

Henryk HOLKA, Tomasz JARZYNA

e-mail: holka@utp.edu.pl

Instytut Mechaniki i Konstrukcji Maszyn, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz

Aspekty energetyczne dekompozycji opon samochodowych metodą *Water-Jet*

Wstęp

Jednym z wyzwań ekologicznych ostatnich lat jest zagospodarowanie zużytych opon. Od października 2001 r. obowiązują dwa zasadnicze akty prawne:

- prawo ochrony środowiska,
- ustawa o odpadach.

Nakładają one obowiązek utylizacji zużytych opon samochodowych. Ustalono, że w Polsce odzysk zużytych opon po roku 2007 ma wynosić około 75%. Procesy odzyskiwania gumy z opon samochodowych utrudniają ich właściwości wymagane ze względu na warunki eksploatacji:

- odporność na działanie czynników zewnętrznych,
- duża trwałość,
- duża wytrzymałość,
- specjalna konstrukcja złożona z gumy, stalowych drutów i tkaniny tekstylnej.

W roku 2008 w krajach *Unii Europejskiej* złomowano 2600 tys. ton opon samochodowych. Ilość ta świadczy o znaczeniu problemu ich utylizacji. Znane są następujące przemysłowe metody przeróbki zużytych opon:

- bieżnikowanie,
- spalanie,
- dekompozycja.

Bieżnikowanie czyli regeneracja ich bieżników może być stosowane do opon nieuszkodzonych mechanicznie i mających zbrojenie w dobrym stanie. Opony bieżnikowane mają ograniczone zastosowanie. Mogą być stosowane do pojazdów wolnobieżnych-ciągników i samochodów ciężarowych. W Polsce jest bieżnikowanych około 15% zużytych opon. W bieżnikowanej oponie 75% masy gumy podlega recyklingowi, a pozostała usunięta w operacji szorstkowania może być wykorzystana w innych procesach technologicznych.

Spalanie jest jedną z najbardziej popularnych metod utylizacji. Spalanie zwykłych zużytych opon samochodowych umożliwia uzyskanie stosunkowo dużych ilości ciepła. Wartość opałowa gumy wynosi 32GJ/t. Najczęściej opony spalane są w piecach obrotowych stosowanych w cementowniach i celulozowniach siarczanowych oraz w kotłach zainstalowanych w elektrociepłowniach. Opony mogą być spalane w całości, co zapewnia dodatkowo oszczędność energii o wartość potrzebną do ich rozdrobnienia lub po uprzednim ich rozdrobnieniu. Rozdrobnione opony w postaci kawałków o wymiarach mniejszych niż 6 mm mogą być spalane w kotłach jako 10% dodatek do węgla.

Dekompozycja jest metodą polegającą na wydzielaniu z opony trzech frakcji: gumy, stalowego drutu i tkaniny tekstylnej. Drut i tkaniny można sklasyfikować jako odpad, natomiast guma w postaci granulatu o różnej wielkości ma wszechstronne zastosowanie.

Marginalną metodą utylizacji zużytych opon jest ich piroliza, umożliwia ona wytwarzanie z gumy ciekłych paliw.

Zarówno spalanie jak i piroliza wykorzystują energię chemiczną zawartą w oponach samochodowych i nie umożliwiają odzysku gumy. Celem pracy było ustalenie zależności funkcjonalnych w technice recykulacji opon z cięciem strumieniowym wody.

Metoda *Water-Jet*

Jak już wspomniano na wstępie jedyną powszechnie stosowaną metodą inną niż spalanie jest rycykling polegający na dekompozycji opon na trzy frakcje. Pierwszym etapem tej technologii jest rozdrobnienie. Pocięte kawałki opon można przeznaczyć do spalania lub zakupić dwie następne maszyny których efektem działania będzie sproszkowany granulatu bez drutów. Lepszym rozwiązaniem, ale dużo droższym jest zakup

kompletnej linii technologicznej. Koszt kompletnej linii jest wysoki, co często odstrasza potencjalnych zainteresowanych. Należy również dodać, że jedną z wad tej metody jest fakt, że nie można w 100% oddzielić stali od pozostałych frakcji opony, a tym samym wykorzystanie granulatu do dalszych zastosowań jest ograniczone.

Zupełnie nową metodą jest dekompozycja opon za pomocą strumienia wody o ciśnieniu powyżej 200 MPa wypływającego z głowic natryskowych.

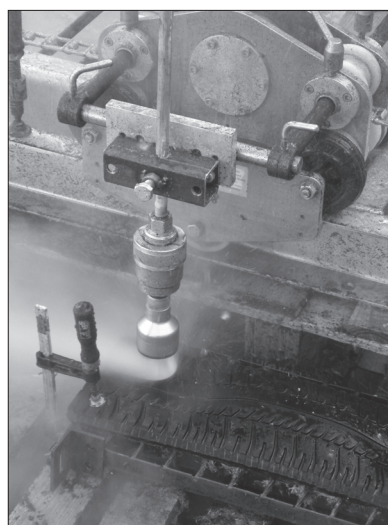
W *Zakładzie Mechaniki* prowadzone są liczne prace dotyczące zarówno aspektów fizykomechanicznych procesu rozdrabniania, jak również technologicznych i konstrukcyjnych. Liczne badania eksperymentalne wykazały szereg zalet wspomnianej metody, takich jak:

- całkowita separacja drutów stalowych od pozostałych frakcji opony (Rys. 1),
- duży stopień rozdrobnienia gumy, która w takiej postaci może być bezpośrednio wykorzystana.



Rys. 1. Opona po zastosowaniu metody *Water-Jet*

Przykład stanowiska z wysokociśnieniową głowicą natryskową przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Stanowisko badawcze z głowicą wysokociśnieniową

Maszyna stosowana do separacji opon składa się z trzech oddzielnych podzespołów:

- główne stanowisko z głowicami strumieniowymi,
- pompa wysokociśnieniowa zasilająca głowicę,
- dwa zbiorniki wodne.

Najdroższym elementem z wymienionych podzespołów jest pompa. System pracuje w obiegu zamkniętym wody, a zużycie wody wynosi około 60 l/min. W związku z powyższym w urządzeniu konieczne jest zastosowanie dwóch zbiorników wodnych: pierwszy do wstępnej separacji wody od zawiesiny gumowej, zbiornik drugi jako magazyn wody.

Analiza energetyczna dekompozycji opon samochodowych

Jednym z podstawowych zadań procesu usuwania bieżnika był dobór pompy: moc i wydatek wody. Punktem wyjścia analizy było jednak określenie minimalnego ciśnienia strugi wody wypływającej gumę. Na podstawie przeprowadzonych doświadczeń ustalono, że minimalne ciśnienie jakie należy stosować usuwając warstwę gumy jest rzędu 200 MPa.

Wartość strumienia masy \dot{m} [kg/s], wypływającej z dyszy wody obliczono ze wzoru:

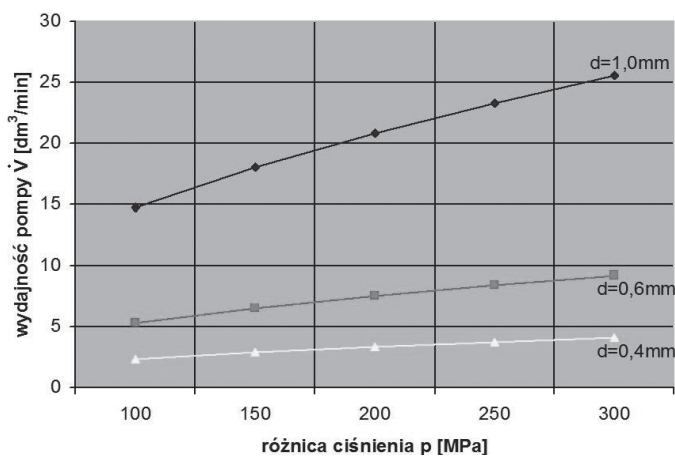
$$\dot{m} = \alpha \varepsilon F \sqrt{2\rho p} \quad (1)$$

gdzie:

- α – współczynnik oporu przepływu przez dyszę zależny od cech geometrycznych dyszy,
- ε – liczba ekspansji uwzględniająca konstrukcję strumienia wody przepływającej przez dyszę (dla wody $\varepsilon \cong 1$),
- F – powierzchnia otworu dyszy, [m²],
- d – średnica otworu dyszy, [m],
- p – różnica ciśnienia po stronie wlotowej i wylotowej dyszy, [Pa],
- ρ – gęstość wody, [kg/m³], $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$.

Ze wzoru (1) obliczono wydatki dysz przy różnych wartościach różnicy ciśnienia $p = 100, 150, 200, 250, 300 \text{ MPa}$ i średnic $d = 1,00; 0,6; 0,4 \text{ mm}$.

Przebieg zależności $\dot{V} = f(p)$ przedstawiono na wykresie zamieszczonym na rys. 3.



Rys. 3. Zależność wydatku dyszy od różnicy ciśnień

Prędkość v [m/s], wody wypływającej z dyszy określono ze wzoru

$$v = \alpha \sqrt{\frac{2p}{\rho}} \quad (2)$$

gdzie:

- α – współczynnik oporu przepływu,
- p – różnica ciśnienia, [Pa],
- ρ – gęstość wody, [kg/m³].

Wyniki obliczeń podano w tab. 1.

Tab. 1. Wartości prędkości wypływu wody z otworu dyszy o średnicy 1 mm

Ciśnienie [MPa]	100	150	200	250	300
Prędkość wody [m/s]	313	383,4	442,7	495	542,2

Prędkość ta maleje wraz ze wzrostem odległości strumienia wody od dyszy proporcjonalnie do ilorazu l/l_2 – gdzie l – odległość od wylotu dyszy.

Zapotrzebowanie mocy N [kW] do napędu pompy tłoczącej wodę do dysz natryskowych obliczono z zależności:

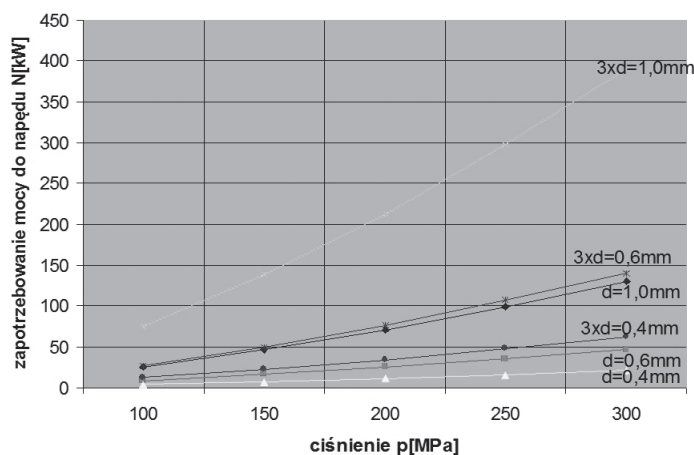
$$N = \frac{pV}{\eta} \quad (3)$$

gdzie:

- p – ciśnienie wody w przewodzie tłoczonym pompy, [kPa],
- V – strumień objętości tłoczonej wody, [m³·s⁻¹],
- η – sprawność ogólna pompy równa iloczynowi sprawności wolumetrycznej η_w i mechanicznej η_m

$$\eta = \eta_w \eta_m \quad (4)$$

Dla pomp stosowanych w instalacjach do cięcia strumieniem wody o wysokim ciśnieniu $\eta = 0,98$. Zapotrzebowanie mocy do napędu pompy tłoczącej wodę obliczone na podstawie wzoru (3) pokazano na rys. 4.



Rys. 4. Zależność wydatku dyszy od różnicy ciśnień

Zapotrzebowanie mocy wzrasta bardzo szybko – wraz ze wzrostem ciśnienia; dla dyszy o średnicy 1,0 mm. Dla dysz o średnicach 0,6 mm i 0,4 mm przyrost ten jest mniejszy.

Bardzo blisko siebie przebiegają, na wykresie, linie zależności zapotrzebowania mocy od wartości ciśnienia dla pojedynczej dyszy o średnicy $d = 1,0 \text{ mm}$ i dla głowicy z zespołem trzech dysz o średnicach $d = 0,6 \text{ mm}$ ($3 \times d = 0,6 \text{ mm}$).

Ze względu na efekt obróbki opony oraz dążenie do obniżenia zużycia zapotrzebowania mocy do napędu pompy, należy w badaniach zastosować układy $3 \times d = 0,6 \text{ mm}$ i $3 \times d = 0,4 \text{ mm}$.

Wnioski

- Na podstawie doświadczeń ustalono, że minimalna efektywna wartość ciśnienia strugi wody usuwającej warstwę gumy wynosi około 200 MPa.
- Na podstawie określonego ciśnienia, mocy i zapotrzebowania wody dobrać można pompę i jej parametry.
- Poważnym problemem konstrukcyjnym jest duże zapotrzebowanie wody wynoszące około 60 l/min, co zmusza do zastosowania obiegu wtórnego z dwoma dużymi zbiornikami wody.

LITERATURA

- [1] H. Holka, T. Jarzyna: Inż. Ap. Chem. 47, nr 5, 11 (2008).
- [2] H. Holka, T. Jarzyna: Rozdrabnianie opon za pomocą technologii water-jet. II Międzynarodowa Konferencja Naukowa, Ekologia-Ekośrodowisko Pracy-Ekodywytwarzanie, Opole 2008.
- [3] A. Stryjecki: STAL Metale & Nowe Technologie, nr 5-6 (2008).
- [4] H. Holka, zgłoszenie patentowe nr P371170 pt. „Metoda utylizacji opon”
- [5] H. Holka, T. Jarzyna: Inż. Ap. Chem., 48, nr 2, 52 (2009).

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007-2010 jako projekt rozwojowy.