

Mieczysław SŁOWIK¹
Marta MIELCZAREK²
Marcin BILSKI³
Damian WIŚNIEWSKI⁴

OCENA WPŁYWU ZAWARTOŚCI ELASTOMERU SBS NA WARTOŚCI PARAMETRÓW CHARAKTERYZUJĄCYCH ODPORNOŚĆ NA ODKSZTAŁCENIA TRWAŁE ASFALTÓW MODYFIKOWANYCH

W pracy przedstawiono wyniki oznaczeń zespolonego modułu ścinania $|G^*|$ oraz kąta przesunięcia fazowego δ wykonanych za pomocą reometru dynamicznego ścinania (DSR) w zakresie temperatury, tj. od 100°C do 40°C. Badaniom poddano asfalty ponaftowe pochodzące z dwóch różnych źródeł ropy naftowej - rosyjskiej i wenezuelskiej. Asfalty te modyfikowano poprzez komponowanie z koncentratem asfaltu modyfikowanego kopolimerem SBS (stężenie kopolimeru SBS równe 9%). W pracy podjęto próbę wyznaczenia równoważnej temperatury lepiszcza, opisującej odporność na powstawanie odkształceń trwałych, wg metodyki SHRP. Na podstawie wyznaczonych wartości wskaźnika odkształcalności $|G^*|/\sin\delta$, obliczono temperaturę równoważną, w której badany asfalt osiągnął wartości tego parametru zgodne z wymaganiami Superpave, zarówno przed, jak i po procesie starzenia metodą RTFOT. Przyrost zawartości kopolimeru SBS w asfaltach modyfikowanych powoduje zwiększenie ich temperatury równoważnej zarówno przed jak i po starzeniu metodą RTFOT. Zaobserwowano istotną różnicę w wartościach temperatury równoważnej dla asfaltów rosyjskich i wenezuelskich o zawartości kopolimeru SBS równej 6%, co może świadczyć o zmianach w strukturze kopolimeru podczas starzenia metodą RTFOT. Porównując zespolony moduł ścinania wszystkich badanych asfaltów można stwierdzić, iż wraz ze wzrostem zawartości kopolimeru SBS w badanym lepiszczu zwiększa się wartość $|G^*|$, co może wskazywać na większą odporność na odkształcenia trwałe nawierzchni asfaltowej.

Słowa kluczowe: reometr dynamicznego ścinania (DSR), lepiszcze asfaltowe, kopolimer SBS, właściwości reologiczne, wskaźnik odkształcalności

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Mieczysław Słowik, Politechnika Poznańska, Instytut Inżynierii Lądowej, ul. Piotrowo 5, 61-138 Poznań, tel. 61 665-2478, mieczyslaw.slowik@put.poznan.pl

² Marta Mielczarek, Politechnika Poznańska, Instytut Inżynierii Lądowej ul. Piotrowo 5, 61-138 Poznań, 61 665-3487, marta.mielczarek@put.poznan.pl

³ Marcin Bilski, Politechnika Poznańska, Instytut Inżynierii Lądowej, ul. Piotrowo 5, 61-138 Poznań, 61 665-3485, marcin.bilski@put.poznan.pl

⁴ Damian Wiśniewski, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Katedra Inżynierii Drogowej i Transportu, Al. Profesora Sylwestra Kaliskiego 7, 85-79 Bydgoszcz, 52 340-8447, damian.wisniewski@utp.edu.pl

1. Wprowadzenie

Nowo powstającym nawierzchniom drogowym wykonywanym z mieszanek mineralno-asfaltowych stawia się coraz większe wymagania, wynikające z potrzeby zapewnienia dostatecznej trwałości w trudnych warunkach ich eksploatacji [7]. Przyrost natężenia ruchu samochodowego jest spowodowany dużymi potrzebami przewozu towarów i osób. Przyczynia się to w dużym stopniu do degradacji nawierzchni drogowych. Nawierzchnie wykonane z mieszanek mineralno-asfaltowych (MMA) muszą charakteryzować się dobrą odpornością na powstawanie odkształceń trwałych w wysokiej temperaturze [1], odpornością na powstawanie spękań w niskiej temperaturze, odpornością na zmęczenie przy wielokrotnie powtarzającym się obciążeniu oraz odpornością na działanie wody i mrozu. Skład MMA odgrywa ogromne znaczenie, a w szczególności właściwości zastosowanego lepiszcza asfaltowego tj. kohezja, lepkość, sprężystość, sztywność oraz przyczepność (adhezja) do kruszyw mineralnych [4]. Jednym ze sposobów poprawy właściwości lepiszczy jest ich modyfikacja poprzez wprowadzenie odpowiednich dodatków. Obecnie najczęściej stosuje się polimery, a w szczególności elastomery, które poprawiają właściwości sprężyste asfaltów, czego efektem jest ograniczenie intensywnego powstawania odkształceń trwałych w nawierzchniach asfaltowych. Obecnie wg SHRP (Strategic Highway Research Program) do badań asfaltów stosuje się metody w których ocenia się właściwości reologiczne asfaltów wykorzystując m.in. reometr zginanej belki BBR (Beam Bending Rheometer), duktylometr z możliwością pomiaru siły [6] oraz reometr dynamicznego ścinania DSR (Dynamic Shear Rheometer).

Trwałość nawierzchni asfaltowych zależy w dużym stopniu od przebiegu procesów starzeniowych. Badane w pracy lepiszcza asfaltowe poddano starzeniu krótkookresowemu metodą RTFOT (Rolling Thin Film oven Test). Odporność na starzenie MMA określa wiele czynników, jednak duże znaczenie odgrywa rodzaj zastosowanego lepiszcza asfaltowego. Lepiszczasfaltowe ulegają starzeniu wraz z upływem czasu, począwszy od etapu produkcji. Efektem tego jest ztwardnienie asfaltu, co zmienia istotnie jego właściwości reologiczne [5].

Autorzy [2,3] przedstawili propozycję niestandardowych metod oceny odporności lepiszczy na deformacje trwałe poprzez badania w reometrze dynamicznego ścinania, co potencjalnie daje możliwość szacowania podatności na deformacje MMA, w szczególności przy zmianie rodzaju (lub producenta) asfaltu użytego w mieszance mineralno-asfaltowej.

2. Charakterystyka badanych lepiszczy asfaltowych

Modyfikacja asfaltów kopolimerem SBS najczęściej odbywa się w rafineriach, rzadziej zaś w instalacjach koncernów drogowych. Producenci MMA, w których ma być zastosowany asfalt modyfikowany, mają trzy możliwości pozyskania tego materiału [7]. Pierwsza to zakup gotowego lepiszcza z rafinerii.

Druga możliwość to samodzielna produkcja asfaltu modyfikowanego w specjalnej instalacji technologicznej. Natomiast trzecia to zakup asfaltu o znanej zawartości masowej kopolimeru SBS np. 9% [7].

Badania wykonano wykorzystując asfalty niemodyfikowane 50/70 o jednokowej twardości, wyprodukowane z wenezuelskiej oraz rosyjskiej ropy naftowej. Asfalty połączono z koncentratem dziewięcioprocentowym asfaltu modyfikowanego kopolimerem SBS, poprzez wymieszanie w proporcjach 5:1, 2:1, 1:1 oraz 1:2 otrzymując odpowiednio 1,5%; 3,0%; 4,5% i 6,0% kopolimeru styren-butadien-styren (w stosunku do masy otrzymanego asfaltu modyfikowanego). Badane lepiszcza asfaltowe oznakowano w pracy poprzez podanie pochodzenia asfaltu, a następnie zawartości procentowej kopolimeru SBS, np.:

- V3,0%SBS – oznacza asfalt wyprodukowany z wenezuelskiej ropy naftowej o zawartości 3,0% kopolimeru SBS,
- R50/70 – oznacza asfalt 50/70 pochodzący z rosyjskiej ropy naftowej, nie zawierający kopolimeru SBS,
- K9,0%SBS – koncentrat asfaltu modyfikowanego zawierający 9,0% SBS; wyprodukowany z asfaltu 160/220 z rosyjskiej ropy naftowej.

Analizie zostały poddane asfalty zarówno w stanie wyjściowym, jak i po procesie starzenia technologicznego, symulowanego metodą RTFOT wg PN-EN 12607-1:2014 "Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczanie odporności na starzenie pod wpływem ciepła i powietrza - Część 1: Metoda RTFOT".

Dobór badanych lepiszczy asfaltowych nie był przypadkowy (tab.1). Głównym założeniem było uzyskanie asfaltów o zbliżonej twardości, wyrażonej poprzez penetrację w 25°C, która zawiera się w przedziale od 59,9·0,1mm do 74,3·0,1mm. Wszystkie badane asfalty można więc zakwalifikować do klasy asfaltów modyfikowanych 45/80.

Tabela 1. Podstawowe właściwości badanych asfaltów

Table 1. The basic properties of the tested bitumen

Pochodzenie	V (wenezuelski)					R (rosyjski)					K
% SBS	0	1,5	3,0	4,5	6,0	0	1,5	3,0	4,5	6,0	9,0
T _{PIK} [°C]	55,0	51,0	60,5	84,5	90,8	49,2	49,7	73,5	88,5	93,5	99,8
Pen ₂₅ [0,1mm]	66,2	66,4	70,0	63,1	64,8	59,9	63,1	67,2	68,8	74,3	74,3

gdzie: T_{PIK} -temperatura mięknięcia wg PN-EN 1427:2015-08, Pen₂₅ - penetracja w 25°C wg PN-EN1426:2015-08

3. Cel i zakres badań

Głównym celem badań jest ocena wpływu zawartości elastomeru SBS na wartości parametrów charakteryzujących odporność na odkształcenia trwałe asfaltów modyfikowanych na podstawie badań przeprowadzonych przy pomocy reometru dynamicznego ścinania DSR z uwzględnieniem zjawiska starzenia

technologicznego. Badania lepiszczy asfaltowych przeprowadzono przy kinematycznym wymuszeniu oscylacyjnym w zakresie temperatur od 100°C do 40°C, przy stałej częstotliwości kątowej równej 10 rad/s.

4. Metodyka badań

Badanie przeprowadzono wykorzystując reometr dynamicznego ścinania Physica MCR 101. Temperatura utrzymywana była przez okres badania w zadanym zakresie, tj. od 100°C do 40°C, przy czym co 1 min następowało obniżenie temperatury o 1°C. Badanie przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN 14770:2012 „Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczenie zespolonego modułu ścinania i kąta przesunięcia fazowego wykonano w reometrze dynamicznego ścinania (DSR)” stosując wymuszenie kinematyczne (sinusoidalne) o amplitudzie kąta wychYLENIA równej 10 mrad. W normie opisano procedurę oznaczania właściwości reologicznych lepiszczy asfaltowych, tj. zespolonego modułu ścinania $|G^*|$ oraz kąta przesunięcia fazowego δ . Próbkę lepiszcza asfaltowego umieszczano pomiędzy dwiema okrągłymi płytkami o średnicy płytki ruchomej Ø25mm (płytką nieruchomą o średnicy Ø60mm), przy zachowaniu zadanej wysokości szczeliny równej 1 mm.

Wyniki badań uzyskane w ramach programu SHRP wskazują na związek pomiędzy odpornością na powstawanie odkształceń trwałych w nawierzchniach asfaltowych, a właściwościami badanych lepiszczy oznaczonych w reometrze DSR i wprowadzają następujące wymagania:

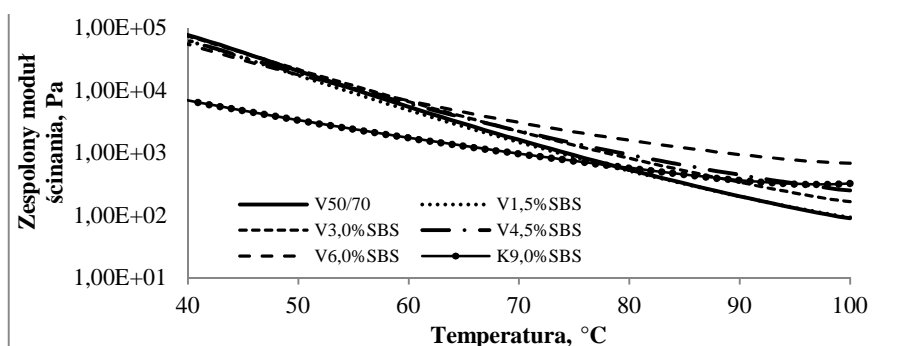
$|G^*|/\sin\delta \geq 1,0$ kPa - dla asfaltu niepoddanego starzeniu

$|G^*|/\sin\delta \geq 2,2$ kPa - dla asfaltu poddanego starzeniu technologicznemu symulowanemu metodą RTFOT.

W pracy wyznaczono temperaturę równoważną, którą przyjęto jako najwyższą temperaturę, w której spełnione są uprzednio wymienione wymagania.

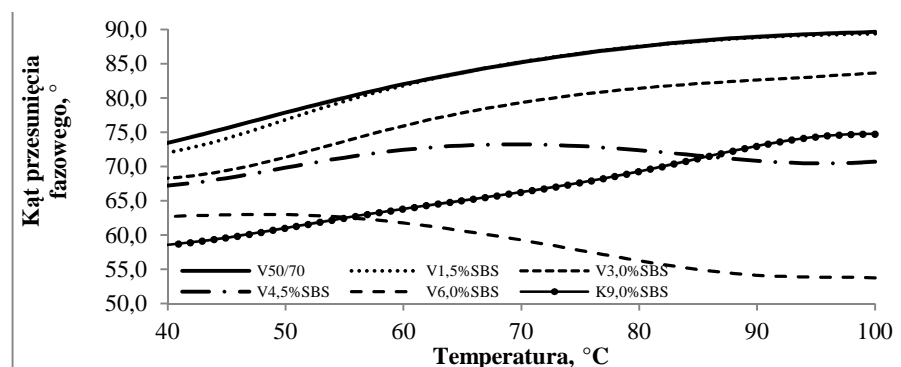
5. Analiza wyników badań

W badaniach wyznaczono wskaźnik odkształcalności definiowany jako stosunek zespolonego modułu ścinania $|G^*|$ do sinusa kąta przesunięcia fazowego ($|G^*|/\sin\delta$). Zgodnie z Superpave uznaje się, że istnieje zależność pomiędzy wskaźnikiem ($|G^*|/\sin\delta$) wyznaczonym dla lepiszczy asfaltowych, a odpornością na odkształcenia trwałe warstwy asfaltowej ułożonej w nawierzchni drogowej. Na rys. 1-4 przedstawiono przykładowe wykresy zależności zespolonego modułu ścinania $|G^*|$ i kąta przesunięcia fazowego δ od temperatury badanych lepiszczy asfaltowych pochodzenia wenezuelskiego, zarówno asfaltów niepoddanych starzeniu, jak i po procesie starzenia RTFOT.



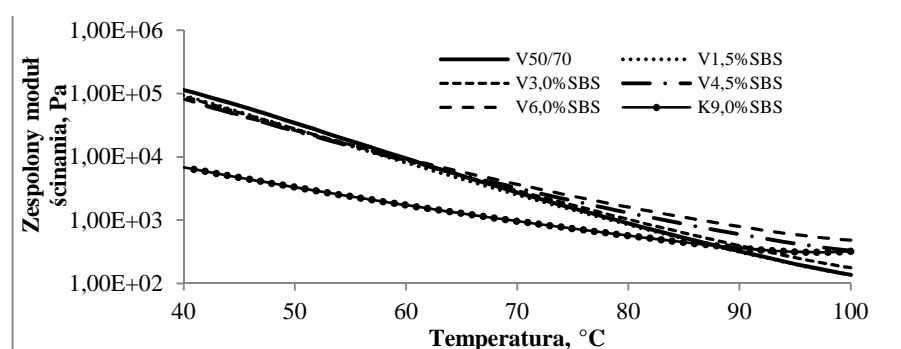
Rys.1. Wykres zależności zespolonego modułu ścinania $|G^*|$ od temperatury dla asfaltów pochodzenia wenezuelskiego niepoddanych starzeniu

Fig. 1. Dependence between complex shear modulus and temperature related to unaged Venezuelan bitumens



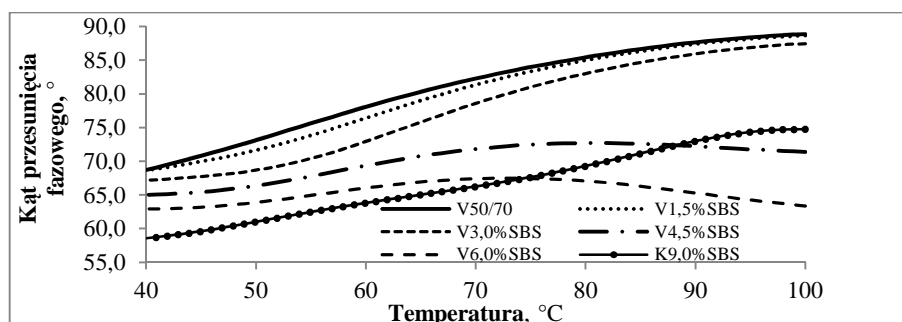
Rys.2. Wykres zależności kąta przesunięcia fazowego od temperatury dla asfaltów pochodzenia wenezuelskiego niepoddanych starzeniu

Fig. 2. Dependence between phase angle and temperature related to unaged Venezuelan bitumens



Rys.3. Wykres zależności zespolonego modułu ścinania $|G^*|$ od temperatury dla asfaltów pochodzenia wenezuelskiego poddanych starzeniu RTFOT

Fig. 3. Dependence between complex shear modulus and temperature related to Venezuelan bitumens aged by RTFOT method

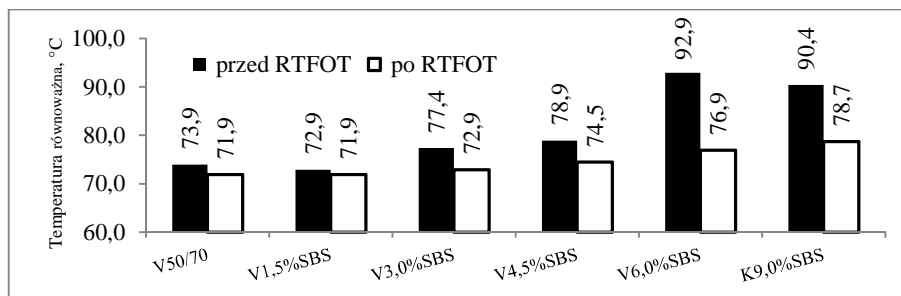


Rys.4. Wykres zależności kąta przesunięcia fazowego od temperatury dla asfaltów pochodzenia wenezuelskiego poddanych starzeniu RTFOT

Fig. 4. Dependence between phase angle and temperature related to Venezuelan bitumens aged by RTFOT method

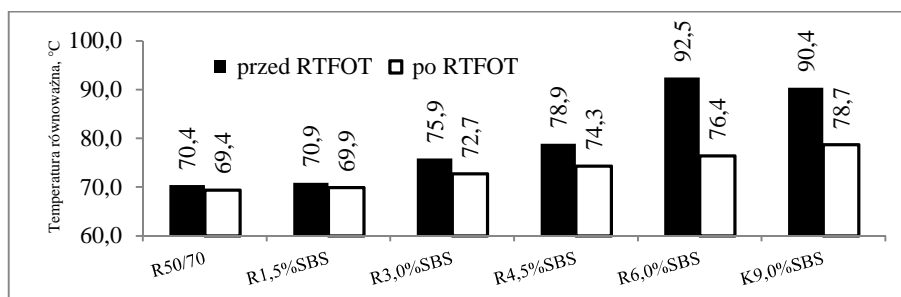
Większą wartość wskaźnika odkształcalności asfaltu charakteryzującego odporność na odkształcenia trwale nawierzchni asfaltowych uzyskuje się poprzez większą wartość zespolonego modułu ścinania $|G^*|$ i mniejszą wartość kąta przesunięcia fazowego δ . Podczas badań zaobserwowano, iż w przypadku asfaltów referencyjnych V50/70 i R50/70 oraz asfaltów o zawartości kopolimeru SBS do 3%, występuje prawidłowość, że im większe wartości zespolonego modułu ścinania, tym mniejsze wartości kąta przesunięcia fazowego δ . W przypadku asfaltów o zawartości kopolimeru SBS 6% i 9% uzyskuje się małe wartości kąta przesunięcia fazowego, zarówno przy bardzo małych, jak i przy dużych wartościach zespolonego modułu ścinania $|G^*|$. Największą zmienność wartości kąta przesunięcia fazowego zaobserwowano dla asfaltów referencyjnych 50/70 oraz asfaltów o zawartości kopolimeru do 3%. Wartości te w wysokich temperaturach są bliskie 90° można więc uznać, że lepszczą te w zakresie wysokich temperatur mają właściwości zbliżone do cieczy lepkiej. Zwiększenie zawartości kopolimeru SBS w asfalcie powoduje, że zróżnicowanie wartości δ jest coraz mniejsze. Powyżej pewnej temperatury ($>70^\circ\text{C}$) następuje zmniejszenie wartości δ w przypadku asfaltów o zawartości SBS 4,5%; 6% i 9%.

Zgodnie z metodyką SHRP podatność lepszczą asfaltowego na odkształcenia trwale w wysokiej temperaturze określano za pomocą wskaźnika odkształcalności $|G^*|/\sin\delta$. Zgodnie z tymi założeniami wyznaczono temperatury równoważne badanych lepszczy (rys. 5 i 6). Najniższą temperaturę równoważną uzyskał asfalt R50/70, natomiast najwyższą V6%SBS (równą $92,9^\circ\text{C}$). W asfaltach o małej zawartości kopolimeru SBS zaobserwowano niewielki spadek temperatury przed i po procesie starzenia RTFOT. Jednak wśród asfaltów o większej zawartości elastomeru SBS największe różnice zauważono dla asfaltu R6%SBS, spadek $16,1^\circ\text{C}$; co może świadczyć o zmianach w strukturze kopolimeru SBS podczas starzenia metodą RTFOT. W Polsce za ekstremalną temperaturę w okresie letnim uznaje się 60°C , można więc stwierdzić, iż wszystkie badane asfalty spełniają te warunki z dużym zapasem.



Rys. 5. Wartości temperatury równoważnej dla asfaltów pochodzenia wenezuelskiego

Fig. 5. List of equivalent temperature related to the bitumen of Venezuelan origin



Rys. 6. Wartości temperatury równoważnej dla asfaltów pochodzenia rosyjskiego

Fig. 6. List of equivalent temperature related to the bitumen of Russian origin

Decydujące dla określenia temperatury równoważnej okazało się kryterium uwzględniające właściwości asfaltów poddanych starzeniu symulowanemu metodą RTFOT.

6. Wnioski

Przyrost zawartości kopolimeru SBS w badanym lepiszczu powoduje zwiększenie wartości $|G^*|$, co może świadczyć o większej odporności na odkształcenia trwałe nawierzchni asfaltowej.

Przy określaniu temperatury równoważnej badanych asfaltów decydującym było kryterium uwzględniające właściwości asfaltów poddanych starzeniu krótkookresowemu symulowanemu metodą RTFOT.

Zwiększenie zawartości kopolimeru SBS powoduje przyrost temperatury równoważnej badanych lepiszczy.

Istotna różnica pomiędzy wartościami temperatury równoważnej dla asfaltów o zawartości kopolimeru SBS równej 6% może świadczyć o zmianach jakie zaszły w strukturze kopolimeru podczas starzenia metodą RTFOT.

Literatura

- [1] Bogdański B., Słowik M.: Analiza porównawcza odporności na koleinowanie mieszanek mineralno-asfaltowych z uwzględnieniem kryteriów oceny wg metody francuskiej (LCPC) i brytyjskiej (BS), Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna "Nowoczesne technologie w budownictwie drogowym", Poznań 2001, s. 300-309.
- [2] Cardone F., Ferrotti G., Frigio F., Canestrari F., Influence Of polymer modification on asphalt binder dynamic and steady flow viscosities, Construction and Building Materials 2014 nr 71, pp. 435-443.
- [3] Gajewski M., Wróbel A., Jemioło S., Sybilski D., Wpływ właściwości reologicznych lepiszcza na koleinowanie MMA. Logistyka 2010. nr 6.
- [4] Grabowski W., Słowik M. Badania właściwości reologicznych asfaltów drogowych modyfikowanych polimerami, Foundations of Civil and Environmental Engineering (2002) s. 5-36.
- [5] Radziszewski P., Wpływ modyfikacji elastomerem SBS na właściwości reologiczne lepiszczy asfaltowych" Polimery nr 7-8, 2008, s. 559-563.
- [6] Shenoy A., A dynamic oscillatory test that fulfills the objective of the elastic recovery test for asphalt binders, Materials and Structures, 2008, 41, pp. 1039-1049.
- [7] Słowik M.: Wybrane zagadnienia lepkości drogowych asfaltów modyfikowanych zawierających elastomer SBS, Rozprawy-Politechnika Poznańska, Poznań 2013.

ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF SBS ELASTOMER CONTENT ON PARAMETERS CHARACTERIZING RESISTANCE TO PERMANENT DEFORMATION OF MODIFIED BITUMEN

Summary

The paper presents the results of complex shear modulus $|G^*|$ and phase angle δ tests using a dynamic shear rheometer (DSR) at temperature range between 100°C and 40°C. The tests were conducted on bitumen from two different crude oil deposits - Russian and Venezuelan. These bitumens were modified through combining with modified bitumen concentrate of containing 9% of SBS copolymer. The research included an attempt of determining the equivalent temperature of binder that describes the resistance to permanent deformation, in accordance with SHRP methodology. The temperature at which tested binder reached the parameter value that complies with Superpave specification was calculated on the basis of the determined $|G^*|/\sin\delta$ rutting factor values. This temperature is relevant both before and after the short-term ageing, simulated with the RTFOT method. The higher SBS copolymer content the higher equivalent temperature of tested binders reached - both before and after the ageing process. A significant difference in equivalent temperatures (before and after RTFOT ageing process) was observed in the case of Russian and Venezuelan bitumens with 6% SBS copolymer content. This suggests that destruction of the copolymer occurs during the RTFOT ageing process. After comparing the complex shear modulus values of all types of tested bitumen, it may be concluded that the growth of SBS copolymer content affect the $|G^*|$ value increase. This may result in higher resistance to permanent deformation of asphalt pavement.

Keywords: dynamic shear rheometer (DSR), bitumen, copolymer SBS, rheological properties, rutting factor

Przesłano do redakcji: 07.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 30.06.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.89