Politechnika Świętokrzyska
Wydział Budownictwa i Architektury

Kielce, grudzień 2017

Doktorant: **mgr inż. Ryszard Orzechowski**
Promotor: **prof. dr hab. inż. Marek Iwański**

# WPŁYW GUMY I WOSKU SYNTETYCZNEGO F-T NA TRWAŁOŚĆ MIESZANKI SMA

## STRESZCZENIE

Ciągły wzrost przewożonych ładunków transportem samochodowym powoduje, że trwałość nawierzchni drogowych jest niezwykle istotnym zagadnieniem. Najbardziej narażonymi warstwami nawierzchni drogowej na oddziaływania czynników zewnętrznych są warstwy ścieralne.

Jednym z rozwiązań wpływającym na poprawę właściwości asfaltów stosowanych do wykonania tych warstw jest ich modyfikacja gumą pochodzącą ze zużytych opon samochodowych. Zastosowanie gumy pozwala ponadto zagospodarować rosnącą ilość składowanych opon, które stanowią na całym świecie poważny problem zagrażający środowisku naturalnemu. Ze względu na wyższą lepkość lepiszczy gumowo-asfaltowych oraz wyższą temperaturę wytwarzania mieszanek z tymi lepiszczami (w porównaniu z mieszankami tradycyjnymi) istnieje konieczność stosowania do tych lepiszczy odpowiednich dodatków w celu obniżenia temperatur technologicznych. Jedną z metod osiągnięcia tego celu może być zastosowanie dodatkowego modyfikatora w postaci wosku syntetycznego F-T, który wpływa na obniżenie lepkości lepiszcza.

Podczas wytwarzania i stosowania tego rodzaju asfaltów występują utrudnienia, które w bardzo poważnym stopniu ograniczają ich stosowanie. Do najważniejszych utrudnień można zaliczyć: konieczność instalowania specjalnych urządzeń w wytwórni mieszanek mineralno-asfaltowych do modyfikacji asfaltu gumą oraz wysoką lepkość lepiszcza gumowo-asfaltowego w temperaturach technologicznych.

Celem pracy było zbadanie wpływu gumy pochodzącej ze zużytych opon samochodowych i wosku syntetycznego F-T na trwałość mieszanki SMA oraz wykazanie współdziałania pomiędzy tymi materiałami. Do wytwarzania lepiszcza zastosowano: asfalt 50/70, miał gumowy o uziarnieniu od 0 do 0,8 mm oraz wosk syntetyczny F-T. Miał gumowy pochodził ze zużytych opon samochodowych i został uzyskany w procesie mielenia tych opon metodą mechaniczną. W oparciu o badania nawrotu sprężystego lepiszcza opracowano wytyczne umożliwiające dobór parametrów homogenizacji, tj. czasu mieszania oraz intensywności mieszania gumy z asfaltem, aby uzyskać lepiszcze modyfikowane gumą o pożądanych właściwościach.

W celu oznaczenia wpływu gumy i wosku syntetycznego F-T na właściwości asfaltu 50/70 opracowano plan doświadczenia składający się z 15 serii badawczych. Gumę w postaci miału dodawano do rozgrzanego do temperatury 180°C asfaltu 50/70 w ilości od 0 do 20% w stosunku do całkowitej masy lepiszcza. Natomiast wosk syntetyczny F-T dodawano do asfaltu w ilości od 0 do 2% w stosunku do całkowitej masy lepiszcza. Po wymieszaniu wszystkich składników kontynuowano dalej ogrzewanie, aż do uzyskania temperatury 180±5°C. Następnie wszystkie składniki

homogenizowano przez 5 minut, za pomocą homogenizatora przy prędkości mieszadła 10000 obr/min. Po zakończeniu procesu dojrzewania wykonano badania: penetracji, temperatury mięknienia, temperatury łamliwości Fraassa, nawrotu sprężystego, siły rozciągania i lepkości dynamicznej w temperaturach: 60°C, 90°C, 135°C, 160°C i 180°C. Badania takie wykonano również po zakończeniu procesu starzenia technologicznego RTFOT dla wyselekcjonowanych sześciu lepiszczy asfaltowych modyfikowanych gumą i woskiem syntetycznym F-T. W oparciu o wykonane badania obliczono indeks penetracji i temperaturowy zakres plastyczności dla wszystkich badanych lepiszczy. Interpretacji uzyskanych wyników eksperymentu dokonano z zastosowaniem dwuczynnikowej i trójczynnikowej analizy wariancji ANOVA oraz za pomocą testu HSD Tukeya.

W wyniku wykonanych analiz zauważono, że modyfikacja asfaltu 50/70 samą tylko gumą wpływa korzystnie na właściwości lepiszcza, a jego odporność na zmiany starzeniowe zwiększa się wraz ze wzrostem zawartości gumy w tym lepiszczu. Modyfikacja zaś woskiem syntetycznym F-T nie wpływa w sposób istotny na pogorszenie odporności na starzenie. Wpływa natomiast korzystnie na jego właściwości obniżając temperatury technologiczne oraz powoduje wzrost jego sztywności w zakresie temperatur eksploatacyjnych nawierzchni.

Do wykonania mieszanki SMA zastosowano asfalt 50/70 modyfikowany gumą i woskiem syntetycznym F-T wytwarzany w temperaturze 180°C. Zawartość gumy w lepiszczu była zmieniana w przedziale od 12 do 18%, a zawartość wosku syntetycznego F-T w przedziale od 0 do 2%. Do utworzenia szkieletu mieszanki SMA zastosowano kruszywa z piaskowca kwarcytowego i kruszywa gabrowego. Jako kruszywo drobne zastosowano kruszywo dolomitowe. W celu określenia wpływu asfaltu 50/70 modyfikowanego gumą i woskiem syntetycznym F-T na trwałość mieszanki SMA wykonano dla tej mieszanki oznaczenia: zawartości wolnej przestrzeni, odporności na działanie wody i mrozu, sztywności i odporności na deformacje trwałe. Badania i ich analizę wykonano według planu centralnego kompozycyjnego rotalnego dla dziesięciu układów z dwukrotnym powtórzeniem doświadczenia w punkcie centralnym.

Zastosowanie asfaltu 50/70 modyfikowanego gumą do wytwarzania mieszanki SMA spowodowało wzrost jej sztywności i poprawiło odporność na deformacje trwałe. Z wykonanych analiz wynika, że odporność ta wzrasta ze wzrostem zawartości gumy w lepiszczu, ale tylko do określonej granicy po przekroczeniu której następuje zmniejszenie sztywności i pogorszenie odporności na deformacje trwałe. Dodatkowa modyfikacja woskiem F-T lepiszcza gumowo-asfaltowego wpłynęła na poprawę odporności na deformacje trwałe mieszanki SMA wykonanej z tym lepiszczem i spowodowała wzrost jej sztywności, tj. podwyższenie charakterystyk mechanicznych. Na podstawie wykonanych badań i analiz można stwierdzić, że asfalt 50/70 modyfikowany gumą i woskiem syntetycznym F-T korzystnie jest zastosować do wykonania mieszanki SMA do warstwy ścieralnej nawierzchni drogowej obciążonej ruchem KR5-KR7. Stosując ten rodzaj lepiszcza do mieszanki SMA można spowodować podwyższenie jej właściwości funkcjonalnych i wpłynąć na zwiększenie jej trwałości.

Na zakończenie sformułowano wnioski ogólne i szczegółowe oraz przedstawiono propozycje dotyczące dalszych badań.

# THE INFLUENCE OF RUBBER AND F-T WAX ON SMA MIXTURE DURABILITY


## SUMMARY

The continuous growth of loads transported by road makes the road surface durability an extremely important issue. The pavement layers most exposed to external influences are wearing courses.

One practical solution for improving the properties of asphalt used to produce wearing courses is to modify them with rubber from used car tires. The use of rubber also allows managing a growing volume of discarded tires, which are a serious environmental problem worldwide. Due to the higher viscosity of the rubber-asphalt binders and the higher production temperature of the mixtures with these binders (in comparison with traditional mixes), it is necessary to use suitable additives to the binders to reduce the process temperatures. One way to achieve this is to use an additional modifier in the form of F-T wax which reduces the viscosity of the binder.

During the manufacture and use of this type of asphalt, there are obstacles that severely limit its use. The most important obstacles include: the need to install special equipment in the asphalt mix plant for the modification of asphalt with rubber, and the high viscosity of the rubber-asphalt binder at process temperatures.

The aim of this study was to investigate the effect of waste car tire-derived rubber and F-T wax on the durability of the SMA mix and to demonstrate the interaction between these materials. The materials used to produce the binder included asphalt 50/70, rubber powder with a particle size in the range 0 to 0.8 mm and F-T wax. Rubber was derived from worn car tires by mechanical grinding. Results from the tests for elastic recovery of the binder were used to develop the guidelines for selecting homogenization parameters, i.e., mixing time and asphalt-rubber mixing intensity to obtain a rubber modified binder with desired properties.

An experiment plan consisting of 15 research series was developed to evaluate the effect of rubber and F-T wax on the properties of asphalt 50/70. The rubber powder was added to the asphalt 50/70 heated to 180°C at 0 to 20% relative to the total weight of the binder. The F-T synthetic wax was added to the asphalt from 0 to 2% relative to the total weight of the binder. After mixing all the ingredients, heating continued until the temperature was 180±5°C. All ingredients were then homogenized for 5 minutes with a homogenizer at a stirrer speed of 10,000 rpm. At the end of the hardening process, penetration, softening point, Fraass breaking point, elastic recovery, tensile force and dynamic viscosity were measured at temperatures of 60°C, 90°C, 135°C, 160°C and 180°C. These tests were also performed after the RTFOT technological aging process for selected six rubber and F-T wax modified binders. The results of the tests were used to calculate the penetration index and the plasticity temperature range for all tested binders. Interpretation of the results of the experiment was performed using two-way and three-way analyses of variance ANOVA and Tukey's HSD test.

The analyses indicate that the modification of asphalt 50/70 with rubber alone has a positive effect on the properties of the binder, and its resistance to ageing-related changes increases with increasing rubber content in the binder. Modification with F-T wax does not significantly lower the aging resistance of the asphalt, but has a favorable

effect on its properties, lowering the process temperature and increasing its stiffness in the pavement service temperature range.

SMA mixtures modified with rubber and F-T wax were prepared at 180°C. The rubber content in the binder was varied between 12 and 18% and the F-T wax content ranged from 0 to 2%. Quartz sandstone aggregate and gabbro aggregate were used to make the skeleton of the mixture. Dolomite aggregate was used as fine aggregate. In order to determine the effect of asphalt 50/70 modified with rubber and F-T wax on the durability of the SMA mixture, the air void content, moisture and frost resistance, stiffness and resistance to permanent deformation were determined for this mixture. The tests and analyses were performed according to the central composite rotatable design for ten designs with a double repetition of the experiment at the central point.

The use of rubber modified asphalt 50/70 in the SMA mix increases its stiffness and improved its resistance to permanent deformation. The analyses show that this resistance increases with the increase in the rubber content in the binder but only to a certain limit beyond which the stiffness and the resistance to permanent deformation decrease. Additional modification of rubber-asphalt binders with F-T wax improved the resistance to permanent deformation of the SMA with this binder and increased its stiffness, i.e., improved the mechanical characteristics. This study and analyses demonstrated that asphalt 50/70 modified with rubber and F-T wax is suitable for the application in the SMA mixture designed for the KR5-KR7 traffic load pavement. This SMA mixture with this binder will perform better and will have increased durability.

Finally, general and detailed conclusions were formulated, along with the suggestions for further research in this field.

Ryszard Orzechowski