



ANDRZEJ PLEWA

Politechnika Białostocka
a.plewa@pb.edu.pl

Wpływ rodzaju lepiszcza asfaltowego na właściwości techniczne mieszanek mineralno-asfaltowych

Istotny wpływ na właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej (MMA) ma jakość zastosowanego do jej wytworzenia lepiszcza asfaltowego. Stosowane do produkcji MMA lepiszcza powinny charakteryzować się odpowiednim zakresem lepkości sprężystości, dużą sztywnością w wysokich temperaturach eksploatacyjnych występujących latem oraz odpowiednią elastycznością podczas oddziaływania temperatur ujemnych. W celu zapewnienia polepszenia właściwości stosuje się modyfikacje asfaltów różnego rodzaju dodatkami. Opracowano wiele metod modyfikacji asfaltów, w których wykorzystywano między innymi odpady gumowe, związki soli metalicznych oraz siarki. Dobre rezultaty uzyskiwano stosując dodatki polimerów np. kopolimeru SBS [1, 2, 3].

Modyfikacja asfaltów polimerami jest techniką znaną i wykorzystywaną od wielu lat. Uzyskane w ten sposób asfalty modyfikowane stosowane są z powodzeniem w różnych warunkach klimatycznych w szczególności do nawierzchni poddanych dużym obciążeniom ruchem [3, 4]. Zwiększenie elastyczności lepiszczy asfaltowych poprzez modyfikację polimerem wiąże się z koniecznością stosowania wyższych temperatur przy wytwarzaniu i w budowywaniu mieszanek mineralno-asfaltowych. W celu obniżenia temperatury technologicznej: wytwarzania, transportu, rozkładania i zagęszczania mieszanek mineralno-asfaltowych stosuje się upłynniacze do asfaltów [5, 6, 7, 8].

Jednym z najbardziej rozpowszechnionych sposobów ponownego wykorzystania odpadów gumowych ze zużytych opon samochodowych jest modyfikacja asfaltów drogowych miazem gumowym. Miaz gumowy jest to materiał uzyskiwany w wyniku rozdrobnienia zużytych opon na cząstki o wymiarach poniżej 1 mm. Tego typu modyfikacja, w wyniku której powstaje lepiszcze gumowo-asfaltowe, rzadko jeszcze jest stosowana w Polsce. Badania naukowe prowadzone w kraju i zagranicą [9, 10, 11] wykazały, że dodatek ten polepsza właściwości reologiczne lepiszcza, a szczególnie rozszerza jego temperaturowy zakres lepkości sprężystości. Mieszanki mineralno-gumowo-asfaltowe charakteryzują się korzystniejszymi właściwościami w zakresie temperatur eksploatacyjnych nawierzchni: wyższa trwałość zmęczeniowa, polepszona odporność na działanie wody oraz na koleinowanie. Poprawa właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych zależy od ilości i jakości dodatku gumowego oraz rodzaju zastosowanej mieszanki mineralno-asfaltowej [9, 11].

Przedstawione w artykule badania i analizy wykazują, że mieszanki mineralno-asfaltowe z zastosowaniem asfaltów

modyfikowanych charakteryzują się prawie 3-, 4-krotnie wyższą trwałością zmęczeniową w odniesieniu do mieszanek mineralno-asfaltowych z zastosowaniem typowych asfaltów drogowych. Przedstawione w opracowaniu rezultaty badań świadczą, że mieszanki mineralno-asfaltowe z zastosowaniem asfaltu modyfikowanego upłynnionego upłynniaczem roślinnym są w stanie przenieść obciążenia przy odkształceniu postaciowym $400 \mu\text{m/m}$ i wyższych. Konwencjonalne mieszanki mineralno-asfaltowe trudno zbadać przy poziomie odkształceń $200 \mu\text{m/m}$. Z tych powodów mieszanki mineralno-asfaltowe z zastosowaniem jako lepiszcza asfaltów modyfikowanych z dodatkiem upłynniacza pochodzenia roślinnego mogą stanowić bardzo dobre rozwiązanie do zastosowań jako warstwy przeciwspekaniowe – w przypadku uszkodzonych w wyniku spękań nawierzchni asfaltowych.

Badania właściwości asfaltów modyfikowanych

Do badań laboratoryjnych mających na celu ocenę cech technicznych mieszanek mineralno-asfaltowych zastosowano następujące lepiszcza asfaltowe:

- asfalt drogowy 50/70,
- produkowany w rafinerii asfalt modyfikowany PMB 25/55-60,
- wytworzone w laboratorium lepiszcze gumowo-asfaltowe (LGA), tj. asfalt drogowy 50/70 modyfikowany 19% dodatku miazgu gumowego ze zużytych opon samochodowych,
- wytworzony w laboratorium asfalt modyfikowany (elastomeroasfalt) z dodatkiem upłynniacza roślinnego (SBS+UR): asfalt 50/70 modyfikowany 5% kopolimerem SBS i dodatkiem 10% upłynniacza pochodzenia roślinnego.

Do oceny właściwości lepkości sprężystych analizowanych lepiszczy asfaltowych wykonano następujące oznaczenia laboratoryjne:

- penetracji w temperaturach 5°C , 15°C i 25°C ,
- temperatury mięknięcia metodą PiK,
- temperatury łamliwości wg Fraassa,
- lepkości dynamicznej w temperaturze 90°C , 110°C , 135°C i 150°C .

W tabeli 1 przedstawiono średnie wartości wyników oznaczeń temperatury mięknięcia PiK, temperatury łamliwości

wg Fraassa i zakresu lepkości asfaltów: 50/70, PMB 25/55-60, lepiszcza gumowo-asfaltowego (LGA) i asfaltu modyfikowanego upłynnionego upłynniaczem roślinnym (SBS+UR).

Tabela 1. Zestawienie średnich wartości temperatury mięknięcia PiK, temperatury łamliwości wg Fraassa i zakresu lepkości asfaltów: 50/70, PMB 25/55-60, lepiszcza gumowo-asfaltowego (LGA) i asfaltu modyfikowanego upłynnionego upłynniaczem roślinnym (SBS+UR)

Rodzaj asfaltu:	Temp. mięknięcia PiK [°C]	Temperatura łamliwości [°C]	Zakres lepkości sprężysty [°C]
50/70	53	- 17	70
PMB 25/55-60	72	- 22	90
LGA	66	- 21	87
SBS+UR	69	- 33	102

Na podstawie badań temperatury mięknięcia i temperatury łamliwości (tab. 1) ustalono, że największym zakresem lepkości charakteryzuje się upłynniony asfalt modyfikowany (102°C), następnie asfalt modyfikowany PMB (90°C), lepiszcze gumowo-asfaltowe (87°C) i asfalt drogowy 50/70 (70°C). Asfalt modyfikowany upłynniaczem roślinnym charakteryzuje się także najniższą temperaturą łamliwości (-33°C) w odniesieniu do pozostałych lepiszczy: asfalt modyfikowany (-23°C), lepiszcze gumowo-asfaltowe (-21°C), asfalt drogowy 50/70 (-17°C). Można więc przewidywać, że mieszanki mineralno-asfaltowe z asfaltem modyfikowanym z upłynniaczem roślinnym będą charakteryzowały się najwyższą odpornością na spękania niskotemperaturowe, na jakie narażone są nawierzchnie drogowe. Temperatury mięknięcia PiK, jakie oznaczono w przypadku analizowanych lepiszczy asfaltowych to: asfalt 50/70 – 53°C, PMB – 72°C, LGA – 66°C, SBS+UR – 69°C.

Wyniki badań lekkości dynamicznej umożliwiły ustalenie temperatury technologicznej wytwarzania mieszank mineralno-asfaltowych ze względu na zastosowany rodzaj lepiszcza.

Tabela 2. Temperatury technologiczne zastosowane do wytwarzania mieszank mineralno-asfaltowych ze względu na użyty rodzaj lepiszcza

MMA z lepiszczem:	Temperatura mieszania [°C]	Zakres temperatury efektywnego zagęszczania [°C]
50/70	150	95 ÷ 115
PMB 25/55-60	165	110 ÷ 130
LGA	180	120 ÷ 140
SBS+UR	147	100 ÷ 120

Na podstawie wyników badań przedstawionych w tabeli 2 należy stwierdzić, że asfalt modyfikowany z upłynniaczem roślinnym (UR) charakteryzuje się najniższą temperaturą wytwarzania mieszanki mineralno-asfaltowej (147°C). Można przyjąć, że temperatura wytwarzania jest o niemal 20°C niższa od temperatury, w jakiej należałoby produ-

kować MMA z asfaltem modyfikowanym PMB 25/55-60. Dostępne na polskim rynku asfalty modyfikowane wymagają temperatur wytwarzania mieszanek ok. 165°C. Obniżenie temperatury wytwarzania MMA przynosi wymierne korzyści ekonomiczne.

Badania mieszank mineralno-asfaltowych (MMA)

Do badań laboratoryjnych mieszank mineralno-asfaltowych zastosowano beton asfaltowy AC 16P, z przeznaczeniem do warstwy podbudowy dla kategorii ruchu KR5 ÷ KR7. Analizowane mieszanki mineralno-asfaltowe AC 16P zaprojektowano zgodnie z WT-2 2014 [12]. W tabeli 3 przedstawiono skład betonu asfaltowego AC 16P. Mieszanki mineralno-asfaltowe są różnicowane ze względu na zastosowany w nich rodzaj lepiszcza asfaltowego. Przed wykonaniem próbek do badań laboratoryjnych mieszanki mineralno-asfaltowe poddano procesowi starzenia technologicznego wg metodyki podanej w WT-2 2014 [12].

Tabela 3. Skład betonu asfaltowego AC 16P

Nazwa składnika mieszanki	Zawartość procentowa [%]	
	mieszanka mineralna	mieszanka mineralno-asfaltowa
mączka wapienna	6,0	5,7 (5,6*)
piasek łamany 0/2	21,9	20,8 (20,5*)
kruszywo łamane 2/5	39,2	37,2 (36,8*)
kruszywo łamane 8/16	32,9	31,3 (30,9*)
asfalt (LGA*)	-	5,0 (6,2*)

* Skład mieszanki mineralno-asfaltowej z lepiszczem gumowo-asfaltowym (LGA)

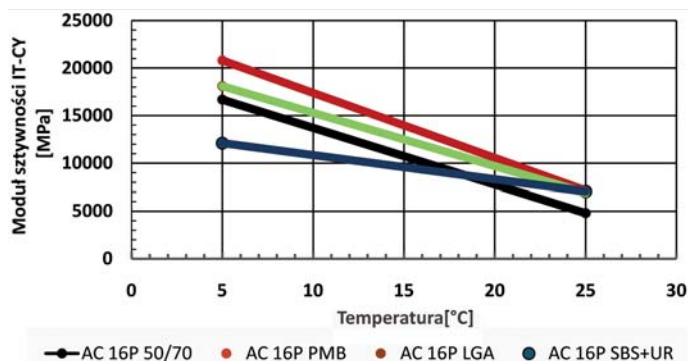
Do oceny właściwości technicznych analizowanych mieszank mineralno-asfaltowych wykonano następujący zakres badań:

- moduł sztywności IT-CY w temperaturze 5, 15, 25°C (PN-EN 12697-26 – załącznik C); parametry badania: próbki o średnicy 100 mm, obciążenie impulsowe, czas przyrostu obciążenia 120±4 m/s, czas trwania jednego cyklu 3 s, odkształcenie poziome 5 µm, test w dwóch prostopadłych płaszczyznach, wynik badania stanowi średnia z 5 impulsów obciążenia,
- moduł sztywności na próbkach pryzmatycznych (4PB-PR) w temperaturze 10°C (PN-EN 12697-26 – załącznik B). Parametry badania: kształt fali obciążeniowej $\frac{1}{2}x(1-\cos x)$, poziom odkształcenia 50 µm/m, częstotliwość 10Hz, moduł sztywności S_{50} wyznaczano w 100 cyklu badania,
- trwałość zmęczeniowa na próbkach pryzmatycznych (4PB-PR) w temperaturze 10°C (PN-EN 12697-24). Parametry badania: poziomy odkształcenia 130, 170, 200, (300, 400 – UR) µm/m, częstotliwość 10Hz. Początkowy moduł sztywności S_0 określano w 100 cyklu badania.

Analiza wyników badań MMA

Analiza wyników badań modułów sztywności mieszanek AC 16P

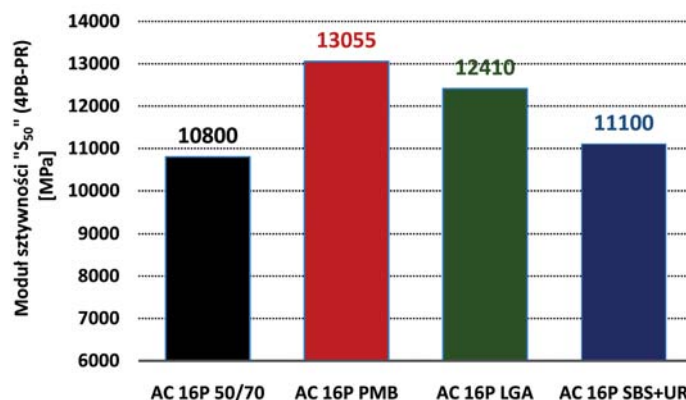
Na rysunku 1 przedstawiono wyniki badań zmiany wartości modułów sztywności analizowanych mieszanek mineralno-asfaltowych, oznaczonych w badaniu IT-CY w funkcji temperatury.



Rys. 1. Wartości modułów sztywności w funkcji temperatury mieszanek AC 16P zróżnicowanych ze względu na rodzaj zastosowanego lepiszcza, oznaczonych w badaniu IT-CY

Na podstawie uzyskanych wyników badań zmiany wartości modułów sztywności w funkcji temperatury oznaczonych w badaniu IT-CY mieszanek AC 16P zróżnicowanych ze względu na rodzaj zastosowanego lepiszcza należy stwierdzić, że mieszanki z asfaltem modyfikowanym z dodatkiem upłynniacza roślinnego (AC 16P SBS+UR) charakteryzują się największą odpornością na zmiany temperatury (mały kąt nachylenia linii trendu w stosunku do osi rzędnych). Należy jednak zaznaczyć, że mieszanki AC 16P z upłynnionym asfaltem modyfikowanym charakteryzują się najniższymi wartościami modułów sztywności. Parametr ten istotny jest przy mechanistycznym projektowaniu trwa-

łości zmęczeniowej konstrukcji nawierzchni drogowych. Najniższe wartości modułów sztywności mieszanki AC 16P z upłynnionym asfaltem modyfikowanym potwierdzają również badania wartości sztywności S_{50} w badaniu 4PB-PR w temperaturze badania 10°C, przedstawione na rysunku 2.

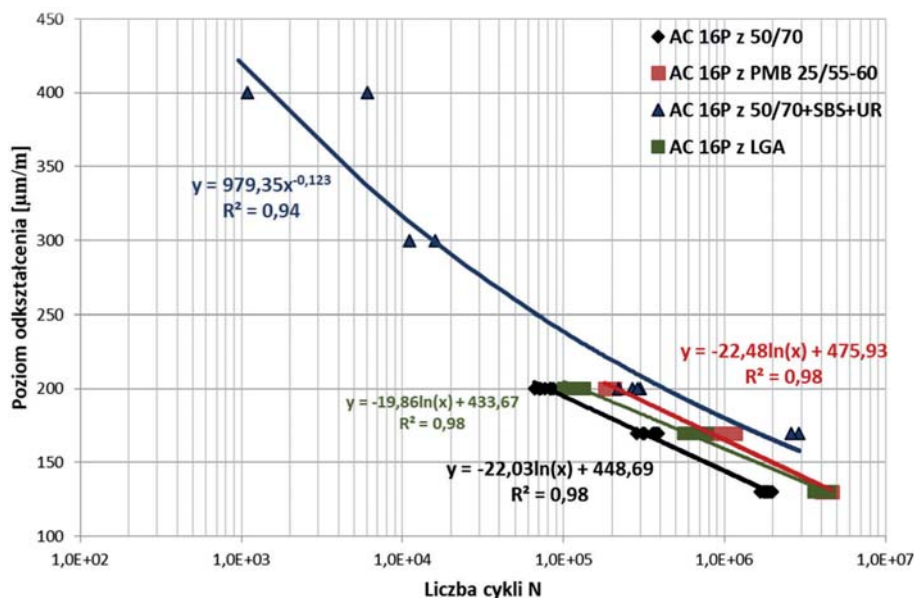


Rys. 2. Średnie wartości modułu sztywności S_{50} mieszanek AC 16P w badaniu 4PB-PR, w temperaturze 10°C

Analiza wyników badań odporności na zmęczenie mieszanek AC 16P

Na rysunku 3 przedstawiono wyniki badań odporności na zmęczenie analizowanych mieszanek mineralno-asfaltowych oznaczonych w badaniu 4PB-PR, w temperaturze 10°C.

Na podstawie uzyskanych wyników badań (rys. 3) ustalono, że mieszanki mineralno-asfaltowe z zastosowaniem asfaltu modyfikowanego upłynnionego upłynniaczem roślinnym charakteryzują się wyższą trwałością zmęczeniową w odniesieniu do pozostałych mieszanek mineralno-asfaltowych. Świadczy to o tym, że użyte lepiszcze tzn. asfalt modyfikowany z upłynniaczem pochodzenia roślinnego nadaje mieszance mineralno-asfaltowej bardzo wy-



Rys. 3. Wyniki badań odporności na zmęczenie oznaczonych w badaniu 4PB-PR mieszanek AC 16P w temperaturze 10°C

soką odporność zmęczeniową. W przypadku mieszanek mineralno-asfaltowych AC16P z asfaltami produkowanymi w rafinerii 50/70 i PMB 25/55-60 oraz z lepiszczem gumowo-asfaltowym trwałość zmęczeniową przy poziomach odkształceń powyżej 200 $\mu\text{m}/\text{m}$ nie udało się oznaczyć. W odniesieniu do mieszanek mineralno-asfaltowych z zastosowaniem asfaltów drogowych, trwałość zmęczeniowa MMA z upłynnionym asfaltem modyfikowanym jest wyższa o 50%÷80% (w zależności od poziomu odkształcenia) w odniesieniu do MMA z asfaltem modyfikowanym PMB 25/55-60 i 3÷4 krotnie wyższa od trwałości zmęczeniowej mieszanek z zastosowaniem niemodyfikowanego asfaltu drogowego 50/70. Uzyskana w badaniach bardzo wysoka odporność zmęczeniowa mieszanki mineralno-asfaltowej z zastosowaniem asfaltu modyfikowanego z dodatkiem upłynniacza pochodzenia roślinnego umożliwia stosowanie tego rodzaju mieszanek jako warstwy przeciwspekaniowe układane bezpośrednio na zniszczone warstwy asfaltowe.

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz cech technicznych mieszanek mineralno-asfaltowych z zastosowaniem asfaltów modyfikowanych można sformułować następujące wnioski:

- Rodzaj zastosowanego lepiszcza asfaltowego (jego jakość funkcjonalna) ma istotny wpływ na właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych w zmiennych temperaturach eksploatacyjnych.
- Mieszanki mineralno-asfaltowe z asfaltem modyfikowanym upłynnionym dodatkiem upłynniacza roślinnego (SBS+UR) charakteryzują się najmniejszą wrażliwością na zmiany temperatury w porównaniu do mieszanek wytworzonych przy użyciu asfaltu modyfikowanego, lepiszcza gumowo-asfaltowego i asfaltu drogowego 50/70.
- Zastosowanie w mieszance mineralno-asfaltowej lepiszcza modyfikowanego prowadzi do zwiększenia trwałości zmęczeniowej. Mieszanki mineralno-asfaltowe z zastosowaniem asfaltów modyfikowanych z dodatkiem upłynniacza pochodzenia roślinnego są bardzo dobrym rozwiązaniem do zastosowań jako warstwy przeciwspekaniowe na zniszczone spękaniem nawierzchnie drogowe.
- Dodatek upłynniacza roślinnego do asfaltu modyfikowanego pozwala obniżyć temperatury technologiczne podczas produkcji i wbudowania MMA o 20÷25°C w odniesieniu do MMA z asfaltem modyfikowanym bez zastosowania tego rodzaju upłynniacza.
- Zastosowanie w mieszankach mineralno-asfaltowych asfaltów modyfikowanych z dodatkiem upłynniacza pocho-

dzenia roślinnego umożliwia wytwarzanie mieszanek mineralno-asfaltowych w temperaturach technologicznych nie przekraczających 150°C.

Przedstawiony zakres badań został zrealizowany w ramach pracy nr S/WBIŚ/1/2015 i sfinansowany ze środków na naukę MNiSW.

Bibliografia

- [1] D. Sybilski i K. Mirski „Dobór nawierzchni do asfaltu w polskich warunkach klimatycznych z uwzględnieniem procedur SHRP/ Superpave”, VI Międzynarodowa Konferencja „Trwałe i bezpieczne nawierzchnie drogowe”, Kielce 2000, tom I, s. 213.
- [2] D. Sybilski „Zastosowanie metod SHRP do oceny nawierzchni dróg w Polsce”, *IBDiM, Studia i materiały*, Warszawa 2000, zeszyt 50.
- [3] P. Radziszewski, J. Piłat, J. Król, K. Kowalski i M. Sarnowski, „Weryfikacja wymagań i metod oceny właściwości lepkosprężystych krajowych asfaltów i asfaltów modyfikowanych”, *GDDKiA, Warszawa 2011*.
- [4] A. Plewa, P. S. Belyaev, K. A. Andrianov, A. F. Zubkov i V. A. Frolov: “The Effect of Modifying Additives on the Consistency and Properties of Bitumen Binders”, *Advanced Materials and Technologies – Nr 4 (2016)*, s. 35-40. Moskwa-Tambov (Rosja).
- [5] Ł. Niczke, F. Czechowski i I. Gawel, „Oxidized rapeseed oil methyl ester as a bitumen flux: Structural changes in the ester during catalytic oxidation”, *Elsivier, Progress in Organic Coatings, Volume 59, Issue 4, 2 July 2007, P. 304–311*.
- [6] W. M. DeLong, „Asphalt release agent”, *The Chemmark Corporation, Patent nr (USA) US5494502A, (Niemcy) DE69528278 D1, 27 Luty 1996*.
- [7] I. Gawel, J. Piłat, P. Radziszewski, Ł. Niczke, J. Król i M. Sarnowski, „Bitumen fluxes of vegetable origin”, *Polimery No LV, 1/2010*, s. 55-60.
- [8] A. Plewa, „Wpływ ilości dodatku kopolimeru SBS i upłynniacza pochodzenia roślinnego na właściwości techniczne elastomero-asfaltów”, *Drogownictwo nr 11, listopad 2017*, s. 375–378.
- [9] Radziszewski P., Piłat J., Plewa A.: “Influence of amount of crumb rubber of used car tires and heating time on rubber asphalt properties”. The Nineteenth International Conference on Solid waste technology and management, Philadelphia, March 21–24 2004, University of Pennsylvania, Widener University, Philadelphia.
- [10] Randy C. W., Gale C. P., John G. V., Bouzid C.: “Effect of Tire Rubber Grinding Method on Asphalt-Rubber Binder Characteristics”. *Journal of the Transportation Research Board*, 2007, pp 134–140.
- [11] Liseane P.T., Glicério T., Jorge C. P., Paulo A.A: “Evaluating permanent deformation in asphalt rubber mixtures”, *Construction and Building Materials*. Volume 24, 2010, pp 1193–1200.
- [12] Załącznik do zarządzenia nr 54 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 18.11.2014 r.: Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych, WT-2 2014 *Mieszanki mineralno-asfaltowe. Wymagania techniczne*.