



MAREK PSZCZOŁA

Politechnika Gdańska
marek.pszczola@willis.
pg.gda.pl



JÓZEF JUDYCKI

Politechnika Gdańska
jozef.judycki@willis.pg.
gda.pl

Badania mieszanek mineralno-asfaltowych w niskiej temperaturze

Postępująca degradacja nawierzchni drogowych jest powodowana przez wiele czynników pochodzących zarówno od ruchu pojazdów, jak i czynników środowiskowych. Jednym z wielu widocznych efektów degradacji nawierzchni są spękania poprzeczne, w tym również te spowodowane oddziaływaniem niskiej, ujemnej temperatury. Większość badań cech mechanicznych mieszanek mineralno-asfaltowych wykonywanych podczas ich projektowania przeprowadza się w zakresach dodatniej temperatury, z reguły wyższej lub równej $+20^{\circ}\text{C}$. Projektowanie składu mieszanek oraz ich rutynowe badania laboratoryjne nie dotyczą natomiast zachowania mieszanek

mineralno-asfaltowych w temperaturze ujemnej. Potrzeba wprowadzenia takich badań wynika z warunków klimatycznych, które np. w przypadku Polski charakteryzują się dużymi spadkami temperatury w okresie zimowym, dochodzącymi często do -30°C i poniżej.

Politechnika Gdańska od wielu lat prowadzi badania odporności mieszanek mineralno-asfaltowych na spękania niskotemperaturowe. Zostały one zapoczątkowane w latach 70. ubiegłego wieku. Opracowano metodę zginania belek oraz program do analizy parametrów reologicznych przy badaniu zginania ze stałą wartością obciążenia (*creep test*). Zastosowano również metodę TSRST (*Tensile Stress Restrained Specimen Test*) opracowaną pierwotnie przez prof. Aranda i zastosowaną w amerykańskim programie badawczym SHRP.

W niniejszym artykule omówiono i porównano wyniki badań laboratoryjnych betonu asfaltowego, uzyskanych przy niskich, ujemnych wartościach temperatury, przy wykorzystaniu następujących metod:

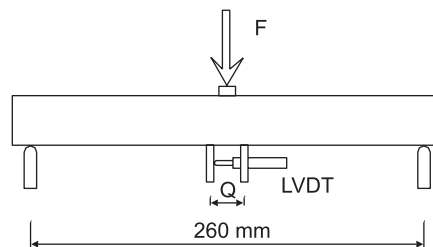
- zginanie belek prostopadłościennych ze stałą prędkością deformacji,
- zginanie belek prostopadłościennych pod stałym obciążeniem (testy pełzania),
- pośrednie rozciąganie próbek walcowych,
- badanie wytrzymałości na rozciąganie termiczne przy ograniczonym odkształceniu TSRST (*Thermal Stress Restrained Specimen Tensile Strength*).

Pierwsze trzy metody badań laboratoryjnych stosowano w przedziale niskiej, ujemnej temperatury do -20°C . Zakres temperatury badania w metodzie TSRST zmieniał się od $+5^{\circ}\text{C}$ do temperatury pęknięcia próbki z prędkością schładzania 10°C na godzinę.

Zastosowane metody badań

Zginanie ze stałą prędkością deformacji

Badanie zginania próbek ze stałą prędkością deformacji polegało na zastosowaniu schematu statycznego belki wolnopodpartej, obciążonej siłą skupioną w środku rozpiętości, mierzoną dwoma czujnikami indukcyjnymi (LVDT) i wywołującą stały przyrost ugięć w czasie. W skład zestawu do badania zginania wchodziła prasa o prędkości przemieszczania tłoka wynoszącej $1,25\text{ mm/min}$. Podstawową temperaturą badania była temperatura: -20°C . Bezpośrednio przed badaniem wszystkie próbki przechowywano w komorze termostaticznej przez minimum 12 godzin. Schemat statyczny oraz próbkę podczas badania przedstawiono na rysunku 1.



Rys 1. Schemat statyczny i widok próbki w badaniu metodą zginania ze stałą prędkością deformacji (fot. Marek Pszczoła)

W każdej serii badano od 3 do 6 próbek. Określano następujące parametry:

- odkształcenie graniczne przy zginaniu,
- wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu,
- moduł sztywności przy zginaniu.

Odształcenie występujące na spodzie zginanej belki określono na podstawie następującej zależności:

$$\varepsilon_{gran} = \frac{P_{max}}{e} \cdot \frac{c}{c+a} \quad (1)$$

w której:

ε_{gran} – odkształcenie graniczne w chwili zniszczenia próbki lub osiągnięcia maksymalnej wartości naprężenia,

p_{max} – przemieszczenie czujnika LVDT przy maksymalnej sile F_{max} [mm],
 e – długość bazy pomiarowej [mm],
 c – połowa wysokości próbki [mm],
 a – odległość od spodu próbki do osi czujnika LVDT [mm].

Naprężenie występujące na spodzie próbki w środku jej rozpiętości określono na podstawie następującej zależności:

$$\sigma = \frac{3Fl}{2bh^2} \quad (2)$$

w której:

σ – oznacza naprężenie występujące na spodzie próbki w środku jej rozpiętości [MPa],
 F – siła mierzona w dowolnej chwili obciążenia próbki przed zniszczeniem [kN],
 l – rozpiętość próbki między podporami [mm], $l = \text{const.} = 260$ mm,
 b – szerokość próbki [mm],
 h – wysokość próbki [mm].

Wytrzymałość próbki obliczano z następującego wzoru:

$$R_{rz} = \frac{3F_{max}l}{2bh^2} \quad (3)$$

w którym:

R_{rz} – wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu [MPa],
 F_{max} – siła zmierzona w chwili zniszczenia próbki lub przy osiągnięciu maksymalnej wartości [kN].

Moduł sztywności przy zginaniu określano w oparciu o wykresy zależności naprężenia od odkształcenia, jako styczną do krzywej pełzania przy odkształceniu $\varepsilon = 0$. Wykorzystano następującą zależność:

$$S = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \quad (4)$$

w której:

S – moduł sztywności przy zginaniu [MPa],
 $\Delta\sigma$ – przyrost naprężenia,
 $\Delta\varepsilon$ – przyrost odkształcenia.

Analizując wyniki badań mieszanek mineralno-asfaltowych metodą zginania ze stałą prędkością deformacji, lepszą odporność na spękania niskotemperaturowe ma mieszanka, która charakteryzuje się:

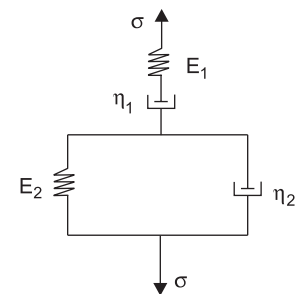
- lepszą odkształcalnością, czyli wyższymi uzyskanymi wartościami odkształcenia granicznego, $\varepsilon_{gran} = \max(\varepsilon_{gran})_i$,
- wyższymi uzyskanymi wartościami wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu, $R_{rz} = \max(R_{rz})_i$,
- niższymi wartościami modułu sztywności przy zginaniu, $S = \min(S)_i$.

Zginanie przy stałym obciążeniu (creep test)

W badaniu zginania przy stałym obciążeniu, podobnie jak w badaniu zginania ze stałą prędkością deformacji, schematem statycznym była belka wolnopodparta, obciążana stałą siłą skupioną w środku rozpiętości. Belkę obciążano w czasie 3600 s, a następnie w takim samym czasie odciążano. Odkształcenia na spodzie belki rejestrowano w czasie obciążenia i po odciążeniu – łącznie przez 7200 s. Wielkość siły obciążającej dobierano do każdej temperatury badania indywidualnie. Stosowano przy tym zasadę, że wywołwane od przyłożonej siły naprężenia w próbce nie powinny być więk-

sze od połowy wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu. Wartość odkształcenia próbek zginanych ze stałą wartością obciążenia wyznaczano w ten sam sposób, jak w przypadku badania zginania ze stałą prędkością deformacji. Próbki kondycjonowano w komorze termostatycznej w temperaturze badania przez okres minimum 12 godzin. W jednej serii badano od 3 do 4 jednorodnych próbek.

Do analizy reologicznych właściwości badanych mieszanek mineralno-asfaltowych zastosowano model liniowo-lepkosprężysty Burgersa. Konfiguracja podstawowych elementów tego modelu została pokazana na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat modelu Burgersa

W badaniu ze stałym obciążeniem (creep test) naprężenie $\sigma(t)$ wynosi:

σ_0 – przy czasie obciążenia: $0 \leq t \leq t_0$, w którym czas t_0 oznacza czas w chwili odciążenia próbki,
 0 – przy czasie odciążenia: $t > t_0$.

Równania charakteryzujące krzywą pełzania w modelu Burgersa są następujące:

- przy obciążeniu: $0 \leq t \leq t_0$, a: $\sigma_0 = \text{const.}$

$$\varepsilon(t) = \sigma_0 \left\{ \frac{1}{E_1} + \frac{t}{\eta_1} + \frac{1}{E_2} \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\lambda_2}\right) \right] \right\} \quad (5)$$

- przy odciążeniu: $t > t_0$, a: $\sigma_0 = 0$

$$\varepsilon(t) = \sigma_0 \left\{ \frac{t_0}{\eta_1} + \frac{1}{E_2} \exp\left(-\frac{t}{\lambda_2}\right) \left[\exp\left(\frac{t_0}{\lambda_2}\right) - 1 \right] \right\} \quad (6)$$

w których:

$\varepsilon(t)$ – odkształcenie,

σ_0 – stałe naprężenie wywołane przyłożonym stałym obciążeniem [MPa],

E_1 i E_2 – moduły sprężystości, odpowiednio: E_1 – moduł sprężystości natychmiastowej, i E_2 – moduł sprężystości opóźnionej [MPa],

η_1 i η_2 – współczynniki lepkości, odpowiednio: η_1 – lepkość płynięcia ustalonego, η_2 – lepkość opóźnienia sprężystego: $\eta_2 = E_2 \cdot \lambda_2$ [MPa·s],

λ_2 – czas retardacji naprężeń [s].

Model Burgersa wykazuje sprężyste odkształcenie natychmiastowe $\varepsilon_1 = \sigma_0/E_1$, opóźnienie sprężyste $\varepsilon_2 = \sigma_0/E_2$ i lepkie płynięcie z prędkością σ_0/η_1 . Pierwsze dwa typy odkształceń są odwracalne, podczas gdy płynięcie lepkie jest nieodwracalne. Po zdjęciu obciążenia następuje natychmiastowy nawrót odkształceń, równy σ_0/E_1 . Odkształcenia trwałe przy długotrwałym pozostawianiu materiału w stanie bez obciążenia wynoszą $\varepsilon_2 = \sigma_0 \cdot t_0/\eta_1$.

Kryteria oceny mieszanek mineralno-asfaltowych, z uwagi na cechy reologiczne w niskiej, ujemnej temperaturze, są następujące:

$$E = \min (E_i) \quad (7)$$

$$\eta = \min (\eta_i) \quad (8)$$

Interpretacja przedstawionego kryterium jest następująca: porównując mieszanki mineralno-asfaltowe, za najlepszą pod względem odporności na spękania niskotemperaturowe należy uznać tę, która w ujemnej temperaturze charakteryzuje się najniższymi wartościami modułu sprężystości i najniższymi wartościami współczynnika lepkości. Przy niższych modułach sprężystości E i niższych współczynnikach lepkości η w warstwach asfaltowych, w okresie oziębienia powstają mniejsze naprężenia termiczne. W okresie oddziaływania niskiej, ujemnej temperatury, niższe wartości współczynników lepkości η w warstwach asfaltowych skutkują szybszą relaksacją naprężeń. Relaksacja naprężeń jest proporcjonalna do czasu relaksacji równego:

$$\lambda = \frac{\eta}{E} \quad (9)$$

w którym:

λ – czas relaksacji [s],

η – współczynnik lepkości [MPa·s],

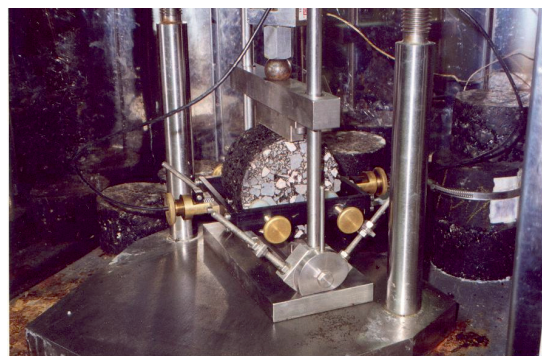
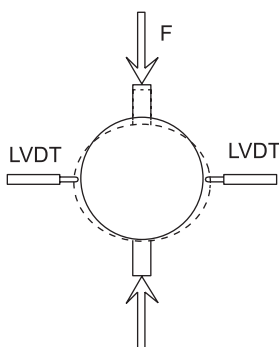
E – moduł sztywności [MPa].

Gdy maleje wartość współczynnika lepkości η w danej temperaturze, to skróceniu ulega czas relaksacji.

Pośrednie rozciąganie

Moduł sztywności sprężystej badano wykorzystując metodę pośredniego rozciągania na próbkach walcowych i w urządzeniu *Nottingham Asphalt Tester* (NAT). Test wykonywano przy kontrolowanym naprężeniu. Do badania formowano próbki o średnicy 100 mm i wysokości $63,5 \pm 5$ mm. Próbki w czasie badania obciążane były siłą przyłożoną wzdłuż pobocznic walca. Długość cyklu obciążenia wynosiła 3 s, czas obciążenia wynosił 0,12 s. Przy znanej wartości przyłożonej siły pionowej oraz wartości powstającego przemieszczenia poziomego, przy założonym współczynniku Poissona oraz znanych wymiarach próbki, wyznaczany był moduł sztywności sprężystej badanego materiału. Schemat obciążenia próbki w badaniu pośredniego rozciągania, a także widok próbki podczas badania przedstawiono na rysunku 3.

Próbki, przed wykonaniem badań, były kondycjonowane w komorze termostatycznej, przez okres minimum 12 godzin. Moduł sztywności sprężystej obliczany był według wzoru (10):



Rys. 3. Schemat obciążenia oraz widok próbki w badaniu pośredniego rozciągania, w którym: F – obciążenie, LVDT – czujniki przemieszczeń (fot. Marek Pszczota)

$$S = \frac{P \cdot (0,273 + \nu)}{h \cdot \delta_H} \quad (10)$$

w którym:

S – moduł sztywności sprężystej [MPa],

P – siła pionowa przyłożona do próbki [MN],

ν – współczynnik Poissona,

h – wysokość próbki [m],

δ_H – sprężyste przemieszczenie poziome [m].

Za miarodajny wynik przyjmowano średnią z pięciu wykonywanych pomiarów zasadniczych. Wielkość naprężeń dobierano doświadczalnie w taki sposób, aby wywoływane odkształcenia były wystarczające do obliczenia modułu sztywności, a nie naruszały struktury badanej próbki. Ponadto naprężenia dobierano tak, aby zapewnić liniowy charakter pracy betonu asfaltowego. Zastosowano następujące wartości temperatury badań: -20°C , -10°C i 0°C .

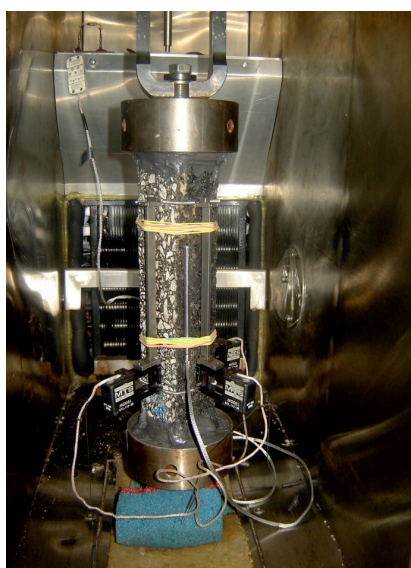
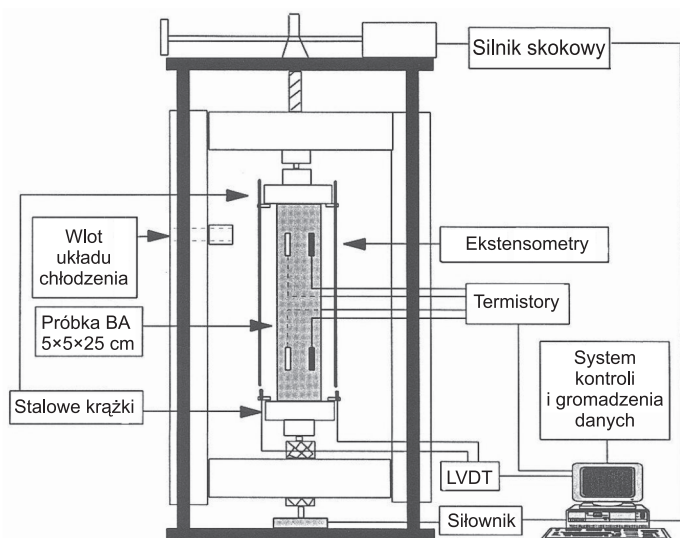
Metoda TSRST

Metodyka badań TSRST (*Thermal Stress Restrained Specimen Tensile Strength*) została opracowana na podstawie normy AASHTO TP 10-93. Standardowo do badań wykorzystywane było stanowisko w urządzeniu pomiarowym MTS. Próbki do badań TSRST formowane i przygotowywane były w podobny sposób, jak do badań zginania. Miały one kształt prostopadłościenny o wymiarach $50 \times 50 \times 250$ mm. Były więc o 50 mm krótsze od próbek przygotowywanych do badań zginania. Do próbek przyklejane były stalowe krążki, które umożliwiały zamocowanie próbki w ramie maszyny wytrzymałościowej. Do trzech bocznych ścian próbki mocowane były ekstensometry służące do pomiaru odkształceń próbki. Przy czwartej ścianie próbki umieszczano czujnik temperatury. Tak przygotowany zestaw umieszczano w ramie maszyny wytrzymałościowej wewnątrz komory termostatycznej. Widok próbki przygotowanej do badań oraz całego stanowiska MTS przedstawiono na rysunku 4.

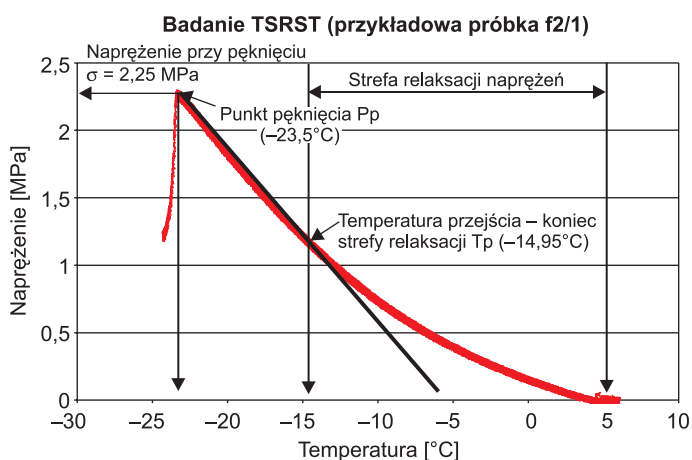
Próbki po umieszczeniu w komorze termostatycznej były kondycjonowane przez okres 2 godzin w temperaturze $+5^\circ\text{C}$. Właściwe badanie polegało na obniżaniu temperatury z prędkością $10^\circ\text{C}/\text{h}$. W czasie obniżania temperatury próbka ulegała skurczowi termicznemu, który mierzony był trzema czujnikami przemieszczeń. W każdym przypadku, gdy skrócenie próbki zwiększało się powyżej 0,0025 mm, układ sterujący wysyłał sygnał do programu sterującego

pracą siłownika, w celu skompensowania odkształcenia próbki, aby utrzymać jej długość na stałym poziomie. Pojawiające się w próbce naprężenia termiczne wzrastały do momentu przekroczenia wytrzymałości materiału. Wynikiem badania było maksymalne naprężenie indukowane termicznie, zarejestrowane przy pęknięciu próbki oraz temperatura pęknięcia.

Interpretację graficzną wyników uzyskanych podczas badania metodą TSRST wraz z przedstawieniem punktów charakterystycznych krzywej zależności naprężenie termiczne/temperatura przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 4. Schemat obciążenia oraz widok próbki podczas badania TSRST (fot. Marek Pszczoła)



Rys. 5. Przykładowy wynik badania metodą TSRST wraz z przedstawieniem punktów charakterystycznych krzywej zależności naprężenia termicznego od temperatury

Na przedstawionej na rysunku 5 krzywej określającej zależność naprężeń indukowanych termicznie od temperatury, wyróżnić należy dwa charakterystyczne punkty:

- pierwszy to punkt, w którym krzywa zmienia kształt na prostoliniowy (następuje stały przyrost naprężeń w jednostce czasu). Punkt ten zgodnie z literaturą nazywany jest: *transition temperature* (temperatura przejścia) i jest definiowany jako temperatura, przy której materiał zmienia właściwości ze stanu lepko-sprężystego w stan sprężysty. W temperaturze wyższej od temperatury przemiany następuje relaksacja naprężeń;
- drugi to punkt, w którym następuje pęknięcie próbki, a więc sytuacja, w której indukowane termicznie naprężenia zaczynają przewyższać wytrzymałość próbki na rozciąganie termiczne. Temperatura, przy której nastąpiło pęknięcie próbki nazywana jest temperaturą pęknięcia.

Badane materiały

W przeprowadzonych badaniach laboratoryjnych wykorzystano beton asfaltowy 0/16 mm, który został zaprojektowany do warstwy ścieralnej. Do betonu asfaltowego zastosowano asfalt zwykły 50/70, asfalt modyfikowany elastomerem SBS oraz asfalt wielorodzajowy. Szczegółowe wyniki badań asfaltów przedstawiono w tabeli 1.

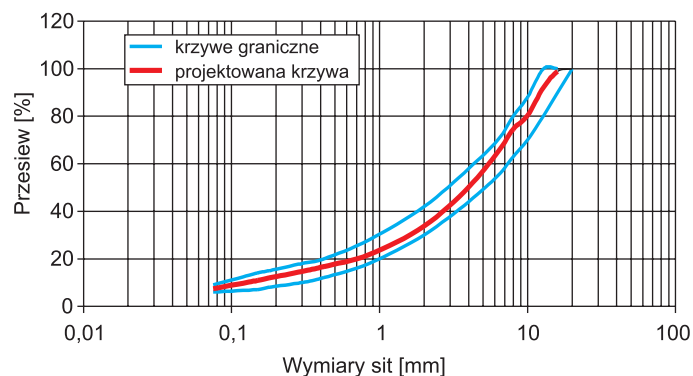
Tabela 1. Właściwości fizyczne zastosowanych asfaltów

Właściwości	Rodzaj asfaltu			Metoda badania wg
	zwykły 50/70	modyfikowany SBS DE 80 B	wielorodzajowy 50/70	
Przed wygrzewaniem w cienkiej warstwie				
Penetracja, 0,1 mm, w temperaturze:				
15°C,	21	24	26	PN-EN 1426
20°C,	35	40	38	
25°C,	58	63	53	
Temperatura mięknięcia PiK, °C,	50,0	51,0	59,0	PN-EN 1427
Temperatura łamliwości Fraassa, °C	-14	-15	-24	PN-EN 12593
Po wygrzewaniu w cienkiej warstwie, TFOT				
Ubytek masy, % m/m	+0,08	+0,09	-0,01	
Penetracja, 0,1 mm, w				
15°C,	15	18	22	PN-EN 1426
20°C,	25	29	30	
25°C,	39	45	42	
Temperatura mięknięcia PiK, °C,	55,0	58,0	67,0	PN-EN 1427
Zmiana temperatury mięknięcia PiK, °C	5,0	7,0	8,0	PN-EN 1427

Uziarnienie mieszanki mineralnej przedstawiono w tabeli 2 i na rysunku 6.

Tabela 2. Krzywe graniczne oraz uziarnienie zaprojektowanego betonu asfaltowego 0/16 mm do warstwy ścieralnej

Sito #	Beton asfaltowy do warstwy ścieralnej	
	Krzywe graniczne uziarnienia	Uziarnienie zaprojektowanej mieszanki mineralnej
20,0	100	100,0
16,0	90 – 100	98,9
12,8	80 – 100	92,0
10,0	70 – 88	80,3
8,0	63 – 80	74,5
6,3	55 – 70	64,9
4,0	44 – 58	50,2
2,0	30 – 42	33,7
0,85	18 – 28	21,7
0,42	12 – 20	16,7
0,3	10 – 18	14,7
0,18	8 – 15	11,9
0,15	7 – 14	10,9
0,075	6 – 9	7,3



Rys. 6. Krzywe graniczne oraz uziarnienie zaprojektowanego betonu asfaltowego 0/16 mm do warstwy ścieralnej

Wyniki badań porównawczych

W tabeli 3. zestawiono wyniki badań betonu asfaltowego 0/16 mm według czterech stosowanych metod.

Tabela 3. Zestawienie wartości średnich z badań betonu asfaltowego przy zastosowaniu czterech metod badań

Rodzaj metody badań	Badany parametr	Temperatura badania [°C]	Beton asfaltowy 0/16 mm z asfaltem:		
			zwykłym 50/70	modyfikowanym SBS DE 80B	wielorodzajowym 50/70
TSRST	Temperatura pęknięcia T_p , °C	< +5	-22,0	-24,4	-27,4
	Naprężenie przy pęknięciu σ_p , MPa	< +5	2,95	3,28	2,15
Zginanie przy $\varepsilon = \text{const.}$	Odkształcenie graniczne, ε_{gran} , 10^{-3}	-20	0,52	0,52	0,55
	Wytrzymałość, R_{tz} , MPa	-20	6,52	6,11	5,83
	Moduł sztywności S , MPa	-20	13450	11960	10680
Zginanie przy $F = \text{const.}$ (creep test)	Moduł sprężystości E_1 , MPa	0	5540	5130	3030
		-5	7410	7410	5880
		-10	10900	10640	6780
		-15	44600	24430	13420
	Moduł sprężystości E_2 , MPa	0	2110	1080	1880
		-5	3090	3090	1480
		-10	7810	3790	2700
		-15	10250	2660	3250
	Współczynnik lepkości η_1 , 10^6 , MPa*s	0	3,83	3,16	1,17
		-5	15,58	15,58	3,93
		-10	24,41	16,98	6,15
	Współczynnik lepkości η_2 , 10^6 , MPa*s	-15	116,91	68,99	32,38
0		0,84	0,46	0,26	
-5		1,36	1,36	0,51	
Czas relaksacji, s	-10	2,15	1,23	0,24	
	-15	2,06	0,58	0,95	
	-15	2621	2824	2413	
Pośrednie rozciąganie	Moduł sztywności sprężystej S , MPa	0	15665	17489	13074
		-10	19026	18442	14759
		-20	25173	24831	19540

Porównanie wyników badań

W tabeli 4 przedstawiono ranking trzech analizowanych asfaltów użytych w betonie asfaltowym, zbadanych w niskiej, ujemnej temperaturze według czterech stosowanych metod.

Na podstawie przedstawionego w tabeli 4 rankingu asfaltów można stwierdzić, że najlepszymi właściwościami charakteryzuje się beton asfaltowy, badany według wszystkich metod, w którym zastosowano asfalt wielorodzajowy W 50/70, w pozostałych przypadkach ranking asfaltów był różny, ale w większości przypadków zbliżony do następującej kolejności: 1 – asfalt wielorodzajowy W 50/70, 2 – asfalt modyfikowany DE 80B, 3 – asfalt zwykły ZW 50/70.

Podsumowanie

W przeprowadzonych badaniach porównawczych oceniane były właściwości niskotemperaturowe betonu asfaltowego przeznaczonego do warstwy ścieralnej, przy zastosowaniu czterech metod badań. Dwie spośród nich: zginanie ze stałą prędkością deformacji oraz zginanie przy stałym obciążeniu (creep test) zostały opracowane w Politechnice Gdańskiej i są stosowane od wielu lat. Metoda pośredniego rozciągania jest szeroko stosowana w laboratoriach drogowych, lecz w mniejszym stopniu jest ona wykorzystywana do oceny właściwości niskotemperaturowych mieszanek mineralno-asfaltowych. Czwarta metoda – TSRST z uwagi na kosztowne urządzenie MTS, które jest wymagane do przeprowadzenia badań, obecnie jest stosowana jedynie przez IBDiM w Warszawie.

Tabela 4. Ranking asfaltów (1 – najlepszy, 3 – najgorszy) na podstawie badań betonu asfaltowego w niskich temperaturach

Metoda badań, parametr	Pozycja w rankingu:		
	1	2	3
TSRST	W 50/70	DE 80B	ZW 50/70
Zginanie przy $\varepsilon = \text{const.}$, $\varepsilon_{\text{gran}}, 10^{-3}$ przy $T = -20^{\circ}\text{C}$	W 50/70	DE 80B ZW 50/70	DE 80B ZW 50/70
Zginanie przy $\varepsilon = \text{const.}$, moduł sztywności S przy $T = -20^{\circ}\text{C}$	W 50/70	DE 80B	ZW 50/70
Zginanie przy $F = \text{const.}$, (creep test), czas relaksacji s przy $T = -15^{\circ}\text{C}$	W 50/70	ZW 50/70	DE 80B
Zginanie przy $F = \text{const.}$, (creep test), współczynnik lepkości $\eta_1, \times 10^6$ przy $T = -15^{\circ}\text{C}$	W 50/70	DE 80B	ZW 50/70
Pośrednie rozciąganie, moduł sztywności sprężystej S przy $T = -20^{\circ}\text{C}$	W 50/70	DE 80B	ZW 50/70

Sytuacja ta może ulec zmianie za sprawą nowej normy europejskiej na badanie TSRST: PN-EN 12697-46 z lipca 2012 r., której opublikowanie może spowodować większe upowszechnienie tego badania laboratoryjnego.

Podsumowując przeprowadzone badania właściwości niskotemperaturowych betonu asfaltowego można stwierdzić, że:

- cztery stosowane metody badań w większości przypadków w podobny sposób klasyfikowały użyte asfalty,
- według wszystkich metod, najlepsze właściwości uzyskał beton asfaltowy z asfaltem wielorodzajowym 50/70. Jednocześnie najniższą odpornością na spękania niskotemperaturowe wykazał się beton asfaltowy z asfaltem zwykłym 50/70.

Bibliografia

- [1] AASHTO TP10 – Standard Test Method for Thermal Stress Restrained Specimen Tensile Strength
- [2] W. Arand, *Behaviour of asphalt aggregate mixes at low temperatures*, IV International RILEM Symposium, Budapest, Hungary 1990
- [3] A.G.H. Ar-Rabti, J. Judycki, *Effect of some testing variables on resilient modulus of asphalt mixes determined in indirect tensile method*, Journal of Road Materials and Pavement Design, 1999
- [4] U. Isacson, T.S. Vinson, H. Zeng, *The influence of material factors on the low temperature cracking of asphalt mixtures*, Mechanical Tests for Bituminous Materials, RILEM Symposium, editors H. Di Benedetto, L. Francken, Lyon, France 1997
- [5] J. Judycki, *Właściwości reologiczne betonu asfaltowego w niskich temperaturach*, Drogownictwo 2/1976
- [6] J. Judycki, M. Pyszczola, P. Jaskuła, *Modyfikacja metody zginania belek z mieszanek mineralno-asfaltowych i ocena ich parametrów reologicznych*, VII Międzynarodowa Konferencja „Trwałe i bezpieczne nawierzchnie drogowe, Kielce, Polska 2001
- [7] A.F. Stock, W. Arand, *Low temperature cracking in polymer modified binders*, Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists, vol. 62, 1993, s. 23-53
- [8] D. Sybilski, S. Styk, *Stiffness modulus of bituminous mixtures: Influence of temperature, mixture's type and binder*, Mechanical Tests for Bituminous Materials, RILEM Symposium, editors H. Di Benedetto, L. Francken, Lyon, France 1997
- [9] D. Sybilski, *Pękanie nawierzchni bitumicznych w niskich temperaturach*, Drogownictwo 6/1999
- [10] M. Pyszczola, *Spękania niskotemperaturowe warstw asfaltowych nawierzchni*, Praca doktorska, Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Gdańsk 2006
- [11] H. Zeng, *On the low temperature cracking of asphalt pavements*, Report TRITA-IP FR 95-7, Department of Highway Engineering, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden 1995
- [12] PN-EN 12697-46 Mieszanki mineralno-asfaltowe – Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco – Część 46: Pękanie niskotemperaturowe i właściwości w badaniach osiowego rozciągania. Zatwierdzona przez Polski Komitet Normalizacyjny w lipcu 2012 ■

Z prasy zagranicznej

Duże projekty autostradowe w Peru przyznane brazylijskiej firmie

W Peru, brazylijski wykonawca firma Odebrecht przygotowuje za 500 mln dolarów plany modernizacji głównej sieci dróg wokół stolicy, Limy. Planowana jest modernizacja 144 km dróg. Najważniejszym punktem tego projektu będzie modernizacja autostrad: Panamericana Norte, Panamericana Sur i Ramiro Priale. Prace planowane są na lata 2013–2015. Ponadto firmie Odebrecht zostały przyznane 30-letnie koncesje na tych autostradach i będzie ona m.in. pobierać opłaty od użytkowników za przejazd tymi trzema trasami wokół Limy.

<http://www.worldhighways.com>

Brytyjski program poszerzania dróg

Główne prace programu poszerzania dróg w Wielkiej Brytanii, wartego 150 mln funtów, rozpoczęły się w regionie East Midlands w pobliżu Nottingham. Prace skupią się na siedmiomilowym odcinku drogi A453 między Junction i obwodnicą Nottingham, czyli głównym połączeniu Nottingham i lotniska East Midlands. Agencja Autostrad przedstawiła analizy potwierdzające, że prace poszerzające trasę zmniejszą jej przeciążenie i zwiększą bezpieczeństwo. Projekt ma być realizowany aż do lata 2015 r. Poszerzenie

drogi A453 jest jednym z sześciu punktów programu pobudzenia wzrostu gospodarczego, zapowiedzianego jesienią w 2011 r. i pierwszy, który rozpoczęło. Jest on częścią inwestycji, wartych 3,3 mld funtów, w zakresie modernizacji drogowych w tym okresie.

Brytyjski Minister Transportu Stephen Hammond powiedział: *Modernizacja i poszerzenie A453 wynika ze zobowiązania rządu do poprawy naszej sieci dróg i pomaga stymulować wzrost gospodarczy... Przyniesie znaczne korzyści ekonomiczne lokalnym firmom i jednocześnie kierowcom poprawiając bezpieczeństwo na drogach.*

<http://www.worldhighways.com>

Wezwanie Czech do podwojenia środków na projekt drogi R7

Władze północno-zachodniego regionu Republiki zaapelowały do czeskiego premiera, aby zapewnił środki na zakończenie budowy dwujezdniowej drogi R7. Projekt rozpoczął się w 1964 r., ale dotychczas nastąpił tylko mały postęp w jego realizacji. Kilka odcinków drogi zostało ukończonych, ale przygotowywanie innych zostało odwołane w 2012 r. Obecnie powstaje 15,8 km odcinek pomiędzy Chomutov i Velemysleves, którego zakończenie zaplanowano na wrzesień 2013 r.

<http://www.worldhighways.com>