at 60°C and 90°C increases viscosity, and at 135°C causes its slight decrease.

7. Binders containing more rubber demonstrate a higher resistance to aging. Lower content of rubber contributes to the increase in aging-related changes.

## References

- [1] Piłat J., Radziszewski P.: *Lepiszczka gumowo-asfaltowa – lepiszcza o zwiększonej odporności na starzenie*, Magazyn Autostrady, 10 (2012), p. 71.
- [2] Błażejowski K., Styk S.: *Technologia warstw asfaltowych*, WKŁ 2004, p. 46.
- [3] Gawęł I., Klabińska M., Piłat J.: *Asfalty Drogowe*, WKŁ 2001, p. 197.
- [4] Piłat J., Radziszewski P., Sarnowski M.: *Zastosowanie lepiszczy gumowo-asfaltowych do nawierzchni drogowych*; Inżynier Budownictwa, 3 (2013), p. 97.
- [5] Asphalt-Rubber Standard, Practice Guide, Prepared for the Rubber Pavements Association, October 1, Second Edition, 2012, p. 23.
- [6] Król J., Radziszewski P., Kowalski K., Świeżewski P.: *Właściwości niskotemperaturowe lepiszczy asfaltowych z dodatkiem parafin nowej generacji*, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, 283, z 59, 2012, p. 271.

Marek Iwański  
Ryszard Orzechowski

# Wpływ starzenia technologicznego RTFOT na wybrane właściwości asfaltu 50/70 modyfikowanego gumą i woskiem syntetycznym

## 1. Wprowadzenie

Właściwości asfaltów drogowych podczas wytwarzania mieszanek mineralno-asfaltowych oraz w czasie eksploatacji nawierzchni drogowych ulegają niekorzystnym zmianom, które określa się terminem starzenia. W wyniku tych zmian asfalt traci swoje właściwości lepkosprężyste. Mieszanka mineralno-asfaltowa zawierająca takie lepiszcze nie jest odporna na działanie dynamicznych obciążeń od ruchu samochodowego oraz od czynników atmosferycznych i szybko ulega uszkodzeniu [1]. Podczas ogrzewania asfalt zmienia swoje właściwości w zależności od temperatury i czasu ogrzewania. Procesy zachodzące w asfalcie podczas ogrzewania powodują: odparowanie frakcji olejowych, przyspieszenie utleniania asfaltu, obniżenie penetracji, wzrost temperatury mięknięcia, wzrost (pogorszenie) temperatury łamliwości, zmniejszenie ciągliwości oraz wzrost lepkości [2]. Podczas mieszania asfaltu z kruszywem w wysokiej temperaturze proces starzenia przebiega bardzo intensywnie. Proces ten nazwano starzeniem technologicznym (krótkoterminowym). Drugi rodzaj starzenia to starzenie eksploatacyjne (długoterminowe)

zachodzące podczas eksploatacji nawierzchni drogowych [2]. Do badania starzenia zastosowano metodę laboratoryjną RTFOT symulującą dobrze zmiany fizyczne i chemiczne asfaltu podczas krótkotrwałego starzenia w podwyższonej temperaturze [3]. Oprócz takich parametrów, jak czas i temperatura na przebieg procesów starzenia mają wpływ różnego rodzaju dodatki coraz częściej dodawane do asfaltu. Dodatek gumy do asfaltu opóźnia starzenie dzięki obecności w gumie inhibitorów utleniania [4]. Zwiększenie grubości powłoki lepiszcza gumowo-asfaltowego na powierzchni ziaren kruszywa w mieszance mineralno-asfaltowej wpływa na zmniejszenie procesu starzenia tego lepiszcza [5]. Starzenie lepiszczy asfaltowych z dodatkami parafinowymi jest inne niż asfaltów tradycyjnych i zachodzi głównie w zakresie starzenia krótkotrwałego [6].

## 2. Charakterystyka badanego materiału

Do wykonania badań użyto asfaltu zwykłego 50/70 spełniającego wymagania normy PN-EN 12591. Próbkę do badań zostały pobrane zgodnie z wymaganiami PN-EN 58 i przygotowane do badań w sposób zgodny z PN-EN 12594. Do modyfikacji asfaltu zastosowano



miał gumowy o uziarnieniu  $0\pm 0,8$  mm pochodzący ze zużytych opon samochodowych oraz wosk syntetyczny produkowany metodą Fischera-Tropscha.

### 3. Przebieg badania

W celu określenia wpływu gumy i wosku syntetycznego na właściwości asfaltu 50/70 wykonano 6 serii badawczych. Próbkę asfaltu przygotowano do badań zgodnie z PN-EN 12594, a następnie mieszano w różnych proporcjach z gumą i woskiem syntetycznym. Gumę w postaci miazgi dodawano do asfaltu w ilościach: 10% i 15% w stosunku do całkowitej masy spoiwa. Wosk syntetyczny w postaci granulek dodawano do asfaltu w ilościach: 1% i 2%, w stosunku do całkowitej masy spoiwa. Mieszanie asfaltu 50/70, gumy i wosku syntetycznego ogrzewano do temperatury  $180^{\circ}\text{C}$ , a następnie wszystkie składniki mieszano przez 5 minut szybkoobrotowym mieszadłem. Podczas mieszania pojemniki z próbkami umieszczano w specjalnym termosie po to, aby ograniczyć straty ciepła. Po wymieszaniu tak przygotowaną mieszkankę ogrzewano w suszarce w temperaturze  $180^{\circ}\text{C}$  przez 60 minut. Po zakończonym procesie wygrzewania wykonano następujące badania:

- penetracji w temperaturze  $25^{\circ}\text{C}$  wg PN-EN 1426,
- temperatury mięknięcia metodą „pierścień i kula” wg PN-EN1427,
- temperatury łamliwości Fraassa wg PN-EN 12593,
- nawrotu sprężystego w temperaturze  $25^{\circ}\text{C}$  wg PN-EN 13398,
- oznaczanie siły rozciągania dla asfaltów modyfikowanych wg PN-EN 13589,
- oznaczenie lepkości dynamicznej wg PN-EN 13302,
- starzenia technologicznego RTFOT,
- po zakończeniu starzenia technologicznego RTFOT powtórzone wszystkie w/w badania.

### 4. Wpływ gumy i wosku syntetycznego na parametry asfaltu 50/70 po starzeniu RTFOT

Analizę uzyskanych wyników badań wykonano z wykorzystaniem analizy wariancji ANOVA dla układów trójczynnika w programie Statistica. Zbadano efekt interakcji czyli współdziałanie analizowanych czynników. Interakcja oznacza wpływ jednego czynnika na wartości przyjmowane przez drugi czynnik. Pionowe słupki oznaczają 0,95 przedziały ufności. Z wykresów przedstawionych na rysunku 1 wynika, że lepiszcze modyfikowane miazgą gumową i woskiem syntetycznym charakteryzuje się zmianami starzeniowymi zależnymi od zawartości modyfi-

katora. Im więcej gumy w lepiszczu i wosku syntetycznego, tym mniejsza zmiana penetracji. Wystąpiło tutaj interesujące zjawisko, gdyż przed starzeniem penetracja wraz ze wzrostem zawartości gumy maleje, a po starzeniu wartość penetracji wraz ze wzrostem zawartości gumy rośnie. Wszystkie uzyskane efekty w tym badaniu są istotne statystycznie, a jedynie pomiędzy zawartością gumy i woskiem syntetycznym nie występuje interakcja. Z wykresów przedstawionych na rysunku 2 wynika, że im więcej gumy w lepiszczu, tym mniejszy wzrost temperatury mięknięcia po starzeniu RTFOT. Wraz ze wzrostem zawartości gumy w lepiszczu wzrasta temperatura mięknięcia tego lepiszcza. Wszystkie efekty są istotne statystycznie i pomiędzy wszystkimi czynnikami występuje interakcja. W wyniku starzenia technologicznego RTFOT dla asfaltu modyfikowanego tylko gumą występuje nieznaczne obniżenie indeksu penetracji, (rys. 3) Dodatek wosku bardzo wyraźnie wpływa na podwyższenie indeksu penetracji oraz temperaturowego zakresu plastyczności TZP, (rys. 4).

Pod wpływem starzenia technologicznego następuje obniżenie temperatury łamliwości Fraassa. Najkorzystniejsze wyniki uzyskano podczas modyfikacji asfaltu 15% zawartością miazgi gumowej oraz 1% zawartością wosku syntetycznego, (rys. 5). Dla temperatury łamliwości nie występuje interakcja pomiędzy starzeniem i zawartością gumy ani zawartością wosku syntetycznego. Wszystkie pozostałe efekty są istotne statystycznie. Nawrót sprężysty po starzeniu RTFOT przy zawartości gumy w lepiszczu 10-15% jest dużo wyższy niż przed starzeniem. Starzenie wpłynęło na polepszenie właściwości nawrotu sprężystego. Dodatek wosku do lepiszcza gumowo-asfaltowego przed starzeniem wpływa na podwyższenie wartości nawrotu sprężystego a po starzeniu następuje nieznaczne jego obniżenie, (rys.6). Jednowymiarowe testy istotności dla nawrotu sprężystego wykazały, że jedynymi istotnymi efektami okazały się efekty oddziaływania gumy oraz efekt interakcji pomiędzy badaniem RTFOT a woskiem syntetycznym.

Starzenie RTFOT wpływa na wzrost wartości maksymalnej siły zrywającej próbkę. Im więcej gumy i wosku w lepiszczu, tym większa wartość siły zrywającej. Wzrost ten jest jednak wolniejszy niż w przypadku lepiszcza przed starzeniem, a w przypadku lepiszcza z 2% zawartością wosku nastąpiło nawet obniżenie wartości siły zrywającej próbkę, (rys. 7). Analizując rysunki 8-9. można stwierdzić, że w temperaturach  $60^{\circ}\text{C}$  i  $90^{\circ}\text{C}$  wraz ze wzrostem w lepiszczu

zawartości modyfikatora w postaci gumy i wosku syntetycznego następuje wzrost lepkości tego lepiszcza. Starzenie technologiczne RTFOT wpływa znacząco na wzrost lepkości dynamicznej (usztywnienie lepiszcza w temperaturach eksploatacyjnych). Im więcej gumy w lepiszczu, tym mniejsze są różnice pomiędzy lepkościami przed i po RTFOT. W temperaturze 135°C wraz ze wzrostem zawartości gumy w lepiszczu następuje wzrost lepkości tego lepiszcza. Badanie RTFOT wpływa na znaczny wzrost lepkości lepiszcza modyfikowanego gumą. Dodatek wosku syntetycznego przy 10% zawartości gumy w lepiszczu powoduje nie znaczne obniżenie lepkości występujące zarówno przed, jak i po badaniu RTFOT. Przy większej zawartości gumy w lepiszczu wynoszącej 15% wpływ starzenia technologicznego RTFOT na wzrost lepkości lepiszcza jest zdecydowanie mniejszy.

Testy istotności lepkości dynamicznej w temperaturze 60°C i 135°C wykazały, że wszystkie efekty oddziaływania: gumy, wosku syntetycznego oraz interakcje pomiędzy gumą a woskiem są istotne statystycznie. W temperaturze 90°C jedynym nieistotnym efektem okazała się interakcja pomiędzy RTFOT a gumą.

### Wnioski

Przeprowadzone badania laboratoryjne i analizy pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków:

1. Starzenie lepiszcza modyfikowanego gumą oraz gumą i woskiem syntetycznym powoduje niekorzystny wzrost temperatury łamliwości tego lepiszcza. Dodatek wosku syntetycznego wpływa korzystnie ponieważ obniża temperaturę łamliwości.
2. Starzenie powoduje obniżenie penetracji lepiszcza gumowo-asfaltowego. Wzrost zawartości gumy wpływa na zmniejszenie spadku penetracji po starzeniu. Dodatek wosku obniża penetrację i wpływa na zmniejszenie zróżnicowania po starzeniu.
3. Dodatek gumy przyczynia się do mniejszej wrażliwości termicznej asfaltu, powoduje wzrost wartości indeksu penetracji oraz temperaturowego zakresu plastyczności. Dodatek wosku wpływa na wzrost tych wartości. Starzenie wpływa na obniżenie indeksu penetracji. Obniżenie indeksu penetracji nie jest duże i lepiszcze wykazuje w dalszym ciągu korzystne dodatnie wartości indeksu penetracji.
4. Analizowane lepiszcza charakteryzują się wysokim korzystnym nawrotem sprężystym. Starzenie asfaltu z gumą nie obniżyło nawrotu sprężystego, ale wpłynęło na dalszy jego wzrost. Dodatek wosku usztywnia lepiszcze i wpływa nieznacznie na obniżenie nawrotu sprężystego.

5. Starzenie wpływa na zwiększenie siły zrywającej próbkę. Wraz ze wzrostem zawartości gumy maleje zróżnicowanie pomiędzy wielkością siły zrywającej próbkę, przed i po RTFOT.
6. Starzenie asfaltu modyfikowanego gumą podwyższa lepkość dynamiczną tego lepiszcza. Przy niskiej zawartości gumy w lepiszczu wynoszącej 10% zróżnicowanie jest duże. Wraz ze wzrostem zawartości gumy zróżnicowanie to maleje. Dodatek wosku syntetycznego w temperaturach 60°C i 90°C wpływa na wzrost lepkości, a w temperaturze 135°C powoduje nieznaczny jej spadek.
7. Większą odpornością na starzenie charakteryzują się lepiszcza zawierające więcej dodatku gumowego. Mniejsza zawartość dodatku gumowego wpływa na wzrost zmian starzeniowych.