

Analiza lepkości zerowego ścinania (ZSV) asfaltów modyfikowanych kopolimerem SBS

Mieczysław Słowik¹, Marta Andrzejczak²

^{1,2} Instytut Inżynierii Lądowej, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Poznańska, e-mail: 1mieczyslaw.slowik@put.poznan.pl, 2marta.andrzejczak@put.poznan.pl

Streszczenie: W pracy zaprezentowano wyniki oznaczeń lepkości zerowego ścinania (ZSV) wykonanych przy użyciu reometru dynamicznego ścinania (DSR). Badaniom poddano asfalty drogowe 50/70 pochodzące z dwóch różnych złóż ropy naftowej - rosyjskiej i wenezuelskiej. Asfalty modyfikowane uzyskano poprzez wymieszanie w/w asfaltów z koncentratem asfaltu modyfikowanego kopolimerem blokowym SBS (o stężeniu kopolimeru SBS równym 9%). Lepkość zerowego ścinania (ZSV) oznaczono dwiema metodami laboratoryjnymi: metodą pełzania przy stałym naprężeniu w zakresie od 10 Pa do 1000 Pa oraz metodą, w której zastosowano wymuszenie kinematyczne, sinusoidalne odkształcenie kątowe o stałej wartości amplitudy, o zmiennej częstotliwości kątowej w zakresie od 100 rad/s do 0,1 rad/s. Badania zostały przeprowadzone w stałej temperaturze 60°C. Lepkość zerowego ścinania (ZSV) oznaczona dwiema metodami dała zbliżone wartości dla asfaltów 50/70 niemodyfikowanych oraz niskomodyfikowanych (o zawartości kopolimeru SBS równej 1,5%). Uzyskane wartości lepkości zerowego ścinania dla asfaltów o większej zawartości kopolimeru SBS w asfalcie (zawartość kopolimeru 3,0%; 4,5%; 6,0%) dały zróżnicowane wyniki.

Słowa kluczowe: lepkość zerowego ścinania (ZSV), lepiszcze asfaltowe, reometr dynamicznego ścinania (DSR), kopolimer SBS, właściwości reologiczne

1. Wprowadzenie

Wzrost natężenia ruchu samochodowego jest spowodowany coraz większymi potrzebami przewozu zarówno towarów jak i osób. Zjawisko to przyczynia się do intensywnej degradacji nawierzchni drogowych. Odporność mieszanek mineralno-asfaltowej na niszczące działanie czynników zewnętrznych jest zależna od materiałów składowych tj. zastosowanego lepiszcza asfaltowego i kruszywa. Ważną rolę odgrywają właściwości zastosowanego asfaltu, do których zaliczamy: kohezję, lepkość, sprężystość oraz przyczepność do kruszyw mineralnych [1]. W związku z tym często poprawia się właściwości reologiczne asfaltów poprzez ich modyfikacje. Jednymi z najczęściej stosowanych modyfikatorów asfaltów są polimery, a w szczególności elastomery. W wyniku modyfikacji asfaltów zwiększa się wartość lepkości w wysokich temperaturach eksploatacyjnych, czego efektem jest ograniczenie intensywności powstawania odkształceń trwałych w nawierzchniach asfaltowych. Poprzez zastosowanie do modyfikacji elastomeru następuje polepszenie właściwości sprężystych, co w konsekwencji powoduje, że duża część powstałych odkształceń jest odwracalna. W dodatku asfalty modyfikowane polimerami charakteryzują się większym temperaturowym zakresem lepkością w porównaniu do asfaltów niemodyfikowanych [1]. W ostatnich latach do badań asfaltów stosuje się nowe metody wykorzystując w tym celu m.in. reometr zginanej belki (Beam Bending Rheometer),

duktylometr z możliwością rejestracji siły oraz reometr dynamicznego ścinania (Dynamic Shear Rheometer) [2]. Za pomocą reometru DSR można wyznaczyć lepkość zerowego ścinania (Zero Shear Viscosity - ZSV). ZSV jest stałą materiałową w danej ustalonej temperaturze [3]. W ostatnich latach przeprowadzono liczne badania asfaltów z wykorzystaniem reometru dynamicznego ścinania wyznaczając na podstawie różnych metod pomiarowych lepkość zerowego ścinania ZSV [3,4,5,6]. Giuliani [4] przeprowadził badania, w których próbkę asfaltu poddał działaniu naprężenia statycznego, o wartości dążącej do zera ($\tau = \tau_0 \rightarrow 0$) oraz długim czasie oddziaływania. Asfalt osiągnął warunki ustabilizowanego płynięcia. W związku z tym autor [4] wartość ZSV ekstrapolował i przestawił za pomocą modelu Burgers'a (równanie 1).

$$J(t) = J_0 + J_M(1 - e^{-\frac{t}{\lambda}}) + \frac{t}{\eta_0} \quad (1)$$

gdzie:

- J_0 - podatność chwilowa,
- J_m - podatność lepkosprężysta,
- λ - czas retardacji (opóźnienia),
- η_0 - lepkość zerowego ścinania.

Giuliani stwierdził, że w asfalcie wystąpiło zjawisko pełzania, więc tylko część lepka modelu Burgers'a (t/η_0) ulega zmianie. W związku z założeniami teoretycznymi tej metody, ZSV wyznaczono za pomocą wzoru (2), wykorzystując dane z ostatnich 15 min badania.

$$ZSV = \frac{\Delta t}{\Delta J} = \frac{900}{J_{\text{końcowe}} - J_{15 \text{ min przedkońcem}}} [Pa \cdot s] \quad (2)$$

gdzie:

- Δt – przyrost czasu, s
- ΔJ – zmiana podatności, 1/Pa
- 900 – oznacza czas 900 s, czyli okres ostatnich 15 min, s
- $J_{\text{końcowe}}$ – podatność na końcu pomiaru, 1/Pa
- $J_{15 \text{ min przedkońcem}}$ – podatność w czasie 15 min przed końcem, 1/Pa.

Drugą metodą, którą można wykorzystać do wyznaczenia lepkości zerowego ścinania jest test, w którym zastosowano wymuszenie kinematyczne, sinusoidalne odkształcenie kątowe [5] przy zróżnicowanej częstotliwości. Wartość ZSV jest powiązana ze stratą podatności asfaltu:

$$J''(\omega) - \int_0^\infty \omega [J_{de}(\infty) - J_{de}(t)] \cdot \cos \omega t dt = \frac{1}{\omega \eta_0} \quad (3)$$

gdzie:

- J'' - składowa urojona podatności,
- ω - częstość kątowa,
- η_0 - lepkość zerowego ścinania,
- t - czas.

Ponieważ częstość kątowa dąży do zera wzór (3) można przedstawić w postaci:

$$ZSV = \eta_0 = \frac{1}{\omega \cdot J'} = \frac{G^*}{\omega \cdot \sin \delta} [Pa \cdot s] \quad (4)$$

gdzie:

G^* - zespolony moduł ścinania, Pa

ω - częstość kątowna, rad/s

δ - kąt przesunięcia fazowego, rad,

J' - składowa rzeczywista podatności.

Autorzy [4,5] uważają, że powyższe dwie metody badań są najczęściej używane podczas wyznaczania lepkości zerowego ścinania na świecie, dodatkowo uzyskuje się bardzo zbliżone wartości ZSV dla asfaltów niemodyfikowanych oraz niskomodyfikowanych, natomiast asfalty o większej zawartości modyfikatora dają rozbieżne wyniki.

2. Charakterystyka badanych lepiszczy asfaltowych

Badania wykonano wykorzystując asfalty 50/70 wyprodukowane z wenezuelskiej oraz rosyjskiej ropy naftowej (oznaczone odpowiednio V50/70 oraz R50/70). Asfalty łączono z koncentratem asfaltu modyfikowanego (o zawartości kopolimeru SBS równej 9%) poprzez mieszanie w proporcjach 5:1, 2:1, 1:1 oraz 1:2 otrzymując asfalty modyfikowane zawierające odpowiednio 1,5%; 3,0%; 4,5% i 6,0% kopolimeru styren-butadien-styren (SBS) (w stosunku do masy otrzymanego asfaltu modyfikowanego). Badane lepiszcza asfaltowe oznaczono w pracy poprzez podanie w pierwszej kolejności pochodzenia asfaltu, a następnie zawartości procentowej kopolimeru SBS np.:

- V1,5%SBS - oznacza asfalt wyprodukowany z wenezuelskiej ropy naftowej, zawierający 1,5% kopolimeru SBS,
- R3%SBS - oznacza asfalt wyprodukowany z rosyjskiej ropy naftowej, zawierający 3% kopolimeru SBS,
- K9%SBS - oznacza koncentrat asfaltu modyfikowanego zawierający 9% kopolimeru SBS.

W tabelicy 1. zamieszczono wyniki oznaczeń podstawowych właściwości lepiszczy asfaltowych, tzn. temperatury mięknięcia wg metody „Pierścień i Kula”, penetracji w dwóch temperaturach 10°C i 25°C oraz temperatury łamliwości wg Fraassa .

Tabela 1. Podstawowe właściwości badanych asfaltów

Oznaczenie	V50/70	V1,5%SBS	V3,0%SBS	V4,5%SBS	V6,0%SBS	R50/70	R1,5%SBS	R3,0%SBS	R4,5%SBS	R6,0%SBS	K9,0%SBS
Penetracja w 25°C [0,1mm]	66,2	66,4	70,0	63,1	64,8	59,9	63,1	67,2	62,1	68,8	74,3
Penetracja w 10°C [0,1mm]	16,8	15,0	17,8	17,9	17,9	16,5	17,4	17,7	16,5	17,1	21,9
Temperatura mięknięcia wg metody "Pierścień i Kula" [°C]	55,0	50,0	60,5	84,0	90,5	49,2	49,0	73,5	88,5	93,5	100,3
Temperatura łamliwości wg Fraassa [°C]	-15	-14	-20	-14	-23	-18	-19	-18	-20	-28	-28

Szczególną uwagę zwrócono na dobór badanych lepiszczy asfaltowych. Twardość przedstawionych asfaltów wyrażona poprzez penetrację w 25°C jest zbliżona i zawiera się w przedziale od 59,9·0,1mm do 74,3·0,1mm (wszystkie badane asfalty można zakwalifikować do klasy asfaltów modyfikowanych 45/80). Wszystkie badane próbki lepiszczy asfaltowych mają znaną zawartość kopolimeru SBS oraz znane pochodzenie ropy naftowej, z której wyprodukowano asfalt 50/70.

3. Cel i zakres badań

Głównym celem pracy jest ocena lepkości zerowego ścinania asfaltów drogowych modyfikowanych kopolimerem SBS na podstawie badań przeprowadzonych przy pomocy reometru dynamicznego ścinania (DSR). Lepkość zerowego ścinania (ZSV) oznaczono dwiema metodami: metodą pełzania przy zróżnicowanym poziomie naprężeń ścinających w sekwencjach czasowych oraz metodą, w której zastosowano wymuszenie kinematyczne, sinusoidalne odkształcenie kątowe o stałej wartości, przy zmiennej częstotliwości kątowej w zakresie od 100 rad/s do 0,1 rad/s.

3.1. Opis zastosowanej metodyki badawczej

Badania przeprowadzono wykorzystując reometr dynamicznego ścinania Physica MCR 101. Temperatura poprzez system wewnętrzny utrzymywana była przez cały okres badania na stałym poziomie równym 60°C±0,01°C.

Badanie przy wymuszonym kinematycznym odkształceniu kątowym przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN 14770 [7]. Norma przedstawia metodę oznaczenia właściwości reologicznych lepiszczy asfaltowych w reometrze dynamicznego ścinania (DSR), oznaczenie zespolonego modułu ścinania $|G^*|$ i kąta przesunięcia fazowego δ . Badanie polega na umieszczeniu lepiszcza asfaltowego w układzie pomiarowym pomiędzy dwiema okrągłymi płytkami (ruchomą i nieruchomą) o średnicy 25 mm (wysokość szczeliny pomiędzy dwiema płytkami równa 1 mm, co przedstawiono na rys.1b). Ruchoma głowica porusza się zmiennym ruchem oscylacyjnym, o częstotliwości kątowej w zakresie od 100 rad/s do 0,1 rad/s. Zasadę badania przy wymuszeniu oscylacyjnym przedstawiono na rys. 2.

Tabela 2. Zastosowanie sekwencje czasowe podczas oznaczania lepkości zerowego ścinania metodą pełzania

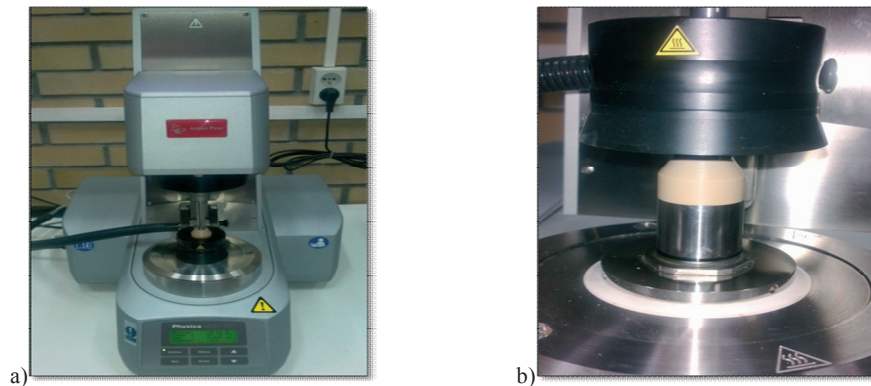
Naprężenie [Pa]	Czas [min]	Lepkość [Pa·s]
10	100	Obliczana przez ostatnie 20 minut
20	50	Obliczana przez ostatnie 10 minut
50	20	Obliczana przez ostatnie 4 minuty
100	10	Obliczana przez ostatnie 2 minuty
200	5	Obliczana przez ostatnie 1 minuta
500	2	Obliczana przez ostatnie 24 sekundy
1000	1	Obliczana przez ostatnie 12 sekund

Lepkość zerowego ścinania wyznaczono wykorzystując wzór (4), przy częstotliwości kątowej równej 10 rad/s oraz 0,1 rad/s.

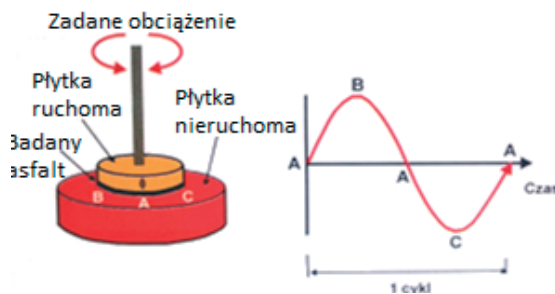
Lepkość zerowego ścinania metodą pełzania wyznaczono zgodnie z normą PKN-CEN/TS 15325 [9]. Próbką badanego asfaltu została poddana naprężeniu w sekwencjach czasowych (tab.2) w zakresie od 10 Pa do 1000 Pa.

Najmniejsze poziomy naprężenia ścinających, przy których zaobserwowano warunki ustalonego płynięcia badanych lepiszczy asfaltowych są następujące:

- 10 Pa dla asfaltów: V50/70; V1,5%SBS; R50/70 oraz R1,5%SBS;
- 20 Pa dla asfaltów: V3%SBS; V4,5%SBS; V6%SBS; R3%SBS; R4,5%SBS; R6%SBS;
- 50 Pa dla asfaltu K9%SBS.



Rys. 1. Reometr dynamicznego ścinania DSR a) w czasie badania , b) wysokość szczeliny pomiędzy dwiema płytkami równa 1 mm



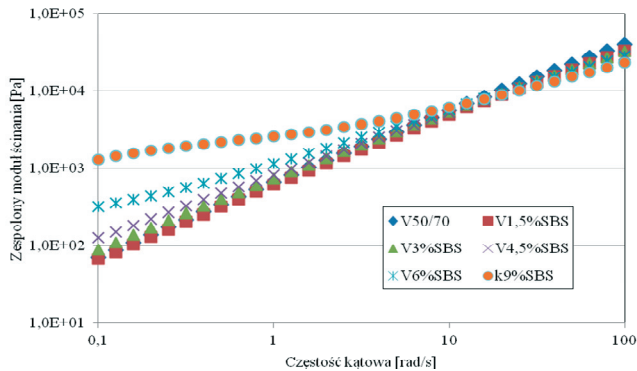
Rys. 2. Zasada wykonania badania metodą reometru DSR przy oscylacyjnym wymuszeniu sinusoidalnym [8].

4. Analiza wyników badań

Na rys. 3 i 4 przedstawiono wykres zależności zespolonego modułu ścinania badanych asfaltów od częstości kątowej. Wartości zespolonego modułu ścinania zwiększają się wraz ze wzrostem częstości kątowej. Największą wartość zespolonego modułu ścinania przy częstości kątowej 0,1 rad/s wykazał asfalt o zawartości kopolimeru SBS równej 9%, natomiast najmniejszą asfalt R50/70. Przy częstości kątowej równej 100 rad/s zespolony moduł ścinania osiąga wartość w przedziale od 23680 Pa dla K9%SBS do 41010 Pa dla asfaltu V50/70.

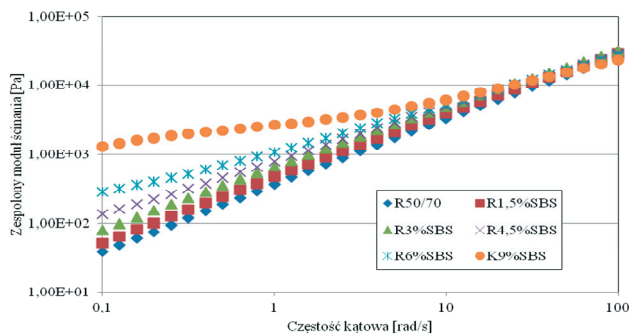
Wyniki oznaczeń lepkości zerowego ścinania dwiema metodami przedstawiono na rys. 5, oznaczenia w legendzie przedstawiają zastosowaną metodę badawczą, tj. OSC – metoda, w której próbkę badanego asfaltu poddano sinusoidalnemu wymuszeniu kinematycznemu (lepkość zerowego ścinania oznaczono przy częstości kątowej równej 0,1 rad/s i 10 rad/s), natomiast symbolem CREEP oznaczono metodę pełzania. Asfalty (V50/70 i R50/70) dają bardzo zbliżone wyniki oznaczenia ZSV dwiema zastosowanymi metodami. Wartość otrzymana dla asfaltu V50/70 w teście o obciążeniu oscylacyjnym (0,1 rad/s) wynosi 676,00 Pa·s; zaś uzyskana drugą metodą jest mniejsza o 47,0 Pa·s (o 7,0%),

natomiast dla asfaltów R50/70 różnica ta wyniosła 3,0 Pa·s (0,8%). Asfalty o zawartości kopolimeru SBS równej 1,5% również dały porównywalne wyniki lepkości zerowego ścinania, tzn. dla asfaltu z wenezuelskiej ropy naftowej różnica wyniosła 33,21 Pa·s (4,7%), zaś dla asfaltu R1,5%SBS to 110,82 Pa·s (10,8%). Asfalty o zawartości kopolimeru SBS równej 3%; 4,5%;6% oraz koncentratu 9% dały rozbieżne wyniki oznaczenia ZSV uzyskane dwiema metodami. Na rys. 1 na osi rzędnych przyjęto skalę logarymiczną w związku z tym wyniki oznaczenia lepkości zerowego ścinania (dwiema metodami) asfaltów o większej zawartości kopolimeru SBS różnią się nawet o kilka rzędów wielkości.

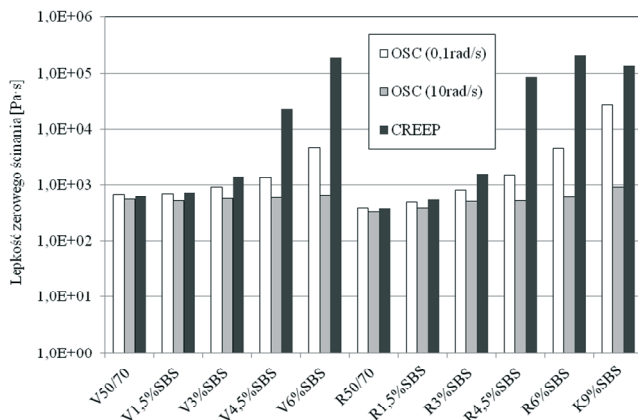


Rys. 3. Wykres zależności zespolonego modułu ścinania od częstości kątowej badanych asfaltów pochodzenia wenezuelskiego

Analizie poddano również lepiszcza o równej zawartości kopolimeru SBS, ale o zróżnicowanym pochodzeniu asfaltu 50/70, stanowiącego składnik asfaltu modyfikowanego. Rysunki 3 i 4. obrazują iż asfalt V50/70 charakteryzuje się większymi wartościami zespolonego modułu ścinania w porównaniu z asfaltem R50/70, przy częstości równej 100 rad/s różnica ta wynosi 13327,50 Pa (56,0%). Asfalt pochodzenia wenezuelskiego posiada większą lepkość w stosunku do asfaltu pochodzenia rosyjskiego. Wartość ZSV oznaczona w teście oscylacyjnym (10 rad/s) jest większa dla asfaltu V50/70 o 216,07 Pa·s (60,6%), a wyznaczona metodą pełzania o 246,3 Pa·s (60,9%). Asfalt V1,5%SBS posiada większą wartość zespolonego modułu ścinania, przy częstości równej 100 rad/s różnica ta wynosi 6520 Pa (23%). Wartość ZSV oznaczona w teście oscylacyjnym (10 rad/s) jest większa dla asfaltu V1,5%SBS o 134,67 Pa·s (74,0%), a wyznaczona metodą pełzania o 186,67 Pa·s (75,2%).



Rys. 4. Wykres zależności zespolonego modułu ścinania od częstości kątowej badanych asfaltów pochodzenia rosyjskiego



Rys. 5. Lepkość zerowego ścinania wyznaczona dwiema metodami

Asfalty zawierające 3% kopolimeru SBS (V3%SBS, R3%) wykazują zbliżoną wartość zespolonego modułu ścinania w funkcji częstości kątowej. Wartość ZSV oznaczona w teście oscylacyjnym (10 rad/s) jest największa dla asfaltu V3%SBS i wynosi 576,42 Pa·s, a najmniejsza dla asfaltu R3%SBS, przy oznaczeniu ZSV metodą pełzania najmniejsza dla asfaltu V3%SBS a największa dla asfaltu R3%SBS. Asfalty V4,5%SBS oraz R4,5%SBS wykazują zbliżoną wartość zespolonego modułu ścinania w funkcji częstości kątowej, lecz różnica pomiędzy asfaltem pochodzącym z ropy naftowej wenezuelskiej i rosyjskiej przy częstości równej 100 rad/s wynosi 2707,50 Pa (9,2%). Różnica wartości ZSV oznaczona w teście oscylacyjnym (przy częstości kątowej równej 10 rad/s) jest niewielka i wynosi 67,54 Pa·s (11,4%), zaś wyznaczona metodą pełzania jest znacznie większa i wynosi 63121,9 Pa·s (378%). Porównując asfalty o zawartości kopolimeru SBS równej 6% można zauważyć iż asfalty V6%SBS i R6%SBS wykazują zbliżoną wartość zespolonego modułu ścinania w funkcji częstości kątowej (odpowiednio od 300,30 Pa i 319,28 Pa do 26492,50 Pa i 29000,00 Pa), inaczej niż w przypadku asfaltu K9%SBS (od 1547,00 Pa do 23520,00 Pa). Wartość ZSV oznaczona w teście oscylacyjnym (0,1 rad/s) jest mniejsza dla asfaltu R6%SBS i wynosi 4650 Pa·s. Przy oznaczeniu ZSV metodą pełzania najmniejsza jest dla asfaltu K9%SBS (134341 Pa·s), a największa dla asfaltu R6%SBS (213927,00 Pa·s).

5. Wnioski

Porównując zespolony moduł ścinania wszystkich asfaltów można stwierdzić, iż wraz ze wzrostem zawartości kopolimeru SBS zwiększają się wartości zespolonego modułu ścinania $|G^*|$, co może świadczyć o większej odporności nawierzchni asfaltowych wykonanych z użyciem asfaltu modyfikowanego na odkształcenia trwale spowodowane wielokrotnie powtarzającymi się cyklami obciążeń.

Lepkość zerowego ścinania ZSV jest uznawana za wskaźnik przydatny do oceny odporności nawierzchni asfaltowych na koleinowanie. Wartości lepkości zerowego ścinania oznaczone dwiema metodami dały zbliżone wyniki dla asfaltów 50/70 i asfalty modyfikowane o małej zawartości kopolimeru SBS (1,5%). W przypadku asfaltów o zawartości kopolimeru SBS 3%; 4,5%; 6%; 9% uzyskano rozbieżne wyniki oznaczenia lepkości zerowego ścinania na podstawie dwóch zastosowanych testów. Powodem tego może być fakt, że asfalty nie we wszystkich przypadkach osiągnęły warunki ustabilizowanego płynięcia podczas testu pełzania. Lepkość zerowego ścinania ZSV może być wykorzystywana jako kryterium oceny efektywności modyfikacji asfaltów.

Literatura

- 1 Grabowski W., Słowik M. Badania właściwości reologicznych asfaltów drogowych modyfikowanych polimerami. *Foundations of Civil and Environmental Engineering* (2002): 5-36.
- 2 Słowik M., Wybrane zagadnienia lepkości drogowych asfaltów modyfikowanych zawierających elastomer SBS, *Rozprawy*, Nr 508, Poznań, Wydawnictwo Pol. Poznańskiej 2013.
- 3 Sybilski D. Polimeroasfalty drogowe, Jakość funkcjonalna, metodyka i kryteria oceny, Instytut Badawczy Dróg i Mostów, seria: *Studia i materiały*, zeszyt 45, Warszawa 1996.
- 4 Giuliani F., Merusi F., Antunes I. Creep flow behavior of asphalt rubber. *The Zero-Shear Viscosity Analysis. Proceeding of the asphalt rubber* (2006).
- 5 Biro Sz., Gandhi T., Amirhanian S. Determination of zero shear viscosity of warm asphalt binder. *Construction and Building Materials* 23 (2009) 2080-2086.
- 6 Vlachovicova Z., Wekumbura Ch., Stastna J., Zanzotto L. Creep characteristics of asphalt modified by radial styrene-butadiene-styrene copolymer. *Construction and Building Materials* 21 (2007) 567-577.
- 7 PN-EN 14770 „Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczenie zespolonego modułu ścinania i kąta przesunięcia fazowego w reometrze dynamicznego ścinania (DSR)” (2012).
- 8 Kok B.V., Yilmaz M., Sengoz B., Sengur A., Avci E. Investigation of complex modulus of base and SBS modified bitumen with artificial neural networks, *Expert Systems with Applications* 37 (2010) 7775-7780.
- 9 PKN-CEN/TS 15325: „Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczenie lepkości zerowego ścinania (ZSV) metodą pełzania w reometrze dynamicznego ścinania” (2010).

Study of the zero shear viscosity of SBS copolymer modified bitumens

Mieczysław Słowik¹, Marta Andrzejczak²

^{1,2} *Institute of Civil Engineering, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Poznan University of Technology, e-mail: ¹mieczyslaw.slowik@put.poznan.pl, ²marta.andrzejczak@put.poznan.pl*

Abstract: The paper presents the results of the zero shear viscosity (ZSV) determined by using a dynamic shear rheometer (DSR). The tests were conducted with the use of 50/70 penetration grade bitumen produced from Venezuelan and Russian crude oils (named V50/70 and R50/70, respectively). Specimens of the tested polymer modified bitumens were combined with modified bitumen concentrate (containing 9% of SBS copolymer) by mixing them together. The objects of the tests were modified bitumens containing 1.5%; 3.0%; 4.5%; 6.0% and 9.0% of SBS copolymer. Zero shear viscosity (ZSV) was determined with the use of two methods: the creep method at various levels of shear stress in the time sequence and a method in which kinematic, sinusoidal angular deformation was applied. The tests were conducted at a constant temperature of 60°C. The results of two ZSV tests gave similar findings for 50/70 penetration grade bitumen and modified bitumen with low SBS copolymer content (1.5%). In the case of modified bitumen with higher SBS copolymer content, i.e. 3%; 4.5%; 6%; 9%, zero shear viscosity determined by two methods gave different results.

Keywords: zero shear viscosity (ZSV), bitumen, dynamic shear rheometer (DSR), copolymer SBS, rheological properties