

6. Badane mma z dodatkiem miazu gumowego, speiniaja kryteria projektowania mieszanek SMA i moga byc wykorzystywane w budownictwie drogowym.

Bibliografia

- [1] Judycki J., Jaskula P. *Wplyw modyfikacji asfaltu na odpornosc betonu asfaltowego na oddziaływanie czynnikow srodowiskowych*. VI Międzynarodowa Konferencja „Trwale i Bezpieczne Nawierzchnie Drogowe”, Kielce 2000
- [2] Sybilski D., *Zastosowanie odpadow gumowych w budownictwie drogowym*. Przegląd budowlany 5/2009
- [3] Chandra K, Akisetty, Soon-Jae Lee, Serji N. Amirkhani, *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., *Wplyw powtarzalności obciazeń 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 Wroclawska
Katedra Dróg i Lotnisk
henryk.koba@pwr.wroc.pl



ŁUKASZ SKOTNICKI

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



ANTONI SZYDŁO

Politechnika Wroclawska
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 Wroclawskiej 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 lepiszcza 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-

ny gumą wykorzystywany jest najczęściej do warstw ścieralnych z mieszanek porowatych (ang. *OGFC*) i mieszanek typu SMA.

Tabela 1. Zastosowanie asfaltów modyfikowanych gumą w USA

Stan	Stosowana technologia	Stosowany dodatek miazu gumowego w stosunku do asfaltu %	Uziarnienie miazu gumowego
Arizona	GGFC i OGFC	20%	<1,18 mm
California	GGFC i OGFC	18% – 20%	<1,18 mm
Floryda	DGFC, OGFC i SAMI (ARMI)	5%, 12% i 20%	<0,85 mm <0,425 mm i <0,210 mm
Rohde Island	GGFC i SAM	7% do 20%	<0,85 mm i <0,21mm
South Carolina	DGFC, OGFC i SAMI	10%, 12% i 20%	< 0,425 mm
Texas	DGFC, GGFC, OGFC i SAM	5% lub 15%	<1,18 mm

Objaśnienia:

GGFC Mieszanka o nieciągotym uziarnieniu na warstwę ścieralną,

OGFC Mieszanka otwarta (porowata) na warstwę ścieralną

DGFC Mieszanka betonu asfaltowego na warstwę ścieralną

SAMI Warstwa pośrednia absorbująca naprężenia

SAM Warstwa absorbująca naprężenia

Sposoby modyfikacji asfaltu gumą

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

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

Rozdrabnianie gumy ze zużytych opon samochodowych polega na mechanicznym cięciu i rozcieraniu, a uzyskany produkt zawiera gumę, tkaninę i metal. Rozdrabnianie może się odbywać **metodą kriogeniczną** lub w normalnych **warunkach atmosferycznych**.

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

Granulat gumowy można wprowadzić do mieszanki mineralno-asfaltowej dwiema metodami:

- metodą „na sucho” (ang. *dry process*),
- metodą „na mokro” (ang. *wet process*).

Metoda „na sucho” polega na dodaniu do mieszanki mineralnej granulatu gumowego o uziarnieniu do 2,0 mm, w ilości około 2–3%. W efekcie dostajemy mieszkankę mineralno-asfaltową 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, ponie-

waż dostajemy mieszkankę mineralno-asfaltową, którą trudno zagęścić (granulat gumowy zachowuje się sprężysto w trakcie zagęszczania), co powoduje rozluźnienie struktury mieszanki. Efektem jest duża zawartość wolnej przestrzeni w mieszance, znaczna nasiąkliwość oraz mała mrozoodporność.

Metoda „na mokro” polega na wcześniejszym modyfikowaniu lepiszcza asfaltowego granulatem gumowym i wprowadzeniu gotowego lepiszcza asfaltowo-gumowego do mieszanki mineralnej. Efekt modyfikacji zależy od uziarnienia granulatu gumowego, ilości dodanej gumy, sposobu połączenia asfaltu z gumą (temperatura i intensywność mieszania), czasu mieszania i czasu „dojrzewania” nowego lepiszcza. Granulat gumowy dozowany jest w ilości od 10 do 20% w stosunku do lepiszcza. Zbyt duża zawartość granulatu gumowego, szczególnie przy twardszych asfaltach powoduje, że uzyskujemy mieszkankę mineralno-asfaltową o trudnej urobialności w trakcie wbudowywania.

Do modyfikacji nadają się typowe asfalty drogowe, jednakże należy pamiętać, że dodatek granulatu gumowego zmienia właściwości lepiszcza. Rodzaj użytego lepiszcza zależy od rodzaju mieszanki mineralno-asfaltowej, w której będzie użyte lepiszcze asfaltowo-gumowe. Podstawowymi badaniami lepiszcza asfaltowo-gumowego są lepkość, penetracja w temperaturze 25°C, temperatura mięknięcia według PiK i nawrót sprężysty w 25°C.

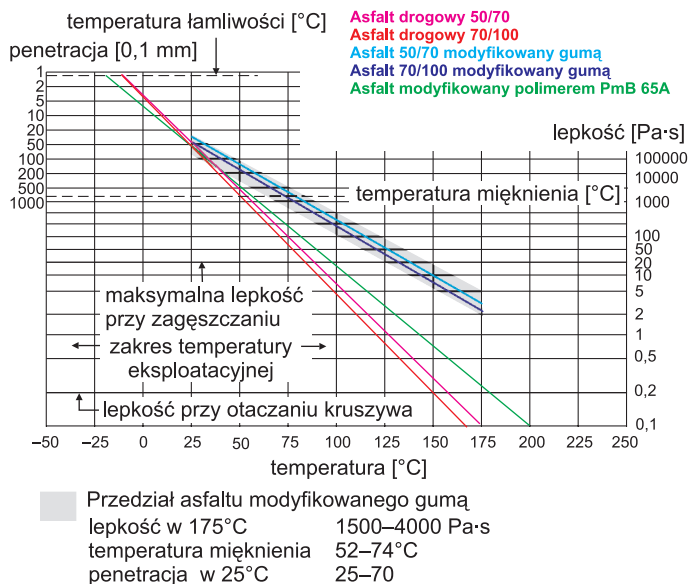
Cechy asfaltu modyfikowanego gumą

Najważniejszym czynnikiem decydującym o jakości lepiszcza gumowo-asfaltowego 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 przedziale temperatury 180–190°C i przy dużych obrotach mieszadła (kilka tysięcy obrotów na minutę) rozprzadza się drobiny gumy w asfalcie. Drobniejsze cząstki gumy w wysokiej temperaturze ulegają częściowemu rozpuszczeniu. Część granulatu pozostaje w stanie stałym rozproszona w lepiszczu asfaltowym. W końcowym etapie mieszania otrzymujemy układ dyspersji o niestabilnym układzie koloidalnym. Aby zapobiec rozsegregowaniu obu składników, gorące lepiszcze przepompowywane jest do następnego zbiornika, w którym następuje proces „dojrzewania”.

Proces dojrzewania lepiszcza polega na stałym utrzymywaniu go w wysokiej temperaturze i ciągłym mieszaniu. Dopiero po tym cyklu nowe lepiszcze może być użyte do produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej. Właściwości lepiszcza modyfikowanego gumą zależą również od czasu jego dojrzewania. W praktyce przyjęto, że nowe lepiszcze powinno być zastosowane do wytworzenia mieszanki mineralno-asfaltowej po 45–60 minutach dojrzewania.

Dodatek miazu gumowego zmienia właściwości uzyskanego lepiszcza gumowo-asfaltowego powodując:

- zwiększenie lepkości,
- zwiększenie sprężystości,
- podwyższenie temperatury mięknięcia,
- zmniejszenie penetracji,
- zwiększenie zakresu właściwości plastycznych i lepko-sprężystych,
- zwiększenie przyczepności lepiszcza do kruszywa.

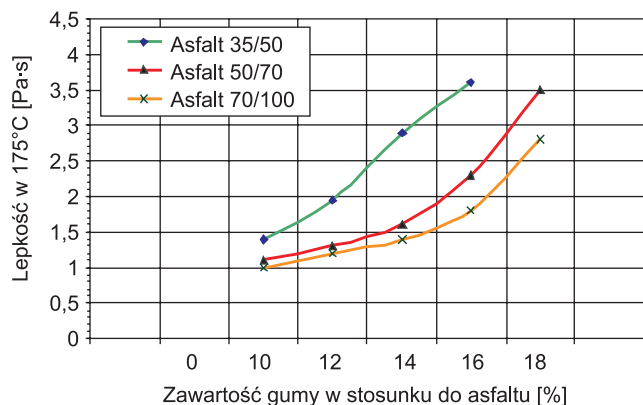


Rys. 1. Wpływ dodatku miazgi gumowej na właściwości lepiscza asfaltowego [5] i [6]

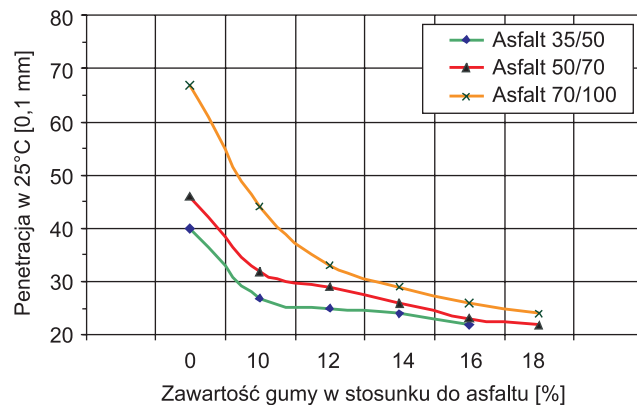
Wpływ dodatku miazgi gumowej na poszczególne właściwości lepiscza według badań przeprowadzonych w Czechach [6] i wymagania wobec asfaltów modyfikowanych miazgą gumową ustalone w USA [5] przedstawiono na rysunku 1.

Badania asfaltu modyfikowanego gumą

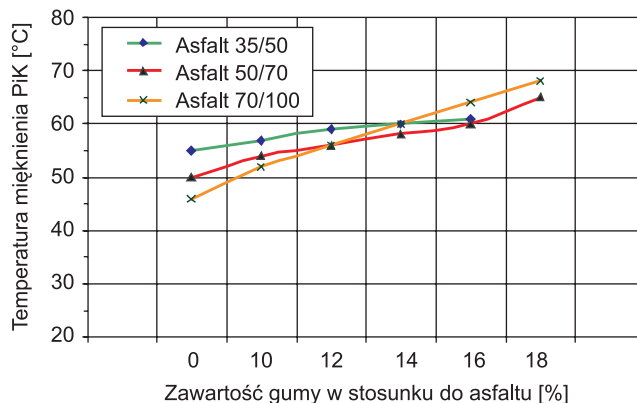
Biorąc pod uwagę fakt, że efekt modyfikacji asfaltu gumą zależy od rodzaju asfaltu, ilości i rodzaju zastosowanego miazgi gumowej oraz sposobu przygotowania lepiscza, przeprowadzono badania laboratoryjne w Katedrze Dróg i Lotnisk (akredytowana pracownia drogową) na wybranych, najczęściej używanych w Polsce asfaltach (35/50; 50/70 i 70/100). Do modyfikacji zastosowano granulaty gumy o uziarnieniu 0–1,0 mm w ilościach 10; 12; 14; 16 i 18% w stosunku do masy asfaltu. Lepiscza gumowo-asfaltowe przygotowano w laboratorium, mieszając miazgę gumową z asfal-



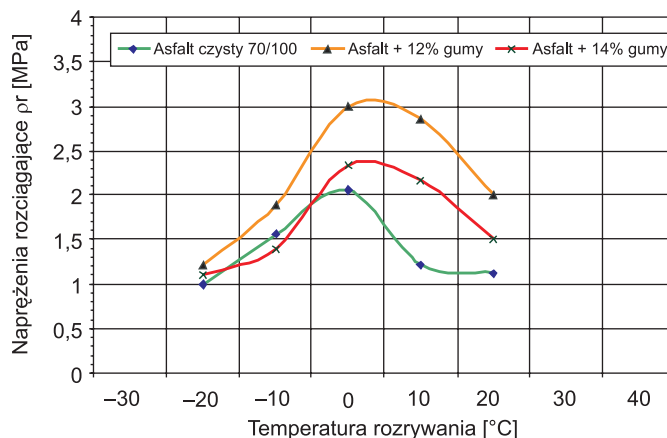
Rys. 2. Wpływ ilości dodatku miazgi gumowej na zmianę lepkości



Rys. 3. Wpływ ilości dodatku miazgi gumowej na zmianę penetracji



Rys. 4. Wpływ ilości dodatku miazgi gumowej na zmianę temperatury mięknienia



Rys. 5. Wytrzymałość na rozrywanie próbek asfaltu 70/100 z różną zawartością gumy

tem w temperaturze 170°C przez okres 60 minut. Na tak przygotowanych lepisczach przeprowadzono badania:

- lepkości,
- penetracji;
- temperatury mięknienia,
- przyczepności modyfikowanego lepiscza do powierzchni kruszywa.

Badania laboratoryjne przyczepności lepiscza do kruszywa przeprowadzono w próbie rozrywania kostek granitowych (o powierzchni 9 cm²), połączonych lepisczem z różną zawartością dodatku granulatu gumowego. Badania rozrywania przeprowadzono w zakresach temperatury od +20° C do -20° C. Wyniki badań laboratoryjnych przedstawiono na rysunkach 2-5.

Z wyników przedstawionych na ww. rysunkach wynika, że ww. dodatek miału gumowego do asfaltu powoduje zwiększenie lepkości, zmniejszenie penetracji, wzrost temperatury mięknienia, polepszenie przyczepności do kruszywa.

Praktyczne zastosowania asfaltu modyfikowanego gumą

Pierwsze praktyczne zastosowanie nowej technologii miało miejsce w roku 2006 we Wrocławiu, gdzie na ul. Przybyły starą zniszczoną nawierzchnię z płyt betonowych, z licznymi spękaniem, przykryto warstwą grubości 4 cm z mieszanki SMA 0/11mm związanej asfaltem modyfikowanym gumą. Było to możliwe dzięki firmie BISEK, która wybudowała we Wrocławiu pierwsze zestawy do modyfikacji asfaltu gumą, dostosowane do warunków europejskich. Widok jednego z zestawów przedstawiono na fotografii 1. Modyfikowano asfalt drogowy 50/70 dodatkiem miału gumowego (0/1,0 mm) w ilości 14% w stosunku do masy asfaltu. Zmodyfikowane lepiscze wykorzystano do produkcji mieszanki SMA 0/11mm. Kolejne liczne zastosowania obejmowały przykrycia starych zniszczonych nawierzchni placów parkingowych z płyt betonowych, nawierzchni z kamiennej kostki brukowej, jak również zniszczonych nawierzchni asfaltowych (fot. 2-3).

W październiku 2009 r. kolejne wybudowane we Wrocławiu przez firmę BISEK urządzenie do modyfikacji asfaltu zostało przewiezione do Kanady, gdzie w miejscowości Victoriaville (Quebec) przykryto bardzo zniszczoną nawierzchnię asfaltową warstwą z mieszanki SMA związanej lepisczem asfaltowym modyfikowanym gumą. Poszczególne etapy budowy przedstawiono na fotografiach 4-7. Receptura na bazie miejscowych materiałów została opracowana przez pracownika Katedry Dróg i Lotnisk (dr. H. Kobę), który sprawował również nadzór technologiczny.



Fot. 1. Widok polskiego zestawu do modyfikacji asfaltu gumą (fot. H. Koba)



Fot. 2. Nawierzchnia placu parkingowego z płyt betonowych przed przykryciem warstwą z mieszanki SMA związanej asfaltem modyfikowanym gumą (fot. H. Koba)



Fot. 3. Wbudowywanie warstwy z mieszanki SMA związanej asfaltem modyfikowanym gumą na placu parkingowym Politechniki Wrocławskiej (fot. H. Koba)



Fot. 4. Zestaw do modyfikacji asfaltu gumą na wytwórni mieszanek mineralno-asfaltowych (Victoriaville) (fot. H. Koba)

W sierpniu 2010 r. wykonano kolejne odcinki na terenie Republiki Czeskiej i na kilku ulicach we Wrocławiu.



Fot. 5. Nawierzchnia drogi lokalnej przed remontem (Victoriaville) (fot. H. Koba)



Fot. 6. Wbudowywanie mieszanki SMA związanej asfaltem modyfikowanym gumą (Victoriaville) (fot. H. Koba)



Fot. 7. Widok nowej nawierzchni (Victoriaville) (fot. H. Koba)

Podsumowanie

Przedstawione wyniki badań laboratoryjnych potwierdzają wcześniejsze spostrzeżenia dotyczące zmian właściwości lepiszcza gumowo-asfaltowego. Dodatek miazgi gumowego powoduje bardzo wyraźny wzrost lepkości. Należy zauważyć, że wszystkie trzy asfalty z dodatkiem gumy w przedziale 14–18% spełniają wymagania dotyczące lepkości (1500–4000 Pa·s). Najwyraźniejszy wpływ dodatku gumy na lepkość widoczny jest w asfalcie najtwardszym (35/50).

Wpływ gumy na penetrację nowego lepiszcza jest szczególnie widoczny przy dodatku gumy w ilości 10–12%. Przy dodatku powyżej 14% właściwie wszystkie asfalty wykazują zbliżoną penetrację w przedziale 20–30 stopni.

Dodatek gumy powoduje również wzrost temperatury mięknięcia. Najbardziej jest to widoczne w przypadku zmodyfikowanych asfaltów 50/70 i 70/100, których temperatura mięknięcia wzrasta od kilkunastu stopni (asfalt 50/70) do ponad 20°C (asfalt 70/100).

Próba rozrywania kostek granitowych zespolonych lepiszczem gumowo-asfaltowym wykazała wyraźny wzrost przyczepności lepiszcza modyfikowanego gumą. Dotyczy to głównie zakresów temperatury powyżej 0°C. Na uwagę zasługuje fakt, że do badań rozrywania użyto kostek granitowych, a jak wiadomo kruszywo z tej skały z reguły wymaga zastosowania dodatków poprawiających przyczepność lepiszcza.

Zastosowanie granulatu gumowego do modyfikacji asfaltów drogowych zdecydowanie poprawia właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych.

Dotychczasowe doświadczenia i obserwacje wykonanych wcześniej odcinków nawierzchni wskazują, że warstwy nawierzchni wykonane z użyciem asfaltu modyfikowanego gumą są bardziej odporne na odkształcenia plastyczne, wykazują większą odporność na spękania, mają lepszą przyczepność na styku kół pojazdów z nawierzchnią, a przy tym są cichsze. Według dotychczasowych badań terenowych możliwe jest obniżenie poziomu hałasu około 3–4dB w porównaniu do nawierzchni o tradycyjnej warstwie ścieralnej.

Dotychczasowe doświadczenia wskazują, że możliwe jest w warunkach polskich wybudowanie mobilnego zestawu do produkcji asfaltu z dodatkiem miazgi gumowego. Nawiązana współpraca przemysłu z Katedrą Dróg i Lotnisk Politechniki Wrocławskiej przynosi korzyści w zakresie transferu wiedzy do praktyki.

Bibliografia

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