

Henryk HOLKA¹, Janusz WEŁNOWSKI²

e-mail: holka@utp.edu.pl

¹Zakład Mechaniki Stosowanej, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz²Hydrapress Sp. z o.o., 86-005, Białe Błota

ROTAREX FAST&EASY – nowa metoda recyklingu materiałowego opon

Wstęp

Zużyte opony stanowią duży problem ekologiczny zarówno w kraju jak i na świecie. Od października 2001 r. obowiązują w Polsce dwa zasadnicze akty prawne dotyczące ochrony środowiska:

- ustawa o ochronie środowiska,
- ustawa o odpadach.

Są one zgodne z dyrektywami Unii Europejskiej w sprawie zintegrowanego zapobiegania i kontroli zanieczyszczeń środowiska. Według obowiązujących norm 75% wyprodukowanych opon ma być w dowolny sposób przerobiona. Odpowiedzialność za spełnienie tych zobowiązań spoczywa na producentach opon. Szacuje się, że ilość opon, które należy zagospodarować w UE w chwili obecnej wynosi około 4 mln ton.

Znane są następujące przemysłowe metody przeróbki zużytych opon:

- bieżnikowanie,
- odzysk energetyczny (spalania),
- recykling materiałowy.

Bieżnikowanie dotyczy głównie pojazdów wolnobieżnych i samochodów ciężarowych. W Polsce bieżnikowanych jest około 12% zużytych opon.

Zdecydowaną największą ilość opon (około 60% z 75% przeznaczonych na przerób) przeznaczają się na **spalanie**. Wbrew obiegowym opiniom jest to spalanie bardzo ekologiczne, o stosunkowo małym stopniu zanieczyszczeń. Spalanie umożliwia uzyskanie stosunkowo dużych ilości ciepła, gdyż wartość opałowa gumy wynosi 32 GJ/Mg i jest zbliżona do wartości opałowej węgla. Opony mogą być spalane w całości, co zapewnia dodatkową opłacalność pomniejszoną o koszty rozdrabniania. W chwili obecnej jest to w zasadzie najbardziej ekonomiczny sposób zagospodarowania opon i jak niektóre analizy wykazują najbardziej ekologiczny. Ponieważ możliwości spalania opon są ograniczone, pozostała ilość opon musi być przetwarzana w inny sposób.

Opony przerabia się wykorzystując granulację z opon i jest to tzw. **recykling materiałowy**. Znane są następujące przemysłowe metody przeróbki opon na granulację:

- metoda kriogeniczna,
- metody mechaniczne.

Metoda kriogeniczna polega na zamrożeniu opon do bardzo niskich temperatur (ok. -85°C), a następnie rozbiciu ich na drobne cząstki. Powstają pierwsze zakłady pracujące w tej technologii. Jej wadą są duże koszty budowy zakładu, a potem znaczne zapotrzebowanie na energię.

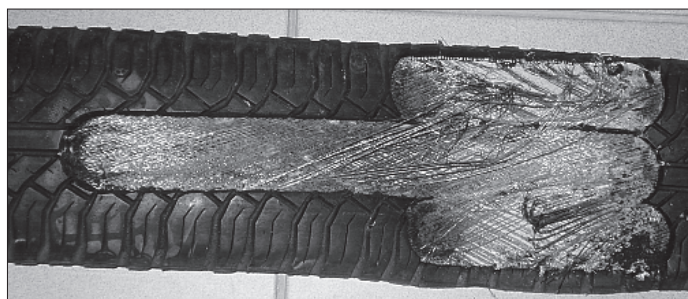
Metoda mechanicznego recyklingu materiałowego polega na obróbce mechanicznej opony w taki sposób, aby w końcu otrzymać rozdrobioną gumę bez drutu i materiałów tekstylnych. Jeżeli zastosuje się otrzymany granulację jako napelniacz do asfaltów – to wydaje się, że granulacja z drobinami drutu nie jest zbyt dużą przeszkodą. Tradycyjna metoda mechaniczna recyklingu polega na rozdrabnianiu opony na części zgodnie z podaną kolejnością operacji:

- rozdrabnianie wstępne opony na kawałki o wymiarach 50÷80 mm,
- strzępienie czyli dalsze rozdrabnianie opony,
- proszkowanie granulatu do wielkości 150 µm ÷ 0,8 mm.

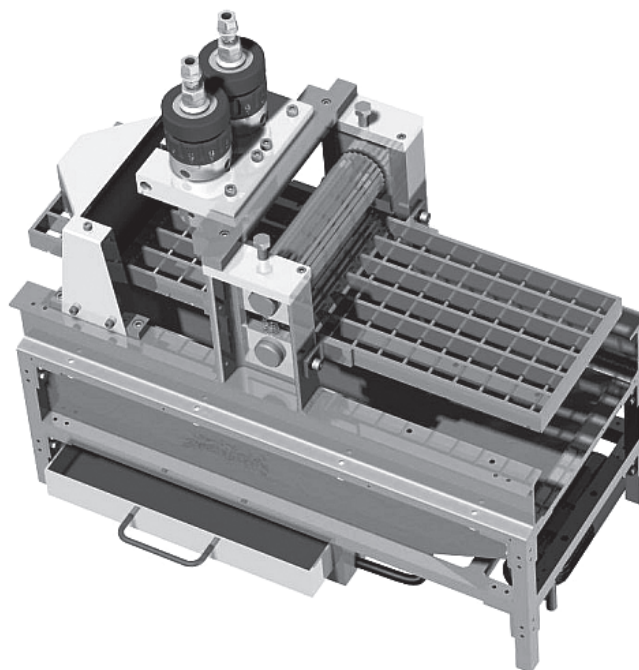
Rozdzielenie gumy, drutu i części tekstylnych następuje na etapie drugim i trzecim.

Największe zakłady w tej technologii (kombinaty przeróbki opon) pracują w cyklu automatycznym. Koszt zakładu recyklingu opon o dużej przepustowości wynosi około 5 mln EUR.

W Zakładzie Mechaniki Stosowanej Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy od paru lat prowadzone są badania dotyczące opracowania technologii dekompozycji opon samochodowych za pomocą strumieni wody o bardzo dużym ciśnieniu, rzędu 200 MPa (Rys. 1). Metoda ma szereg zalet i opisana była między innymi w pracy [Holka i Jarzyna, 2008] (Rys. 2).



Rys. 1. Fragment opony z widocznym ubytkiem gumy po przejściu głowicy tnącej



Rys. 2. Wygląd maszyny do recyklingu metodą Water-Jet [Holka i Jarzyna, 2008]

Należy zauważyć, że jest to, obok metody kriogenicznej jedyna technologia, w której otrzymuje się gumę w postaci czystej, bez domieszki drobin drutu.

Otrzymany granulację ma duże zastosowanie, między innymi można go stosować do produkcji:

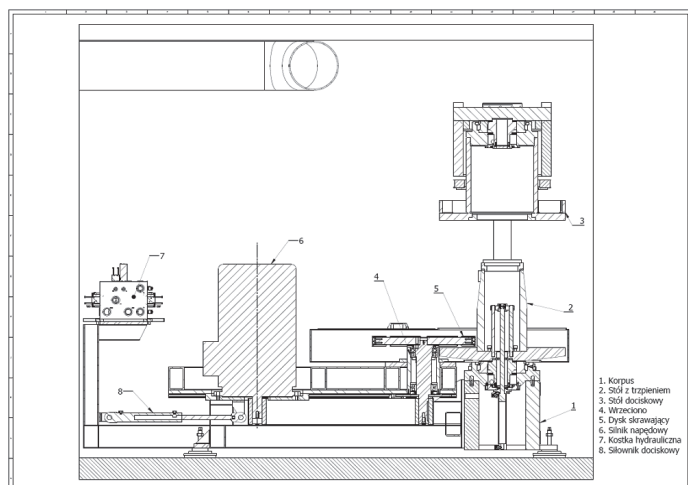
- nawierzchni obiektów sportowych,

- asfaltu wzbogacanego granulatem [Radziszewski i inni, 1996],
- elementów wibroizolacji i izolacji akustycznej w innych wyrobach gumowych.

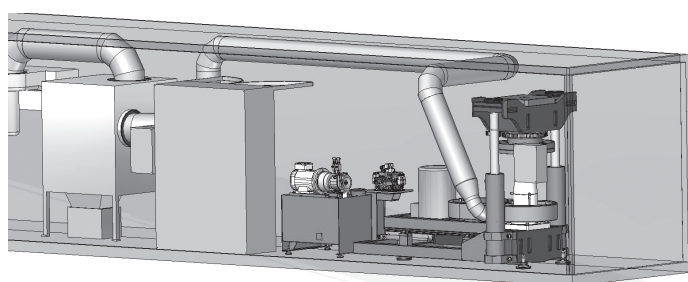
Metoda Rotarex Fast & Easy

Linie do recyklingu opon są bardzo wydajne (około 3000 kg/h), ale jednocześnie drogie. Porównując cenę do wydajności należy zwrócić uwagę na fakt, że opony będą dostarczane do zakładu z coraz dalszych odległości, co wpłynie w znacznym stopniu na opłacalność takiego przedsięwzięcia.

Inżynierowie firmy Hydrapress z Bydgoszczy biorąc te względy pod uwagę skonstruowali i zbudowali od podstaw maszynę do mechanicznego recyklingu opon o dużej wydajności, charakteryzującą się stosunkowo małymi gabarytami i mobilnością. (Rys. 3). Maszyna z całym oprzyrządowaniem jest umieszczona w przenośnym kontenerze (Rys. 4). Mobilność urządzenia umożliwi decentralizację utylizacji opon poprzez dojazd stacji rozdrabniania do lokalnych składowisk opon. Daje to możliwość eliminacji wielkich składowisk opon, a także ogranicza ich transport na duże odległości do stacjonarnych zakładów utylizacyjnych.



Rys. 3. Maszyna do mechanicznego recyklingu opon

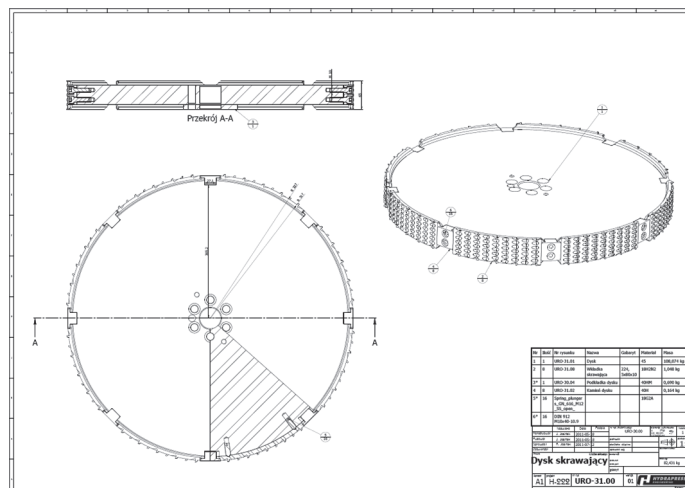


Rys. 4. Widok ogólny maszyny w kontenerze

Należy zwrócić uwagę, że jest to pierwsze takie rozwiązanie w Polsce i prawdopodobnie w UE.

Idea rozwiązania polega na tym, że trzy lub cztery opony spłaszczone są pod dużym ciśnieniem do jednego monolitycznego bloku, a następnie frezowane specjalną szybkoobrotową głowicą, opatentowaną w 2010 roku przez firmę RBB-STAL SA z Jarocina, [P.392203], (Rys. 5).

W opisanej metodzie wysokość spłaszczonych opon równa jest wysokości freza. Narzędzie ma wielokrotnie wyższe obroty od frezowanych opon, a obróbka może odbywać się współbieżnie lub przeciwbieżnie. Obecnie trwają testy, które określą optymalne parametry obróbki. Jednym z ważniejszych parametrów będzie określenie wielkości otrzymanego granulatu w funkcji obrotów opony i freza oraz posuwu.



Rys. 5. Głowica do frezowania

Charakterystyka techniczna maszyny Rotarex F&E

Zbudowana maszyna jest obiektem mechatronicznym, w którym znalazło zastosowanie wiele innowacyjnych rozwiązań technicznych z zakresu mechaniki, hydrauliki, pneumatyki, sterowania elektronicznego oraz ergonomii i BHP. Ma napęd elektryczny wrzeciona i tarcz dociskowych oraz napęd hydrauliczny z płynnie regulowaną siłą nacisku oraz prędkością pracy modułu ściskającego i posuwu całego wrzeciona. Charakteryzuje się następującymi parametrami technicznymi:

- układ pracy: pionowy,
- tryby pracy: ręczny, automatyczny,
- sterowanie CNC: sterownik FACET.

Układ pracy pionowy – ściskanie:

- nacisk maksymalny siłownika: 1 MN (100 T),
- regulacja nacisku płynna: 0,1 ÷ 1 MN (10 ÷ 100T),
- siła powrotu: 6 MN (60 T),
- skok siłownika: 800 mm,
- przeswit – odległość między płytami otwartymi: 820 mm,
- regulacja skoku siłownika mechaniczna: 0 ÷ max,
- prędkość ruchu roboczego (ściskanie): 0 ÷ 35 mm/s,
- prędkość ruchu powrotnego: 0 ÷ 82 mm/s,
- średnica maksymalna modułów ściskających: ϕ 800 mm,
- wysokość załadunku: ~1200 mm,
- wysokość rozładunku: ~900 mm,
- skok podajnika odpadów: 300 mm,
- prędkość ruchu roboczego podajnika: 0 ÷ 750 mm/s,
- prędkość ruchu powrotnego podajnika: 0 ÷ 650 mm/s

Układ pracy pionowy – obrót:

- napęd servo obrotu modułów ściskających: 5,7 Nm,
- regulacja obrotów: 20 ÷ 170 1/min,
- przełożenie przekładni planetarnej: $i = 5$,
- przełożenie przekładni pasowej: $i = 4$ (96/24).

Układ pracy poziomy – posuw:

- siła maks. siłownika posuwu wrzeciona: 0,04 MN (4 T),
- regulacja nacisku płynna: 0,001 ÷ 0,04 MN (0,1 ÷ 4T),
- siła powrotu: 0,03 kN (3 T),
- skok siłownika posuwu: 300 mm,
- regulacja skoku siłownika: 0 ÷ 300 mm,
- prędkość ruchu roboczego (wysuw): 0 ÷ 44 mm/s,
- prędkość ruchu powrotnego (powrót): 0 ÷ 78 mm/s.

Układ pracy poziomy – obrót wrzeciona:

- silnik napędu obrotu wrzeciona: 55 kW,

- regulacja obrotów: $600 \div 4000$ 1/min,
- przełożenie przekładni pasowej: $i = 1$,
- hamulec tarczowy: $\Phi 355$,
- zacisk hamulca: DV 12 FEM 12W (6A) 220V (lub 110V).

Agregat hydrauliczny:

- ciśnienie maks. w instalacji hydraulicznej: 24 MPa (240 bar),
- moc silnika agregatu napędu: 11 kW,
- napięcie zasilania z sieci: 3×400 V, 50 Hz.,
- gatunek oleju agregatu napędowego hydraulicznego: HL46,
- pojemność zbiornika oleju agregatu napędowego: 400 dm^3 .

Gabaryty urządzenia URO-00:

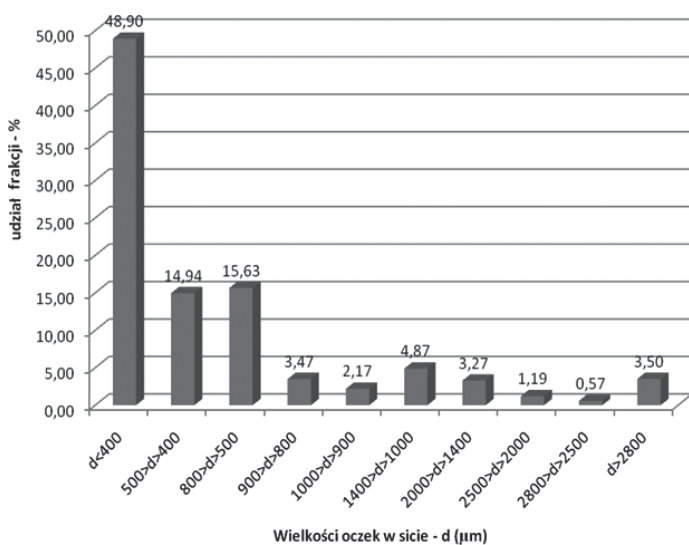
- wymiary gabarytowe urządzenia (dł. \times szer. \times wys.):
 $12192 \times 2438 \times 2591$ mm,
- masa urządzenia i agregatu bez oleju: ~ 4.700 kg

Armatura separująco-filtrująca:

- moc silnika agregatu separująco-filtrującego: 15 kW,
- moc silnika służy obrotowej agregatu filtrującego: 1,5 kW,
- moc silnika kompresora pneumatycznego: 2 kW,
- całkowita moc zainstalowana: ~ 90 kW.

Wyniki prób

Wstępne badania rozdrabniania opon okazały się bardzo obiecujące. Otrzymano duży rozrzut wielkości ziaren, co przedstawiono w tab. 1 oraz na wykresie kolumnowym (Rys. 6).



Rys. 6. Przykładowy rozkład ziarnowy produktu rozdrabniania opon gumowych [HYDRAPRESS 2012-03-02, Flizikowski i Topoliński]

Dobierając odpowiednie parametry obróbki – posuw poprzeczny, obroty narzędzia i opony – będzie można wpływać na wymiary granulatu.

Tab. 1. Masy [g] i udziały masowe frakcji wymiarowych [%] z analizy sitowej produktu rozdrabniania opon gumowych [HYDRAPRESS 2012-03-02, Flizikowski i Topoliński]

Wielkość frakcji ziarnowej d [μm]	Masa frakcji m_1 [g]	Masa frakcji m_2 [g]	Masa frakcji m_3 [g]	Średnia masa m_{sr} [g]	Udział frakcji [%]
$d < 400$	47,26	50,34	49,09	48,90	48,90
$500 > d > 400$	15,41	15,02	14,38	14,94	14,94
$800 > d > 500$	15,01	16,34	15,53	15,63	15,63
$900 > d > 800$	4,33	3,37	2,72	3,47	3,47
$1000 > d > 900$	2,55	2,18	1,79	2,17	2,17
$1400 > d > 1000$	5,37	4,65	4,58	4,87	4,87
$2000 > d > 1400$	3,84	2,72	3,26	3,27	3,27
$2500 > d > 2000$	1,31	0,92	1,33	1,19	1,19
$2800 > d > 2500$	0,60	0,52	0,59	0,57	0,57
$d > 2800$	3,02	2,44	5,03	3,50	3,50
Straty	1,30	1,50	1,70	1,50	1,50
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Wnioski

- Wydajność badanej maszyny *Rotarex* jest bardzo duża i spełnia oczekiwania konstruktorów.
- Wadą opisanego rozwiązania jest obecność w urobku cząstek drutu, które należy dodatkowo oddzielić od gumy lub przeznaczyć granulatu z drutem tam, gdzie metal nie przeszkadza w zastosowaniu granulatu, np. jako składnik asfaltu.
- Po przeprowadzeniu odpowiednich prób, w zależności od zastosowanych parametrów, będzie można otrzymywać granulaty o różnej wielkości, zgodnej z zapotrzebowaniem.

LITERATURA

- Holka H., Jarzyna T., 2008, Metoda dekompozycji i recyklingu materiałowego opon samochodowych, *Inż. Ap. Chem.* 47, nr 5, 11-12
- Radziszewski P., Kolabińska M., Piłat J., 1996, *The rheological behavior of rubber asphalt binder*, 12th International Conference on Solid Waste Technology and Management, Filadelfia, USA, Session 3D, Rubber Tire Wastes