



MAREK PSZCZOŁA

marek.pszczola@wilis.pg.gda.pl



MARIUSZ JACZEWSKI

mariusz.jaczewski@wilis.pg.gda.pl



CEZARY SZYDŁOWSKI

cezary.szydowski@wilis.pg.gda.pl



JÓZEF JUDYCKI



BOHDAN DOŁYCKI

bohdan.dolzycki@wilis.pg.gda.pl

POLITECHNIKA GDAŃSKA

Ocena właściwości niskotemperaturowych mieszanek mineralno-asfaltowych z asfaltem modyfikowanym SBS i gumą

Gumę pochodzącą z opon zaczęto stosować do mieszanek mineralno-asfaltowych w latach 60. XX wieku, jako materiał o właściwościach sprężystych, który mógł pozytywnie wpłynąć na właściwości przeciwpślizgowe, trwałość i odporność na pęknięcie niskotemperaturowe mieszanek mineralno-asfaltowych. Istotną zaletą modyfikacji gumą było wykorzystanie zużytych opon samochodowych. Miał gumowy stosuje się do mieszanek mineralno-asfaltowych wykorzystując dwie różne metody przetwarzania, opisane przez Presti [1]. Pierwszą metodą jest „metoda na mokro” (ang. *wet process*), w której miał gumowy mieszany jest z gorącym asfaltem. Drugą metodą jest „metoda na sucho” (ang. *dry process*), w którym kawałki gumy dodaje się do kruszywa w mieszance mineralno-asfaltowej. Obydwie metody zwykle przeprowadza się na wytwórni podczas produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej. Możliwe jest również jednoczesne użycie miału gumowego i polimeru SBS w trakcie jednego procesu modyfikacji [2]. W Rafinerii Gdańskiej wprowadzono nowy rodzaj asfaltu modyfikowanego kopolimerem SBS i miałem gumowym (CR). Proces produkcji w rafinerii asfaltu modyfikowanego polimerem i gumą został opisany przez Świczko-Żurek i in. [3]. Asfalt 45/80-55 CR modyfikowany polimerem i gumą spełnia wszystkie wymagania stawiane dla asfaltu PmB 45/80-55 modyfikowanego

polimerem SBS zgodnie z normą PN-EN 14023. Główną zaletą dodawania miału gumowego jest możliwość użycia materiału z recyklingu, przy jednoczesnym zmniejszeniu ilości dodawanych polimerów w stosunku do standardowo modyfikowanego asfaltu jedynie samym polimerem SBS.

Rodzaj zastosowanego asfaltu ma istotny wpływ na spękania niskotemperaturowe warstw asfaltowych. Zjawisko pęknięcia niskotemperaturowego rozpoczyna się na powierzchni jedni i postępuje z czasem w głąb nawierzchni asfaltowej w wyniku działania niskiej temperatury w okresie zimowym i spadku temperatury otoczenia. Nawierzchnie asfaltowe podlegają działaniu niskich temperatur i szybkiego chłodzenia. W rezultacie, ze względu na skurcz, w warstwie asfaltowej powstają rozciągające naprężenia termiczne. W sytuacji gdy naprężenia przekraczają wytrzymałość na pęknięcie warstwy nawierzchni asfaltowej, powstaje poprzeczne spękanie termiczne. Właściwości niskotemperaturowe asfaltów i mieszanek mineralno-asfaltowych z asfaltami modyfikowanych gumą były badane przez szereg badaczy [4–8], ale jak ustalono efekt modyfikacji w dużym stopniu zależy także od pochodzenia i rodzaju asfaltu. Przeprowadzone studia literaturowe wykazały, że moduł sztywności $S(t, T)$ asfaltu, a w rezultacie także mieszanki mineralno-asfaltowej, zmniejsza się ze względu na niższą sztywność gumy w niskiej temperaturze (do -20°C).

W artykule przedstawiono właściwości niskotemperaturowe mieszanek mineralno-asfaltowych wykonanych z użyciem asfaltu modyfikowanego zarówno polimerem SBS, jak i miałem gumowym. Uzyskane wyniki porównano z właściwościami mieszanek wykonanych z użyciem asfaltu modyfikowanego wyłącznie polimerem SBS. Badania niskotemperaturowe przeprowadzono na Politechnice Gdańskiej przez Judyckiego i in. [9] w ramach większego programu badań zleconego przez jedną z polskich rafinerii.

Materiały

Badania laboratoryjne przeprowadzono na dwóch rodzajach mieszanek mineralno-asfaltowych stosowanych do wykonania warstwy ścieralnej, tj. mastyksu grysowego (SMA 8) i asfaltu porowatego (PA 8). Szkielet mineralny został zaprojektowany zgodnie z Wytocznymi Technicznymi WT-2 2010 [10]. W przypadku każdego rodzaju mieszanki wybrano optymalną zwartość asfaltu, ustaloną na podstawie wyników badań laboratoryjnych przeprowadzonych dla typowej mieszanki mineralno-asfaltowej z asfaltem modyfi-

Tabela 1. Skład badanych mieszanek mineralno-asfaltowych

Właściwości		Rodzaj mieszanki			
		SMA 8	SMA 8 CR	PA 8	PA 8 CR
Kruszywo	Przechodzi przez sito # [mm]				
	11,2	100		100	
	8	94,2		91,2	
	5,6	41,2		13,4	
	2	25,6		6,7	
	0,125	11,9		4,8	
	0,063	9,7		4,1	
	rodzaj kruszywa	gnejs, granodioryt i wapień		gnejs, granodioryt i wapień	
Asfalt	zawartość optymalna [%]	7,0		6,5	
	rodzaj asfaltu	45/80-55 PmB	45/80-55 CR	45/80-65 PmB	45/80-65 CR

Tabela 2. Właściwości asfaltów modyfikowanych według PN-EN 14023

Właściwość	Rodzaj asfaltu			
	45/80-55 PmB	45/80-55 CR	45/80-65 PmB	45/80-65 CR
Penetracja w 25°C, 0,1 mm, wg PN-EN 1426	43	53	52	45
Temperatura mięknięcia, °C, wg PN-EN 1427	60	55	72	76
Lepkość dynamiczna, Pa·s, wg PN-EN 12596				
90°C	35,321	19,058	43,728	81,833
135°C	1,225	0,859	1,813	1,947
160°C	0,373	0,303	0,596	0,563

kowanym polimerem SBS. Skład mieszanek i rodzaj zastosowanego asfaltu przedstawiono w tabeli 1.

Do badań zachowania się w niskiej temperaturze wybrano cztery rodzaje asfaltów: dwa asfalty modyfikowane polimerem SBS i gumą: 45/80-55 CR, 45/80-65 CR i dwa referencyjne asfalty modyfikowane jedynie polimerem SBS: 45/80-55 i 45/80-65. Normowe właściwości asfaltów użytych w badaniach przedstawiono w tabeli 2.

Przed zagęszczeniem próbek każdy rodzaj mieszanki mineralno-asfaltowej był poddawany starzeniu krótkoterminowemu zgodnie z normą AASHTO R30-02.



Fot. 1. Przeprowadzone badania laboratoryjne: (a) badanie TSRST; (b) zginanie 3-punktowe; (c) badanie wytrzymałości na pękanie

Metody badań

Badania laboratoryjne w niskiej temperaturze stanowiły główną część całego programu badawczego i obejmowały zarówno testy normowe (zgodnie z normami PN-EN lub wymaganiami technicznymi), jak i testy nieznormalizowane, opracowane, względnie zmodyfikowane, na Politechnice Gdańskiej. W artykule przedstawiono wyniki następujących badań laboratoryjnych:

- badanie TSRST, zgodnie z PN-EN 12697-46,
- pełzanie w 3-punktowym zginaniu,
- badanie odporności na pękanie,
- ocena twardnienia fizycznego.

Każde badanie laboratoryjne przeprowadzono dla wszystkich czterech mieszanek mineralno-asfaltowych: SMA 8, SMA 8 CR, PA 8 i PA 8 CR. Przeprowadzone badania przedstawiono na fotografiach 1a-1c, a ich procedury opisano szczegółowo w kolejnych częściach artykułu.

Badanie TSRST

Badanie TSRST (ang. Thermal Stress Restrained Specimen Test) przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN 12697-46 (2012). W przypadku każdej z badanych mieszanek przygotowano trzy próbki belkowe (40 × 40 × 160 mm). Każda próbka została umieszczona w ramie badawczej i po okresie kondycjonowania była ochładzana z prędkością 10°C / h. Badanie rozpoczynało się w temperaturze +20°C i kończyło się w momencie pęknięcia próbki. Podczas trwania badania mierzona była siła niezbędna do utrzymania stałej długości próbki, co pozwoliło na obliczenie naprężeń termicznych powstałych w próbce. Poza rejestracją ciągłą wartości siły rozciągającej głównymi wynikami testu TSRST są: temperatura krytyczna, w której próbka uległa pęknięciu i maksymalne naprężenie termiczne.

Badanie zginania

3-punktowy test zginania zastosowany w badaniach laboratoryjnych został opracowany przez profesora Judyckiego [11–12] a następnie ulepszany pod jego nadzorem [13–15]. Badanie zginania składa się z dwóch etapów. W pierwszym etapie belka poddawana jest działaniu obciążenia statycznego przez 2400 sekund. W drugim etapie belka jest odciążana przez 1200 sekund. Przykładane obciążenie zależało od temperatury, w jakiej przeprowadzono badanie i badanego rodzaju mieszanki (SMA lub PA). Wartość obciążenia ustalono jako 20-30% wytrzymałości na zginanie. W przypadku wszystkich belek temperatury badania wynosiły: -20 , -10 i 0°C . Próbkę przed badaniem były kondycjonowane w danej temperaturze przez okres 4 godzin. Za pomocą czujnika LVDT mierzono odkształcenia na spodzie próbki. W każdej z wymienionych temperatur badano 3 belki o wymiarach $50 \times 50 \times 300$ mm, uformowanych z każdej z ocenianych mieszanek mineralno-asfaltowych.

Badanie odporności na pękanie (ang. fracture toughness test)

Drugim sposobem oceny odporności na pękanie w niskiej temperaturze było wykorzystanie teorii mechaniki pęknięcia. Odporność na pękanie oceniano w badaniu zginania półwałcowych próbek zgodnie z normą PN-EN 12697-44. Oryginalna metodologia badania, opisana w normie PN-EN 12697-44, została zmodyfikowana na podstawie studiów literatury [16-19]. Standardowa metoda zawarta w normie PN-EN 12697-44 oparta jest na określeniu odporności mieszanek mineralno-asfaltowych na pękanie K_{IC} , która jest obliczana na podstawie maksymalnej siły zarejestrowanej podczas zginania próbki. W celu dodatkowej oceny mieszanek, określono również wartość całki J , która charakteryzuje prędkość uwalniania energii odkształcenia.

Próbkę półwałcową poddaje się działaniu obciążenia pionowego, zmiennego ze stałą prędkością przyrostu przemieszczenia. W celu uzyskania schematu 3-punktowego zginania, próbka spoczywa na 2 podporach. W czasie testu rejestruje się w sposób ciągły obciążenie i przemieszczenie pionowe. Prędkość zmiany przemieszczenia wynosiła 1 mm / min. Próbkę podczas badania umieszczona jest w komorze termostatycznej prasy, aby utrzymać stałą temperaturę badania wynoszącą -20°C .

Wartość K_{IC} obliczono na podstawie wartości maksymalnego obciążenia zarejestrowanego przy pęknięciu próbki. Energia odkształcenia U do chwili pęknięcia została obliczona jako powierzchnia pod wykresem $F(d)$ osobno w przypadku trzech głębokości nacięcia a . Z wykresu funkcji $U(a)$ określono równania regresji liniowej, w której nachylenie funkcji, czyli pochodna dU/da , reprezentuje zmianę energii odkształcenia przy zmianie głębokości nacięcia.

Badanie twardnienia fizycznego (ang. physical hardening test)

Twardnienie fizyczne jest jednym z wielu ważnych aspektów, które mają wpływ na termiczne pękanie mieszanek

mineralno-asfaltowych. Stwierdzono, że podczas utrzymywania stałej niskiej temperatury podczas kondycjonowania próbki, moduł sztywności wzrasta w funkcji czasu [20–22]. Podobne zachowanie stwierdzono także podczas krótkiego czasu obciążenia w przypadku niektórych mieszanek mineralno-asfaltowych [23–27], zwłaszcza w przypadku mieszanek SMA. Jednym z elementów prezentowanego programu badawczego było zbadanie, czy takie same zachowanie jest również widoczne w przypadku długiego obciążenia. Autorzy zastanawiali w tym celu badanie 3-punktowego zginania. W celu pomiaru zmiany modułu sztywności w długim okresie pelzania, przygotowano dodatkowe belki z tej samej partii mieszanki. Kondycjonowanie próbek różniło się co do czasu utrzymywania ich w temperaturze badania. Standardowe kondycjonowanie próbek trwało 4 godziny. W celu zbadania efektu twardnienia fizycznego kondycjonowanie próbek wydłużono do 120 godzin.

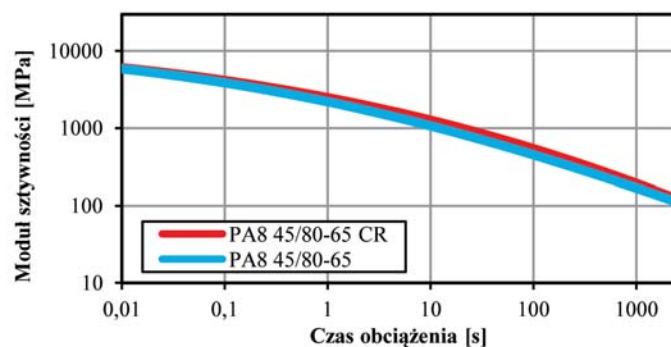
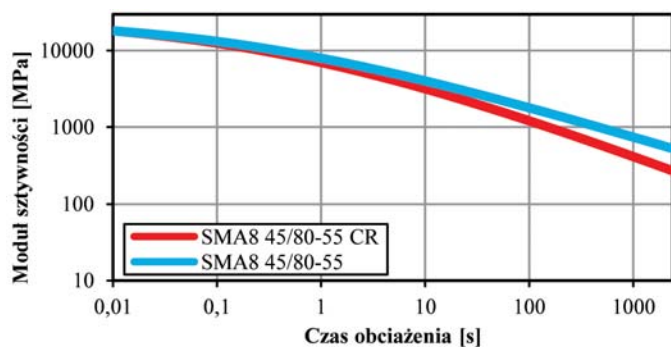
Wyniki badań laboratoryjnych

Wyniki badania TSRST przedstawiono w tabeli 3. W obu badanych typach mieszanek mineralno-asfaltowych – SMA 8 oraz PA 8 uzyskano zbliżone rezultaty w przypadku obu lepiszczy asfaltowych – modyfikowanego polimerem SBS oraz modyfikowanego SBS i dodatkiem miazgi gumowego. Różnice w uzyskanych wynikach badań (temperatura pęknięcia, maksymalne naprężenia termiczne) są mniejsze niż dopuszczalne rozrzuty wyników pojedynczego badania przeprowadzonego zgodnie z normą PN-EN 12697-46. W przypadku mieszanek SMA 8 nieznacznie lepsze okazały się asfalty modyfikowane SBS i dodatkiem gumy. W przypadku mieszanek PA 8 sytuacja była odwrotna – lepszą odporność na spękania niskotemperaturowe uzyskano dla asfaltu modyfikowanego wyłącznie polimerem SBS.

Tabela 3. Wyniki badania TSRST

Rodzaj mieszanki mineralno-asfaltowej	Temperatura pęknięcia		Maksymalna wartość naprężeń termicznych w chwili pęknięcia próbki	
	średnia [$^{\circ}\text{C}$]	odchylenie standardowe [$^{\circ}\text{C}$]	średnia [MPa]	odchylenie standardowe [MPa]
SMA 8 45/80-55 CR	-27,8	1,29	3,890	0,240
SMA 8 45/80-55	-25,8	1,36	3,917	0,565
PA 8 45/80-65 CR	-29,1	0,79	1,205	0,040
PA 8 45/80-65	-31,4	0,50	1,165	0,062

W przypadku badania trójpunktowego zginania wyniki badań przedstawiono na dwa sposoby – jako krzywe wiodące modułu sztywności (rys. 1) oraz jako parametry modelu reologicznego Burgersa (tab. 4). W przypadku mieszanki asfaltu porowatego PA 8, w obu sposobach interpretacji badań uzyskano bardzo zbliżone do siebie rezultaty. Pewne różnice obserwowane były w przypadku

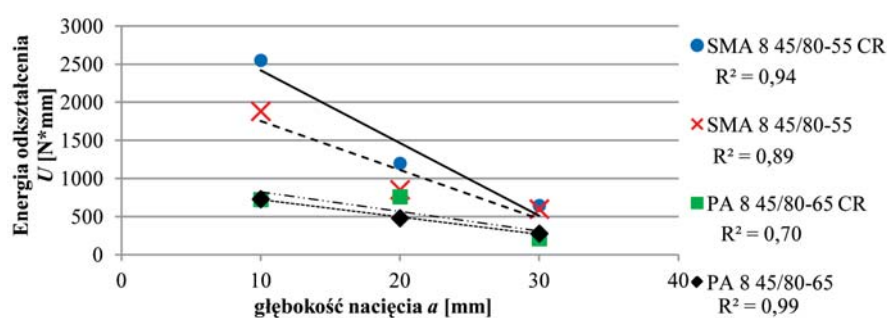


Rys. 1. Krzywe wodzące badanych mieszanek mineralno-asfaltowych, utworzone na podstawie badania zginania pod stałym obciążeniem, temperatura referencyjna 0°C

Tabela 4. Średnie wartości parametrów reologicznych modelu Burgersa

Temperatura [°C]	Parametry reologiczne modelu Burgersa	SMA 8		PA 8	
		45/80-55 CR	45/80-55	45/80-65 CR	45/80-65
0	E_1 [MPa]	5 714	5 802	2 281	2 000
	E_2 [MPa]	767	1 364	329	328
	η_1 [MPa·s]	1 032 619	2 393 693	538 905	447 603
	η_2 [MPa·s]	166 533	271 244	68 390	63 438
-10	E_1 [MPa]	11 325	10 943	3 373	3 079
	E_2 [MPa]	1 833	3 185	829	527
	η_1 [MPa·s]	12 536 969	16 302 694	2 871 632	2 660 394
	η_2 [MPa·s]	406 449	559 783	130 071	117 390
-20	E_1 [MPa]	15 583	17 771	3 911	4 505
	E_2 [MPa]	5 917	6 300	941	1 852
	η_1 [MPa·s]	76 181 403*	243 163 549	13 012 448*	109 779 649
	η_2 [MPa·s]	1 422 685	1 719 587	317 827	857 877

* część wyników została odrzucona ze względu na asymptotyczne płynięcie materiału lub zbyt duże odchylenia od wartości średnich.



Rys. 2. Zależność pomiędzy energią odkształcenia a głębokością nacięcia próbki

parametru lepkości η_1 modelu Burgersa w temperaturze -20°C. Należy jednak wziąć pod uwagę, że w przypadku mieszanki PA 8 z asfaltem modyfikowanym polimerem SBS, część wyników lepkości została odrzucona, ze względu na bardzo wolne ustalone płynięcie materiału. Uzyskiwane w takim przypadku wartości parametru lepkości η_1 były znacząco zawyżone.

W przypadku mieszanki SMA 8 różnice widoczne są w temperaturach zbliżonych do 0°C. Przy czasach obciążenia od 10 do 2400 sekund (odpowiadającym temperaturze 0°C), wartości modułu sztywności uzyskane dla mieszanki z asfaltem modyfikowanym SBS i gumą są nawet do 2 razy niższe niż w przypadku zastosowania asfaltu modyfikowanego polimerem SBS. W przypadku pozostałych badanych temperatur, uzyskane wyniki są do siebie zbliżone. Biorąc pod uwagę wyznaczone wartości parametrów reologicznych modelu Burgersa, nieznacznie lepsze wyniki odporności na spękania niskotemperaturowe uzyskała mieszanka SMA 8 z asfaltem modyfikowanym dodatkiem gumy – niższe lub zbliżone wartości modułów sprężystości oraz niższe wartości parametrów lepkości.

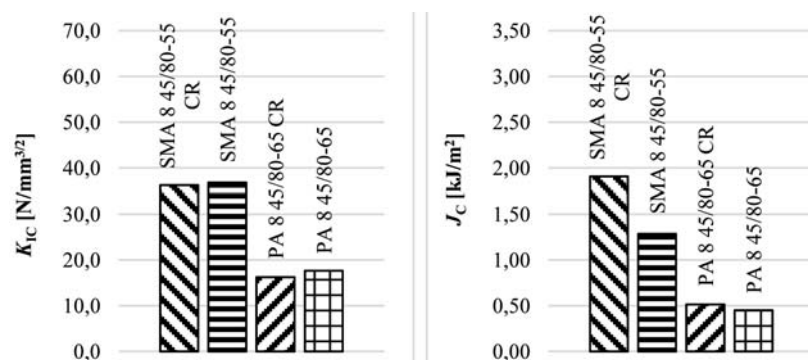
Na rysunku 2 przedstawiono zależność pomiędzy energią odkształcenia $U(a)$ a głębokością nacięcia próbki. Dodatkowo na rysunku przedstawiono równania regresji liniowej wykorzystywane do obliczeń wartości całki J_c .

Zestawienie wyników badania odporności na pękanie przedstawiono w tabeli 5 oraz na rysunku 3.

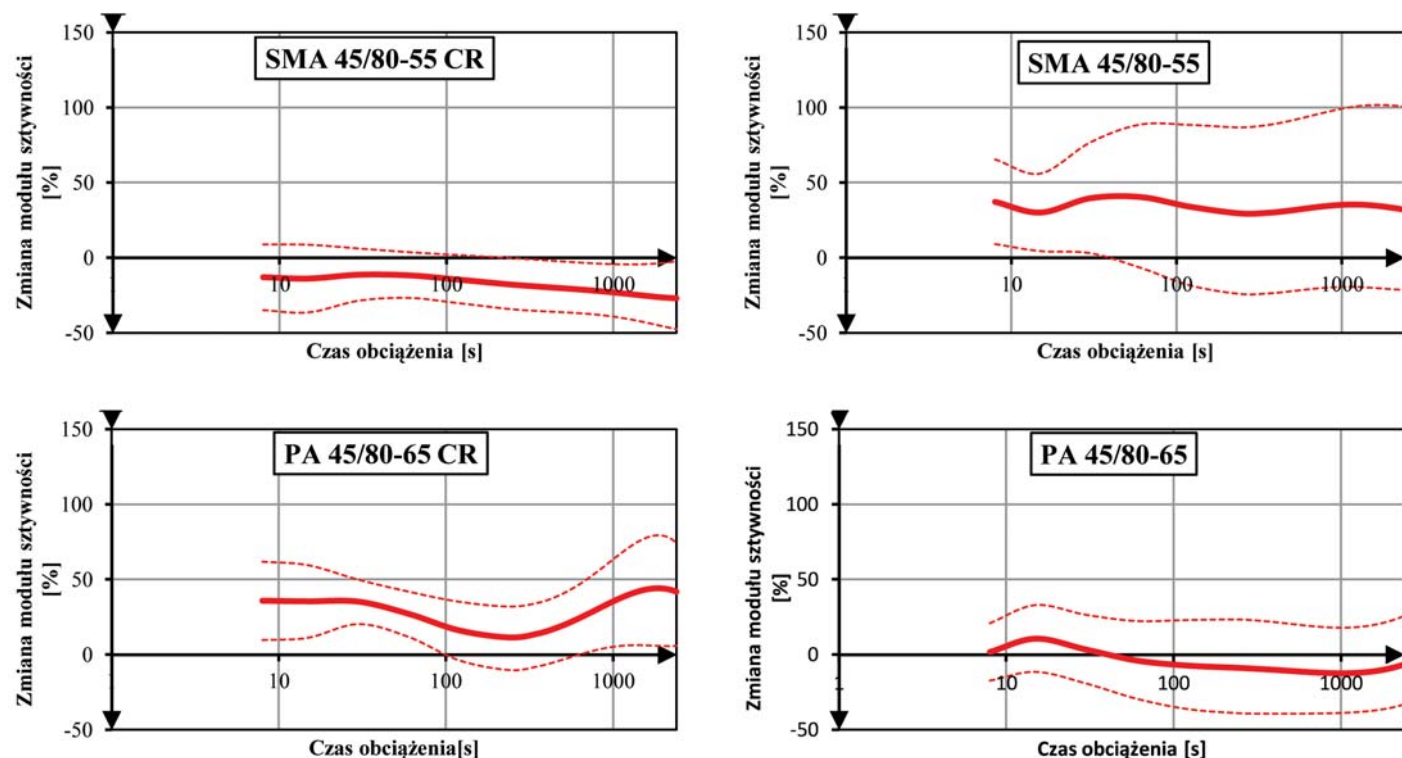
Na rysunku 4 przedstawia wyniki badania wpływu zjawiska twardnienia fizycznego na moduł sztywności mieszanek mineralno-asfaltowych w niskiej temperaturze. Uzyskane wyniki nie pokazały jednoznacznych korelacji w tym zakresie. Wyłącznie w przypadku mieszanki SMA 8 z asfaltem modyfikowanym SBS uzyskano równomierny wzrost wartości modułów sztywności w każdej z badanych temperatur. Wzrost ten wynosił około 20–30% w stosunku do wyników uzyskanych dla czasu kondycjonowania równego 4 godziny. W przypadku mieszanki asfaltu porowatego PA 8 z asfaltem modyfikowanym polimerem SBS równomierny wzrost wartości modułu sztywności wi-

Tabela 5. Wyniki badania odporności na pęknięcie w temperaturze -20°C ; przedstawione wyniki są średnią z 4 próbek badawczych

Rodzaj mieszanki mineralno-asfaltowej	a [mm]	F_{\max} [N]	U [N*mm]	σ_0 [N/mm ²]	K_{Ic} [N*mm ^{-3/2}]	dU/da [N]	J_c [kJ/m ²]
SMA 8 45/80-55 CR	10	10696	2550,4	1,4	38,2	-95,23	1,90
	20	7942	1198,9	1,1	40,9		
	30	5138	645,7	0,7	35,6		
SMA 8 45/80-55	10	10870	1882,4	1,4	38,8	-64,19	1,28
	20	7110	851,6	0,9	36,6		
	30	5264	598,6	0,7	36,5		
PA 8 45/80-65 CR	10	4795	723,5	0,6	17,1	-25,67	0,51
	20	2800	440,4	0,4	14,4		
	30	1701	210,2	0,2	11,8		
PA 8 45/80-65	10	5220	728,7	0,7	18,6	-22,58	0,45
	20	2968	479,6	0,4	15,3		
	30	1517	277,2	0,2	10,5		



Rys. 3. Współczynniki intensywności naprężeń K_{Ic} (średnia z trzech głębokości nacięcia) oraz całka J wyznaczone dla badanych mieszanek mineralno-asfaltowych



Rys. 4. Zmiana modułu sztywności w badaniu pełzania próbek belkowych, po 120 godzinach kondycjonowania w -20°C

doczynny był jedynie w temperaturze 0 oraz -10°C . W przypadku temperatury -20°C wartości uzyskane dla obu czasów kondycjonowania były zbliżone do siebie.

W przypadku mieszanek z asfaltem modyfikowanym SBS i dodatkiem gumy, wyniki uzyskane w badaniu pełzania były niejednoznaczne. Wyłącznie w jednej z trzech badanych temperatur był widoczny wzrost wartości modułów sztywności w zakresie od 20 do 40% (-20°C dla mieszanki PA 8 oraz -10°C dla mieszanki SMA 8). W pozostałych badanych temperaturach uzyskano spadek wartości modułów sztywności w zakresie od 10 do 20%. Może to sugerować, że zjawisko to nie zachodzi lub zachodzi w ograniczonym zakresie w przypadku stosowania asfaltów modyfikowanych SBS i dodatkiem gumy.

Podsumowanie

Przedstawione wyniki badań laboratoryjnych oceniających właściwości niskotemperaturowe mieszanek SMA 8 oraz PA 8 z asfaltami: modyfikowanym polimerem SBS oraz modyfikowanym SBS i dodatkiem gumy pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Asfalty modyfikowane SBS i dodatkiem gumy 45/80-55 CR oraz 45/80-65 CR spełniają

wszystkie wymagania stawiane asfaltom 45/80-55 i 45/80-65 modyfikowanym polimerem SBS w normie europejskiej PN-EN 14023. Podstawową uzyskaną korzyścią jest możliwość użycia materiału z recyklingu przy jednoczesnym zredukowaniu ilości dodawanego do asfaltu polimeru SBS.

2. Mieszanki mineralno-asfaltowe wykonane z wykorzystaniem asfaltów modyfikowanych SBS i gumą oraz standardowych asfaltów modyfikowanych polimerem SBS uzyskały zbliżone rezultaty w każdym z przeprowadzonych badań laboratoryjnych. Pewne różnice widoczne były w pojedynczych badaniach w przypadku mieszanki SMA 8 (Całka J_c w przypadku badania odporności na pękanie oraz wyniki badania pełzania na próbkach belkowych w temperaturze 0°C).

3. Wyniki badania TSRST wykazały wysoką odporność na spękania niskotemperaturowe w przypadku mieszanki asfaltu porowatego PA 8 (-31°C) oraz średnią odporność na spękania niskotemperaturowe w przypadku mieszanki SMA 8 (-25°C). W przypadku obydwu użytych asfaltów uzyskano zbliżone wyniki.

4. Krzywe wiodące wyznaczone z badania pełzania w przypadku mieszanki PA 8 wykazują zbliżone zachowanie się obu badanych asfaltów w temperaturze ujemnej. W przypadku mieszanki SMA 8 nieznacznie lepsze zachowanie w temperaturze 0°C wykazała mieszanka z asfaltem modyfikowanym polimerem SBS.

5. Parametry reologiczne modelu Burgersa uzyskane z badania pełzania próbek belkowych osiągnęły podobne wartości w przypadku mieszanki asfaltu porowatego PA 8 dla obu badanych asfaltów. W przypadku mieszanki SMA 8 lepsze wyniki uzyskano dla mieszanki z asfaltem modyfikowanym SBS i dodatkiem gumy.

6. W badaniu odporności na pękanie uzyskano zbliżone wyniki dla obu użytych asfaltów. Jedyna różnica widoczna jest w przypadku całki J_c w przypadku mieszanki SMA 8 – mieszanka z asfaltem modyfikowanym z gumą uzyskała nieznacznie lepsze wyniki.

7. Zjawisko twardnienia fizycznego zaobserwowano w sposób jednoznaczny wyłącznie w przypadku mieszanki SMA 8 z użyciem asfaltu modyfikowanego polimerem SBS. W pozostałych przypadkach uzyskane wyniki można określić jako niepewne. Mieszanki z asfaltami modyfikowanymi z gumą – to w większości zbadanych przypadków zaobserwowano spadek modułu sztywności wraz z czasem kondycjonowania. Z uwagi na fakt, że były to pilotażowe badania zjawiska twardnienia fizycznego w przypadku długich czasów obciążenia co wymaga dalszych prac badawczych.

Bibliografia

- [1] D.L. Presti, Recycled tyre rubber modified bitumens for road asphalt mixtures: A literature review. *Construction and Building Materials*, vol 49, 2013, s. 863-881
- [2] J. Król, P. Radziszewski, M. Sarnowski, P. Czajkowski, A. Kędzierska, A. Chromiec, *Mieszanki mineralno-asfaltowe z lepisczkiem polimerowo-gumowym do warstw ścieralnych*, *Magazyn Autostrady*, nr. 5, 2013, s. 82-87
- [3] B. Świeczko-Zurek, P. Jaskuła, J.A. Ejsmont, A. Kędzierska, P. Czajkowski, *Rolling resistance and tire/road noise on rubberized asphalt pavement in Poland*, *Road Materials and Pavement Design*, Vol. 18, Issue 1, 2017, s. 151-167
- [4] D. Sybilski, W. Bańkowski, R. Horodecka, M. Gajewski, P. Czajkowski, A. Kędzierska, *Laboratoryjna ocena przydatności polimeroasfaltu z dodatkiem gumy do zastosowania w mieszance AC WMS*. Cz. 1, *Badania asfaltów, Drogownictwo*, nr 7-8, 2014, s. 226-232
- [5] D. Sybilski, W. Bańkowski, R. Horodecka, P. Czajkowski, *Laboratoryjna ocena przydatności polimeroasfaltu z dodatkiem gumy do zastosowania w mieszance AC WMS*. Cz. 2, *Badania mieszanki, Drogownictwo*, nr 9, 2014, s. 300-306
- [6] A. Ghavibazoo, M. Abdelrahman, *Effect of crumb rubber dissolution on low-temperature performance and aging of asphalt-rubber binder*, *Transportation Research Record*, vol. 2445, 2014, s. 47-55
- [7] K. Troy, P.E. Sebaaly, J.A. Epps, *Evaluation systems for crumb rubber modified binders and mixtures*, *Transportation Research Record*, vol. 1530, 1996, s. 3-10
- [8] P.E. Sebaaly, V.T. Gopal, J.A. Epps, *Low temperature properties of crumb rubber modified binders*, *Road Materials and Pavement Design*, vol. 4, no. 1, 2003, s. 29-48
- [9] J. Judycki, B. Dołycki, M. Pszczoła, M. Jaczewski, C. Szydłowski, *Badania i analizy dotyczące zastosowania asfaltów modyfikowanych SBS oraz dodatkiem gumy do mieszanki mineralno-asfaltowych*, raport końcowy, Politechnika Gdańska, Katedra Inżynierii Drogowej, Gdańsk, 2014
- [10] WT-2 2010, *Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych, Mieszanki mineralno-asfaltowe, Wymagania techniczne*, Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, 2010, Warszawa
- [11] J. Judycki, *Metoda badań własności reologicznych drogowego betonu asfaltowego*, *Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej, Budownictwo Lądowe*, XXIX, 1976, nr. 254, s. 79-109.
- [12] J. Judycki, *Bending test of asphaltic mixtures under static loading*, *Proceedings of the Fourth International RILEM Symposium, Mechanical Tests for Bituminous Mixes, Characterization, Design and Quality Control*, Budapest, 1990, s. 207-227.
- [13] M. Pszczoła, J. Judycki, *Testing of low temperature behaviour of asphalt mixtures in bending creep test*, *7th International RILEM Symposium on Advanced Testing and Characterization of Bituminous Materials: Advanced testing and characterization of bituminous materials*, Rhodes, 2009, s. 303-312
- [14] M. Pszczoła, J. Judycki, *Badania mieszanki mineralno-asfaltowych w niskiej temperaturze*, *Drogownictwo*, nr 3, 2013, s. 80-85
- [15] M. Jaczewski, J. Judycki, P. Jaskuła, *Lepkosprężyste modelowanie mieszanki mineralno-asfaltowych przy długim czasie obciążenia za pomocą krzywych wiodących i jego ograniczenia*, *Drogownictwo*, nr 10, 2015, s. 336-340
- [16] X.J. Li, M.O. Marasteanu, *Using semi-circular bending test to evaluate low temperature fracture resistance for asphalt concrete*, *Experimental Mechanics*, vol. 50, issue 7, 2010, s. 867-876
- [17] M. Elseifi, L.N. Mohammad, H. Ying, S. Cooper, *Modeling and evaluation of the cracking resistance of asphalt mixtures using the semi-circular bending test at intermediate temperature*, *Road Materials and Pavement Design*, vol. 13, issue S1, 2012, s. 124-139
- [18] C. Szydłowski, J. Judycki, *Badania parametrów mechaniki pękania betonów asfaltowych konwencjonalnych i o wysokim module sztywności*, *Drogownictwo*, nr 7-8, 2014, s. 219-225
- [19] C. Szydłowski, J. Judycki, *Badania odporności na pękanie mieszanki mineralno-asfaltowych na próbkach półwałkowych*, *Drogownictwo*, nr 10, 2015, s. 348-352
- [20] P.C. Blokker, H. Van Hoorn, *Durability of bitumen in theory and practice*. W: *Proc fifth world petroleum congress*, section VI, paper 27, June 1-5. 1959. s. 417-432
- [21] L.C.E. Struik, *Physical ageing in amorphous polymers and other materials*, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 1978
- [22] D.A. Anderson, D.W. Christensen, H.U. Bahia, R. Dongre, M.G. Sharma, C.E. Antle, *Binder characterization and evaluation*. W: *Physical characterization*, vol. 3. Publication SHRP-A-369, Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington D.C., 1994
- [23] S.A.M. Hesp, S. Iliuta, J.W. Shirokoff, *Reversible aging in asphalt binders*, *Energy & Fuels*, vol. 21, 2007, s. 1112-1121
- [24] O. Baglieri, D. Dalmazzo, M. Barazia, H.A. Tabatabaee, H.U. Bahia, *Influence of physical hardening on low-temperature properties of bitumen and asphalt mixtures*, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 53, 2012, s. 504-513

- [25] J. Judycki, *Influence of low-temperature physical hardening on stiffness and tensile strength of asphalt concrete and stone mastic asphalt*, Construction and Building Materials, vol. 61, 2014, s. 191-199
- [26] J. Judycki, *Twardnienie fizyczne asfaltów i mieszanek mineralno-asfaltowych oraz jego wpływ na spękania niskotemperaturowe*, Drogownictwo, nr 12, 2013, s. 368-373
- [27] J. Judycki, *Badania niskotemperaturowego twardnienia fizycznego betonu asfaltowego i mieszanki SMA*, Drogownictwo, nr 10, 2014, s. 311-318

Niniejszy artykuł opracowano z wykorzystaniem materiałów prezentowanych 26 maja 2016 roku na 12 Międzynarodowej Konferencji „Modern Building Materials, Structures and Techniques”, która odbyła się w Wilnie, na Litwie.

Z serwisu GDDKiA

Otwarcie ofert na drugi fragment obwodnicy Łomży (S61)

Jedenaście ofert wpłynęło w przetargu na projekt i budowę odcinka drogi krajowej S 61 od węzła „Łomża Zachód” do węzła „Kolno”. Cztery z nich były o połowę lub ponad połowę niższe od ceny zamawiającego (963,55 mln zł). Najniższą cenę zaproponowała Impresa Pizzarotti – 442,8 mln zł. (46 proc. ceny zamawiającego). Najwyższą konsorcjum Salini Impregilo S.p.A i Salini Polska sp. z o.o. – 711,7 mln zł.

Oprócz ceny, jednym z kryteriów był termin realizacji. Wykonawcy na etapie składania ofert mogli zaproponować wykonanie zamówienia w terminie krótszym niż maksymalny wymagany okres 37 miesięcy. Wszyscy składający oferty zadeklarowali 31-miesięczny okres wykonania zadania od chwili podpisania umowy podobnie też wszyscy uczestnicy postępowania przedstawili też najkorzystniejsze kryteria pozacenowe – właściwości przeciwpoślizgowe nawierzchni czy te dotyczące jej równości podłużnej.

Po zbadaniu ofert (m.in. pod kątem rażąco niskiej ceny) i ich ocenie – w najkrótszym możliwym terminie – zostanie wybrana oferta najkorzystniejsza.

Odcinek nr IV od węzła „Łomża Zachód” do węzła „Kolno” ma 13 kilometrów i wraz z fragmentem S 61 odc. nr III – od węzła „Łomża Południe” do węzła „Łomża Zachód” (długość 7,18 km), na którym otwarcie ofert nastąpiło 29.06 – stanowić będą obwodnicę Łomży wyprowadzającą ruch tranzytowy z tego miasta. W ramach obu zadań wybudowanych zostanie prawie 16 km dróg krajowych w klasie GP. (DK 64 – 6,9 km na odcinku IV i 9 km DK 63 na odc. III).



Investycja realizowana będzie w systemie „Projektuj i buduj”. Zadaniem wyłonionych w przetargu wykonawców będzie, przed przystąpieniem do prac budowlanych, wykonanie projektów budowlanych i złożenie wniosków o ZRID (Zezwolenie na Realizację Inwestycji Drogowej) dla całego zadania, a następnie wybudowanie odcinka i uzyskanie zezwolenia na użytkowanie. Zakończenie inwestycji planowane jest na 2021 r.

Droga ekspresowa S61 od Ostrowi Mazowieckiej do Szczuczyna podzielona została na 6 odcinków. Po dzisiejszym otwarciu ofert – cztery z nich są na etapie wyboru najkorzystniejszej oferty: „Łomża Południe” – „Łomża Zachód” (odc. III), IV „Łomża Zachód” – „Kolno”, „Kolno – Stawiski” (V) oraz „Stawiski – Szczuczyn” (VI). Dwa pozostałe odcinki: oraz odc. I „Ostrów Mazowiecka” – „Śniadowo” oraz II „Śniadowo” – „Łomża Południe” są w procedurze przetargowej.

Zadanie jest przewidziane do współfinansowania ze Środków Unii Europejskiej.

Podstawowe dane techniczne (klasa S)

Odcinek IV – węzeł „Łomża Zachód” (z węzłem) – węzeł „Kolno” (bez węzła)

Łączna długość – 12,99 km klasy S – przebieg nowym śladem.

3 węzły: „Łomża Zachód” na istniejącej drodze krajowej nr 61 (rejon Sierpuz Młodych), „Nowogród” na istniejącej drodze wojewódzkiej nr 645 (pomiędzy miejscowościami Nowe Kupiski i Kupiski Stare), „Łomża Północ” w rejonie miejscowości Czarnocin, na połączeniu z odcinkiem także wykonywanej drogi krajowej nr 64 (od węzła Łomża Północ – Marianowo – Elżbiecin).

Najdłuższy most w województwie podlaskim nad doliną Narwi – 1206 m. W sumie 20 obiektów inżynierskich, z czego 4 na DK 64 oraz 13 przepustów służących za przejścia dla zwierząt. Dodatkowo w ramach zadania wybudowanych zostanie 6,9 km DK 64 w klasie GP. Do tego ogrodzenie drogi, pasy technologiczne, drogi umożliwiające dojazd do nieruchomości.

- Przekrój drogi – 2 × 2
- Szerokość pasów ruchu – 3,5 m
- Szerokość pasów awaryjnych – 2,5 m
- Szerokość pasa dzielącego – 5 m
- Nawierzchnia – beton cementowy (na drodze ekspresowej), pozostałe drogi o nawierzchni asfaltowej
- Dopuszczalne obciążenie 115 kN/oś

21-07-2017