



dr inż. **Jan Król**, Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Warszawska
prof. dr hab. inż. **Piotr Radziszewski**, Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Warszawska

Asfalty drogowe modyfikowane gumą

– doświadczenia i perspektywy stosowania. Część I

Asfalt drogowy jest materiałem wiążącym, powszechnie stosowanym do budowy dróg na całym świecie. Szacuje się, że drogi o nawierzchni asfaltowej stanowią ok. 95% wszystkich dróg o nawierzchni utwardzonej. Wzrost natężenia ruchu samochodowego oraz znaczny nacisk osi samochodów na nawierzchnię wymagają ciągłego poszukiwania rozwiązań materiałowo-technologicznych zwiększających trwałość nawierzchni drogowych. Jednym z takich rozwiązań jest modyfikacja asfaltów gumą pocho-

dzącą z recyklingu opon samochodowych. Początkowo stosowanie modyfikacji asfaltu gumą (lata 60. XX wieku w USA) miało przynieść efekt jedynie w postaci poprawy właściwości asfaltów. Obecnie za stosowaniem tej technologii przemawiają również argumenty środowiskowe. W Unii Europejskiej rokrocznie wprowadza się do obrotu ponad 3-4 mln ton opon samochodowych, z czego w Polsce około 180 tysięcy ton [3, 4]. *Ustawa z dnia 11 maja 2001 r. o obowiązkach przedsiębiorców w zakresie*

gospodarowania niektórymi odpadami oraz o opłacie produktowej (Dz.U. z 2001 r., Nr 63, poz. 639 z późniejszymi zmianami) nakłada na producentów opon konieczność odzysku 75% zużytych opon oraz recyklingu materiału z odzysku na poziomie 15%. W celu spełnienia wymogów ustawy zużyte opony samochodowe można poddać:

- rozdrobieniu na miął gumowy, a następnie zastosować jako modyfikator do asfaltu i mieszanek mineralno-asfaltowych,



- recyklingowi energetycznemu, czyli spalaniu całych lub pociętych opon w elektrowniach i cementowniach,
- rozpuszczeniu w ekstrakcie furfuralowym i dalszemu wykorzystaniu w przemyśle,
- rozkładowi termicznemu metodą pirolizy, w wyniku czego otrzymuje się olej opałowy, sadzę, stal, włókna i gazy.

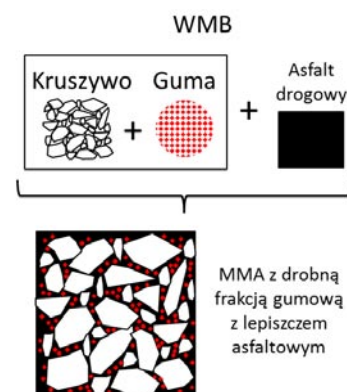
Ze względu na dużą kaloryczność gumy przy spalaniu w Polsce około 60% recyklingu opon przeprowadza się metodą spalania w cementowniach [4]. Drugą najbardziej rozpowszechnioną metodą jest rozdrobnienie opon i uzyskanie miatu i granulatu gumowego, który wykazuje olbrzymi potencjał stosowania jako modyfikator asfaltów.

Modyfikacja asfaltów gumą

Konwencjonalne niemodyfikowane lepiszce asfaltowe charakteryzują się węższym zakresem lepkościowości niż asfalty modyfikowane, co może skutkować szybszym przechodzeniem w stan plastyczny w podwyższonej temperaturze otoczenia oraz zwiększoną kru-

chością w temperaturze ujemnej. Powszechnie uważa się, że tylko modyfikacja asfaltów polimerami pozwala na budowę nawierzchni spełniających wymagania nawierzchni długowiecznych [1]. Na podstawie wieloletnich badań nad modyfikacją asfaltów można jednak stwierdzić, że doskonałą alternatywę stanowi modyfikacja asfaltu miałem gumowym ze zużytych opon samochodowych [2, 5]. Miał gumowy otrzymywany w wyniku rozdrobnienia opon może być stosowany do modyfikacji asfaltu w procesie „na mokro” (ang. *wet process*) lub może zostać dodany do mieszanki mineralno-asfaltowej jako jedna z frakcji kruszywa w procesie „na sucho” (ang. *dry process*). Istnieją również warianty pośrednie rozwiązań materiałowych, stosowania gumy z recyklingu, w technologii mieszanek mineralno-asfaltowych. Metody wprowadzania gumy do mieszanki mineralno-asfaltowej można podzielić następująco:

- klasyczna metoda „na mokro” przy wytwórni mma,
- lepiszce wytwarzane w rafinerii metodą „na mokro” z polimerem SBS,



Rys. 1. Schemat technologii *dry process* (na sucho)



Rys. 2. Schemat technologii *wet process* (na mokro)



Rys. 3. Schemat technologii modyfikacji mieszanki mineralno-asfaltowej granulatem gumowym z dodatkiem polioktenameru

- koncentrat gumowo-asfaltowy,
- klasyczna metoda „na sucho”,
- metoda na sucho z aktywatorem chemicznym wspomagającym proces wiązania asfaltu i gumy.

Doświadczenia w USA (głównie stany takie jak: Arizona, Kalifornia, Texas i Floryda), Portugalii, we Włoszech czy w Czechach są dowo- ▶

dem na to, że efektywna modyfikacja asfaltu gumą powoduje:

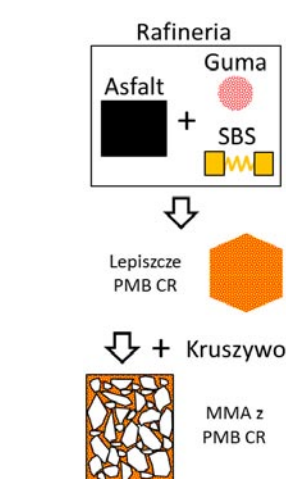
- wzrost lepkości i poprawę lepkosprężystych właściwości lepiszcza,
- zmniejszenie podatności lepiszcza na starzenie,
- polepszenie właściwości lepiszcza w ujemnej temperaturze.

Nawierzchnie wykonane z mieszanek mineralno-asfaltowych z lepiszczem modyfikowanym gumą w porównaniu z tradycyjnymi nawierzchniami wykazują:

- polepszone właściwości przeciwpoślizgowe (zwiększona szorstkość),
- zwiększoną trwałość (odporność na działanie czynników klimatycznych i cykliczne obciążenie),
- zwiększoną odporność na spękania,
- możliwość efektywnego zastosowania technologii obniżających hałas nawierzchni,
- zmniejszone koszty eksploatacji nawierzchni drogowych.

Poprawa właściwości technicznych mieszanek zawierających lepiszcze gumowo-asfaltowe, w porównaniu z mieszankami z tradycyjnym asfaltem, jest wynikiem korzystnych właściwości reologicznych tego lepiszcza oraz większej lepkości. Większa lepkość umożliwia zwiększenie ilości lepiszcza w mieszance, co wpływa korzystnie na odporność mieszanki mineralno-asfaltowej na działanie wody oraz zwiększa jej odporność na zmęczenie. Doświadczenia krajów stosujących technologię modyfikacji asfaltów gumą zarówno na drogach lokalnych, jak i na nawierzchniach autostrad pokazują, że mieszanki mineralno-asfaltowe spełniają oczekiwania inwestorów. Korzyści płynące ze zwiększonej odporności na spękania zmęczeniowe oraz możliwość wykonywania cieńszych warstw nawierzchni o podwyższonej trwałości są szczególnie istotne przy planowaniu remontów dróg i ulic.

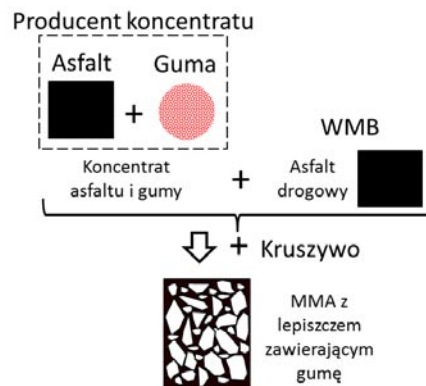
W metodzie *dry process* (rys. 1) rozdrobniona guma pełni funkcję elastycznego kruszywa i nie powoduje zmiany właściwości asfaltu w mieszance. Miał gumowy lub granulaty dodaje się do ogrzanych materiałów kamiennych w mieszalniku otaczarki w ilości 1,5-3,0% w stosunku do masy kruszywa. Stwierdzono poprawione właściwości przeciwhałasowe i przeciwpoślizgowe mieszanek wykonanych w tej technologii, jednakże ocenia się, że technologia *dry process* może być stosowana do nawierzchni o niższej kategorii ruchu. Jest to podyktowane mniejszą spójnością mieszanki i możliwością powstawania wykru-



Rys. 4. Schemat technologii modyfikacji mieszanki mineralno-asfaltowej koncentratem gumowo-asfaltowym

szczeń, co przekłada się na obniżenie trwałości całej nawierzchni. Korzystne właściwości przeciwpoślizgowe takich mieszanek są skutkiem zwiększonego tarcia na styku opony samochodowej z „kruszywem gumowym”, co powoduje z drugiej strony dyskusyjną ekologicznie emisję pyłu gumowego do środowiska [5].

Technologia modyfikacji asfaltów gumą *wet process* (rys. 2) w większym stopniu pozwala wykorzystać cenne właściwości gumy odpadowej, która w swoim składzie zawiera elastomery (kauuczuki) i przeciwutleniacze. Granulat lub miał gumowy dodane do asfaltu w temperaturze około 180 °C ulegają częściowemu rozpuszczeniu, spęcznieniu oraz dewulkanizacji, powodując modyfikację właściwości asfaltu. W procesie „na mokro” dodaje się od 15 do 21% miału gumowego w stosunku do masy asfaltu [2, 6]. Stosowanie lepiszcza gumowo-asfaltowego, wytworzonego w technologii „wet process”, powoduje poprawę właściwości lepko-sprężystych mieszanki mineralno-asfaltowej, a ponadto jest uzasadnione ze względów technicznych, ekologicznych i ekonomicznych [6, 7, 8]. Głównym ograniczeniem technicznym powszechnego stosowania technologii „wet proces” jest konieczność inwestycji w specjalne urządzenie do modyfikacji lepiszcza gumą, które instaluje się przy wytwórni mieszanek mineralno-asfaltowych. Krajowe doświadczenia z technologią modyfikacji na mokro pokazują, że proces ten jest możliwy, jednakże proces wdrażania jest powolny. Po koniec lat 90. XX wieku w Polsce podjęto próbę pilotażowego wdrożenia tej technologii [5, 6], jednakże z powodu braku urządzeń do produkcji asfaltu modyfikowanego gumą w przedsiębiorstwach drogowych technologia nie przyjęła się na szeroką skalę.



Rys. 5. Schemat technologii modyfikacji asfaltu polimerem i gumą w rafinerii (*terminal blend*)

Szacuje się, że obecnie w Polsce istnieją dwie dedykowane instalacje do modyfikacji asfaltu miałem gumowym przy wytwórni mieszanek mineralno-asfaltowych zlokalizowane w woj. dolnośląskim oraz woj. mazowieckim. Według danych przedstawionych w artykule [9] na Dolnym Śląsku, głównie we Wrocławiu i w jego okolicach, od 2006 roku wbudowano ok. 100 ty. m² mieszanek SMA lub warstw przeciwspekaniowych SMAI. Najnowsze doświadczenia projektu badawczego realizowanego przez Politechnikę Warszawską z firmą Strabag pokazują, że technologia asfaltu modyfikowanego gumą może zostać zastosowana do wszystkich rodzajów mieszanek mineralno-asfaltowych, w tym również do mieszanek typu beton asfaltowy oraz warstw przeciwmęczeniowych [10]. Jak stwierdzono, lepiszcze gumowo-asfaltowe o zawartości miału gumowego powyżej 15% może stanowić funkcjonalny odpowiednik polimeroasfaltu [11]. W ramach projektu powstał odcinek doświadczalny o długości 0,5 km na ul. Parzniewskiej w Pruszkowie, który został podzielony na cztery sekcje o różnej konstrukcji nawierzchni drogowej. W nawierzchnię drogową wbudowano beton asfaltowy z lepiszczem gumowo-asfaltowym, mieszankę o obniżonej hałaśliwości typu BBTM, zastosowano warstwę przeciwspekaniową SAMI oraz nową warstwę przeciwmęczeniową AC5 AF. Po jednym roku użytkowania pod ruchem eksperymentalnej konstrukcji nie stwierdzono uszkodzeń w nawierzchni drogowej.

Kompromisem pomiędzy prostotą procesu „na sucho” oraz korzystnym zjawiskiem modyfikacji właściwości asfaltu w metodzie „na mokro” wydaje się technologia chemicznego wspomaganie procesu częściowej modyfikacji

asfaltu podczas dozowania gumy bezpośrednio do mieszanki mineralno-asfaltowej (rys. 3). W trakcie produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej do mieszalnika dodaje się mieszaninę granulatu gumowego i polioktameru. Kopolimer ten wspomaga chemicznie proces łączenia się gumy z asfaltem, co pozwala częściowo wykorzystać cenne właściwości gumy jako modyfikatora, pomimo bezpośredniego wprowadzenia granulatu gumowego jako elastycznej frakcji kruszywa drobnego.

Możliwość modyfikacji asfaltu gumą w mieszalniku możliwa jest również na zasadzie zastosowania wcześniej przygotowanego koncentratu gumowo-asfaltowego. Koncentrat gumowo-asfaltowy w postaci płynnej lub sproszkowanej zawiera najczęściej 30-40% gumy i 60-70% asfaltu. Koncentrat dodaje się do mieszalnika w wytwórni mieszanek mineralno-asfaltowych, gdzie podczas mieszania z kruszywem i asfaltem następuje rozpuszczenie i ujednorodnienie koncentratu w mieszance (rys. 4). Podczas projektowania oraz produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej ilość dodawanego asfaltu należy odpowiednio zredukować o ilość koncentratu gumowo-asfaltowego ze względu na zawartość asfaltu w koncentracie.

W przypadku braku dostępu do urządzenia do modyfikacji asfaltu gumą na wytwórni mieszanek mineralno-asfaltowych prostszym rozwiązaniem jest zakup gotowego, zmodyfikowanego w rafinerii lepiszcza, tak jak ma to miejsce w przypadku polimeroasfaltów. Jednakże rafineryjna modyfikacja powinna zapewnić możliwość transportu lepiszcza gumowo-asfaltowego na duże odległości, co można osiągnąć poprzez odpowiednie rozdrobnienie i zmniejszenie ilości wprowadzanej gumy (rys. 5). Taki sposób wytwarzania lepiszcza gumowo-asfaltowego nazywany jest w amerykańskiej literaturze określeniem *terminal blend*. Jak pokazują krajowe doświadczenia, właściwości lepiszcza modyfikowanego polimerami z dodatkiem miazgi gumowego spełniają wymagania normy PN-EN 14023 na Polimeroasfalty i mogą być z powodzeniem stosowane do warstw konstrukcyjnych nawierzchni [12]. W 2012 roku w ramach wspólnego projektu Rafinerii Lotos i Politechniki Warszawskiej zrealizowano dwa odcinki doświadczalne we współpracy z firmą Skanska S.A. Z lepiszczem PMB CR (ang. Polymer Modified Bitumen Crumb Rubber) na drodze dojazdowej do Wytwórni Mieszanek Asfaltowych w Sycowie k. Wrocławia wbudowano mieszanką

SMA oraz wykonano warstwę ścieralną z mieszanki AC na drodze krajowej nr 92 na odcinku Kłodawa – Chodów. Na podstawie danych Rafinerii do końca 2013 roku wybudowano w Polsce ok. 65 km dróg w nowej technologii lepiszcza PMB CR.

Zdrowie i ekologia

Asfalt jest uważany za jeden z najbardziej ekologicznych materiałów stosowanych w budownictwie, głównie dlatego że nie wchodzi w reakcje z wodą i można go łatwo poddać recyklingowi. Wyeksploatowane nawierzchnie asfaltowe można sfrezować, a powstały w tym procesie destruk powtórnie użyć do produkcji nowych mieszanek mineralno-asfaltowych. Ze względu na pojawiające się zastrzeżenia co do emisji szkodliwych gazów podczas procesu modyfikacji asfaltu gumą, w USA w latach 90. XX wieku przeprowadzono prace mające na celu określenie szkodliwości tej technologii [13]. Państwowy Instytut Zdrowia i Bezpieczeństwa Zawodowego (NIOSH) w USA opracował raport na temat wpływu modyfikacji gumą na zdrowie w miejscu pracy wykazujący, że podczas produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych z dodatkiem gumy obserwuje się zmianę charakteru oparów w porównaniu z tradycyjną technologią. W raporcie [13] stwierdzono, że technologia gumowo-asfaltowa nie ma negatywnego wpływu na zdrowie pracownika, może natomiast być uciążliwa. Najczęstszymi objawami narażenia na opary są podrażnienie oczu i górnych dróg oddechowych. Podrażnienie narządów związane jest głównie z wystąpieniem oparów i wysokiej temperatury, identycznie jak w przypadku tradycyjnej technologii asfaltowej. Podczas badań nie stwierdzono przekroczeń stężenia wysokoaromatycznych węglowodorów wielopierścieniowych, benzenu, związków siarki ponad normę ani działania kancerogennego.

Podsumowanie

Zastosowanie rozdrobnionej gumy z recyklingu opon samochodowych do modyfikacji lepiszczy asfaltowych jest jednym z elementów aktywnej polityki zrównoważonego rozwoju, szczególnie w zakresie wspierania prawidłowych praktyk recyklingu materiałów odpadowych. Lepiszczta zawierające gumę ze zużytych opon pozwalają na budowę trwałych i bezpiecznych nawierzchni drogowych, spełniających rosnące wymagania i oczekiwania użytkowników. Krajowe doświadczenia ze stosowania lepiszczy zawierających gumę z recyklingu opon samochodowych poka-

zują, że takie asfalty charakteryzują się co najmniej porównywalnymi pod względem funkcjonalnym właściwościami jak polimeroasfalty. W zakresie wymagań normatywnych lepiszcza zawierające zarówno gumę, jak i syntetyczny polimer, można uznać za materiały objęte wymaganiami normy PN-EN 14023 *Asfalty i lepiszcza asfaltowe – Zasady klasyfikacji asfaltów modyfikowanych polimerami*. □

Piśmiennictwo

1. Piłat J., Radziszewski P.: *Nawierzchnie asfaltowe*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2010.
2. Way B.G.: *Asphalt-Rubber 45 Years of Progress*. Proceedings of the Asphalt Rubber 2012 Conference, Monachium, Niemcy, 2012.
3. Król J.: *Zastosowanie lepiszczy gumowo-asfaltowych w budownictwie drogowym w USA*. XIX Seminarium Techniczne PSWNA, Jachranka 2008.
4. Materiały informacyjne Centrum Utylizacji Opon Organizacja Odzysku S.A. Zagospodarowanie i utylizacja opon (dostępne na <http://www.utyliczacjaopon.pl>).
5. Horodecka R., Kalabińska M., Piłat J., Radziszewski P., Sybilski D.: *Wykorzystanie zużytych opon samochodowych w budownictwie drogowym*. Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Zeszyt 54, 2002.
6. Horodecka R., Kalabińska M., Piłat J., Radziszewski P., Sybilski D.: *Utilisation of Scrap Rubber for Bitumen and Asphalt Concrete Modification in Poland*. Proceedings of the Asphalt Rubber 2000 Conference, Portugalia 2000.
7. Radziszewski P., Kalabinska M., Piłat J.: *Comparative analysis of bitumen – rubber binder and polish standard bitumen properties*. Proceedings of the Asphalt Rubber 2003 Conference, Brazylia 2003, str. 337-346.
8. Radziszewski P., Piłat J., Plewa A.: *Influence of amount of crumb rubber of used car tires and heating time on rubber-asphalt properties*. Proceedings of 19th International Conference on Solid Waste Technology and Management, Philadelphia, USA 2004.
9. Koba H., Skotnicki Ł., Szydło A.: *Laboratory evaluation of asphalt rubber mastic prepared using mixed (wet + dry) method*. Asphalt Rubber 2012 Monachium, Niemcy 2012.
10. Ruttmar I., Mularzuk R., Radziszewski P., Piłat J., Sarnowski M.: *Odcinek doświadczalny wykonany z mieszanek mineralno-gumowo-asfaltowych*. „Nawierzchnie Asfaltowe”, Nr 3/2013, str. 6-15.
11. Radziszewski P., Piłat J., Sarnowski M., Kowalski K., Król J. Krupa Z.: *Asphalt rubber as an alternative of polymer modified bitumen*. Asphalt Rubber 2012 Monachium, Niemcy 2012.
12. Król J., Radziszewski P., Sarnowski M., Czajkowski P., Kędzierska A., Chromiec A.: *Mieszanki mineralno-asfaltowe z lepiszczem polimerowo-gumowym do warstw ścieralnych*. „Magazyn Autostrady”, 5/2013, str. 82-87.
13. Burr G., Tepper A., Feng A., Olsen L., Miller A.: *Crumb-Rubber Modified Asphalt Paving: Occupational Exposures and Acute Health Effects*. NIOSH Summary Report No 2001-0536-2864, USA 2001.