



DARIUSZ SYBILSKI

IBDiM, Politechnika  
Lubelska  
d.sybilski@ibdim.edu.pl



WOJCIECH BANKOWSKI

IBDiM, Politechnika  
Lubelska  
wbankowski@ibdim.edu.pl



RENATA HORODECKA

IBDiM  
rhorodecka@ibdim.edu.pl



ANDRZEJ WRÓBEL

IBDiM  
awrobel@ibdim.edu.pl



KRZYSZTOF MIRSKI

IBDiM  
kmirskil@ibdim.edu.pl

## Metoda modyfikacji mieszanki mineralno-asfaltowej gumą z zastosowaniem dodatku „tecRoad”

Zagospodarowanie zużytych opon samochodowych jest jednym z wiodących problemów recyklingu materiałów odpadowych w całym świecie. Początki stosowania gumy w modyfikacji asfaltu sięgają XIX w., gdy w 1840 r. zastosowano kauczuk naturalny, jako modyfikator asfaltu do nawierzchni asfaltowych [1]. Zużyte opony samochodowe po raz pierwszy zastosowano w nawierzchni drogowej, modyfikując asfalt granulatem gumowym, w 1948 roku w Akron, Ohio, USA. Akron było wówczas siedzibą największego producenta opon samochodowych firmy Goodyear, Firestone & General Tire. Akron znane było wówczas, jako „Światowa Stolica Gumy” („*Rubber Capital of the World*”), a produkcja gumy syntetycznej była wówczas podstawą bogactwa tego miasta. Nawierzchnia ta dotrwała do 1959 r.

Obecnie stosowane są w świecie trzy metody modyfikacji [2]:

- metoda na mokro McDonalda
- metoda na mokro terminalowa
- metoda na sucho.

**Metoda na mokro McDonalda** [3], [4] zwana Asphalt Rubber („asfalt gumowany”) jest zdefiniowana w ASTM jako „mieszanka asfaltu, recyklowanej gumy z opon i dodatków, w której zawartość składnika gumowego wynosi co najmniej 15% m/m, w której reakcja gumy z gorącym asfaltem powoduje jej spęcznienie” [5]. Asfalt mieszany jest z gumą w specjalnej instalacji w temperaturze 190–225°C w czasie, co najmniej 45 minut, aby zapewnić chemiczne i fizyczne połączenie składników. Podczas mieszania guma reaguje z asfaltem oraz ulega pęcznieniu i zmiękczeniu. Reakcja gumy z asfaltem zależy od temperatury, czasu mieszania, wielkości ziaren i tekstury gumy oraz aromatyczności składników asfaltu. Zawartość gumy wynosi zwykle od 18 do 22% m/m. W celu zmniejszenia

lepkości lepiszcza gumowo-asfaltowego może być dodawany olej pochodzenia petrochemicznego. Po wymieszaniu gumy z asfaltem lepiszcze gumowo-asfaltowe powinno być przechowywane w wysokiej temperaturze, w czasie 2 godzin w celu „dojrzenia”.

**Metoda na mokro terminalowa** polega na mieszaniu asfaltu z drobnoziarnistym granulatem gumowym. Proces ten wprowadzono w latach 80. do zastosowania w rafineriach lub w instalacjach specjalnie do tego celu przeznaczonych. Zwykle dodaje się 5 do 18% gumy do asfaltu, zależnie od przeznaczenia. Tak uzyskane lepiszcze może być magazynowane w dłuższym czasie, po warunkiem zapewnienia stałego mieszania.

Pomimo podobieństwa obu metod na mokro lepiszcza gumowo-asfaltowe wyraźnie różnią się od siebie pod względem jednorodności. Zastosowanie drobniejszego granulatu gumowego w metodzie terminalowej gwarantuje większą efektywność procesu mieszania i lepszy stopień modyfikacji przy mniejszej ilości dodanej gumy. Takie lepiszcze gumowo-asfaltowe może być porównywane z asfaltami modyfikowanymi polimerami.

Instalacja do stosowania metody McDonalda może być ustawiona na wytwórni mieszanek mineralno-asfaltowych. Instalacja do metody terminalowej jest bardziej złożona i znajduje zastosowanie przede wszystkim w rafineriach.

**Metoda na sucho** polega na dodawaniu rozdrobnionej gumy bezpośrednio do kruszywa w mieszalniku otaczarki przed dozowaniem asfaltu. Reakcja gumy z asfaltem jest znikoma. W istocie granulatu gumowego jest składnikiem kruszywa w mieszance. W Polsce technologia ta została wdrożona przez IBDiM pod nazwą „GUFI” [6]. Zawartość gumy w mieszance mineralno-asfaltowej (mma) wynosi do 3% m/m. Pozwala to na zużycie relatywnie dużej ilości gumy, przy znacznie mniejszych kosztach – stosowany jest granulatu gumowy o wymiarze 2-5 mm – niż w metodach na mokro. Jednak efekt modyfikacji właściwości fizyko-mechanicznych asfaltu i mieszanki jest mały. Głównym efektem jest stwierdzone zmniejszenie hałaśliwości nawierzchni.

### Granulat „tecRoad” do modyfikacji mma gumą

Nowym produktem pozwalającym na zastosowanie nowej metody modyfikacji, asfaltu w mma, gumą jest granulatu gumowo-asfaltowy „tecRoad”. Granulatu ten zawiera do 40% (m/m) chemicznie i fizycznie związanej gumy z asfaltem drogowym. Jest ciałem stałym w postaci granulatu o wymiarze do 30 mm, przeważnie około 1 mm. Składa się głównie z asfaltu drogowego 50/70 lub 70/100 oraz zwulkanizowanej

gumy, a także z odpowiednich wypełniaczy i olei. Jego temperatura mięknięcia mieści się w zakresie od 40 do 90°C.

Proces produkcyjny „tecRoad” polega na modyfikacji asfaltu gumą w specjalnie do tego przystosowanej instalacji, metodą porównywalną do metody terminalowej na mokro, lecz główna różnica polega na rozdrobnieniu uzyskanego lepiszcza gumowo-asfaltowego na drobne cząstki – granulaty. Może być pakowany i transportowany w plastikowych woreczkach lub w „big bagach”. Może być przechowywany w workach lub w silosach w dłuższym czasie, nawet do kilku miesięcy, bez utraty swych właściwości i pogorszenia jakości.

Produkt ten jest europejskim wynalazkiem i jest dostępny na rynku europejskim od 2005 r. Dotychczas był stosowany głównie w krajach europejskich, niemieckojęzycznych – Szwajcaria, Niemcy, Austria, a w ostatnich latach znalazł zastosowanie także w innych krajach europejskich. W Polsce pierwsze zastosowanie miało miejsce w 2010 r. na drodze wojewódzkiej nr 780 w Małopolsce. Firma Strabag wykonała warstwę ścieralną trzech odcinków testowych w trzech różnych technologiach z zastosowaniem granulatu gumowo-asfaltowego tecRoad w asfalcie porowatym, SMA i BBTM.

Granulat tecRoad ma główne zastosowania w warstwie ścieralnej w celu zmniejszenia hałasu drogowego. Jak wykazały liczne doświadczenia światowe, dodatek gumy do mma w warstwie ścieralnej nawierzchni zmniejsza hałas toczenia kół pojazdów. Efektywność zmniejszenia hałasu jest zależna od typu mma – największy efekt przynosi asfalt porowaty (5-8 dB(A)), a w układzie dwuwarstwowym nawet do 10 dB(A), mniejszy efekt uzyskuje się z mieszankami SMA lub BBTM (2-6 dB(A)).

Granulat tecRoad uzyskał Aprobata Techniczną IBDiM Nr AT/2010-03-2600 „Dodatki do mieszank mineralno-asfaltowych. Modyfikujący granulaty gumowy tecRoad”.

Stosowanie granulatu gumowo-asfaltowego jest znacznie prostsze niż tradycyjnych metod modyfikacji gumą na mokro. Granulat podawany jest bezpośrednio do mieszalnika otaczarki, w którym jest mieszany z kruszywem i asfaltem.

Kolejność czynności przy wytwarzaniu mma z dodatkiem tecRoad w laboratorium lub w wytwórni mieszank jest następująca:

1. dozowanie kruszywa mineralnego
2. dozowanie tecRoad (czas mieszania 5–15 s)
3. dozowanie wypełniacza
4. po 5–15 s dozowanie zwykłego asfaltu
5. mieszanie ok. 20 s
6. opróżnienie pojemnika/mieszalnika.

Temperatura mieszania składników jest taka sama jak w produkcji zwykłej mma, np. 150–170°C.

Uzyskana mieszanka nie wymaga wydłużonego czasu mieszania i dojrzewania, jak to ma miejsce w metodzie na mokro, bowiem guma jest już rozpuszczona w asfalcie będącym składnikiem granulatu. Dodany świeży asfalt jednorodnie i szybko miesza się z granulatem, czyli asfaltem modyfikowanym gumą.

Technologia modyfikacji nie wymaga odrębnej instalacji do produkcji asfaltu modyfikowanego gumą metodą na mokro, ani żadnych dodatkowych instalacji w wytwórni mma. Upraszcza to produkcję mieszanki modyfikowanej gumą i znacznie obniża koszty.

## Wyniki badań laboratoryjnych w IBDiM

W IBDiM przeprowadzono obszerne badania laboratoryjne właściwości fizyko-mechanicznych mma z zastosowaniem granulatu gumowo-asfaltowego tecRoad w porównaniu do klasycznych mieszank z zastosowaniem asfaltów modyfikowanych polimerami, które są już powszechnie stosowane w świecie i w Polsce. Do badań wybrano SMA 11 do warstwy ścieralnej i beton asfaltowy AC16P do podbudowy. Do mieszank z zastosowano następujące materiały:

### Lepiszczka

- asfalt modyfikowany polimerem SBS PMB 65/105-60
- asfalt drogowy 70/100
- asfalt modyfikowany polimerem SBS PMB 25/55-60
- asfalt drogowy 50/70
- granulaty gumowo-asfaltowy tecRoad.

Lepiszczka modyfikowana gumą zostało odpowiednio dobrane do obu mieszank. Do SMA zastosowano mieszankę asfaltu 70/100 i tecRoad, a do AC asfaltu 50/70 i tecRoad. W obu lepiszczach z dodatkiem tecRoad zawartość gumy wynosiła 10% m/m.

### Kruszywa

- wypełniacz: mączka wapienna
- kruszywo grube, bazaltowe: 2/5, 5/8, 8/11, 11/16 mm
- kruszywo drobne, granitowe 0/2 mm

### Mieszanki mineralno-asfaltowe

- SMA11 PMB 65/105-60 z lepiszczem PMB 65/105-60
- SMA11 70/100+T z asfaltem 70/100 i dodatkiem tecRoad
- AC16 PMB 25/55-60 z lepiszczem PMB 25/55-60
- AC16 50/70+T z asfaltem 50/70 i dodatkiem tecRoad.

Obie mieszanki zostały zaprojektowane według wymagań kategorii ruchu KR 5-6, według norm PN-EN 13108-1 [7] i PN 13108-5 [8] oraz Wymagań Technicznych WT-2 [9].

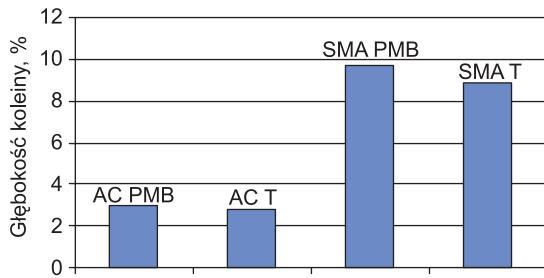
Program badań obejmował sprawdzenie:

- odporności mma na deformacje trwałe, w dużym aparacie, według PN-EN 12697-22 [10]
- odporności na zmęczenie, belka czteropunktowo zginana, według PN-EN 12697-24 [11]
- modułu sztywności i kąta przesunięcia fazowego w szerokim zakresie temperatury i częstotliwości obciążenia, według PN-EN 12697-26 [12]
- odporności na pękanie niskotemperaturowe, badanie TSRST (Thermal Stress Restrained Tensile Strength Test), według AASHTO TP10-93 [13]
- odporności na działanie wody, według PN-EN 12697-12 [14], stosując badanie rozciągania pośredniego według PN-EN 12697-23 [15] z uwzględnieniem dodatkowego cyklu zamrażania.

### Deformacje trwałe

Wyniki badań deformacji trwałych w dużym aparacie kolejno przedstawiono na rysunku 1.

Mieszanki modyfikowane granulatem gumowo-asfaltowym wykazały nieco lepszą odporność na deformacje niż mieszanki z asfaltem modyfikowanym polimerem SBS.

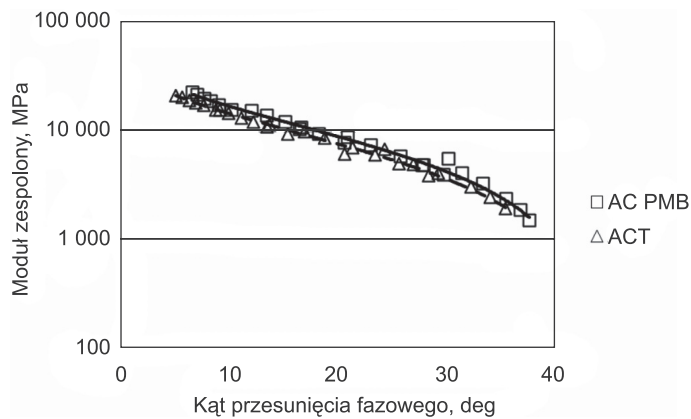


Rys. 1. Wyniki badań odporności na deformacje trwałe

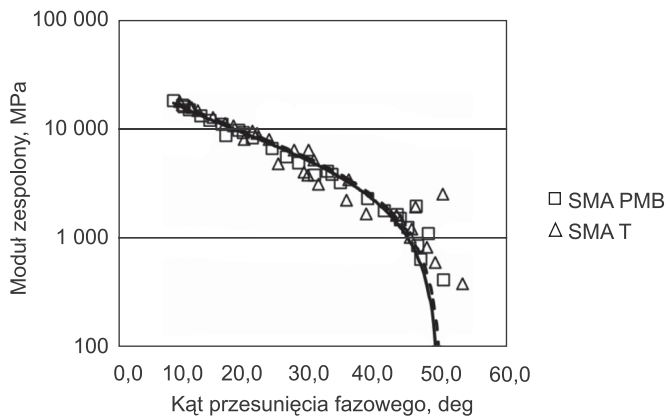
## Moduł sztywności i kąt przesunięcia fazowego

Wyniki badań reologicznych mma przedstawiono na rysunkach 2–7, w postaci wykresów Blacka, Cole-Cole i krzywych wiodących.

Wyniki badań właściwości reologicznych mieszanek z asfaltem modyfikowanym polimerem SBS lub z granulatem gumowo-asfaltowym ilustrują wykresy Black, Cole-Cole i krzywych wiodących. W charakterystyce betonu asfaltowego AC zauważalny jest mniejszy moduł sztywności mieszanki z gumą w niskiej temperaturze oraz wyższy moduł

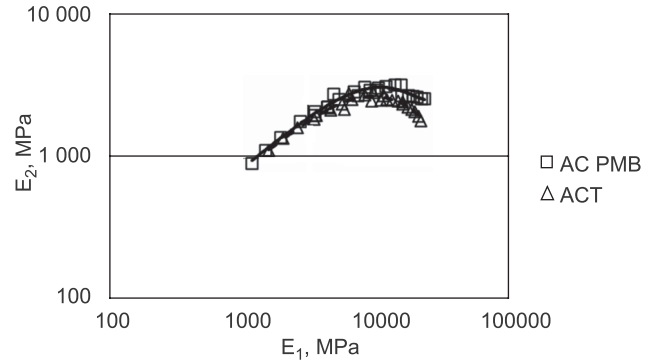


Rys. 2. Wykres Blacka mieszanek AC

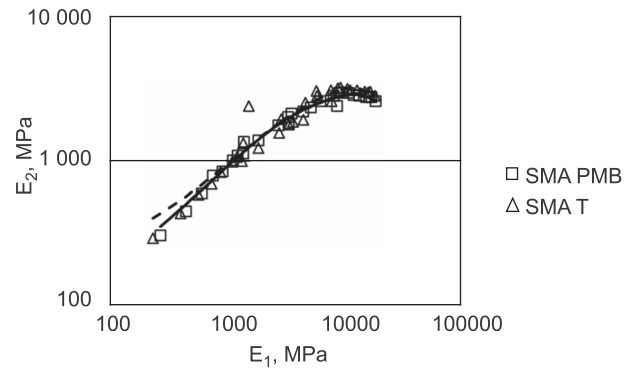


Rys. 3. Wykres Blacka mieszanek SMA

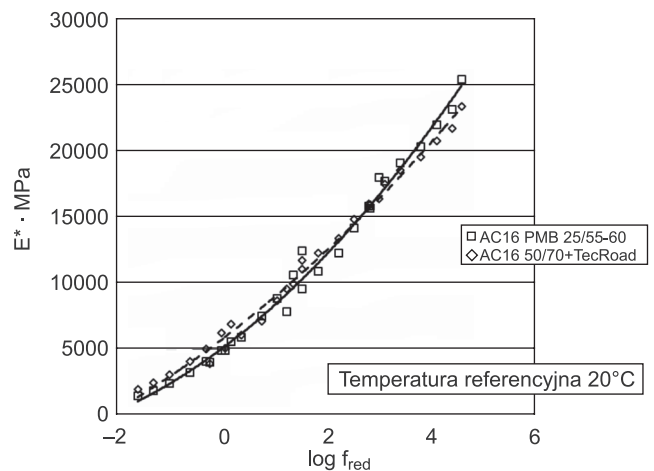
w wysokiej temperaturze, co wyraźnie wykazują wykresy krzywej wiodącej i Blacka. Na tej podstawie można oczekiwać, że wpłynie to na większą odporność na działanie niskiej temperatury oraz większą odporność na deformacje trwałe w wysokiej temperaturze. W mieszankach SMA nie zauważa się wyraźnej różnicy między modułami w całym przedziale temperatury. Oznacza to, że zmiana temperatury lub częstotliwości obciążenia w podobny sposób wpływa na właściwości mechaniczne mma.



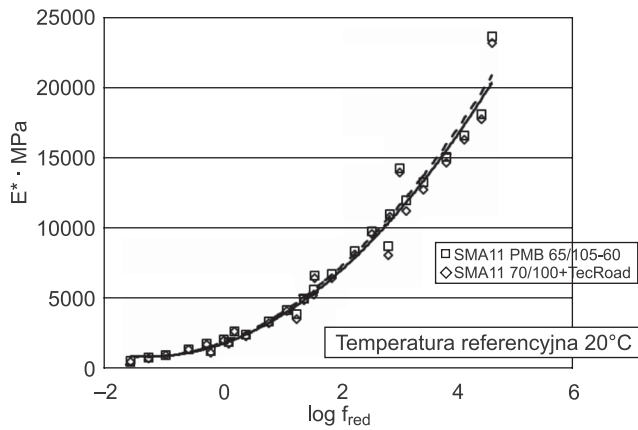
Rys. 4. Wykres Cole-Cole mieszanek AC



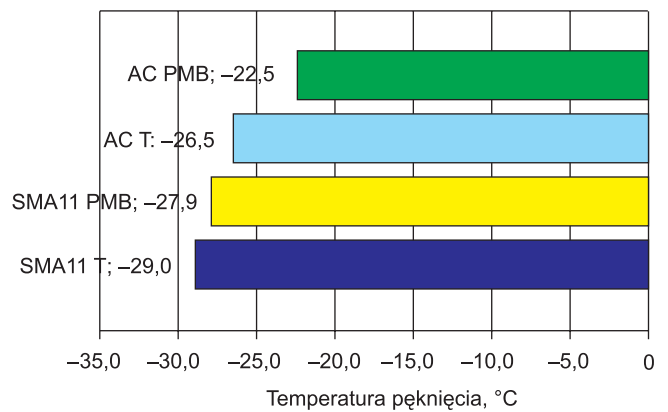
Rys. 5. Wykres Cole-Cole mieszanek SMA



Rys. 6. Krzywe wiodące mieszanek AC



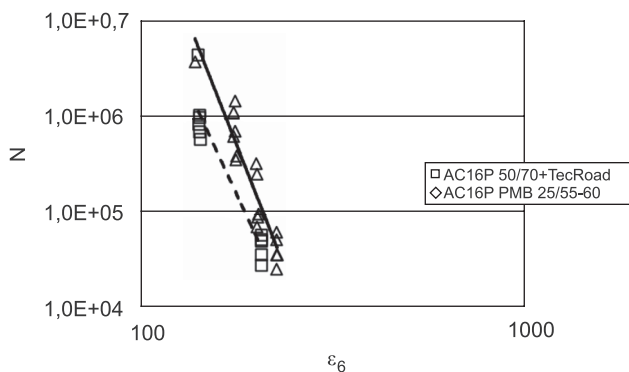
Rys. 7. Krzywe wiodące mieszank SMA



Rys. 9. Temperatura pęknięcia w badaniu TSRST

## Zmęczenie

Wyniki porównawcze badania zmęczenia mieszanek przedstawiono na rysunku 8.



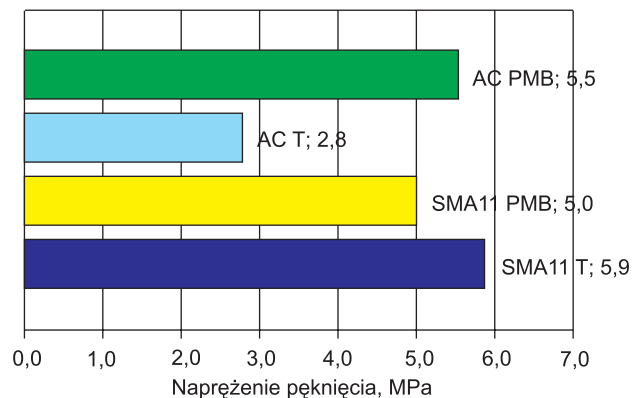
Rys. 8. Charakterystyka zmęczeniowa mieszanek AC

Badania zmęczenia mieszanek betonu asfaltowego wykazały, że mieszanki z granulatem gumowo-asfaltowym mają nieco mniejszą trwałość zmęczeniową niż mieszanka z asfaltem modyfikowanym polimerem SBS. Skuteczność polimeru SBS okazała się w tym przypadku większa niż modyfikacja gumą. Wynik ten potwierdza doświadczenia w USA, które wykazały, że zawartość gumy w lepiszczu powinna być wyższa niż 10%. W metodzie McDonalda zawartość optymalna wynosi 20%. Należy przypuszczać, że w stosowaniu granulatu gumowo-asfaltowego należy przyjmować udział gumy w lepiszczu około 15%, a nawet do 20%, podobnie jak w metodzie terminalowej na mokro [16], [17].

## Odporność na niską temperaturę

Wyniki badań odporności na niską temperaturę mieszanek badanych metodą TSRST przedstawiono na rysunkach 9 i 10.

Mieszanki z granulatem gumowo-asfaltowym wykazały niższą temperaturę pęknięcia niż mieszanki z lepiszczem polimero-asfaltowym. Większe obniżenie temperatury pęknięcia



Rys. 10. Napężenie pęknięcia w badaniu TSRST

wykazała mieszanka AC T w porównaniu z AC PMB (różnica 4°C) niż mieszanka SMA11 T w porównaniu z SMA11 PMB (różnica 1,1°C). Potwierdza to wniosek z analizy wyników badania modułu zespolonego – mniejszy moduł w niskiej temperaturze wpływa na poprawę odporności na pęknięcie niskotemperaturowe.

Interesującym wynikiem badań jest wyraźnie mniejsze naprężenie pęknięcia w betonie asfaltowym AC z gumą niż z polimeroasfaltem. W przypadku mieszanek SMA stwierdzono jednak wyższe naprężenie pęknięcia mieszanki z asfaltem modyfikowanym gumą.

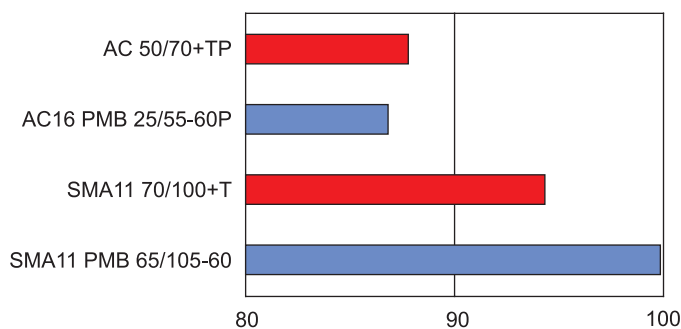
Podstawowe właściwości lepiszczy wskazywały wyższą temperaturę tężliwości Fraassa asfaltów modyfikowanych gumą. Mogłoby to wskazywać na większą podatność na pęknięcie niskotemperaturowe mieszanek z tymi lepiszczami. Badania TSRS nie potwierdziły tego. Obie mieszanki (AC i SMA) modyfikowane gumą wykazały większą odporność na niską temperaturę niż mieszanki z asfaltem modyfikowanym polimerem. Wskazuje to, że utwardzenie asfaltu gumą nie pogorsza, a wprost przeciwnie poprawia odporność na niską temperaturę.

Poprawa właściwości niskotemperaturowych przez modyfikację gumą ma istotne znaczenie zwłaszcza w przypadku mieszanki SMA, która jest stosowana w warstwie ścieralnej narażonej w nawierzchni na niską temperaturę otoczenia.

Uzyskane wyniki badań TSRST wykazujące poprawę odporności na pękanie niskotemperaturowe mieszanek modyfikowanych gumą potwierdzają badania w USA [18], [19].

## Oporność na działanie wody

Wyniki badania odporności na działanie wody przedstawiono na rysunku 11.



Rys. 11. Oporność na działanie wody

Wszystkie mieszanki spełniły wymagania według WT-2, odpowiednio AC 16 P – 70% i SMA 11 – 90%.

## Wnioski

Zastosowanie granulatu gumowo-asfaltowego tecRoad pozwala na proste wdrożenie technologii modyfikacji mma gumą ze zużytych opon samochodowych. Dodatek tecRoad będący asfaltem modyfikowanym gumą (o zawartości gumy do 40%) przetworzonego do postaci granulatu umożliwia znaczne uproszczenie procesu modyfikacji na mokro mma i zawartego w niej asfaltu. Nie jest potrzebna dodatkowa instalacja do produkcji asfaltu modyfikowanego gumą, która wymaga długiego procesu – mieszanie i dojrzewanie w czasie 2 godzin.

Granulat gumowo-asfaltowy tecRoad jest dostarczany w sypkiej postaci i jest dozowany bezpośrednio do mieszalnika otaczarki. Produkcja mma pozostaje bez istotnych zmian i dodatkowych kosztów.

Zastosowanie prostego sposobu modyfikacji gumą przynosi korzyści, w postaci zmniejszenia hałasu drogowego, (jeśli zastosuje się do warstwy ścierniczej mieszankę mineralno-asfaltową typu: PA, SMA lub BBTM)), a także poprawę trwałości nawierzchni – odporności na deformacje trwałe w wysokiej temperaturze i na pękanie niskotemperaturowe, co wykazały omówione badania IBDiM.

## Bibliografia

- [1] Rubber World, Those Amazing Rubber Roads, March-April, 1967
- [2] Epps, J. A.: Uses of Recycled Rubber Tires in Highways. NCHRP Synthesis 198, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 1994
- [3] Morris G. R., McDonald C. H.: Asphalt-Rubber Stress Absorbing Membranes – Field Performance and State-of-the-Art. In *Transportation Research Record No. 595*, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1976
- [4] McDonald C. H.: Recollections of Early Asphalt-Rubber History. National Seminar on Asphalt-Rubber, October 1981

- [5] ASTM International Annual Book of Standards, D 8 Definitions, 2005
- [6] Sybilski D., Maliszewska D., Maliszewski M.: Wpływ typu i technologii nawierzchni na hałas. *Polskie Drogi*, 3, 2008, s. 46–50
- [7] PN-EN 13108-1 Mieszanki mineralno-asfaltowe – Wymagania – Część 1: Beton asfaltowy
- [8] PN-EN 13108-5 Mieszanki mineralno-asfaltowe – Wymagania – Część 5: Mieszanka SMA
- [9] Sybilski et al.: „Wymagania techniczne – Nawierzchnie asfaltowe na drogach publicznych” – WT-2 NA 2008
- [10] PN-EN 12697-22 – Mieszanki mineralno-asfaltowe – Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco – Część 22: Koleinowanie
- [11] PN-EN 12697-24 Mieszanki mineralno-asfaltowe – Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco – Część 24: Odporność na zmęczenie
- [12] PN-EN 12697-26 Mieszanki mineralno-asfaltowe – Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco – Część 26: Sztwność
- [13] AASHTO TP10-93: Thermal Stress Restrained Tensile Strength Test
- [14] PN-EN 12697-12:2008 Mieszanki mineralno-asfaltowe – Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco – Część 12: Określanie wrażliwości próbek asfaltowych na wodę
- [15] PN-EN 12697-23, Mieszanki mineralno-asfaltowe – Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco – Część 23: Określenie pośredniej wytrzymałości na rozciąganie próbek asfaltowych
- [16] Choubane B. et al.: *Long term performance evaluation of asphalt-rubber surface mixes*. Research Report FL/DOT/SMO/98-431, 1998
- [17] Engle E. et al.: Evaluation of Recycled Rubber in Asphalt Cement Concrete Field Testing. Final Report. Department of Transportation, Iowa. USA. 2002
- [18] Bahia H., Davies R.: Role of Crumb Rubber Content and Type in Changing Critical Properties of Asphalt Binders. *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, vol. 64, 1995, p. 130–162
- [19] Gopal V. T., Sebaaly P. E., Epps J.: Effect of Crumb Rubber Particle Size and Content On The Low Temperature Rheological Properties of Binders. TRB Annual Meeting, January 13–17, 2002 ■

## Z prasy zagranicznej

### Połączenie Paragwaju z Argentyną

Opracowywane jest studium wykonalności nowego mostu, który połączy departament Neembuco w Paragwaju z jedną z północno-wschodnich prowincji Argentyny. Istniejące obecnie połączenie promowe ogranicza transport towarów.

*World Highways*, 11-12/2010

JG

### Drogi w Uzbekistanie

Uzbekistan skorzysta z pożyczki o wartości 167,5 mln USD przyznanej przez Islamski Bank Rozwoju (IDB). Pożyczka będzie przeznaczona na poprawienie i ulepszenie drogi państwowej M 39 w prowincji Surkhandarya.

*World Highways*, 11-12/2010

JG

### Indyjskie autostrady

W Indiach planowana jest budowa 123 km autostrad. Szacowany koszt tego przedsięwzięcia wyniesie 460 mln dolarów. Zezwolenia na realizację projektu udzieliło już indyjskie ministerstwo infrastruktury. Odcinki autostrad będą zlokalizowane w zachodnim Bengalu i Jharkhand, jako połączenie Barwa Adda z Panagarh. Projekt budowlany ma być ukończony w ciągu dwóch i pół roku, a kontrakt będzie zakończony 20-letnią koncesją.

*World Highways*, 1-2/2011

MR