

# Asfalt modyfikowany gumą w nawierzchniach lotniskowych

Henryk Koba, Łukasz Skotnicki

*W artykule opisano możliwości zastosowania asfaltu modyfikowanego gumą, w technologii nawierzchni lotniskowych. Przedstawiono doświadczenia Politechniki Wrocławskiej związane z procesem wytwarzania i wbudowywania mieszanek mineralno-asfaltowych z dodatkiem gumy. Zastosowanie granulatu gumowego, pochodzącego z recyklingu zużytych opon samochodowych dało pozytywne efekty, dotyczące właściwości lepiszczy asfaltowych i mieszanek mineralno-asfaltowych. Zaprezentowano wyniki badań laboratoryjnych oraz podano przykłady praktycznego zastosowania omawianej technologii.*



dr inż. Henryk Koba  
Instytut Inżynierii Lądowej  
Politechniki Wrocławskiej,  
Katedra Dróg i Lotnisk  
henryk.koba@pwr.wroc.pl



dr inż. Łukasz Skotnicki  
Instytut Inżynierii Lądowej  
Politechniki Wrocławskiej,  
Katedra Dróg i Lotnisk  
lukasz.skotnicki@pwr.wroc.pl

Lepiszczce asfaltowo-gumowe jest coraz powszechniej używane do budowy nawierzchni drogowych i lotniskowych. Prekursorem zastosowań miało ze zużytych opon samochodowych do nawierzchni bitumicznych był Mac Donald, który w roku 1966 w stanie Arizona po raz pierwszy zastosował mieszankę asfaltu i miálu gumowego do napraw lokalnych uszkodzeń nawierzchni bitumicznych.

Od tego czasu technologia modyfikacji asfaltu gumą stała się bardziej popularna chociaż nadal największe powodzenie ma w USA gdzie 8 stanów regularnie wykorzystuje mieszanki na bazie lepiszcza gumowo-asfaltowego.

W Europie mieszanki z wykorzystaniem miálu gumowego produkowane są w Portugalii, Włoszech, Szwecji i od 7 lat również w Polsce. Technologia modyfikacji asfaltu gumą w warunkach laboratoryjnych zajmowali się w Polsce Gawęł, Radziszewski, Piłat, Kalabińska [1, 4] i Sybilski [2]. Pierwsze próby zastosowania miálu gumowego do modyfikacji mieszanek mineralno-bitumicznych w warunkach laboratoryjnych na Politechnice Wrocławskiej podjęto w roku 1995 [3]. Wyniki tych testów zakończyły się niepowodzeniem. Efekt modyfikacji mieszanek mineralnych gumą zależy od zastosowanej technologii mieszania asfaltu z gumą, rodzaju i właściwości zastosowanego granulatu gumowego, ilości dodawanego granulatu, rodzaju mieszanki mineralno-bitumicznej oraz technologii jej wbudowania.

W 2006 ponowiono próbe modyfikacji asfaltu w technologii na mokro. Dzięki współpracy Politechniki Wrocławskiej z firmą BISEK, która wyprodukowała pierwszy w Polsce zestaw do modyfikacji asfaltu na mokro można było rozpocząć praktyczne działania związane z wprowadzeniem nowej technologii na terenie Polski.

## Sposoby modyfikacji asfaltu gumą

Granulat gumowy można wprowadzić do mieszanki mineralno-bitumicznej dwoma metodami:

- metoda na sucho (dry process),
- metoda na mokro (wet process).

**Metoda na sucho** jest mało skomplikowanym procesem i polega na dodaniu do mieszanki mineralnej granulatu gumowego o uziarnieniu do 2,0 mm w ilości około 2-3%. W efekcie dostajemy mieszankę mineralno-bitumiczną z wtrąceniami grysów gumowych. Dodatek gumy zmniejsza sztywność mieszanki dzięki czemu zwiększa jej odporność na spękania. Pomimo prostoty samego procesu modyfikacji metoda na sucho jest mało popularna ponieważ dostajemy mieszankę mineralno-bitumiczną którą trudno zagęścić (granulat gumowy zachowuje się sprężyste w trakcie zagęszczania) co powoduje rozluźnienie struktury mieszanki. Efektem jest duża zawartość wolej przestrzeni w mieszance, znaczna nasiąkliwość oraz

mała mrozoodporność. Również proces modyfikacji mieszanki jest zbyt krótki (cykl mieszania na wytwórni) aby doszło do modyfikacji samego lepiszcza.

**Metoda na mokro** polega na wcześniejszym modyfikowaniu lepiszcza granulatem gumowym i wprowadzeniu gotowego lepiszcza asfaltowo-gumowego do mieszanki mineralnej. Proces jest skomplikowany, wymaga specjalistycznego zestawu do produkcji nowego lepiszcza. Efekt modyfikacji zależy od uziarnienia granulatu gumowego, ilości dodanej gumy, sposobu połączenia asfaltu z gumą (temperatura i intensywność mieszania), czasu mieszania, czasu „dojrzwania” nowego lepiszcza. Bardzo ważnym czynnikiem jest wilgotność granulatu gumowego (zawilgocony granulat po dodaniu do gorącego asfaltu powoduje gwałtowne odparowanie wody i spienienie lepiszcza).

## Właściwości lepiszcza modyfikowanego gumą

Właściwości lepiszcza modyfikowanego gumą zależą od wielu czynników. Najważniejszymi z nich są:

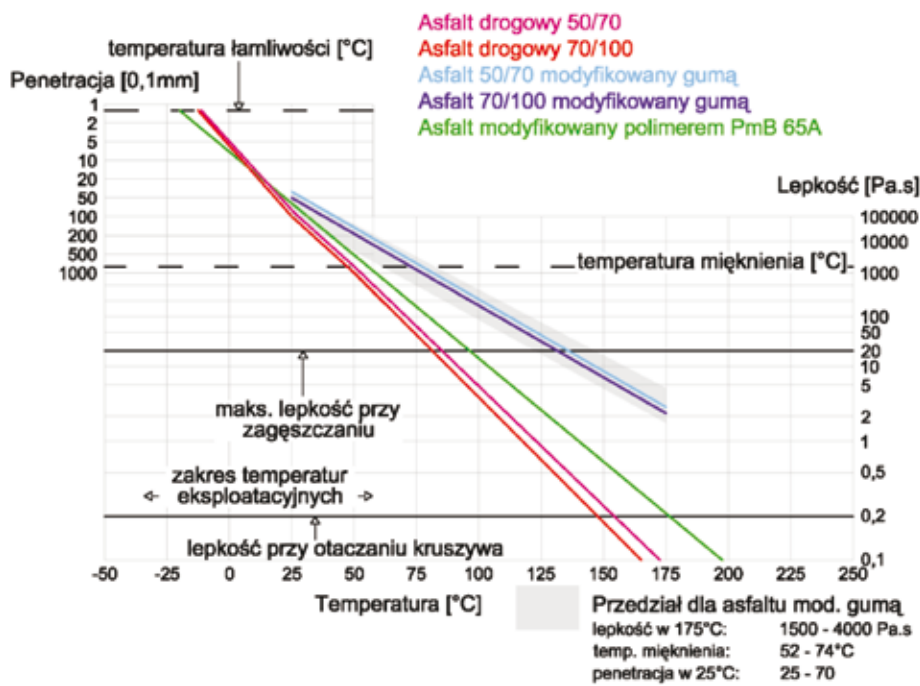
- rodzaj, skład chemiczny gumy, sposób uzyskania granulatu, uziarnienie i ilość dodanego granulatu gumowego,
- rodzaj użytego do modyfikacji lepiszcza,
- sposób połączenia lepiszcza z gumą (rodzaj mieszadła, temperatura mieszania, czas dojrzwania mieszaniny).

Według dotychczasowych doświadczeń najlepsze wyniki uzyskuje się przy zastosowaniu granulatu gumowego z opon samochodów osobowych (większa zawartość kauczuku naturalnego) uzyskanego w warunkach atmosferycznych. Uziarnienie miálu gumowego powinno się zawierać w przedziale 0-1,0mm. Drobne cząstki łatwiej łączą się z asfaltem tworząc lepiszcze jednorodne o większej lepkości.

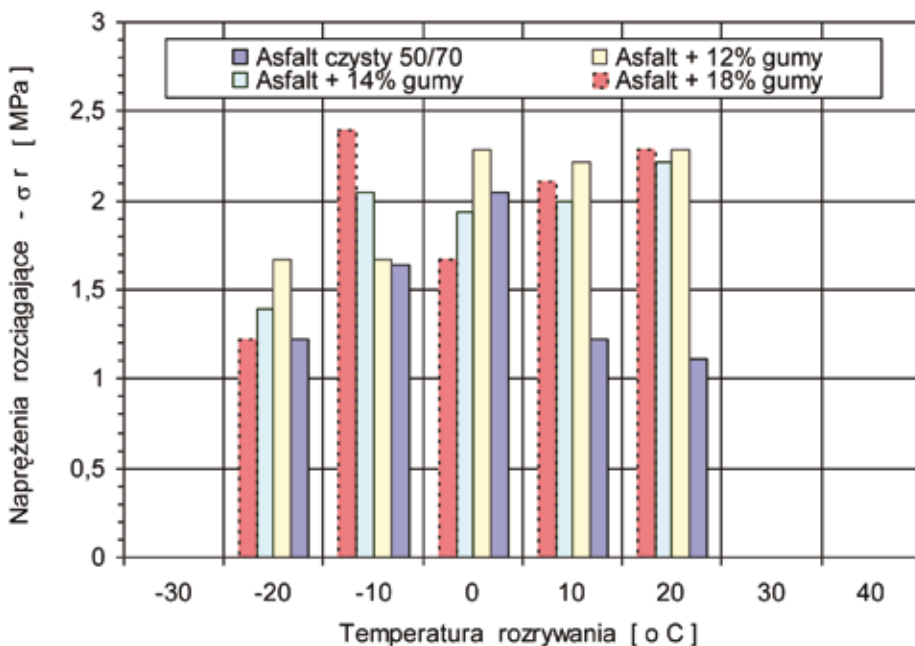


1. Schemat procesu modyfikacji asfaltu gumą

Granulat gumowy dozowany jest w ilości od 10 do 20% w stosunku do lepiszcza. Do modyfikacji nadają się typowe asfalty drogowe, jednakże należy pamiętać, że dodatek granulatu gumowego zmienia właściwości lepiszcza. Z twardszego asfaltu uzyskujemy lepiszcze asfaltowo-gumowe mniej wrażliwe na wysoką temperaturę, jednakże zbyt sztywne w temperaturach ujemnych. Podstawowymi badaniami lepiszcza asfaltowo-gumowego są lepkość, nawrót sprężysty w 25°C, temperatura mięknięcia według PiK, penetracja stożkiem w temp 25°C.



2. Wpływ dodatku miazgi gumowej na właściwości lepiszcza asfaltowego [5 i 6]



3. Wytrzymałość na rozrywanie próbek asfaltu 50/70 z różną zawartością gumy

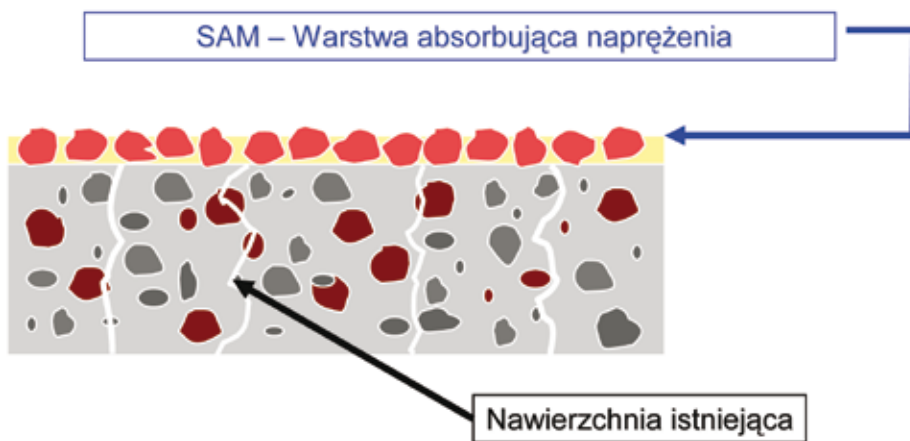
Najważniejszy jednak czynnikiem decydującym o jakości lepiszcza asfaltowo-gumowego jest sposób jego przygotowania. Proces rozproszenia gumy w asfalcie jest trudny. Stosuje się do tego celu specjalne zestawy składające się z miksera w którym w temperaturach 180 – 190°C przy dużych obrotach mieszadła (kilka tysięcy obrotów na minutę) rozprowadza się drobiny gumy w asfalcie. Drobniejsze cząstki gumy w wysokiej temperaturze ulegają częściowemu rozpuszczeniu. Część granulatu pozostaje w stanie stałym rozproszona w lepiszczu asfaltowym. Aby zapobiec rozsegregowaniu obu składników gorące lepiszcze przepompowywane jest do następnego zbiornika w którym następuje proces „dojrzewania”. Proces dojrzewania polega na stałym utrzymaniu wysokiej temperatury, ciągłym mieszaniu przez okres 45-60 minut. Dopiero po tym cyklu nowe lepiszcze może być podane na wytwórnię mieszanki mineralno-bitumicznej. Ogólny schemat procesu modyfikacji asfaltu gumą przedstawiono na rys 1.

Wpływ dodatku miazgi gumowej na poszczególne właściwości lepiszcza według badań przeprowadzonych w Czechach [6] i wymagania dla asfaltów modyfikowanych miazgą gumową ustalonych w USA [5] przedstawiono na rys. 2.

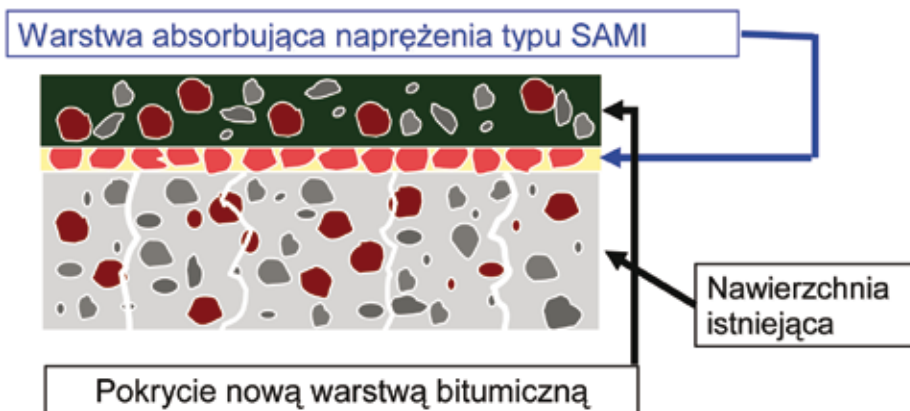
Dotychczas nie udało się wyraźnie określić konkretnej cechy lepiszcza wpływającej na specyficzne właściwości mieszanek mineralno-bitumicznych na bazie lepiszcza modyfikowanego gumą. Przeprowadzone w Laboratorium Katedry Dróg i Lotnictwa Politechniki Wrocławskiej badania rozrywania próbki lepiszcza wskazują, że jedną z cech korzystnie wpływających na właściwości mieszanek jest zwiększona przyczepność lepiszcza do powierzchni kruszywa.

Badania laboratoryjne przeprowadzono w próbie rozrywania kostek granitowych o powierzchni 9 cm<sup>2</sup> połączonych lepiszczem z różną zawartością dodatku granulatu gumowego. Badania przeprowadzono na typowych asfaltach drogowych: 35/50; 50/70 i 70/100. Badania rozrywania przeprowadzono w zakresie temperatur od +20°C do -20°C. Przykładowe wyniki badań w postaci naprężeń w momencie rozerwania próbek podano na rys. 3.

Na podstawie licznych badań terenowych, jak i laboratoryjnych można stwierdzić, że mieszanki mineralno-bitumiczne na bazie asfaltu modyfikowanego gumą wykazują większą trwałość, odporność na spękania w niskich temperaturach, zmniejszone efekty procesu starzenia.



4. Warstwa absorbująca naprężenia – SAM



5. Warstwa absorbująca naprężenia typu – SAMI

## Zastosowanie asfaltu modyfikowanego gumą w nawierzchniach lotniskowych

Pierwsze zastosowania lepiszcza asfaltowo-gumowego w drogownictwie USA dotyczyło głównie pokryć zniszczonych (spękanych) nawierzchni z betonu cementowego. Za-

stosowano w tym celu warstwy absorbujące naprężenia rozciągające (SAM). W latach siedemdziesiątych wprowadzono warstwy utrudniające powstawanie spękań odbitych (SAMI), warstwy z betonu asfaltowego (DENSE-GRADED HOT MIX) i warstwy o strukturze otwartej (porowate OPEN GRADE HOT MIX).



6. Wbudowywanie mieszanki na bazie asfaltu modyfikowanego gumą

W końcówce lat osiemdziesiątych warstwy z mieszanek o nieciągłym uziarnieniu (GAP GRADED HOT MIX).

W nawierzchniach lotniskowych szczególne zastosowanie mają warstwy umożliwiające przykrycie starych wyeksploatowanych nawierzchni betonowych. Należą do nich warstwy absorbujące naprężenia SAM I SAMI. Schematy zastosowania warstw absorbujących naprężenia przedstawiono na rys. 4 i 5.

W Polsce pierwsze praktyczne zastosowania lepiszcza asfaltowo-gumowego wyprodukowanego w procesie „na mokro” miało miejsce we Wrocławiu w roku 2006. Starą nawierzchnię ul. Przybyły, z płyt betonowych z licznymi spękaniami, przykryto warstwą grubości 4 cm z SMA 0/11mm na bazie asfaltu modyfikowanego gumą. Po trzech latach eksploatacji nawierzchnia zachowuje się bardzo dobrze. Pomierzone w 2008 roku natężenie hałasu wskazuje, że nawierzchnia ta jest o 3 dB cichsza niż leżąca obok warstwa ścieralna z tradycyjnej mieszanki mineralno-bitumicznej. Po siedmiu latach eksploatacji nie stwierdzono występowania spękań odbitych a nawierzchni jest w bardzo dobrym stanie. Proces wbudowania mieszanki asfaltowo-gumowej jest podobny jak mieszanki tradycyjnej z zachowaniem nieco wyższej temperatury. Widok wbudowywania warstwy z mieszanki na bazie asfaltu modyfikowanego oraz wygląd powierzchni jezdni przedstawiono na fot. 6 i 7.

Asfalt modyfikowany gumą znajduje zastosowanie w różnych typach mieszanek mineralno-asfaltowych. Stosowany jest przeważnie do wytwarzania mieszanek, wykorzystywanych w warstwach ścieralnych nawierzchni. Z punktu widzenia implementacji technologii modyfikacji asfaltu gumą, do nawierzchni lotniskowych, obiecujące wyniki badań uzyskano dla mieszanek typu SMA [11]. Mieszanki SMA wprowadzono po raz pierwszy do stosowania w latach 60-tych XX wieku, w Niemczech [7]. Mieszanka SMA o dużej zawartości frakcji grysowej oraz stosunkowo dużej zawartości lepiszcza asfaltowego, jest szczególnie odporna na oddziaływanie obciążeń w wysokich i niskich temperaturach [8]. Cechą charakterystyczną mieszanek SMA jest nieciągłość uziarnienia. Jedną z wad omawianej mieszanki jest stosunkowo duża spływność lepiszcza asfaltowego, podczas transportu i wbudowywania mieszanki. Badania wykonane na PWR wskazują jednak, że fakt ten można ograniczyć poprzez zastosowanie właśnie dodatku gumowego.

Dodatkowa modyfikacja lepiszcza asfaltowego gumą ogranicza również propagację spękań w niskich temperaturach i wpływa korzystnie na odporność warstwy na deformacje trwałe [9].

Korzystny wpływ modyfikacji gumą, na właściwości lepiszcza asfaltowego oraz mieszanek SMA, wykazano w badaniach laboratoryjnych, przeprowadzonych na PWR [12]. Opracowano recepty mieszanki typu SMA, z dodatkiem granulatu gumowego. Badania przeprowadzono dla mieszanek SMA, opartych na asfaltach drogowych 35/50, oraz 50/70. Zaprojektowano optymalną krzywą uziarnienia, mieszczącą się w polu dobrego uziarnienia wg [10] – rys. 8. Dla mieszanki mineralno-asfaltowej opartej na asfalcie modyfikowanym polimerami (PMB 45/80-55) nie stosowano dodatku granulatu gumowego.

Wcześniejsze badania laboratoryjne wskazały na optymalną zawartość dodatku gumowego w stosunku do wagi lepiszcza asfaltowego. Do obu mieszanek dodano granulaty gumowy w ilości 10%, w stosunku do wagi asfaltu. Modyfikowane mieszanki mineralno-asfaltowe uzyskano, stosując metodę wytwarzania „na moko” – tab. 1.

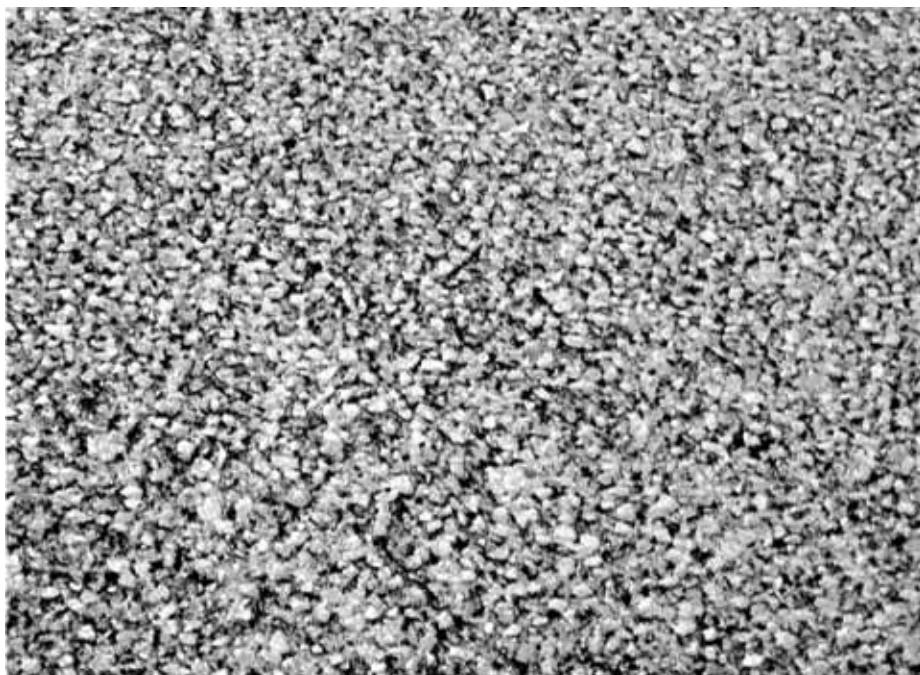
Dla wytworzonych mieszanek mineralno-asfaltowych, wykonano szereg badań laboratoryjnych, mających na celu wykazanie właściwości materiału, jako warstwy ściernej w nawierzchniach drogowych lub lotniskowych.

W badaniach ITSR analizowano odporność materiału na działanie niekorzystnych warunków klimatycznych tj. na działanie wysokich i niskich temperatur w połączeniu z destrukcyjnym działaniem wody. Uzyskane wyniki przedstawiono na rys. nr 9.

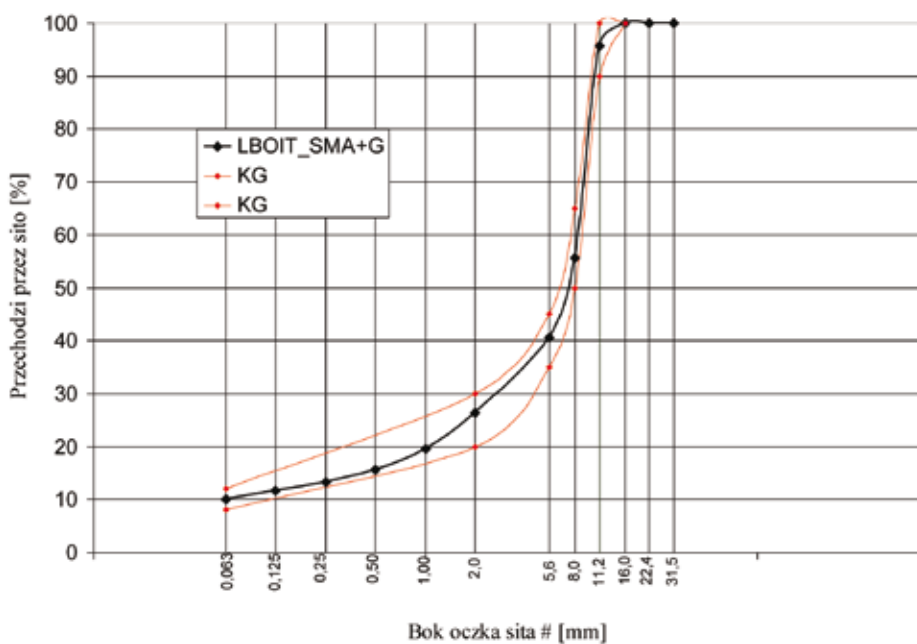
Stwierdzono korzystny wpływ dodatku gumowego, na odporność mma, na działanie wody i mrozu. Dodatek granulatu gumowego pozwolił na ograniczenie powstawania mikrospełkań wewnętrznych, spowodowanych zamarzaniem wody zgromadzonej wewnątrz warstwy SMA. Odporność warstwy SMA na deformacje trwałe, analizowano w testach koleinowania w małym koleinomierzu. Oszacowano wpływ dodatku granulatu gumowego na proporcjonalną głębokość koleiny w warstwie oraz na prędkość jej narastania. Wyniki badań przedstawiono na rys. 10 i 11.

Zaobserwowano poprawę odporności badanego materiału na powstawanie w nim deformacji trwałych, mogących pojawić się w wyniku oddziaływania dużych obciążeń, podczas eksploatacji nawierzchni w wysokich temperaturach. Po zastosowaniu dodatku gumowego zarówno maksymalna głębokość koleiny jak i prędkość jej narastania znacząco spadły.

Kolejną istotną cechą mieszanek SMA jest spływność lepiszcza asfaltowego. Lepsza przyczepność lepiszcza gumowego do powierzchni kruszywa, która została wykazana w badaniach odrywania, również w tym



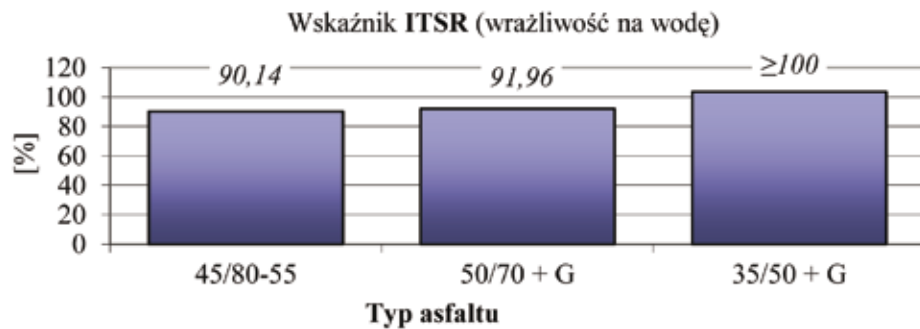
7. Widok warstwy ściernej po zagęszczeniu mieszanki



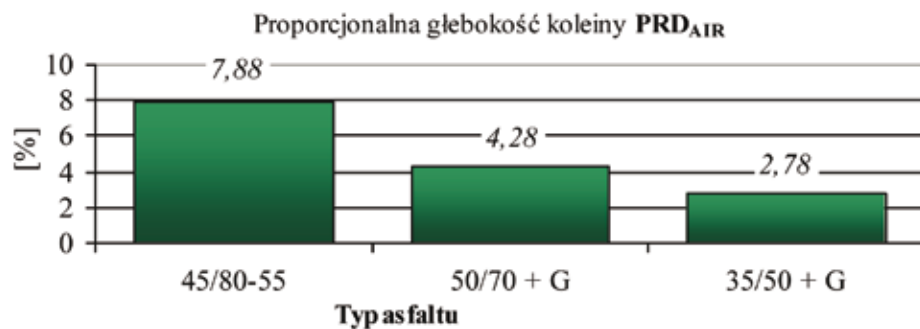
8. Krzywa uziarnienia mieszanek SMA

Tab.1: Skład mieszanek mineralno-asfaltowych

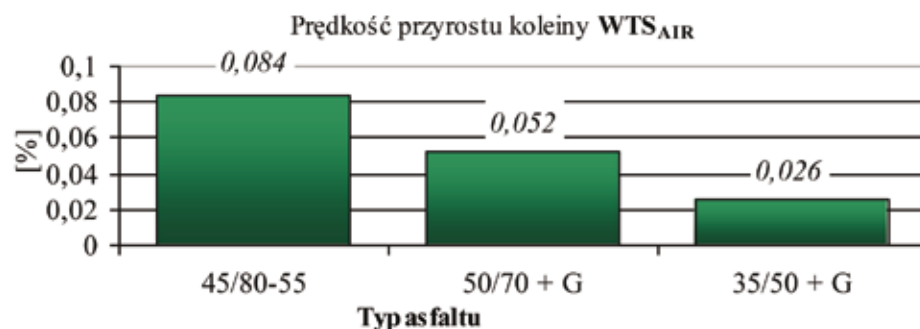
Składnik	Udział w MM	Udział w MMA
[-]	[%]	[%]
Wypełniacz	10,0	9,39
Kruszywo 0/5	28,0	26,29
Kruszywo 5/8	12,0	11,27
Kruszywo 8/11	50,0	46,95
Asfalt 35/50 lub 50/70 + 10% guma		6,10
Środek adhezyjny		0,3 % wag. asfaltu
Środek stabilizujący		0,4 % wag. MM



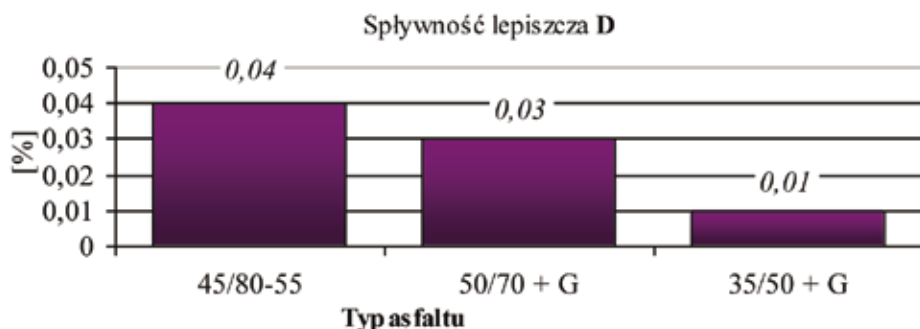
9. Zmiana odporności MMA na działanie wody



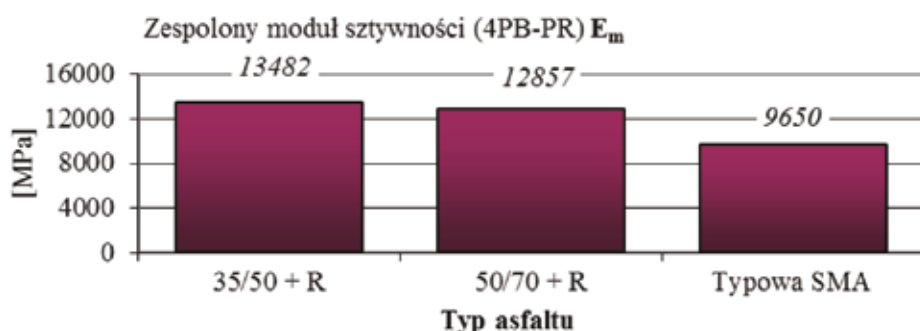
10. Koleinowanie mieszank SMA



11. Koleinowanie mieszank SMA c.d.



12. Splywność lepiszcza asfaltowego



14. Sztywność mieszank modyfikowanych gumą

przypadku została potwierdzona. Wyniki analiz splywności zamieszczono na rys. nr 12.

Ograniczenie splywności ma istotny wpływ na technologię wytwarzania i wbudowywania mieszank typu SMA. Poprzez ograniczenie splywania lepiszcza uzyskuje się materiał jednorodny, pozbawiony lokalnych przebitumowań.

Badania laboratoryjne potwierdzają również zwiększenie sztywności i trwałości mma, po zastosowaniu granulatu gumowego. Korzystny wpływ modyfikacji gumą wykazano podczas analiz trwałości zmęczeniowej, określanej metodą zginania belki 4-punktowej. Badania prowadzono w aparacie typu Beam-Flex – rys. 13, w temperaturze 10°C przy częstotliwości obciążania 10 Hz.

Wyniki badań zespolonego modułu sztywności oraz trwałości zmęczeniowej przedstawiono na rysunkach 14 i 15 oraz w tabeli nr 2. Zaobserwowano wzrost sztywności badanego materiału w porównaniu z konwencjonalnymi mieszankami typu SMA. Również trwałość zmęczeniowa mieszanki typu SMA była bardzo wysoka. Szkoła zmęczeniowa w milionowym cyklu obciążania wynosiła ok 30% dla stosowanego mikroodszałcenia, wynoszącego  $130 \cdot 10^{-6}$  m/m. Dodatkowe badania pozwoliły na oszacowanie krzywej zmęczeniowej analizowanego materiału. Uzyskano mikroodszałcenie niszczące  $\epsilon_6$  (dla milionowego cyklu obciążania) na poziomie 167 mikroodszałceń. Taki wynik pozwala na stwierdzenie iż analizowany materiał charakteryzuje się wysoką odpornością na zmęczenie i spękania zmęczeniowe.

## Podsumowanie

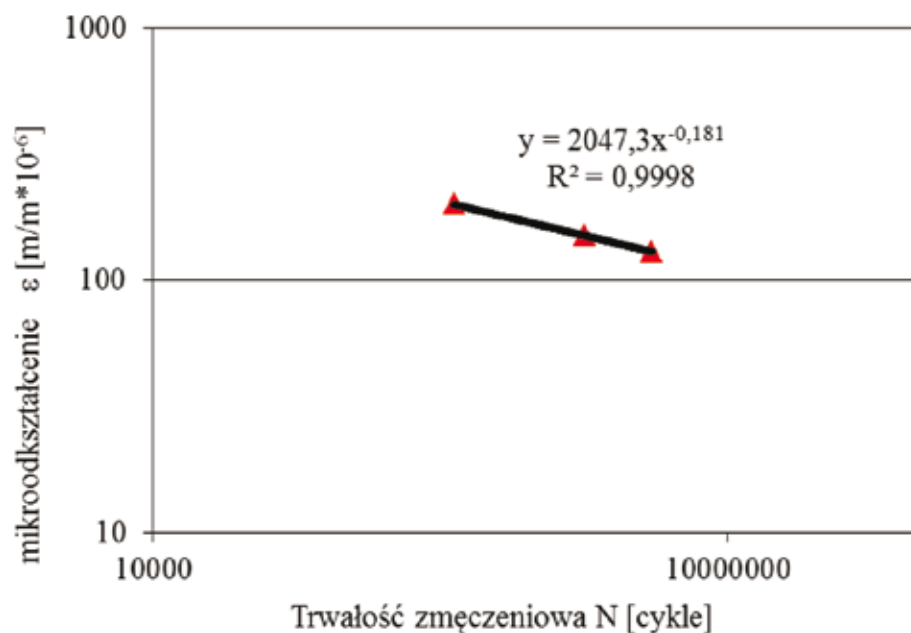
Przedstawione w referacie wyniki badań lepiszcza asfaltowego modyfikowanego gumą oraz dotychczasowe zastosowania praktyczne nowych mieszank wskazują na zdecydowanie lepsze właściwości nowego lepiszcza w porównaniu do asfaltów trady-



13. Aparat Beam-Flex

Tab.2: Trwałość zmęczeniowa próbek SMA

Próbki	Mikroodkształcenie	Trwałość zmęczeniowa	Szkoda zmęczeniowa
	$\epsilon$	$N_{m/50}$	$D$
	[mm*10 <sup>-6</sup> ]	[cykle]	[%]
1	130	4060774	32,0
2	150	1792734	21,9
3	200	375275	>50



15. Krzywa zmęczeniowa mieszanki SMA z dodatkiem gumy

cyjnych i modyfikowanych polimerami. Dotyczy to wszystkich badanych lepkości w całym zastosowanym zakresie temperatur.

Od 2006 roku w Polsce wykonano kilkanaście odcinków dróg i ulic w technologii SMA na bazie asfaltu modyfikowanego gumą oraz kilka odcinków z zastosowaniem warstw SAMI. Pokrywano w tej technologii stare zniszczone nawierzchnie z kostki brukowej jak również nawierzchnie z płyt betonowych. Zastosowanie granulatu gumowego do modyfikacji asfaltów drogowych zdecydowanie poprawia właściwości mieszanek mineralno-bitumicznych. Obecne doświadczenia Politechniki Wrocławskiej, związane z technologią asfaltów gumowych, znajdują uznanie na forum międzynarodowym [13, 14].

W budownictwie lotniskowym szczególnie atrakcyjną jest technologia pokrycia starych zniszczonych nawierzchni betonowych warstwą bitumiczną w technologii SAMI. Zarówno warstwa absorbująca naprężenia jak i nowa warstwa ścieralna wykonywane są na bazie asfaltu modyfikowanego gumą. Do warstwy ścieralnej stosuje się mieszan-

ki mineralno asfaltowe SMA o uziarnieniu 0/11mm.

Warstwy nawierzchni wykonane na bazie asfaltu modyfikowanego gumą są bardziej odporne na spękania, mają lepszą przyczepność na styku koła pojazdów a nawierzchnią a przy tym są cichsze.

Istotnym jest również aspekt ekologiczny. Poprzez przeróbkę starych opon samochodowych i zagospodarowanie granulatu gumowego, pozbywamy się trudnych do zagospodarowania, uciążliwych dla środowiska odpadów. ◀

#### Materiały źródłowe

- [1] Gawęł I., Kalabińska M., Piłat J.: Asfalty Drogowe, WKiŁ, Warszawa, 2001.
- [2] Sybilski D.: Zastosowanie odpadów gumowych w budownictwie drogowym Przegląd Budowlany 5/2009.
- [3] Koba H.: Wpływ dodatku gumy na cechy mieszanek mineralno-bitumicznych, III Międzynarodowa Konferencja Trwałe i Bezpieczne nawierzchnie Drogowe, Kielce 22-23 maj 1997.

- [4] Radziszewski P., Kalabińska M., Piłat J.: Wykorzystanie miata gumowego ze zużytych opon samochodowych do modyfikacji asfaltów, Elastomery Nr 4 lipiec – sierpień 2001, tom 5.
- [5] Asphalt Rubber Usage Guide, State of California Department of Transportation, January 2003
- [6] Kudrna J., Dasek O.: Testing Asphalt-rubber according to European Standards and its use in the Czech Republic, International Conference Asphalt rubber 2009, Nanjing, China, November 2009, p. 415-433.
- [7] Scherocman JA. SMA reduces rutting. Better Roads 1991;61(11).
- [8] Ibrahim M. Asi, Laboratory comparison study for the use of stone matrix asphalt in hot weather climates, Construction and Building Materials 20 (2006) 982–989
- [9] Arabani M., Mirabdolazimi S.M., Sasanian A.R.: The effect of waste tire thread mesh on the dynamic behaviour of asphalt mixtures, Construction and Building Materials 24 (2010) 1060–1068
- [10] Praca zbiorowa, Sybilski D.: Wymagania techniczne. WT-2 Nawierzchnie asfaltowe na drogach publicznych. IBDiM 2008
- [11] Skotnicki Ł. Z., Koba H., Szydło A.: Mieszanki SMA z asfaltem modyfikowanym gumą. Drogownictwo 2010, R. 65, nr 11, s. 374-378
- [12] Koba H., Skotnicki Ł. Z., Szydło A.: Właściwości asfaltu modyfikowanego gumą - praktyczne zastosowanie. Drogownictwo 2010, R. 65, nr 11, s. 378-382
- [13] Koba H., Skotnicki Ł. Z., Szydło A.: Laboratory evaluation of asphalt rubber mastic prepared using mixed (wet + dry) method. Proceedings of the Asphalt Rubber 2012 Conference, Munich, Germany ed. by Jorge B. Sousa. Consulpav Lisbon cop. 2012. s. 443-452
- [14] Skotnicki Ł. Z., Koba H., Szydło A.: Rubber modified stone matrix asphalts. Proceedings of the Asphalt Rubber 2012 Conference, Munich, Germany, ed. by Jorge B. Sousa ; Consulpav Lisbon cop. 2012. s. 253-265