

Marta Chojnacka*

Zastosowanie kopolimerów blokowych i recyklatów gumowych do modyfikacji asfaltów

Przegląd literatury przedmiotu wskazuje, że badania asfaltów oraz ich modyfikacji za pomocą związków wielkocząsteczkowych cieszą się niestabnym zainteresowaniem. Asfalty modyfikowane można podzielić na dwie zasadnicze grupy: plastomeroasfalty oraz elastomeroasfalty. Plastomeroasfalty otrzymywane są poprzez modyfikację asfaltu za pomocą tworzyw termoplastycznych, zaś elastomeroasfalty – za pomocą elastomerów. Materiały należące do tej drugiej grupy są obecnie produkowane na skalę przemysłową. W artykule przedstawiono – uwzględniając przy tym wyniki badań i publikacje z ostatnich dwudziestu lat – stan wiedzy na temat modyfikacji asfaltów drogowych za pomocą kopolimerów blokowych (w tym również z dodatkiem siarki bądź nanonapełniaczy) oraz recyklatów gumowych.

Słowa kluczowe: asfalt, modyfikacja, kopolimer blokowy, polimeroasfalt

Application of block copolymers and recycled rubber materials for modyfying of asphalts

Literature research indicates that the study of asphalts as well as of their modification by macromolecular compounds is an object of numerous works. Modified asphalts can be divided into two basic groups: plastomer-based asphalts and elastomer-based asphalts. Plastomer-based asphalts are obtained by modifying asphalt with thermoplastic materials, and elastomer-based asphalts – with elastomers. Materials belonging to elastomer-based asphalts are already produced on an industrial scale. Taking into account publications from the last twenty years this review presents the state of knowledge concerning road asphalts modified with block copolymers (including those with sulfur or nanofillers) or rubber recycles.

Key words: asphalt, modification, block copolymer, polymer-based asphalt

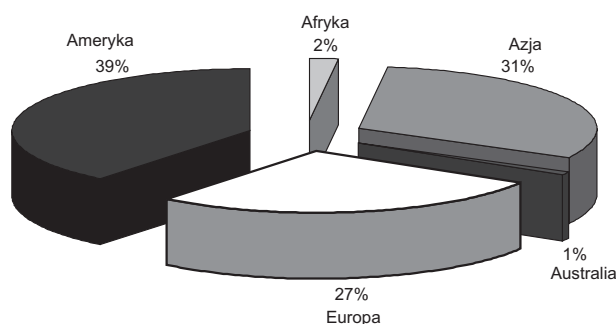
I. Wstęp

Zainteresowanie asfaltem z roku na rok wciąż wzrasta. Światowy popyt na produkty asfaltowe zwiększa się o 2,6 % rocznie. W roku 2011 produkcja asfaltu wyniosła 124 mln ton [1]. Na rysunku 1 przedstawiono szacunkowy udział poszczególnych kontynentów w światowej produkcji asfaltu [2].

O niegasnącym zainteresowaniu badaniami nad asfaltami świadczy również wzrost liczby publikacji naukowych. W latach 40. XX wieku ukazało się 10 publikacji dotyczących asfaltu, zaś w latach 90. liczba ich wzrosła do 156, w tym ponad 48% tych publikacji dotyczyło asfaltów modyfikowanych za pomocą różnych związków wielkocząsteczkowych. Na rysunku 2 przedstawiono liczbę artykułów, które ukazały się w latach 1945-2012 (według bazy Web of Knowledge z dnia 21.07.2012 r.) z uwzględnieniem tych, które dotyczą modyfikacji asfaltów za pomocą polimerów.

Jedną z największych światowych firm produkujących asfalt jest Shell Company. W Polsce największymi producentami asfaltów są firmy LOTOS Asfalt w Gdańsku oraz ORLEN Asfalt w Trzebini.

System autostrad i dróg szybkiego ruchu oraz dróg lokalnych, funkcjonujący w świecie i w Polsce, w większości rozwiązań posiada nawierzchnie wytwarzane z kompozycji asfaltowo-mineralnych. Walory techniczne

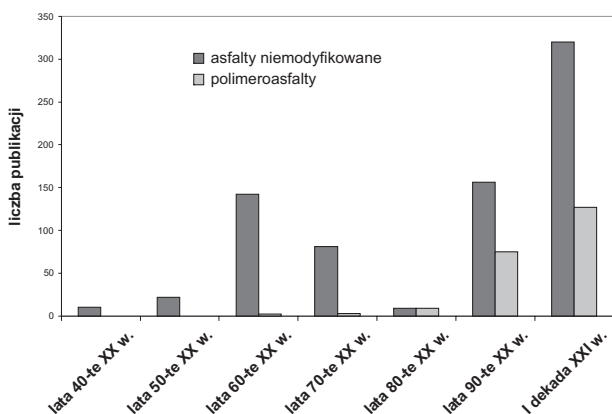


Rys. 1. Udział procentowy poszczególnych regionów w światowej produkcji asfaltów

Fig. 1. Percentage share of different continents in the world production of bitumen

i użytkowe asfaltowych nawierzchni drogowych w istotny sposób zależą od składu chemicznego i struktury asfaltów oraz ich właściwości fizyczno-chemicznych, w tym szczególnie lepkością. Poczynione obserwacje

* Politechnika Gdańska, Wydział Chemiczny, Katedra Technologii Polimerów; e-mail: marta-ch@urethan.chem.pg.gda.pl



Rys. 2. Liczba publikacji dotyczących asfaltów oraz polimeroasfaltów w latach 1945-2011 (według bazy Web of Knowledge)

Fig. 2. Number of publications on the asphalt and polymer-based asphalt in the years 1945-2011 (data based on Web of Knowledge)

cje i przeprowadzone badania wskazują, że obecnie powszechnie stosowane nawierzchnie drogowe asfaltowo-mineralne nie spełniają stawianych im wymagań i ulegają dość szybkiemu zużyciu w czasie eksploatacji. Wynika to z faktu, że asfaltowe nawierzchnie drogowe w czasie użytkowania, zależnie od strefy klimatycznej, ulegają w różnym stopniu niszczeniu, zachodzącemu pod wpływem niskich i podwyższonych temperatur oraz na skutek długotrwałego działania zmiennych obciążeń mechanicznych. Powszechnie uznaje się, że o walorach eksploatacyjnych asfaltowo-mineralnych nawierzchni drogowych oraz ich trwałości użytkowej w dużej mierze decyduje jakość produkowanych asfaltów, które jednakże nie spełniają wymagań, zdefiniowanych dla tzw. „asfaltów idealnych” [3-4]. W związku z tym na świecie i w Polsce prowadzone są badania zmierzające do prowadzonej na różne sposoby modyfikacji produkowanych asfaltów oraz polepszenia ich właściwości lepkościowych, odporności na zmiany temperatury, jak również na działanie mechanicznych obciążeń o zmiennej wartości.

W literaturze opisano zastosowanie do modyfikacji asfaltów różnych związków wielkocząsteczkowych, między innymi tworzyw termoplastycznych: polietylenu [5-7], polipropylenu [8, 9], polistyrenu [10] oraz kopolimerów etylenu z octanem winylu (EVA) [11, 12]. Elastomeroasfalty będące wynikiem modyfikacji asfaltu polimerami termoplastycznymi odznaczają się dużą sztywnością, a pod wpływem wysokiej temperatury oraz dużych obciążeń ulegają odkształceniom plastycznym. Kauczuki naturalne i recyklaty gumowe, w postaci rozdrobnionych produktów poużytkowych [13-15], zostały również opisane jako polimerowe środki modyfikujące asfalty. Elastomeroasfalty otrzymywane z wymienionych kauczuków i recyklatów gumowych wykazują w dość szerokim zakresie temperatury małe zmiany elastyczności i lepkości.

Uzyskane dotychczas rezultaty wskazują, że modyfikacja asfaltu za pomocą różnego typu polimerów i materiałów polimerowych w postaci recyklatów gumowych, poprawia właściwości elastosprężyste oraz reologiczne drogowych nawierzchni asfaltowo-mineralnych, co prowadzi do uzyskania następujących efektów:

- polepszenia odporności na trwałe deformacje, spowodowane przez duże obciążenia i podwyższoną temperaturę,
- polepszenia odporności na pękanie niskotemperaturowe powodowane zwiększeniem kruchości materiału w niskiej temperaturze,
- polepszenia odporności na spękanie zmęczeniowe powodowane zmieniającym się obciążeniem dynamicznym, wywołowanym przez poruszające się pojazdy mechaniczne,
- wzrostu odporności na niszczenie zachodzące pod wpływem działania środków do usuwania lodu,
- wzrostu lepkości polimeroasfaltów w stosunku do asfaltów stosowanych dotychczas, osiągniętej w temperaturze ich wytwarzania i przetwarzania na kompozycje polimeroasfaltowo-mineralne służące do wytwarzania nawierzchni drogowych,
- podwyższenia odporności na starzenie zachodzące podczas magazynowania polimeroasfaltów i kompozycji polimeroasfaltowo-mineralnych oraz w trakcie użytkowania nawierzchni drogowych.

2. Asfalty modyfikowane kopolimerami blokowymi

Wśród pierwszych doniesień na temat nowych odmian polimerów butadienowo-styrenowych o budowie blokowej na uwagę zasługuje krótka wzmianka ogłoszona w roku 1969 przez Shell Company podająca, że nowy polimer może zastąpić tradycyjny kauczuk naturalny sieciowany siarką [16]. W roku 1972 po raz pierwszy opisano wpływ dodatku kopolimeru blokowego styren – butadien – styren (zawartość bloku sztywnego 30%) na poprawę ciągliwości i nawrotu sprężystego asfaltu [17]; zapoczątkowało to powstanie nowej grupy materiałów o nazwie elastomeroasfalty. Do wytwarzania tego rodzaju asfaltów modyfikowanych wykorzystuje się zarówno kauczuki syntetyczne dwublokowe [18], jak i trójblokowe kopolimery typu styren – butadien – styren (SBS) lub typu styren – izopren – styren (SIS) [19-29].

Grabowski i in. [30] badali wpływ ilości elastomeru typu SBS, zmieniającej się od 4 do 8%, na właściwości reologiczne asfaltu. Stwierdzili, że niezależnie od ilości elastomeru, wzrosła lepkość dynamiczna wszystkich analizowanych kompozycji. Ponadto dodatek SBS w ilości 4% lub większej powodował wzrost nawrotu sprężystego po 180 min do wartości 99,9%, co świadczy, że asfalty modyfikowane elastomerami są materiałami lepkościowymi o dominujących cechach sprężystych.

Stastna wraz ze współpracownikami [31] badała wpływ struktury kopolimerów SBS (liniowego lub ra-

dialnego) i różnej zawartości styrenu (odpowiednio 28% mas. i 30% mas.) na właściwości modyfikowanych asfaltów. Do badań użyto asfaltu o penetracji 200/300. Badano lepkość otrzymanych układów w temperaturze 70°C. Uzyskane wyniki pozwoliły stwierdzić, że kompozycje zawierające SBS liniowy charakteryzują się wyższą lepkością w tej temperaturze, co jest korzystne z punktu widzenia wytwarzania mieszanek mineralno-asfaltowych.

W literaturze z roku 2008 [32] przeanalizowano wpływ ilości modyfikatora (3, 5 i 7%) – kopolimeru trójblokowego o nazwie handlowej Kraton (Shell Chemicals) – na właściwości użytkowe asfaltu drogowego 50/70 (Rafineria Gdańska). Okazało się, że w przypadku układu zawierającego 5% mas. modyfikatora SBS zmniejszeniu uległa penetracja z 62,4 do 54,3 [0,1 mm], obniżyła się temperatura łamliwości wg Fraassa z -13,5°C do -16,5°C, natomiast o około 12°C wzrosła temperatura mięknięcia osiągając 65,3°C. Układy SBS – asfalt poddano badaniom starzeniowym różnymi metodami: RTFO (standard rolling thin film oven) [33], PAV (pressure aging vessel) [34, 35] oraz termicznemu procesowi utleniania [36, 37]. Porównano te elastomeroasfalty z ich niemodyfikowanymi analogami. Okazało się, że asfalty modyfikowane poddane starzeniu eksploatacyjnemu charakteryzują się korzystnymi wartościami następujących parametrów: mniejszym wskaźnikiem modułu zespolonego, mniejszym wzrostem iloczynu $G^* \cdot \sin \delta$ oraz większym wskaźnikiem tangensa kąta przesunięcia fazowego, co świadczy o mniejszej podatności takich materiałów na koleinowanie. Największą odporność wykazywały asfalty modyfikowane 7% mas. kopolimeru SBS.

Zhang i Yu badali wpływ ilości dwublokowego kopolimeru SBR (styrene butadiene rubber) na zmiany właściwości asfaltu. Mieszaninę asfaltu z polimerem ogrzano do 130°C i mieszano przez ok. 50 min. Modyfikacji poddano asfalt o penetracji 80 [0,1 mm] i temperaturze mięknięcia 46°C. Dodatek kauczuku mieścił się w zakresie od 0 do 6%. Dla największych zawartości polimeru w mieszaninie uzyskano wzrost temperatury mięknięcia do 60°C, obniżając jednocześnie dwukrotnie penetrację [38].

3. Asfalty modyfikowane kopolimerami blokowymi i siarką

Wiele prac poświęcono analizie zmian zachodzących w elastomeroasfaltach otrzymywanych w wyniku modyfikacji asfaltów za pomocą SBS z dodatkiem siarki [39-46]. Zespół Chen i in. [47] w roku 2007 badał wpływ ilości SBS (w zakresie 1-7% mas.) i siarki (od 0 do 5% mas.) na modyfikację asfaltów o penetracji 96 i 68 [0,1 mm] i temperaturze mięknięcia wynoszącej odpowiednio 38 °C i 50°C. Badania temperatury mięknięcia wykonane metodą PiK wskazują, że asfalty modyfikowane 7% polimeru oraz 5% siarki wykazują najniższe war-

tości penetracji i najwyższe temperatury mięknięcia. Badania mikroskopowe potwierdzają, że wraz ze wzrostem zawartości siarki maleją rozmiary cząstek polimeru, co sugeruje równomierne rozprzestrzenianie SBS w matrycy asfaltowej. Zmniejszenie rozmiarów cząstek elastomeru świadczy o polepszeniu kompatybilności układu dzięki zachodzącemu przy udziale siarki procesowi wulkanizacji.

Wpływ dodatku siarki do asfaltu modyfikowanego zbadali również naukowcy z Chin [48]. Potwierdzili oni, że dodatek siarki wpływa korzystnie na stabilność układu oraz dobrą kompatybilność składników. Swoje wnioski oparli na badaniach temperatury mięknięcia warstw dolnej i górnej próbek. W przypadku modyfikacji asfaltu wyłącznie kopolimerem SBS różnice temperatury mięknięcia materiału z różnych warstw sięgały nawet 15°C, niezależnie od ilości dodanego polimeru. Natomiast 5-proc. dodatek siarki spowodował, że temperatury mięknięcia obu warstw nie różniły się i wzrastały wraz ze zwiększaniem ilości elastomeru.

4. Asfalty modyfikowane kopolimerami blokowymi i nanonapełniaczami / nanocząstkami

Wpływ dodatku montmorylonitu (MMT) do asfaltu modyfikowanego kopolimerem SBS badali Yu i in. [49, 50]. Wytworzono dwa rodzaje kompozytów. W pierwszym przypadku do elastomeroasfaltu dodano montmorylonit sodu (Na-MMT), zaś w drugim przypadku montmorylonit organofilowy (OMMT). Pomiarzy XRD (analiza rentgenowska dyfrakcyjna) wykazały, że kompozycje Na-MMT/SBS/asfalt mogą tworzyć strukturę interkalowaną, natomiast kompozycje OMMT/SBS/asfalt – strukturę eksfoliowaną. Dodatkowo oba układy charakteryzowały się lepszą stabilnością termiczną, co autorzy przypisują utworzonym nowym strukturom, które stanowią niejako barierę dla tlenu, dzięki czemu zmniejsza się efekt utleniania asfaltu oraz degradacji SBS. Podobne kompozycje asfaltu, zawierające jednocześnie SBS i montmorylonit, badano pod kątem zmian zachodzących pod wpływem promieniowania UV [51-52]. Do oceny starzenia pod wpływem UV służy tzw. lepkościowy indeks starzenia (VAI), który jest równy stosunkowi różnicy lepkości asfaltu po starzeniu i przed starzeniem do wartości lepkości przed starzeniem. Wartości VAI niemodyfikowanych asfaltów, asfaltów modyfikowanych SBS oraz asfaltów modyfikowanych SBS i MMT znacznie różnią się. Badania wskazują, że wartość indeksu VAI układu SBS/asfalt jest niższa niż uzyskana dla czystego asfaltu. Autorzy tłumaczą ten fakt degradacją polimeru pod wpływem UV. Najkorzystniejszą wartością indeksu VAI charakteryzował się układ SBS/MMT/asfalt, co potwierdza korzystny wpływ dodatku montmorylonitu opisany przez Yu i in. [49, 50].

5. Asfalty modyfikowane recyklatami gumowymi

Znaczna część prac opisanych w literaturze przedmiotu poświęcona jest modyfikacji asfaltów odpadami gumowymi [53] lub za pomocą regeneratów o różnym stopniu dewulkanizacji, otrzymany z recyklatów gumowych [54]. Do otrzymywania kompozycji gumowo-asfaltowych wykorzystywane są dwie metody. Pierwsza z nich, nazywana metodą suchą (dry process), polega na bezpośrednim dodaniu do mieszalnika 3–4% frakcji recyklatu gumowego o różnych rozmiarach ziaren mieszczących się w przedziale 1,6–6,3 mm. Recyklat spełnia w tym przypadku rolę zamiennika części kruszywa [55]. Środek modyfikujący może być wprowadzany zarówno do czystego, niemodyfikowanego asfaltu, jak i do asfaltu zmodyfikowanego polimerami. Recyklat gumowy dodany do asfaltu zwiększa odporność nawierzchni asfaltowej na pękanie i znacznie obniża hałaśliwość ruchu – nawet poniżej 75 dB [56, 57].

Drugą metodą jest tzw. metoda na mokro (wet process), która pozwala uzyskać asfalt o większej lepkości [58]. Metoda ta polega na wymieszaniu recyklatu gumowego z asfaltem w temperaturze 170–220°C w czasie 2 h. Cząstki gumy zanurzone w gorącym asfalcie szybko pęcznieją i absorbują składniki o podobnych parametrach rozpuszczalności, dzięki czemu ulegają one częściowemu rozpuszczeniu, natomiast silne wiązania poprzeczne w elastomerze zapobiegają całkowitemu rozpuszczeniu ziaren recyklatu w matrycy asfaltowej [58].

Wpływ ilości recyklatu gumowego na zmiany właściwości asfaltu zaprezentowano w rozprawie doktorskiej [59]. Recyklat gumowy pochodził z zakładu GUMA Ltd. Bolechowo. Wyjściowym asfaltem był produkt firmy

w przypadku modyfikacji SBS lub plastomerami. Te oddziaływania nie są termodynamicznie trwałe i w miarę upływu czasu w polimeroasfalcie dochodzi do rozwarstwienia faz. Rozwarstwienie to zachodzi szybciej w temperaturach podwyższonych.

Wpływ wielkości cząstek recyklatu na właściwości asfaltów modyfikowanych badał Navarro wraz ze współpracownikami [64]. Do asfaltu dodawano pięć frakcji cząstek o rozmiarach: 0,1, 0,29, 0,35, 0,63 i 0,74 mm. W przypadku asfaltu zawierającego frakcję 0,1 zaobserwowano nieco wyższe wartości modułów G^* i G^{**} w porównaniu z asfaltem 60/70 niemodyfikowanym, zaś minimalne wartości tych modułów zarejestrowano po dodaniu do asfaltu frakcji 0,74.

Badania starzenia asfaltów modyfikowanych za pomocą dodatku recyklatu gumowego metodami PAV oraz utleniania termicznego przedstawiono w pracach [65, 66]. Niezależnie od zastosowanej metody badania kompozycje gumowo-asfaltowe wykazywały lepszą odporność na starzenie w stosunku do asfaltów niezawierających recyklatów gumowych dzięki absorbowaniu przez gumę małocząsteczkowych frakcji maltenowych.

6. Polscy producenci polimeroasfaltów

Szacuje się, że polimeroasfalty stanowią obecnie 30% całkowitej produkcji asfaltów naftowych w Polsce. Różnica w cenie 1 tony asfaltu niemodyfikowanego i elastomeroasfaltu wynosi ok. 1000 zł. Oznacza to, że za 1 tonę asfaltu modyfikowanego płaci się o 24,48 % drożej. Biorąc jednak pod uwagę jego znacznie korzystniejsze właściwości, takie jak wyższa temperatura mięknięcia, niższa temperatura łamliwości, a przede wszystkim

Tabela 1. Lista producentów polimeroasfaltów w Polsce [67]

Table 1. List of manufacturers of polymer-based asphalts in Poland [67]

Producent	Miejsce produkcji	Rodzaj polimeroasfaltu	Nazwa handlowa
LOTOS Asfalt	Gdańsk	elastomeroasfalt	Modbit
BP Bitumen Poland	Ścinawa	elastomeroasfalt	Olexobit
ORLEN Asfalt	Trzebinia	elastomeroasfalt	Orbiton
NCC Industri	Warszawa	elastomeroasfalt	Viacobit
PL Bitunova	Bierawa	elastomeroasfalt	PmA PL-Bitunova

Lotos Asfalt o penetracji 25 [0,1 mm]. Ilość dodawanego recyklatu gumowego mieściła się w zakresie 0–12%. Najniższe wartości penetracji (ok. 40 [0,1 mm]) uzyskano dla kompozycji asfaltowych zawierających 3 i 6% recyklatu gumowego. Modyfikacja asfaltu za pomocą recyklatu gumowego dodawanego w ilości od 0 do 5% powodowała wzrost temperatury mięknięcia o ok. 12 °C.

W literaturze można także znaleźć wyniki analiz dotyczących oddziaływania asfalt-guma [60–63]. Wykazano, że oddziaływania te są natury fizycznej, podobnie jak

wyższy nawrót sprężysty, różnica ceny nie powinna stanowić przeszkody dla wykorzystania tego asfaltu do budowy autostrad i dróg szybkiego ruchu. Tabela 1 zawiera wykaz producentów polimeroasfaltów w Polsce.

7. Podsumowanie

Powyższy przegląd literatury wyraźnie wskazuje na wzrost zainteresowania asfaltami modyfikowanymi za pomocą kopolimerów blokowych typu SBS oraz recykla-

tów gumowych, jaki odnotowano w ciągu ostatnich dwóch dekad. Dodatek odpowiedniego związku wielko-cząsteczkowego może korzystnie wpłynąć na własności użytkowe asfaltów, tj. wyższą temperaturę mięknięcia (nawet o 12 °C), obniżenie temperatury łamliwości (poniżej -16 °C) oraz uzyskanie ponad 99% nawrotu sprężystego, co jest szczególnie ważne z punktu widzenia eliminacji zjawiska powstawania kolein. Natomiast rozwarstwianiu się faz pod wpływem podwyższonej temperatury można w znacznym stopniu zaradzić przez dodatek siarki.

Składam serdeczne podziękowania dr hab. inż. Helenie Janik, prof. PG oraz prof. dr hab. inż. Adolfowi Balaśowi za cenne wskazówki merytoryczne i konsultacje w trakcie przygotowywania niniejszego artykułu.

Literatura

1. www.freedoniagroup.com/brochure/26xx/2602smwe.pdf
2. www.eapa.org/userfiles/2/Publications/GL101-2nd-Edition.pdf
3. Gawęł I., Kalabińska M., Piłat J., *Asfalty drogowe*, WKŁ, Warszawa 2001.
4. Błażejowski K., Styk S., *Technologia warstw asfaltowych*, WKŁ, Warszawa 2009.
5. Al-Hadidy A.I., Tan Yi-qiu, *Mater. Des.* 2009, **23**, 1456.
6. Hinislioglu S., Agar E., *Mater. Lett.* 2004, **58**, 267.
7. Aranowski R., Hupka J., *Właściwości reologiczne asfaltów modyfikowanych poliolefinami*, *Materiały International Polymer Seminar*, 25.06.1999, Gliwice, *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej* nr 1430, seria *Chemia* z. 140, s. 339-343.
8. Al-Hadidy A.I., Tan Yi-qiu, *Mater. Des.* 2009, **30**, 1133.
9. Fawcett A.H., McNally T., *Polymer* 2000, **41**, 5315.
10. Hailing Jin, Guangtao Gao, Yong Zhang, Yinxi Zhang, Kang Sun, Yongzhong Fan, *Polym. Test.* 2002, **21**, 633.
11. Giuliani F., Merusi F., Filippi S., Biondi D., Finocchiaro M. L., Polacco G., *Fuel* 2009, **88**, 1539.
12. Sengoz B., Topal A., Isikyakar G., *Constr. Build. Mater.* 2009, **23**, 1986.
13. Gawęł I., Ślusarski L., *Polimery* 1998, **43**, 280.
14. Radziszewski P., Kalabińska M., Piłat J., *Elastomery* 2001, **4**, nr 4, 8.
15. Hupka J., Privalova E., *Proceedings of the Asphalt Rubber 2000 Conference*, 14-17 November 2000, Vilamora, Portugal, 449-462.
16. Holden G., Bisshop E.T., Legge N.R., *J. Polym. Sci. Part C: Polym. Symp.* 1969, **26**, 37.
17. Kolbanov A.S., Davydova K.I., Gokhman L.M., *Kolloidn. Zh.*, 1972, **34**, 617.
18. Baochang Z., Man X., Dewen Z., Huixuan Z., Baoyan Z., *Constr. Build. Mater.* 2009, **23**, 3112.
19. Radziszewski P., *Polimery* 2008, **7/8**, 53.
20. Chen J.S., Huang C.C., *J. Appl. Pol. Sci.* 2007, **103**, 2817-2825.
21. Wen G., Zhang Y., Zhang Y., Sun K., Yongzhong F., *Polym. Test.* 2002, **21**, 295.
22. Kalabińska M., Piłat J.: *„Właściwości reologiczne asfaltów i kompozytów mineralno-asfaltowych”*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1993.
23. Judycki J., *„Drogowe asfalty i mieszanki mineralno-asfaltowe modyfikowane elastomerem”*, *Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej*, nr 452, Gdańsk 1991.
24. Sybilski D., *Drogownictwo* 1993, **1, 2**, 66.
25. Sybilski D., *Drogownictwo* 2000, **2, 3**, 67.
26. Ruan Y., Davisom R., R., Glover J., Ch., *Fuel* 2003, **82**, 1763.
27. Ouyang C., Wang S., Zhang Y., Zhang Y., *Polym. Degrad. Stab.* 2006, **91**, 795.
28. Fu H., Xie L., Dan D., Li L., Yu M., Yao S., *Constr. Build. Mater.* 2007, **21**, 1528.
29. Ouyang Ch., Wang S., Zhang Y., Zhang Y., *Polym. Degrad. Stab.* 2005, **87**, 309.
30. Grabowski W., Słowik M., *Foundation of Civil and Environmental Engineering* 2002, **3**, 6.
31. Stastna J., Zanzotto L., Łacin O.J., *J. Colloid Interface Sci.* 2003, **259**, 200.
32. Radziszewski P., *Polimery* 2008, **7-8**, 53.
33. Shao-peng W., Pang L., Lian-tong M., Yong-chun Ch., Guo-jun Z *Constr. Build. Mater.* 2009, **23**, 1005.
34. Petersen J.C., *Petroleum Sci Technol.* 1998, **16**, 1023.
35. Ali M.F., Siddiqui M.N., *Petroleum Sci. Technol.* 2001, **19**, 1229.
36. Yintao L., Linfan L., You Z., Sufang Z., Leidong X., Side Y., *J. Pol. Sci.* 2010, **116**, 754.
37. Cortizo M.S., Larsen D.O., Bianchetto H., Alessandrini J.L., *Polym. Degrad. Stab.* 2004, **86**, 275.
38. Zhang F., Yu J., *Constr. Build. Mater.* 2010, **24**, 410.
39. Feng Z., Jianying X., Jun H., *Constr. Build. Mater.* 2011, **86**, 129.
40. Martinez-Estrada A., Chávez-Castellanos A.E., Herrera-Alonso M., Herrera-Nájera R., *J. Pol. Sci.* 2010, **115**, 3409.
41. Wen G., Zhang Y., Zhang Y., Sun K., Fan Y., *Polym. Eng. Sci.* 2002, **42**, 1070.
42. Jin H., Gao G., Zhang Y, Zhang Y., Sun K., Fan Y., *Polym. Test.* 2002, **21**, 633.
43. Tucker J.R., Schweyer M.E., *Ing. Eng. Chem. Res.* 1965, **4**, 51.
44. Papier E., Fritschy G., Eckhardt A., *Fuel* 1980, **19**, 617.
45. Courval G.J., Akili W., *Asphalt Paving Technology* 1982, **51**, 222.
46. Lee D, *Ing. Eng. Chem. Res.* 1975, **14**, 171.
47. Chen J.S., Huang C.C., *J. Appl. Pol. Sci.* 2007, **103**, 2817.
48. Wen G., Hang Y., Hang Y., Sun K., Fan Y., *Polym. Test.* 2002, **21**, 295.
49. Yu J., Wang X., Kuang D., Zhang H., *Journal of Wuhan University of Technology – Mater. Sci. Ed.* 2009, **24**, 673.
50. Yu J., Wang L., Zeng X., Wu S., Li B., *Polym. Eng. Sci.* 2009, **47**, 1289.
51. Zhang H., Yu J., Wang H., Xue L., *Mater. Chem. Phys.* 2011, **129**, 769.
52. Zhang H., Yu J., Wu S., *Constr. Build. Mater.* 2012, **27**, 553.
53. Kok B.V., Colak H., *Constr. Build. Mater.* 2011, **25**, 3204.

54. Chojnacka M., Formela K., Stankiewicz P., Tobiszewski M., Danowska M., *Modyfikacja polimerów. Stan i perspektywy w roku 2011*, Wrocław 2011, 477.
55. Gawęł I., Ślusarski L., *Polimery* 1998, 43, 280.
56. Sybilski D., *Przegląd budowlany* 2009, 5, 37.
57. Sybilski D., *Sprawozdanie końcowe „Ocena wpływu i technologii wykonania nawierzchni drogowej na hałaśliwość ruchu drogowego i jego uciążliwość dla środowiska”*, Warszawa, listopad 2005.
58. Morrisom G.R., Hesp S.A.M., *JMater. Sci.* 1995, 30, 2584.
59. Aranowski R., *Modyfikacja asfaltów naftowych polimerami. Mechanizm oddziaływań polimer-matryca asfaltowa, rozprawa doktorska, Gdańsk 2002.*
60. Baryń W., Ślusarski L., *Polimery*, 1985, 2, 62.
61. Stępkowski R., *Praca doktorska, Piastów 2002.*
62. Merusi F., Polacco G., Nicoletti A., Giuliani F., *Mater. Struct.* 2010, 43, 1271.
63. Kim H.S., Lee S.J., Amirkhonian S., *KSCE Journal of Civil Engineering* 2010, 14, 839.
64. Navarro F.J., Partal P., Martinez-Boza F., Valencia C., Gallegos C., *Chem. Eng. J.* 2002, 89, 53.
65. Lee S.J., Akisetty Ch.K., Amirkhonian S., *Constr. Build. Mater.* 2008, 22, 1368.
66. Lee S.J., Hu J., Kim H., Amirkhonian S., Jeong K.D., *Constr. Build. Mater.* 2011, 25, 1485.
67. www.road.pl/PMB.htm



**Instytut Inżynierii
Materiałów Polimerowych i Barwników
ODDZIAŁ ELASTOMERÓW I TECHNOLOGII GUMY**

05-820 Piastów, ul. Harcerska 30
tel. (022) 723-60-25, fax: (022) 723-71-96
www.impib.pl



AB 147

Akredytowane przez PCA

LABORATORIUM BADAWCZE „Labgum”

Laboratorium jest wyspecjalizowane w badaniach wyrobów gumowych, m.in. różnego rodzaju elementów, uszczelnień, granulatu gumowego oraz surowców i mieszanek przeznaczonych do ich produkcji.

Posiada nowoczesną aparaturę badawczą, ma wdrożony system jakości zgodny z wymaganiami PN-EN ISO/IEC 17025:2005 i akredytację od 1998 r.

Laboratorium posiada

Certyfikat Akredytacji PCA Nr AB 147

w zakresie badań fizykochemicznych i mechanicznych gumy i wyrobów gumowych

Certyfikat KIWA - N.V. Certification and Inspection 0902111520JSHKIWA

w zakresie badań uszczelnień gumowych do instalacji zimnej wody pitnej i kanalizacji zgodnie z wymaganiami UE KIWA PO 1003:2009

LABORATORIUM WYKONUJE BADANIA

według aktualnych norm krajowych, zagranicznych, UE i międzynarodowych ISO oraz procedur własnych

p.o. Kierownika Laboratorium i Kierownik Zespołu Badania Właściwości Chemicznych:
dr inż. Małgorzata Piaskiewicz, tel. wew. 161, m.piaskiewicz@ipgum.pl, m.piaskiewicz@impib.pl
Z-ca Kierownika Laboratorium i Kierownik Zespołu Badania Właściwości Fizycznych:
mgr inż. Michał Lewandowski: tel. wew. 182, m.lewandowski@ipgum.pl, m.lewandowski@impib.pl