



ŁUKASZ SKOTNICKI

Politechnika Wrocławska  
Katedra Dróg i Lotnisk  
lukasz.skotnicki@pwr.  
wroc.pl



HENRYK KOBA

Politechnika Wrocławska  
Katedra Dróg i Lotnisk  
henryk.koba@pwr.wroc.pl



ANTONI SZYDŁO

Politechnika Wrocławska  
Katedra Dróg i Lotnisk  
antoni.szydlo@pwr.wroc.pl

## Mieszanki SMA z asfaltem modyfikowanym gumą

Ciągły wzrost ruchu samochodowego wymusza wykonywanie nawierzchni drogowych z materiałów o wysokiej odporności na działanie niekorzystnych obciążeń. Poszukiwane są nowe materiały, które spełniają kryteria projektowania mieszanek mineralno-asfaltowych (mma). Jednym ze sposobów poprawy właściwości mma jest zastosowanie modyfikowanych lepiszczy asfaltowych. Najczęstszym sposobem modyfikacji asfaltów jest dodatek elastomerów. Stosowanie asfaltów modyfikowanych pozwala na uzyskanie mieszanek mineralno-asfaltowych, które wykazują większą wytrzymałość oraz wyższą odporność na odkształcenia trwałe. Jednocześnie takie mma charakteryzują się podwyższoną odpornością na oddziaływanie czynników środowiskowych (woda, mróz, starzenie) [1]. W pracach badawczych poszukiwane są nowe sposoby polepszenia właściwości mma. Jednym z takich rozwiązań jest modyfikacja asfaltu miazem gumowym. Miaz ten pochodzi głównie z recyklingu opon samochodowych, co stanowi ważny element ochrony środowiska. Stosowanie miazu gumowego może jednocześnie przyczynić się do zmniejszenia hałaśliwości przyszłej nawierzchni drogowej [2], [3].

Prekursorami w stosowaniu lepiszcza asfaltowego z dodatkiem gumy byli Amerykanie. W 1940 r. firma Rubber Reclaiming Company wprowadziła na rynek produkt o nazwie Ramflex, który był suchym dodatkiem przetworzonej gumy, stosowanym do asfaltu drogowego. W latach 60. XX w. Charles McDonald wprowadził do stosowania asfalt modyfikowany gumą o nazwie Overflex [4].

Istnieją dwie metody modyfikacji mieszanek mineralno-asfaltowych przetworzoną gumą: tzw. metoda „na sucho” i metoda „na mokro”. Metoda „na sucho” polega na dodawaniu miazu gumowego do mieszanki mineralnej, a następnie mieszanie tej mieszanki „mineralno-gumowej” z lepiszczem asfaltowym. Natomiast metoda „na mokro” polega na zmieszaniu miazu gumowego z lepiszczem asfaltowym, w wyniku czego otrzymuje się asfalt modyfikowany, dodawany bezpośrednio do mieszanki mineralnej. W artykule przedstawiono badania mieszanek SMA z dodatkiem gumy, uzyskanych metodą „na mokro”. Przeprowadzono analizy wpływu dodatku miazu gumowego na właściwości asfaltów nim modyfikowanych oraz

SMA. Efektem prac był projekt recepty mieszanki mineralno-asfaltowej, na bazie „asfaltu gumowego”, przeznaczonej do stosowania w budownictwie drogowym.

### Właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych

Projektowanie poprawnego składu mieszanki mineralno-asfaltowej jest procesem złożonym, wymagającym znajomości zarówno kryteriów projektowania, jak i właściwości przyszłych mieszanek mineralno-asfaltowych. Ciągły wzrost wymagań dotyczących właściwości mma, powoduje, że proces projektowania oparty na zasadach Marshalla nie jest już wystarczający. Obecnie proces ten uwzględnia kryteria projektowania, odwołujące się do właściwości wytrzymałościowych mieszanek mineralno-asfaltowych. W zależności od typu mma, istnieje zestaw podstawowych cech, wymagających sprawdzenia i odpowiedniego doboru ich wielkości.

Dobór składu granulometrycznego jest w zasadzie ograniczony przez konwencjonalne wymagania tzw. krzywych granicznych, opracowanych dla danego typu mieszanki mineralno-asfaltowej. Pole dobrego uziarnienia zależy również od kategorii obciążenia drogi ruchem, pod który przeznaczona jest analizowana nawierzchnia drogową. Po ustaleniu ostatecznego składu granulometrycznego, należy dobrać odpowiednią ilość lepiszcza asfaltowego. Konwencjonalne kryteria Marshalla bazowały na spełnieniu trzech podstawowych właściwości mma. Optymalną zawartość asfaltu ustalano dla mma, która wykazała: maksymalną stabilność próbek Marshalla, maksymalną gęstość objętościową oraz średnią zawartość wolnej przestrzeni z ustalonego przedziału granicznego.

W obecnej praktyce badania Marshalla zostały zastąpione testami, które w większym stopniu odwzorowują rzeczywiste zachowanie się mma w nawierzchni drogowej. Analizowana jest odporność mma w niskich i wysokich zakresach temperatury pracy nawierzchni. Z procesu Marshalla pozostawiono jedynie wymagania dotyczące odpowiedniej zawartości wolnej przestrzeni w mma. Do nowych badań, pozwalających na projektowanie optymalnego składu mma, należy zaliczyć:

- odporność na deformacje trwałe – koleinowanie,
- odporność na działanie wody,
- odporność na zmęczenie metodą zginania belki obciążonej różnymi schematami,
- spływność lepiszcza asfaltowego (dotyczy tylko mieszanek SMA).

Głównym celem tych badań jest dobór zawartości lepiszcza asfaltowego, pozwalający na uzyskanie najlepszych właściwości mma, które gwarantują spełnienie kryteriów projektowania. Wpływ zmian uziarnienia mieszanki mineralnej (mm) w obrębie krzywych granicznych, na przedstawione właści-

wości, jest znacznie mniejszy [5]. Kryteria projektowania, a więc wartości graniczne poszczególnych badanych cech, zostały podane w [6] dla różnych typów mieszanek mineralno-asfaltowych i kategorii obciążenia nawierzchni ruchem. Niejednokrotnie występują trudności w jednoczesnym spełnieniu wszystkich ustalonych kryteriów projektowania. Dlatego poszukiwane są nowe metody modyfikacji składu mma. Stosowanie dodatku w postaci gumy polepsza wybrane właściwości mma [1], [7]. Zastosowanie miazgi gumowej powinno poprawić zarówno odporność mma na deformacje trwałe jak i odporność na spękania zmęczeniowe. W artykule przedstawiono badania i analizy, przeprowadzone na mieszankach SMA z dodatkiem miazgi gumowej.

## Wyniki badań laboratoryjnych

### Wyniki badań asfaltów modyfikowanych miazgą gumową

W pierwszej fazie testów przeprowadzono analizy wpływu procentowej zawartości gumy na właściwości asfaltów drogowych. Stosowanie modyfikacji gumą powoduje zmiany właściwości reologicznych asfaltów drogowych [8]. Do badań wybrano dwa podstawowe lepiszcza: asfalt drogowy 35/50 oraz asfalt drogowy 50/70. Do obu lepiszczy dodawano miazgę gumową w ilościach zmieszczonych w tabeli 1. Celami badań było ustalenie optymalnej ilości dodatku gumowego oraz typu asfaltu, które pozwolą na uzyskanie najlepszych cech wytrzymałościowych mieszanek SMA.

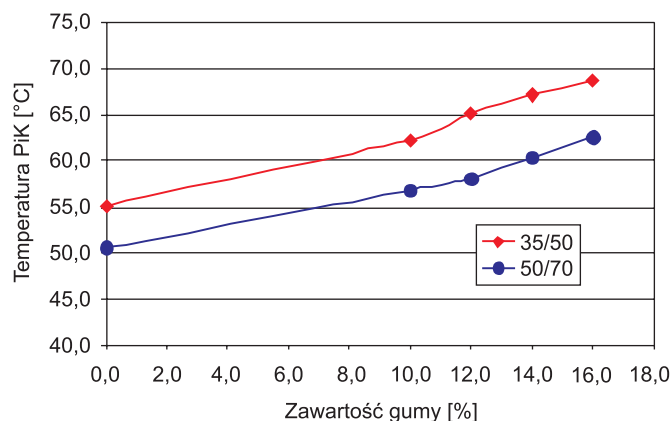
Tabela 1. Ilość dodatku gumowego

Typ lepiszcza	[-]	Asfalt 35/50				
Udział procentowy gumy	[%]	0,0	10,0	12,0	14,0	16,0
Typ lepiszcza	[-]	Asfalt 50/70				
Udział procentowy gumy	[%]	0,0	10,0	12,0	14,0	16,0

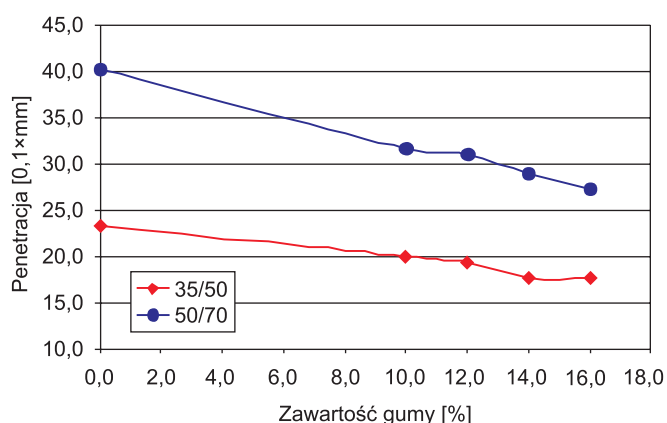
Na uzyskanych asfaltach modyfikowanych miazgą gumową przeprowadzono szereg testów, określających ich podstawowe właściwości. Wykonano pomiary temperatury mięknięcia metodą „Pierścień i Kula”, penetracji oraz lepkości dynamicznej. Uzyskane wyniki zostały przedstawione na rysunkach od 1 do 3.

Badania wykazały, że stosowanie dodatku w postaci miazgi gumowej znacząco poprawia właściwości asfaltów. W obu badanych asfaltach dodatek gumy powodował wzrost temperatury mięknięcia, co powinno korzystnie wpłynąć na właściwości mma w wysokich wartościach temperatury. Jednocześnie zaobserwowano spadek penetracji obu typów asfaltów wraz ze wzrostem ilości dodatku gumowego. Stwierdzono, że dodatek gumy w ilości ok. 10%, w stosunku do wagi asfaltu, powodował największy spadek penetracji. Dalsze zwiększanie ilości dodatku skutkowało wolniejszym spadkiem penetracji. Także badania lepkości asfaltów wykazały znaczący wpływ dodatku gumowego. Dodatek w ilościach do 12% skutkowało stopniowym przyrostem lepkości. Powyżej tej granicy zaobserwowano gwałtowny wzrost lepkości badanych lepisz-

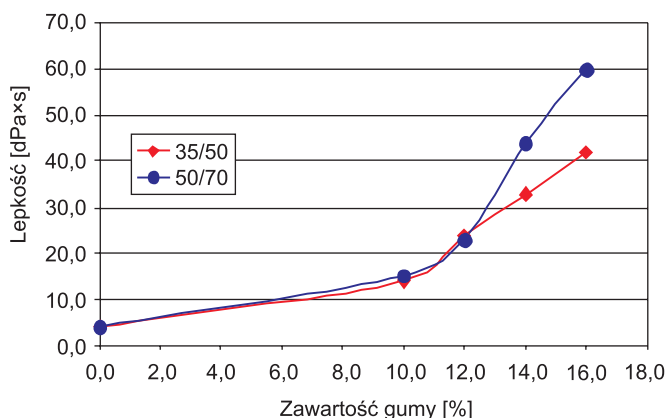
czy. Uznano, że dodatek gumy na poziomie 10% jest wystarczający, gdyż zbyt duża lepkość lepiszcza asfaltowego, może niekorzystnie wpłynąć na proces wytwarzania i zagęszczania mieszanek SMA. W wyniku przeprowadzonych analiz ustalono optymalną zawartość dodatku miazgi gumowej na poziomie 10%, w stosunku do wagi lepiszcza asfaltowego. Asfalty modyfikowane taką ilością dodatku gumy zostały wykorzystane do wytworzenia dwóch mieszanek SMA, poddanych dalszym analizom.



Rys. 1. Temperatura mięknięcia asfaltów modyfikowanych gumą



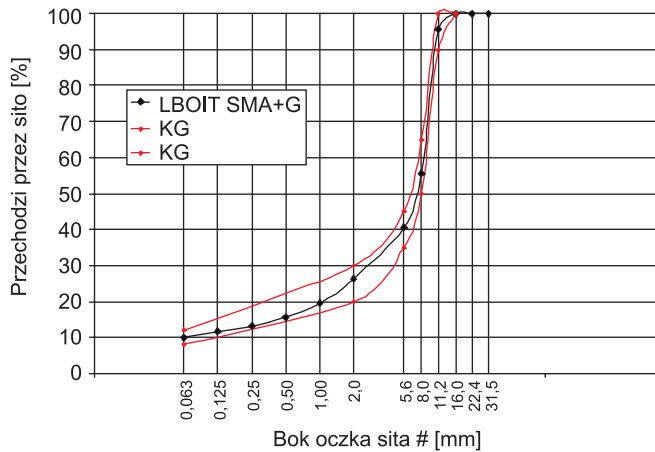
Rys. 2. Penetracja asfaltów modyfikowanych gumą



Rys. 3. Lepkość dynamiczna asfaltów modyfikowanych gumą (lepkościomierz VT-04F)

## Wyniki badań mieszanek SMA

Celem badań laboratoryjnych było opracowanie recepty mieszanki SMA z dodatkiem miazgi gumowego, spełniającej kryteria projektowania według [6]. W procesie badawczym wykorzystano dwie mieszanki SMA: z asfaltami drogowymi 35/50 i 50/70, modyfikowanymi miazgą gumową. W celach porównawczych wykonano badania mieszanki SMA z często stosowanym, asfaltem modyfikowanym polimerem 45/80-55. W mieszankach mineralno-asfaltowych, zastosowano optymalną krzywą uziarnienia, mieszczącą się w polu dobrego uziarnienia według [6] – rys. 4.



Rys. 4. Krzywa uziarnienia mieszanek SMA

Jako szkielet nośny mieszanek mineralno-asfaltowych, zastosowano kruszywo pochodzenia wulkanicznego, w ilościach przedstawionych w tabeli 2. Wypełniacz stanowiła mączka wapienna. W celu polepszenia przyczepności lepiszcza asfaltowego do kruszywa, zastosowano dodatek środka adhezyjnego. Zastosowano również dodatek włókien stabilizujących strukturę SMA, zapobiegających nadmiernemu spływaniu lepiszcza asfaltowego, podczas transportu i wbudowywania mieszanki. Do obu mieszanek dodano miazgę gumową w ilości 10%, w stosunku do wagi asfaltu. Modyfikowane SMA uzyskano, stosując metodę wytwarzania „na mokro”.

W programie badawczym mieszanek mineralno-asfaltowych, wykorzystano testy, służące do oceny właściwości SMA, podczas ich projektowania oraz weryfikacji poprawności, stosowane według [6]. Do podstawowych badań należą:

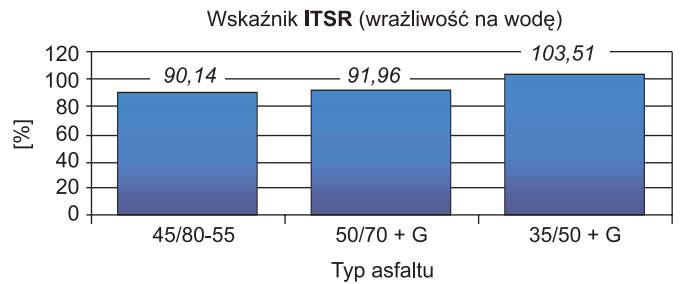
Tabela 2. Skład mieszanek mineralno-asfaltowych

Składnik [-]	Udział w mm [%]	Udział w mma [%]
Wypełniacz	10,0	9,39
Kruszywo 0/5	28,0	26,29
Kruszywo 5/8	12,0	11,27
Kruszywo 8/11	50,0	46,95
Asfalt 35/50 lub 50/70 + 10% gumy		6,10
Środek adhezyjny		0,3% wag. asfaltu
Środek stabilizujący		0,4% wag. mm

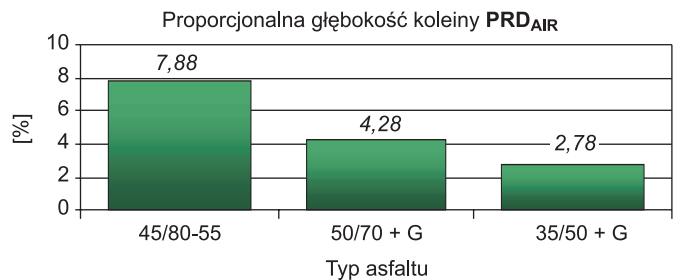
- zawartość wolnej przestrzeni,
- odporność na działanie wody,
- odporność na deformacje trwałe – koleinowanie,
- spływność lepiszcza asfaltowego.

Porównanie właściwości badanych mieszanek mineralno-asfaltowych, zostało przedstawione na rysunkach od 5 do 9.

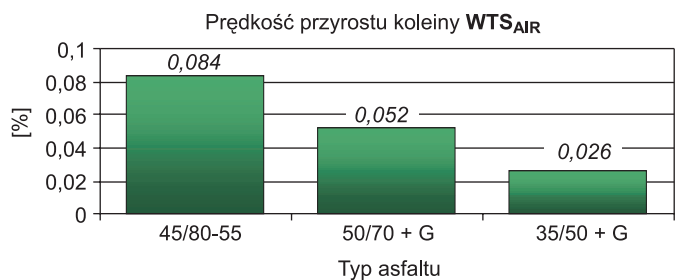
Podczas badań laboratoryjnych wykazano znaczącą poprawę właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych SMA z lepiszczem asfaltowym 35/50 modyfikowanym gumą. W wy-



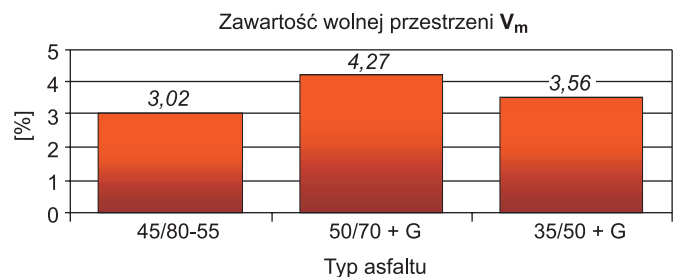
Rys. 5. Zmiana odporności mma na działanie wody



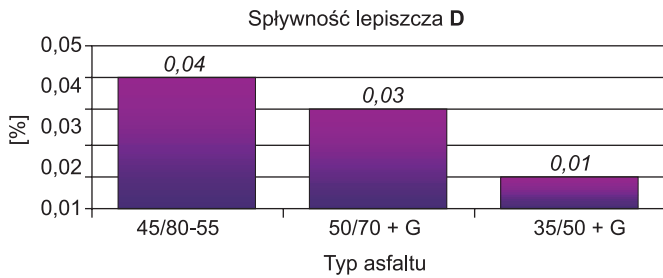
Rys. 6. Koleinowanie mieszanek SMA



Rys. 7. Koleinowanie mieszanek SMA c.d.



Rys. 8. Wolna przestrzeń w mma



Rys. 9. Splywność lepiszcza asfaltowego

niku zastosowania tego lepiszcza i dodatku gumowego, uzyskano poprawę odporności mma na działanie wody i mrozu. W badaniu wrażliwości próbek na wodę, zastosowano dodatkowy cykl zamrażania. Również odporność na koleinowanie była największa w przypadku mieszanki związanych asfaltem 35/50 z dodatkiem gumy. Dodatek gumy korzystnie wpłynął na wszystkie badane cechy. Wyniki analiz porównano z wymaganiami technicznymi stawianymi mieszankom SMA – tabela 3.

Mieszanki SMA z asfaltem modyfikowanym dodatkiem w postaci mialu gumowego należy ocenić pozytywnie. Większość wymagań technicznych została spełniona. Wyjątek stanowi zawartość wolnej przestrzeni w mieszance SMA z as-

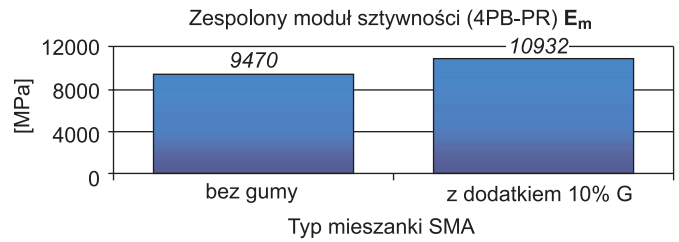
Tabela 3. Kryteria projektowania mieszank SMA [6]

Właściwości [-]	Symbol	Jednostka	Wynik	Wymaganie według WT-2 (2008)
Zawartość wolnych przestrzeni w mma (2×50 uderzeń)	$V_m$	[%]	1) 3,56 2) 4,27 3) 3,02	3,0 ÷ 4,0
Odporność na koleinowanie (mały aparat, 60°C, 10000 cykli). Maksymalna proporcjonalna głębokość koleiny	$PRD_{AIR}$	[%]	1) 2,78 2) 4,28 3) 7,88	≤ 5,0
Odporność na koleinowanie (mały aparat, 60°C, 10000 cykli). Maksymalny przyrost koleiny (prędkość koleinowania)	$WTS_{AIR}$	[mm/10 <sup>3</sup> cykli]	1) 0,026 2) 0,052 3) 0,084	≤ 0,30
Wskaźnik wytrzymałości na rozciąganie pośrednie (15°C, 1 cykl zamrażania, próbki zagęszczone 2×25 uderzeń)	ITSR	[%]	1) 103,51 2) 91,96 3) 90,14	≥ 90
Splywność lepiszcza (60 min. wygrzewania)	D	[%]	1) 0,01 2) 0,03 3) 0,04	≤ 0,30

- 1) – mieszanka SMA zawierająca asfalt 35/50+10% gumy  
 2) – mieszanka SMA zawierająca asfalt 50/70+10% gumy  
 3) – mieszanka SMA zawierająca asfalt 45/80-55 bez gumy

Tabela 4. Mieszanka SMA z dodatkiem 10% gumy (badania zmęczeniowe)

Średnie wymiary próbek			Początkowy zespolony moduł sztywności $intS_{mix}$ [MPa]	Trwałość zmęczeniowa $N_{ml/50}$ [cykle]	Szkoda zmęczeniowa $D_{sr}$ [%]
Wysokość $h_{sr}$ [mm]	Szerokość $b_{sr}$ [mm]	Masa $M_{sr}$ [g]			
50,6	60,6	2842,9	11057	> 10 <sup>6</sup>	13,5



Rys. 10. Sztywność materiału oznaczona metodą 4PB-PR

faltem 50/70, jednak wartość graniczna była nieznacznie przekroczona.

Opcjonalnie przeprowadzono również, nietypowe badania mieszank SMA:

- sztywności metodą 4PB-PR (zginanie belki 4 punktowej),
- odporności na zmęczenie metodą 4PB-PR (zginanie belki 4 punktowej).

Wyniki analiz sztywności badanego materiału, zaprezentowano na rys. 10. Wzrost sztywności mieszanki SMA po zastosowaniu dodatku gumy wyniósł średnio ok. 15%. Trwałość zmęczeniowa mieszanki SMA, po zastosowaniu dodatku gumowego, była satysfakcjonująca – tabela 4. Szkoda zmęczeniowa po 1 milionie cykli obciążeniowych wyniosła średnio zaledwie ok. 13%. Badanie przeprowadzono przy stałym odkształceniu wynoszącym  $90 \times 10^{-6}$  m/m.

## Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone analizy i badania laboratoryjne pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków:

1. Stosowanie dodatku gumowego poprawia właściwości lepiszczy asfaltowych.

2. Istnieje określona ilość dodatku gumowego – ok. 10%, pozwalająca na optymalną modyfikację lepiszczy asfaltowych.

3. Wykorzystanie metody „na mokro” daje pozytywne rezultaty, jeżeli chodzi o parametry wytrzymałościowe mieszank mineralno-asfaltowych.

4. Zastosowanie do mieszank SMA asfaltu drogowego 35/50 modyfikowanego mialem gumowym pozwala na poprawę właściwości wytrzymałościowych analizowanych mieszank mineralno-asfaltowych, przy jednoczesnym zachowaniu cech charakterystycznych mieszank SMA (porowatość, urabialność).

5. Stosowanie asfaltu drogowego 35/50 modyfikowanego gumą do mieszanki SMA, pozwala na uzyskanie wykonanej z niej warstwy nawierzchni, charakteryzującej się dużą odpornością na działanie obciążeń (ruch samochodowy, czynniki atmosferyczne).

6. Badane mma z dodatkiem miazu gumowego, spełniają kryteria projektowania mieszanek SMA i mog być wykorzystywane w budownictwie drogowym.

#### Bibliografia

- [1] Judycki J., Jaskuła P. *Wpływ modyfikacji asfaltu na odporność betonu asfaltowego na oddziaływanie czynników środowiskowych*. VI Międzynarodowa Konferencja „Trwałe i Bezpieczne Nawierzchnie Drogowe”, Kielce 2000
- [2] Sybilski D., *Zastosowanie odpadów gumowych w budownictwie drogowym*. Przegląd budowlany 5/2009
- [3] Chandra K, Akisetty, Soon-Jae Lee, Serji N. Amirghanian, *High temperature properties of rubberized binders containing warm asphalt additives*. Construction and Building Materials 23 (2009).
- [4] Weidong Cao, *Study on properties of recycled tire rubber modified asphalt mixtures using dry process*. Construction and Building Materials 21 (2007).
- [5] Skotnicki Ł., *Wpływ powtarzalności obciążeń na trwałość mieszanek mineralno-asfaltowych*. Praca doktorska. Raport serii PRE nr 10/2009 PWR.
- [6] *Wymagania techniczne. WT-2 Nawierzchnie asfaltowe na drogach publicznych*. IBDiM 2008
- [7] M. Arabani, S.M. Mirabdolazimi, A.R. Sasani., *The effect of waste tire thread mesh on the dynamic behaviour of asphalt mixtures*. Construction and Building Materials 24 (2010)
- [8] Hailong Jin, Guangtao Gao, Yong Zhang, Yinxi Zhang, Kang Sun, Yongzhong Fan. *Improved properties of polystyrene-modified asphalt through dynamic vulcanization*. Polymer Testing 21 (2002) ■



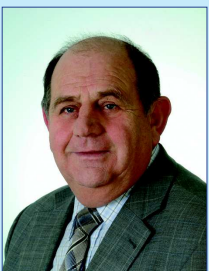
HENRYK KOBA

Politechnika Wrocławska  
Katedra Dróg i Lotnisk  
henryk.koba@pwr.wroc.pl



ŁUKASZ SKOTNICKI

Politechnika Wrocławska  
Katedra Dróg i Lotnisk  
lukasz.skotnicki@pwr.wroc.pl



ANTONI SZYDŁO

Politechnika Wrocławska  
Katedra Dróg i Lotnisk  
antoni.szydlo@pwr.wroc.pl

## Właściwości asfaltu modyfikowanego gumą – praktyczne zastosowanie

Lepiszczce gumowo-asfaltowe jest coraz powszechniej używane do budowy nawierzchni drogowych i lotniskowych. Technologia modyfikacji asfaltu gumą wywodzi się z USA. Głównym czynnikiem skłaniającym do wykorzystania gumy do modyfikacji asfaltu w USA była ochrona środowiska. Próbowano zagospodarować sterty zużytych opon samochodowych, a rząd Stanów Zjednoczonych nadal stosuje gratyfikacje finansowe dla firm, które wdrażają technologie sprzyjające ochronie środowiska.

Technologią modyfikacji asfaltu gumą w Polsce zajmowali się m.in. I. Gawel, P. Radziszewski, J. Piłat, M. Kalabińska [1], [4] i D. Sybilski [2]. Pierwsze próby zastosowania miazu gumowego do modyfikacji mieszanek mineralno-asfaltowych podjęto w Katedrze Dróg i Lotnisk Politechniki Wrocławskiej w roku 1995 [3]. Były to najczęściej doświadczenia w skali laboratoryjnej i dotyczyły łatwiejszej technologii modyfikacji asfaltu gumą metodą „na sucho”. Po 10 latach we Wrocławiu podjęto próby ponownego, praktycznego zastosowania as-

faltów modyfikowanych gumą z wykorzystaniem metody modyfikacji w procesie „na mokro”. Efekt modyfikacji mieszanek mineralno-asfaltowych gumą zależy od zastosowanej technologii mieszania asfaltu z gumą, rodzaju i właściwości zastosowanego granulatu gumowego, ilości dodawanego granulatu,

rodzaju mieszanki mineralno-asfaltowej oraz technologii jej wbudowania.

### Zastosowanie asfaltów modyfikowanych gumą w budownictwie drogowym

Prekursorem zastosowań miazu ze zużytych opon samochodowych do nawierzchni asfaltowych był Mac Donald, który w 1966 r. w stanie Arizona po raz pierwszy zastosował mieszankę asfaltu i miazu gumowego do napraw lokalnych uszkodzeń nawierzchni asfaltowych. Od tego czasu technologia modyfikacji asfaltu gumą stała się bardziej popularna, chociaż nadal największe powodzenie ma w USA, gdzie 8 stanów regularnie wykorzystuje mieszanki z lepiszczem gumowo-asfaltowym.

Pierwsze zastosowanie lepiszczka gumowo-asfaltowego w drogownictwie USA dotyczyło głównie pokryć zniszczonych (spękanych) nawierzchni z betonu cementowego. Wykonano w tym celu warstwy absorbujące naprężenia rozciągające (ang. *SAM – Stress Absorbing Membrane*). W latach 70. XX w. wprowadzono warstwy utrudniające powstawanie spękań odbitych (ang. *SAMI – Stress Absorbing Membrane Interlayer*), warstwy z betonu asfaltowego (ang. *Dense Graded Friction Course*) i warstwy o strukturze otwartej – porowate (ang. *Open Grade Friction Course*) oraz w końcówce lat 80. ubiegłego wieku warstwy z mieszanek o nieciągłym uziarnieniu (ang. *Gap Graded Friction Course*). Aktualnie stosowane w USA technologie warstw asfaltowych z wykorzystaniem asfaltu modyfikowanego gumą przedstawiono w tabeli 1.

W Europie mieszanki z wykorzystaniem miazu gumowego produkowane są w Austrii, Portugalii, Włoszech, Szwecji i od 4 lat również w Polsce i Czechach gdzie asfalt modyfikowa-