

Elżbieta Trzaska
Instytut Nafty i Gazu, Kraków

Zagospodarowanie zużytych opon w budownictwie drogowym

Wprowadzenie

Dynamiczny rozwój motoryzacji na świecie sprawia, że każdego roku powstają odpady w postaci zużytych opon samochodowych – stanowią one poważny problem; zarówno ekologiczny, jak i ekonomiczny. Z tego względu podjęto badania nad doskonaleniem metod rozdrabniania

i oczyszczania gumy oraz sposobem zagospodarowania zużytych opon samochodowych. Badania te zyskały priorytet w Unii Europejskiej i są koordynowane przez Europejskie Stowarzyszenie Recyklingu Opon (ETRA) – europejską organizację zajmującą się recyklingiem opon i gumy [5, 12].

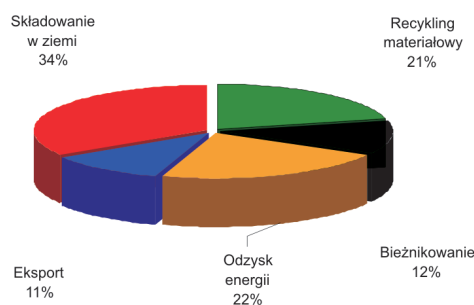
Kierunki zagospodarowania zużytych opon

Problem zagospodarowania zużytych opon samochodowych można rozwiązać wykorzystując pięć zasadniczych kierunków:

- recykling materiałowy, polegający na rozdrobnieniu zużytych opon i wykorzystywaniu produktów rozdrobnienia zgodnie z normami europejskimi: w budownictwie drogowym, lądowym i wodnym, zastosowaniach konstrukcyjnych i rekultywacji oraz w koprodukcji wyrobów konsumpcyjnych i przemysłowych,
- przedłużenie czasu użytkowania całych opon – przez bieżnikowanie lub nacinanie (pogłębianie) rowków bieżnika w oponach samochodów ciężarowych,
- recykling energetyczny, polegający na wykorzystaniu opon jako alternatywnego paliwa uzupełniającego: w elektrowniach, piecach cementowych, papierniach lub celulozowniach – połączony z odzyskiwaniem wydzielającego się w tym procesie ciepła,

- eksport częściowo zużytych opon, głównie z krajów bogatszych do uboższych,
- składowanie, gromadzenie odpadów na powierzchni lub zakopywanie w ziemi [6, 12].

Na rysunku 1 przedstawiono średnie wartości procentowe udziałów pięciu głównych kierunków zagospodarowania zużytych opon w krajach Unii Europejskiej [12].



Rys. 1.

Recykling materiałowy

Recykling materiałowy opon – ze względu na ich budowę i skład – jest znacznie trudniejszy niż odzysk metali, szkła i tworzyw termoplastycznych. Opony, oprócz gumy, otrzymywanej w wyniku nieodwracalnej reakcji siecio-

wania (wulkanizacji), zawierają tekstylny i stalowy kord, który podczas recyklingu należy oddzielić [5].

W tabelicy 1 przedstawiono skład materiałowy opon produkowanych w krajach Unii Europejskiej. Opony

Tablica 1. Skład opon produkowanych w krajach Unii Europejskiej [5, 12]

Składniki	Opony	
	samochodów osobowych	samochodów ciężarowych i autobusów
	skład materiałowy [% (m/m)]	
Kauczuk	47,0	45,0
Sadza	21,5	22,0
Stal	16,5	25,0
Kord tekstylny	5,5	-
Tlenek cynku	1,0	2,0
Siarka	1,0	1,0
Dodatki chemiczne	7,5	5,0

produkowane w Polsce mają podobny skład, z tym że w naszym kraju do samochodów ciężarowych stosuje się jeszcze pewną ilość opon diagonalnych, które nie zawierają kordu stalowego [5, 12].

Podstawowym procesem umożliwiającym recykling materiałowy zużytych opon jest ich rozdrabnianie. W procesie rozdrabniania otrzymuje się produkt zawierający: gumę, włókna tekstylne i – w większości przypadków – stal. W celu dalszego jego wykorzystania niezbędne jest oddzielenie włókien i kawałków drutu stalowego od rozdrobnionej gumy, a następnie segregacja rozdrobnionej gumy na frakcje i ewentualne ich dalsze rozdrabnianie [5].

Metody rozdrabniania opon

Najbardziej znane i sprawdzone są metody rozdrabniania mechanicznego poprzez cięcie i rozcieranie. Najczęściej proces rozdrabniania prowadzi się w temperaturze otoczenia lub metodą kriogeniczną, po zamrożeniu w ciekłym azocie [5, 12]. Pojawiły się też informacje o wdrażaniu innych metod rozdrabniania opon, jak np.: metody Berstorffa, lub metody polegającej na rozdrabnianiu na mokro. Podczas konferencji Europejskiego Stowarzyszenia Recyklingu Opon w 2004 roku firma Regum Recykling Ltd z Węgier przedstawiła nową metodę rozdrabniania opon – strumieniem wody pod bardzo wysokim ciśnieniem [5].

Rozdrabnianie w temperaturze otoczenia

Rozdrabnianie zużytych opon w temperaturze otoczenia polega na mieleniu wstępnie pociętych opon za pomocą specjalnych młynów lub proszkowaniu ich na walcarkach. Wysoka elastyczność materiału utrudnia jego rozdrabnianie i dlatego proces ten wymaga stosowania specjalnych noży i tarcz rozcierających. W pierwszym etapie, polegającym na cięciu i szarpaniu, uzyskuje się kawałki wielkości kilkunastu centymetrów. Następnie kawałki te są transportowane do maszyn, w których następuje dalsze ich cięcie i rozcieranie. Uzyskiwana dolna granica cząstek wynosi 420 μm (40 mesh). Miał lub granulata ma nieregularny kształt i rozwiniętą, postrzępioną powierzchnię. W celu usunięcia włókien kordu tekstylnego stosuje się separację pneumatyczną, a kawałki metalu usuwa się za pomocą elektromagnesu. Rozdrabnianie w temperaturze otoczenia jest określeniem umownym, gdyż podczas rozdrabniania gumy wydzielają się znaczne ilości ciepła, a jej temperatura wzrasta wskutek aktywacji termicznej [5, 6].

Metoda kriogeniczna

Rozdrabnianie metodą kriogeniczną polega na ochłodzeniu wstępnie pociętych opon (ciekłym azotem) poniżej temperatury kruchości i poddaniu ich rozdrobnieniu za pomocą młynów młotkowych. Uzyskuje się w ten sposób cząstki o mniejszym rozrzucie wielkości ziaren, jednolitej strukturze i gładkiej powierzchni, czyli mniejszej powierzchni właściwej. Ponadto, tak uzyskiwany miał zawiera mniej zanieczyszczeń niż ten otrzymany w temperaturze otoczenia, ale jego wilgotność jest wyższa (12÷15%). Miał segregowany jest na frakcje. Typowy miał zawiera cząstki o średniej wielkości 250 μm (60 mesh) [5, 6].

Metoda Berstorffa

Metoda Berstorffa jest udoskonaleniem procesu rozdrabniania mechanicznego, polegającym na wprowadzeniu dodatkowego rozcierania wstępnie rozdrobnionej gumy: w walcierce o walcach ryglowych i w wyłaczarce dwuślimakowej.

Miał otrzymywany tą metodą zawiera cząstki charakteryzujące się rozwiniętą powierzchnią, o wielkości 100÷600 μm [5].

Metoda rozdrabniania „na mokro”

W metodzie rozdrobnienia "na mokro" stosowane są młyny podobnego typu jak do mielenia mąki. W procesie tym stosuje się zawiesinę wodną cząstek wstępnie rozdrobnionej gumy. Uzyskuje się bardzo drobny jednorodny i czysty miał, o wielkości cząstek odpowiadającej frakcjom od 250 μm (60 mesh) do 125 μm (120 mesh). Metoda ta stosowana jest tylko w USA [5, 11].

Metoda rozdrabniania wodą pod wysokim ciśnieniem

W metodzie rozdrabniania opon strumieniem wody pod bardzo wysokim ciśnieniem następuje dokładne oddzielenie gumy od kordu stalowego i rozdrobnienie jej na bardzo małe cząstki, o rozwiniętej powierzchni. Zaletą tej metody jest niski poziom hałasu oraz mała ilość innych zanieczyszczeń powstających podczas produkcji (w porównaniu z klasycznymi metodami) oraz możliwość

uzyskania mialu gumowego o stosunkowo dobrze rozwiniętej powierzchni [5].

Z omówionych metod rozdrabniania opon najczęściej stosowana jest metoda rozdrabniania w temperaturze otoczenia, a następną w kolejności jest metoda kriogeniczna. Stosuje się również obie metody razem – najpierw rozdrabniając opony w temperaturze otoczenia, a potem metodą kriogeniczną.

Zastosowanie materiału gumowego otrzymanego z zużytych opon

W wyniku recyklingu zużytych opon otrzymuje się materiał gumowy, który w zależności od wielkości cząstek dzielimy na:

- mial gumowy – poniżej 0,5 mm,
- granulaty – 1÷10 mm,
- chipsy – 10÷50 mm,
- strzępy – 50÷300 mm [5, 6, 12].

Sposób wykorzystania rozdrobnionego materiału gumowego zależy od stopnia jego rozdrobnienia:

- *strzępy i chipsy* stosowane są głównie jako tzw. lekkie wypełnienie – w konstrukcji tuneli, przejść podziemnych oraz warstw podłoża nawierzchni drogowych, w budowie mostów oraz w wyrobach dla rolnictwa. Zaletą tych materiałów jest pełnienie funkcji izolacji termicznej i akustycznej oraz przepuszczalność dla wód deszczowych. Stosowane są one również jako warstwy bieżne torów wyścigów konnych [5, 12],
- *granulaty* znajduje zastosowanie jako dolne warstwy i wypełnienia nawierzchni sportowych – przede wszystkim boisk piłkarskich i boisk do hokeja na trawie, pokrywanych sztuczną darnią. Dobierając odpowiednie

lepiszcze, z granulatu można wykonywać nawierzchnie placów zabaw i boisk sportowych (np.: do siatkówki, koszykówki i tenisa) oraz ekrany tłumiące hałas i podkłady amortyzujące uderzenia [5, 12],

- *mial gumowy* można wprowadzać do mieszanek gumowych przeznaczonych do wyrobu: dywaników samochodowych, wycieraczek, mat podłogowych dla bydła, płyt podeszwowych, wykładzin podłogowych, pokryć dachowych oraz sprzętu sportowego. Stosuje się go również do budowy nawierzchni drogowych jako modyfikator asfaltu [5, 6, 12].

Pochodzący ze zużytych opon mial gumowy – wprowadzony do asfaltu – zwiększa jego elastyczność i trwałość, zmniejsza odbijanie światła oraz zapewnia dobrą adhezję i kohezję. Inne zalety lepiszcza asfaltowego zawierającego mial gumowy to:

- zmniejszenie hałasu pojazdów na drogach i autostradach,
- zwiększenie szorstkości nawierzchni i jej odporności na ścieranie,
- poprawa właściwości nawierzchni w warunkach opadów i niskich temperatur [2, 3, 6, 11].

Metody modyfikacji asfaltów gumą

Wprowadzanie gumy do mieszanek mineralno-asfaltowych odbywa się dwoma sposobami:

- „metodą suchą” (*dry process*) – zastosowanie gumy jako części wypełniacza w mieszance,
- „metodą mokłą” (*wet process*) – rozpuszczenie gumy, jej dewulkanizacja i modyfikacja asfaltu [2, 3, 5, 7].

Metoda sucha

W „metodzie suchej” rozdrobniony materiał gumowy spełnia rolę dodatku – nie modyfikuje on właściwości asfaltu, a tylko właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej; nie wykorzystuje się więc cennych właściwości gumy.

Metoda na sucho jest mało skomplikowanym procesem: guma (stosowana jako zamiennik części kruszywa)

dodawana jest do ogrzanego do temperatury 160÷180°C kruszywa, przed jego zmieszaniem z lepiszczem asfaltowym. W metodzie tej stosuje się mial gumowy o ziarnach do 0,63 mm lub granulaty gumowy o uziarnieniu 2,3÷6,6 mm, w ilości 1,5÷4,0% w stosunku do masy kruszywa. Kruszywo o temperaturze 160÷180°C miesza się z gumą przez 15÷30 sekund, a następnie dodaje się asfalt. Całkowity czas mieszania wynosi 120÷180 sekund [2, 3, 5, 7].

W efekcie otrzymuje się mieszanek mineralno-asfaltową modyfikowaną miałem gumowym, w której zmiana właściwości następuje na skutek: wzrostu lepkości lepiszcza, reakcji między asfaltem a drobną częścią gumy oraz udziału grubego kruszywa gumowego o niskim module

sprężystości [3]. Mieszanka mineralno-asfaltowa z dodatkiem gumy charakteryzuje się:

- większą odpornością na pękanie,
- zdolnością do amortyzacji uderzeń opon, a zatem zmniejszeniem hałasu toczenia,
- zdolnością do szybkiego usuwania zjawiska gołoledzi, dzięki dużym różnicom w odkształcalności kruszywa gumowego i mineralnego.

Wadą mieszanek z dodatkiem gumy jest możliwość wystąpienia niebezpieczeństwa wrywania grysów na skutek różnic w odkształcaniu kruszywa [3].

Metoda mokra

„Metoda mokra” polega na mieszaniu materiału gumowego z asfaltem, w celu modyfikacji właściwości asfaltu. Do mialu lub granulatu gumowego dodaje się plastyfikator: w postaci bardzo miękkiego asfaltu lub oleju o wysokiej lepkości. Napęczniałą gumę poddaje się dewulkanizacji, która polega na osłabieniu i pękaniu wiązań międzycząsteczkowych pod wpływem temperatury (225÷235°C) oraz intensywnemu mieszaniu w czasie 45÷120 minut.

Asfalty zawierające zdewulkanizowaną gumę mogą być poddane dalszej obróbce, w celu uzyskania lepiszcza gumowo-asfaltowego o szerokim przedziale plastyczności, obniżonej temperaturze łamliwości i zwiększonej ciągliwości. Ilość dodawanej gumy wynosi od 5 do 25% w stosunku do masy asfaltu [1, 3, 9, 10].

Lepiszcz gumowo-asfaltowe charakteryzuje się korzystniejszymi właściwościami niż standardowe lepiszcza asfaltowe, co wyraża się przez:

- zwiększenie odporności na starzenie technologiczne (lepiszcza) i eksploatacyjne (mieszanek mineralnych z lepiszczem gumowo-asfaltowym),
- zwiększenie elastyczności lepiszcza i mieszanki mineralno-asfaltowej,
- wzrost temperatury mięknięcia (zmniejszenie podatności kompozytów na koleinowanie, pocenie się),

- zwiększenie odporności na działanie niskiej temperatury (odporność na spękania niskotemperaturowe),
- zwiększenie odporności na działanie wysokiej temperatury (wzrost stabilności),
- zwiększenie zakresu pracy plastyczności, przy niemal jednakowej pracy ciągliwości (większa odporność na spękania),
- zwiększenie trwałości w warunkach oddziaływania czynników klimatycznych (powietrze, woda) i obciążeń kół pojazdów samochodowych (trwałość 2÷3 razy większa w stosunku do typowego asfaltu),
- zmniejszenie poziomu hałasu o 3÷10 dB [3, 10].

Lepiszcz gumowo-asfaltowe, ze względu na swoje właściwości, mogą znaleźć szerokie zastosowanie w budownictwie drogowym, jako:

- lepiszcze do mieszanek mineralno-gumowo-asfaltowych (betony asfaltowe, mieszanki o nieciąglym uziarnieniu),
- masy zalewowe do wypełniania szczelin dylatacyjnych i uszczelniania połączeń,
- membrany absorbujące naprężenia, wykonane z lepiszcza gumowo-asfaltowego posypanego kruszywem (SAM – *Stress Absorbing Membrane*),
- membrany międzywarstwowe absorbujące naprężenia, przeciwdziałające tworzeniu się spękań odbitych, wykonane z lepiszcza gumowo-asfaltowego posypanego kruszywem (SAMI – *Stress Absorbing Membrane Interlayer*),
- lepiszcze do mieszanek drenażowych [2, 8].

Budowa nawierzchni drogowych z wykorzystaniem mieszanek mineralno-gumowo-asfaltowych jest droższa, jednak biorąc pod uwagę, że do budowy 1 km 4-pasmowej autostrady można zużyć około 3000 opon samochodów osobowych lub 500 ciężarowych – uzyskując nawierzchnię o polepszonych cechach eksploatacyjnych i zwiększonej trwałości – należy rozważyć celowość szerszego zastosowania dodatku gumy do mieszanek mineralno-asfaltowych w budownictwie drogowym [2, 4, 5].

Podsumowanie

Dynamiczny rozwój motoryzacji spowodował znaczący wzrost ilości odpadów w postaci zużytych opon samochodowych i równocześnie wymusił rozwój kierunków ich zagospodarowania – takich jak recykling materiałowy i energetyczny oraz bieżnikowanie opon.

Dotychczas stosowane na świecie metody rozdrabniania opon uzupełniono o nową metodę ich rozdrabniania – strumieniem wody pod bardzo wysokim ciśnieniem. Metoda

ta pozwala na obniżenie poziomu hałasu i powstających podczas produkcji zanieczyszczeń oraz daje możliwość uzyskania mialu gumowego o stosunkowo dobrze rozwiniętej powierzchni.

Wprowadzenie do mieszanek mineralno-asfaltowych materiału gumowego pochodzącego z zużytych opon poprawia ich właściwości, takie jak: elastyczność, wytrzymałość zmęczeniową, stabilność, odporność na działanie

niskich temperatur oraz zwiększa współczynnik tarcia między kołami pojazdów a nawierzchnią. Ponadto dodatek gumy zmniejsza natężenie hałasu powstającego na styku kół samochodowych i nawierzchni.

Przeróbka zużytych opon oraz zagospodarowanie materiału gumowego pochodzącego z ich rozdrobnienia jest także istotne ze względów ekologicznych, ponieważ umożliwia pozbycie się uciążliwych odpadów.

Artykuł nadesłano do Redakcji 30.06.2010 r. Przyjęto do druku 13.08.2010 r.

Recenzent: doc. dr Michał Krasodomski

Literatura

- [1] Aranowski R., Misiuk S.: *Modyfikacja lepizcza asfaltowego gumą i polimerami*. Instrukcja, Katedra Technologii Chemicznej, Wydział Chemiczny, Politechnika Gdańska, 2003.
- [2] Gawęł I., Kalabińska M., Piłat J.: *Asfalty drogowe*. WKŁ, Warszawa 2001.
- [3] Horodecka R., Kalabińska M., Piłat J., Radziszewski P., Sybilski D.: *Wykorzystanie zużytych opon samochodowych w budownictwie drogowym*. IBDiM, zeszyt 54, Warszawa 2002.
- [4] Koba H., Szydło A.: *Wpływ modyfikacji asfaltu gumą na drogowe mieszanki mineralno-asfaltowe*. Magazyn Autostrady, 5, s. 24–26, 2010.
- [5] Parasiewicz W., Pyskło L., Magryta J.: *Recykling zużytych opon samochodowych*. Instytut Przemysłu Gumowego, Piastów 2005.
- [6] Parasiewicz W., Pyskło L.: *Techniczne możliwości recyklingu opon*. Amberway News, 6, nr 1, s. 18–19, 2004.
- [7] Pyskło L., Parasiewicz W.: *Odzysk i recykling wyrobów gumowych*. Recykling nr 11, s. 52, 2004.
- [8] Radziszewski P.: *Modyfikacja lepizczy asfaltowych miazem gumowym*, Drogownictwo, nr 2, s. 44–48, 1995.
- [9] Radziszewski P.: *Modyfikacja mieszanek mineralno-bitumicznych miazem gumowym z opon (doświadczenia USA)*. Drogownictwo nr 3, s. 61–64, 1994.
- [10] Stępkowski R.: *Badanie oddziaływań między gumą a asfaltem w aspekcie jej zastosowania jako modyfikatora asfaltów drogowych*. Praca doktorska, Piastów 2002.
- [11] Sybilski D.: *Zastosowanie odpadów gumowych w budownictwie drogowym*. Przegląd Budowlany, 5, s. 37–44, 2009.
- [12] *Wprowadzenie do recyklingu opon: 2004*; Stowarzyszenie Przemysłu Gumowego EKOLOGUMA, Piastów, wrzesień 2004.



Mgr inż. Elżbieta TRZASKA – Kierownik Laboratorium Asfaltów w Zakładzie Olejów, Środków Smarowych i Asfaltów INiG w Krakowie; Sekretarz Podkomitetu ds. Asfaltów Komitetu Technicznego Nr 222. Prowadzi prace naukowo-badawcze związane z opracowywaniem technologii wytwarzania asfaltów i badaniem ich właściwości.

Oferta



ZAKŁAD OLEJÓW, ŚRODKÓW SMAROWYCH I ASFALTÓW (TO)

Kierownik: mgr inż. Stefan Ptak

31-429 Kraków, ul. Łukasiewicza 1
tel.: +48 617 74 32
fax: +48 12 617 74 30, +48 12 617 75 22
e-mail: stefan.ptak@inig.pl

Zakres działania:

- opracowanie i modyfikacja technologii wytwarzania olejów podstawowych (bazowych),
- opracowanie i modyfikacja technologii wytwarzania środków smarowych: olejów przemysłowych silnikowych, smarów plastycznych, olejów technologicznych do obróbki metali oraz niskokrzepnących płynów do chłodnic i spryskiwaczy samochodowych,
- opracowanie i modyfikacja technologii wytwarzania parafin, wosków specjalnych i kompozycji woskowych,
- opracowanie i modyfikacja technologii wytwarzania asfaltów drogowych i przemysłowych oraz kompozytów asfaltowo-polimerowych,
- specjalistyczne badania i ocena właściwości użytkowych środków smarowych,
- specjalistyczne badania i ocena jakości parafin, wosków specjalnych i kompozycji woskowych,
- specjalistyczne badania i ocena jakości asfaltów drogowych przemysłowych oraz kompozytów asfaltowo-polimerowych,
- opracowywanie zagadnień związanych z gospodarką olejami odpadowymi i odpadami rafineryjnymi,
- sporządzanie ekobilanсів procesów technologicznych metodą Oceny Cyklu Życia (LCA).

INSTYTUT NAFTY I GAZU
ul. Lubicz 25A, 31-503 Kraków
tel.: +48 12 421 00 33 fax: +48 12 430 38 85
www.inig.pl office@inig.pl

KRS 0000075478, REGON 000023136, NIP 675-000-12-77