

Henryk HOLKA<sup>1</sup>  
Janusz WEŁNOWSKI<sup>2</sup>

## NIEKONWENCJONALNA METODA UTYLIZACJI OPON

Zagadnienie utylizacji opon jest jednym z ważniejszych problemów światowej gospodarki w sferze ekologicznej. W niniejszej pracy opisano nową, oryginalną technologię utylizacji. W metodzie, nazwanej ze względu na jej cechy *Rotarex Fast & Easy*, wykorzystano frezowanie. Zaprezentowano narzędzie do obróbki oraz opisano skonstruowaną i wyprodukowaną maszynę, realizującą tę technologię.

### 1. WSTĘP

Zużyte opony stanowią odpad będący dużym problemem ekologicznym. Regulacje prawne wprowadzone w tej dziedzinie oparte są na Dyrektywie 96/61/EC Unii Europejskiej w sprawie zintegrowanego zapobiegania i kontroli zanieczyszczeń środowiska. Obecnie w krajach Unii Europejskiej złomuje się 2.600 tys. ton opon samochodowych rocznie. Liczba ta świadczy o znaczeniu problemu ich utylizacji [1].

Zdecydowana większość zużytych opon, około 70%, przeznaczają się na spalanie. Jest to tzw. odzysk energetyczny. Spalanie umożliwia uzyskanie stosunkowo dużych ilości ciepła, gdyż wartość opałowa gumy wynosi 32GJ/Mg i jest zbliżona do wartości opałowej węgla. Spalanie przeprowadza się w piecach obrotowych stosowanych w cementowniach i celulozowniach oraz w kotłach zainstalowanych w elektrociepłowniach. Jest to spalanie wysokotemperaturowe, gwarantujące małą ilość zanieczyszczeń. W chwili obecnej jest to w zasadzie najbardziej ekonomiczny sposób zagospodarowywania zużytych opon i jak niektóre analizy wskazują, najbardziej ekologiczny. Cementownie, które spalają zużyte opony w całości lub pocięte mogą zwiększać przyjmowany tonaż. Niestety ze względów logistycznych zbyt daleki i tym samym zbyt kosztowny transport i nie wszystkie opony udaje się spalić. Pozostałą część należy więc przerobić w inny sposób. W jednym z częściej realizowanych sposobów opony przerabia się na granulaty i jest to tzw. recykling materiałowy. Wykorzystanie granulatu jest bardzo różnorodne, gdyż można stosować go m.in. jako materiał do [2, 3]:

- nawierzchni obiektów sportowych,

<sup>1</sup> Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy ul. Kaliskiego 7, 85-789 Bydgoszcz

<sup>2</sup> Hydrapress Sp. z o.o. ul. Azalowa 23, 86-005 Białe Błota

- asfaltu wzbogacanego granulatem,
- elementów wibroizolacji i izolacji akustycznej,
- innych wyrobów gumowych.

W skali przemysłowej przeróbkę zużytych opon na granulak dokonuje się głównie realizując metody:

- mechaniczną,
- kriogeniczną.

Metoda mechanicznego recyklingu materiałowego polega na dzieleniu opony na części w kolejnych operacjach:

- rozdrabniania opony na kawałki o wymiarach od 50 do 80mm,
- strzępienia czyli dalszego rozdrobnienia opony,
- granulacji,
- proszkowania granulatu do wymiarów od 0,15 do 0,8mm.

Oddzielenie stalowego drutu od czystej gumy oraz frakcji tekstylnych w tej technologii następuje podczas drugiej i trzeciej operacji. Należy jednak zwrócić uwagę na to, że koszt budowy tego typu zakładu o dużej wydajności wynosi około 5 milionów euro. Ponadto, duża wydajność takiego zakładu powoduje „wyczyszczenie opon” z najbliższych okolic, a na efektywność ekonomiczną wpływają dodatkowe koszty dowozu opon z obszarów odległych.

Druga z wymienionych metod – kriogeniczna polega na zamrożeniu całych opon do temperatury ok.  $-85^{\circ}\text{C}$  a następnie ich rozbiciu na drobne cząsteczki. Powstają pierwsze zakłady realizujące tę technologię, np. Orzeł S.A. w Ćmiłowie koło Lublina. W porównaniu do metod mechanicznych metoda ta charakteryzuje się dużym zapotrzebowaniem energii.

Z powyższej, krótkiej analizy stanu zagadnienia wynika potrzeba poszukiwania takiej metody utylizacji opon, która eliminowałaby lub minimalizowała powyżej wskazane niedogodności.

## 2. ALTERNATYWNE METODY RECYKLINGU MATERIAŁOWEGO OPON

### 2.1.METODA WATER-JET

W Zakładzie Mechaniki Stosowanej Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy od paru lat prowadzone są badania dotyczące opracowania technologii dekompozycji opon samochodowych za pomocą wysokociśnieniowej strugi wody. Początek badań nad tą tematyką wiąże się ze zgłoszeniem patentowym z roku 2004 i otrzymanym następnie w roku 2010 patentem [4]. Zaproponowana technologia polega na odcięciu części bocznych opony, a następnie na obróbce samego bieżnika. Rozpłaszczony bieżnik umieszczano na stole roboczym, po którym rolki napędzające przesuwają bieżnik pod głowice robocze. Wyptywający z dyszy strumień wody o ciśnieniu powyżej 200MPa, uderzając w powierzchnię opony powodował rozdrobnienie gumy i oddzielenie jej od drutów zbrojenia. Uzyskane w ten sposób cząstki gumy mają średni wymiar ok. 0,15mm

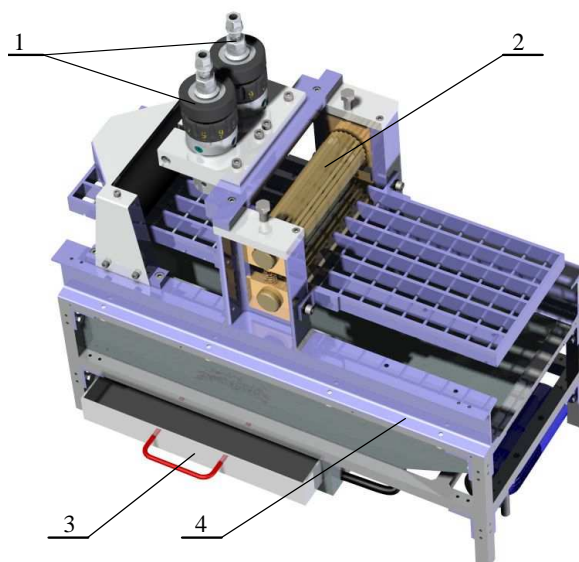
i są zupełnie czyste, bez drobin drutu. Jednostkowe zużycie energii do napędu pompy wysokociśnieniowej zasilającej wodą dysze natryskowe wynosi 180kWh/Mg i jest dużo mniejsze niż w mechanicznym sposobie odzysku gumy z opon.

Wyływający pod dużym ciśnieniem strumień czystej wody pełni rolę ostrza tnącego. Prędkość wody, która definiuje energię potrzebną do cięcia gumy, zależna jest od ciśnienia wytwarzanego przez pompę i od średnicy dyszy. Przykładowe wartości dotyczące tej zależności przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Prędkość wypływu wody z otworu dyszy o średnicy 1mm przy różnych ciśnieniach  
Table 1. Speed of water flow from the nozzle hole of 1 mm diameter at different pressures

Ciśnienie MPa	100	150	200	250	300
Prędkość wody m/s	313,0	383,4	442,7	495,0	542,2

Na podstawie doświadczeń ustalono, że efektywna wartość ciśnienia strugi wody usuwającej gumę wynosi ok.200MPa, co ma duży wpływ na koszty zakupu pompy. Drugą niedogodnością metody jest duże zapotrzebowanie wody, wynoszące około 60 l/min, które wymusza zastosowanie obiegu wtórnego z dużym zbiornikiem wody. Po wielu próbach i badaniach zastosowano obrotowe głowice trójdyszowe. Koncepcję maszyny, której prototyp w wersji z trzema głowicami roboczymi wykonano i zweryfikowano, pokazuje rysunek 1, a przykładowe rezultaty obróbki na maszynie z trzema głowicami roboczymi rysunek 2.



Rys. 1. Urządzenie do utylizacji opon metodą water-jet: 1 – głowice robocze, 2 – wałki podające,  
3 – zbiornik granulatu, 4 – konstrukcja nośna

Fig.1. Device for tire utilization by means of water-jet method: 1 – working heads, 2 – supplying shafts,  
3 – granulated product reservoir, 4 – supporting structure

Na uwagę zasługuje kompaktowa konstrukcja urządzenia, dzięki której ma ono małe gabaryty. Szczegółowy opis metody jak również konstrukcji urządzenia do utylizacji opon metoda water-jet zawarty jest w pracy [5].



Rys. 2. Opona po obróbce metodą *Water-jet*  
Fig.2. The tire after machining using *Water-jet* method

Na rys. 2 widoczne są odkryte druty po usunięciu warstwy gumy. Są one dokładnie oczyszczone, lecz nieuszkodzone, dzięki czemu uzyskany granulat nie zawiera nawet śladowych cząstek metalowych.

## 2.2. METODA ROTAREX FAST & EASY

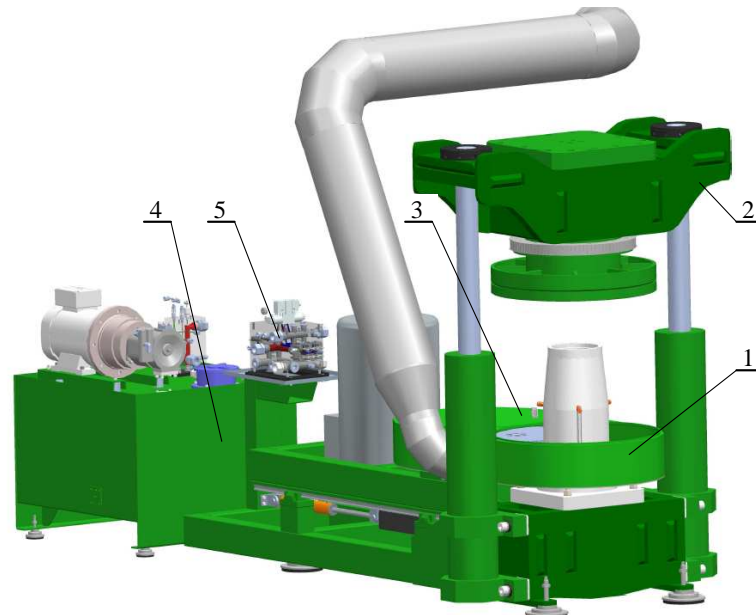
Przesłanką do poszukiwania nowej metody mechanicznego recyklingu opon, były pewne mankamenty opisanej powyżej metody *Water-jet*. Podstawowymi założeniami, które miały definiować nową technologię i maszynę były:

- małe zapotrzebowanie mocy,
- duża wydajność,
- małe gabaryty, aby maszyna była mobilna.

Technologia jaką przyjęto polega na tym, że 3 lub 4 opony spłaszczone są pod dużym ciśnieniem do jednego monolitycznego bloku o wysokości ok. 65mm, który jest następnie frezowany specjalnym szybkoobrotowym narzędziem. Jest to nowa, oryginalna technologia, nigdzie jeszcze nie prezentowana. Maszyna o takich cechach konstrukcyjnych i użytkowych (rys.3), realizująca tego typu proces technologiczny nie była dotąd znana. Dlatego też było to pewnego rodzaju wyzwanie dla konstruktorów.

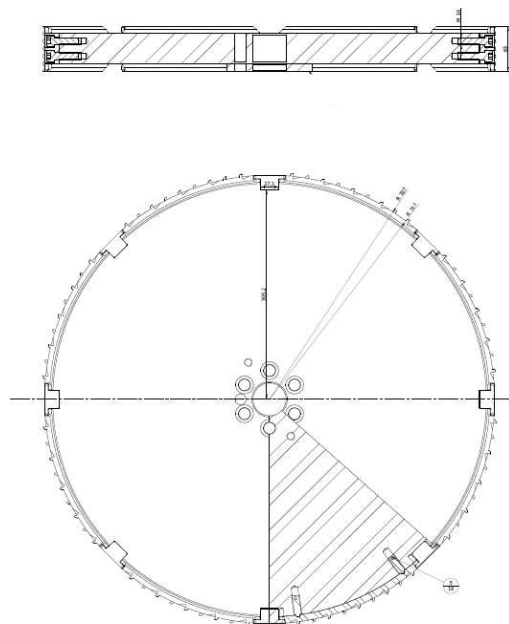
Opracowano także nowe narzędzie, które przedstawiono na rys. 4. Jest to głowica składająca się z tarczy z umieszczonymi na jej obwodzie wymiennymi ostrzami skrawającymi. Prędkość obwodowa tarczy o średnicy 650mm wynosi 80m/s, a szerokość segmentów skrawających 65mm. Taka postać konstrukcyjna narzędzia została w 2010 roku opatentowana – P 392203.

W wyniku obróbki podczas jednej operacji rozdrabniania otrzymuje się cząstki gumy o wymiarach 0,1 do 0,3 mm. W strukturze urządzenia przewidziano urządzenie do separacji gumy od drutów i materiałów tekstylnych. Do strefy skrawania tłoczone jest powietrze, które transportuje produkty rozdrabniania do urządzenia separacji wstępnej, a następnie do filtrocyklonu. W urządzeniach tych następuje oddzielenie produktów rozdrabniania od powietrza.



Rys. 3. Maszyna do realizacji technologii wg metody *Rotarex Fast & Easy*: 1 – stół z trzpieniem, 2 – docisk hydrauliczny, 3 – narzędzie skrawające, 4 – zasilacz hydrauliczny, 5 – rozdzielacz hydrauliczny  
 Fig. 3. Machine for method *Rotarex Fast & Easy* realization: 1 – table with mandrel, hydraulic clamp, 3 – cutting tool, 4 – hydraulic feeder, 5 – hydraulic divider

Na podkreślenie zasługuje to, że całe zaprojektowane urządzenie mieści się w typowym kontenerze transportowym. Spodziewana wydajność to około 500kg opon/godz, przy zainstalowanej mocy rzędu 90kW.



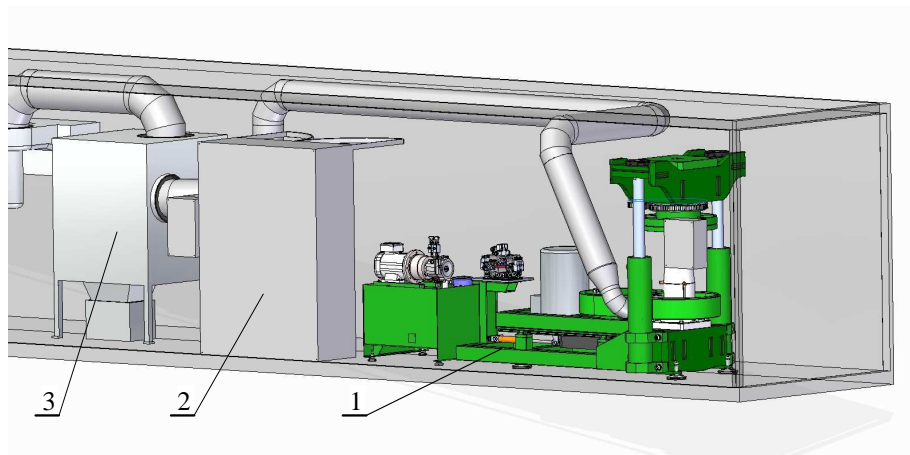
Rys. 4. Głowica do frezowania wg. P 392203  
 Fig. 4. The cutter disk acc. to P 392203

Urządzenie jest obiektem mechatronicznym, w którym zastosowano wiele innowacyjnych rozwiązań technicznych z zakresu: mechaniki, hydrauliki, pneumatyki, sterowania elektronicznego oraz ergonomii. Uwzględniono także zasady BHP. Mobilność urządzenia umożliwia decentralizację utylizacji opon, poprzez lokowanie stacji rozdrabniania w miejscach zbiórki opon. Daje to możliwość eliminacji wielkich składowisk, a także ograniczenia transportu opon na duże odległości do stacjonarnych firm utylizacyjnych.

Maszyna Rotarex F&E posiada napęd elektryczny wrzeciona i tarcz dociskowych oraz napęd hydrauliczny z płynnie regulowaną siłą nacisku w zakresie 0,1÷1MN (10÷100T), prędkością pracy modułu ściskającego i posuwu całego wrzeciona. Charakteryzuje się następującymi możliwościami, wyposażeniem i parametrami technicznymi:

- tryby pracy RĘCZNY, AUTOMATYCZNY,
- sterowanie CNC sterownikiem FATEC,
- regulacja obrotów 600-4000 1/min,
- ciśnienie maksymalne w instalacji hydraulicznej 24MPa,
- wymiary gabarytowe urządzenia (dł. x szer. x wys.) 12192 x 2438 x 2591mm,
- całkowita moc zainstalowana ~90kW.

Konstruując maszynę jej konstruktorzy przyjęli założenie, że cała maszyna wraz z dodatkowym wyposażeniem ma zmieścić się w przenośnym kontenerze (rys. 5).



Rys. 5. Rozmieszczenie maszyny i urządzeń peryferyjnych w kontenerze: 1 – obrabiarka, 2 – szafa sterująca, 3 – urządzenie filtrująco-wentylacyjne

Fig.5. Arrangement of machine and external devices in the container: 1 – machine-tool, 2 – control cubicle, 3 – filtering-ventilating device

Dzięki takiemu rozwiązaniu całe stanowisko do utylizacji opon jest mobilne i w każdej chwili gotowe do przemieszczenia w dowolne inne miejsce.

### 3. PODSUMOWANIE

Prace koncepcyjne i projektowe nad urządzeniami do realizacji technologii wg metody *Water-Jet* i *Rotarex Fast & Easy* poprzedzone były rozpoznaniem runku krajowego, które

wykazało brak w Polsce producentów małych mobilnych maszyn do recyklingu materiałowego opon. Można zatem stwierdzić, że zaproponowane w niniejszej pracy metody i urządzenia wypełniają istniejącą lukę w działalności na rzecz recyklingu opon.

Próby pracą, zrealizowane w ramach weryfikacji eksperymentalnej urządzeń prototypowych, wykazały, że wydajność metody *Rotarex* jest bardzo duża i jest to niewątpliwie jej zaletą. Pewną niedoskonałością tej metody jest skład otrzymywanego granulatu, który może być, bez dalszego przetwarzania, wykorzystywany wszędzie tam, gdzie cząsteczki metalu nie są przeszkodą w jego zastosowaniu, np. jako składnik asfaltu.

#### LITERATURA

- [1] PYSKŁO L., PARASIEWICZ W., 2004, *Odzysk i recykling wyrobów gumowych*, *Recykling*, 11/2004, 52.
- [2] CZUPRYŃSKI B., SADOWSKA J., LISZKOWSKA J., CZUPRYŃSKI M., 2001, *Badania nad możliwością stosowania odpadów gumowych jako napelniaczy pianek poliuretanowo-poliizocyjanurowych*. w: Flizikowski J. (red.), *Recykulacja w budowie maszyn*. Wydawnictwo Bydgoskiego Towarzystwa Naukowego, Bydgoszcz, 173-182.
- [3] RADZISZEWSKI P., KOLABIŃSKA M., PIŁAT J., 1996, *The rheological behavior of rubber asphalt binder*, Twelfth International Conference on Solid Waste Technology and Management, Filadelfia, USA, Session 3D, Rubber Tire Wastes.
- [4] HOLKA H., 2010, *Metoda utylizacji opon*, Patent 208101.
- [5] HOLKA H., JARZYNA T., 2011, *Metoda dekompozycji i recyklingu materiałowego opon samochodowych*, *Inżynieria Aparatura Chemiczna*, 5, 11-12.

#### NON-CONVENTIONAL METHOD OF TIRES UTILIZATION

The utilization of the tires is one of the most important world task in ecological sphere. New, original technology of tires utilization have been described in this paper. In described method, called according to its features *Rotarex Fast & Easy* milling is used. Designed and produced machine-tool have been presented, as well as special tool were described too.