

Krzysztof KRÓLIKOWSKI<sup>1</sup>, Kazimierz PISZCZEK<sup>1</sup>, Tomasz ŻUK<sup>2</sup>

e-mail: mankris4@wp.pl

<sup>1</sup> Zakład Technologii Polimerów, Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz<sup>2</sup> Instytut Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników, Toruń

## Rozdział mieszanin tworzyw polimerowych o różnej twardości

### Wstęp

Jedną z najważniejszych operacji jednostkowych recyklingu materiałowego odpadów z tworzyw polimerowych jest ich rozdział na jednorodną frakcję o określonym składzie. Duża czystość powstających w wyniku tego procesu materiałów polimerowych jest głównym założeniem recyklingu mechanicznego przy jednoczesnym zachowaniu efektywności ekonomicznej [Kozłowski i Rydarowski, 2012]. Proces ten jest niezbędny ze względu na zróżnicowane właściwości odpadów tworzywowych. Tworzywa polimerowe przeznaczone do różnorodnych zastosowań charakteryzują znaczne różnice w budowie chemicznej oraz właściwościach przetwórczych i użytkowych. Dlatego od efektywności rozdziału zależy ilość tworzyw nadających się do ponownego wykorzystania lub przeznaczonych do utylizacji. O przydatności recyklatu jako surowca do produkcji innego wyrobu decyduje jednorodność jego składu i czystość [Kozłowski, 2006].

Niezbędnym etapem każdego procesu separacji składników mieszanin jest ich identyfikacja. Mieszaniny tworzyw można rozdzielić w sposób szybki i skuteczny stosując urządzenia wykorzystujące różne rodzaje detektorów określających rodzaj polimeru i substancji dodatkowych. Warunkiem użyteczności technologii jest prosta technika badania, duża szybkość identyfikacji oraz duża niezawodność [Błędzki, 1997]. W celu ułatwienia rozpoznawania materiałów polimerowych użytego do produkcji danego wyrobu wprowadzono w Polsce obowiązkowe znakowanie wyrobów i ich części [Kijeński i in., 2011].

Wybór technologii sortowania zależy od lokalizacji i metody pozyskiwania, wielkości strumienia odpadów oraz od przeznaczenia i sposobu dalszego przetwarzania. Procesy rozdziału, w zależności od wielkości elementów rozdzielanych, dzieli się na makrosortowanie wytworów nierozdrobnionych oraz mikrosortowanie wytworów rozdrobnionych, najczęściej do postaci płatków. W ciągu ostatnich kilku lat wprowadzono oraz ulepszone wiele metod rozdziału materiałów odpadowych.

Odpowiedni dobór techniki separacji jest kluczem do otrzymania surowców wtórnych o pożądanym stopniu czystości. Wybór skutecznej techniki zależy od różnicy we właściwościach fizycznych pomiędzy poszczególnymi składnikami.

W dostępnej literaturze brak jest informacji na temat rozdziału opartego na różnicy w twardości. Dlatego celem niniejszej pracy było opracowanie nowej techniki rozdziału mieszanin tworzyw polimerowych w oparciu o różnice twardości poszczególnych składników.

### Metody rozdziału

Do powszechnie stosowanych metod rozdziału należą: sortowanie ręczne, automatyczne sortowanie optyczne, rozdział na podstawie różnic gęstości, rozpuszczalności, podatności na elektryzowanie i różnej temperatury topnienia [Rabek, 2009; Żenkiewicz i in., 2012].

**Sortowanie ręczne** – składniki rozdziela się ręcznie na podstawie oznaczeń (symboli) na wyrobach. W sposobie tym duży wpływ na dokładność mają kwalifikacje pracownika [Rabek, 2009; Kozłowski, 1998].

**Automatyczne sortowanie optyczne** – linia do sortowania wyposażona jest w różnego typu skanery wykorzystujące promieniowanie rentgenowskie lub promieniowanie UV, spektroskopię w bliskiej podczerwieni, spektroskopię Ramana, właściwości optyczne lub termooptyczne. [Kozłowski, 2006].

**Rozdział na podstawie różnicy gęstości** – do najważniejszych zalicza się rozdział w obojętnej cieczy na zasadzie *phywa – tonie* oraz rozdział w wirówkach sortujących i hydrocyklonach. Separacja gęstościowa

może być również przeprowadzana na sucho metodą stołu powietrznego [Tall, 2000; Kozłowski i Rydarowski, 2012].

**Rozdział przez flotację** – w metodzie tej wykorzystuje się właściwości hydrofilowe i hydrofobowe rozdrobnionych składników mieszanin [Błędzki, 1997].

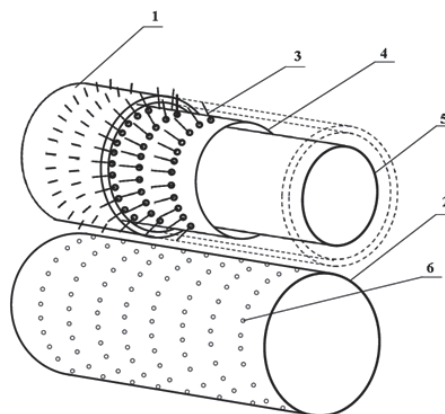
**Elektrostatyczne metody rozdziału** – rozdział na poszczególne strumienie materiałowe jest możliwy dzięki różnicy we właściwościach tryboelektrycznych tworzyw polimerów. W wyniku naelektryzowania poszczególnych składników mieszaniny, w procesie kontaktowo-tarciowym, na powierzchni tworzyw gromadzą się dodatnie oraz ujemne ładunki elektryczne. W polu wysokiego napięcia elektrostatycznego separatora płytowego oraz separatora walcowego, odpowiednio naelektryzowane cząsteczki tworzyw ulegają odseparowaniu, przemieszczając się w kierunku odpowiedniej elektrody [Żenkiewicz i in., 2012; Tilmatieme i in., 2010; Żenkiewicz i Żuk, 2014; Żenkiewicz i in., 2014].

**Metoda selektywnego rozpuszczania** – zastosowanie odpowiedniego rozpuszczalnika oraz regulacja temperatury pozwalają na wyodrębnienie danego polimeru ze składników mieszaniny poprzez selektywne rozpuszczanie [Zinowicz i in., 2003].

**Rozdział na podstawie różnicy temperatury topnienia** – rozdział następuje w wyniku przylegania nadtopionych składników mieszaniny tworzyw (tworzywo o niższej temperaturze topnienia) do powierzchni metalowych transportera.

### Separator igłowy i zasada jego działania

Materiały polimerowe wykazują różnice w twardości. Cecha ta pozwoliła na opracowanie konstrukcji rozdzielacza igłowego opartego na zróżnicowanej podatności na przebicie włgłębniakiem igłowym. Istotę konstrukcji takiego rozdzielacza przedstawiono na rys. 1 [Królikowski i in., 2013].

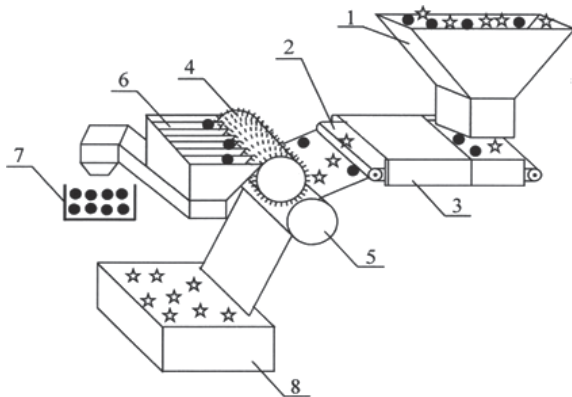


Rys. 1. Rozdzielacz igłowy, walce: 1 – walec górny (przebijający), 2 – walec dolny (transportujący), 3 – igły, 4 – gumowy cylinder, 5 – stalowy cylinder, 6 – otwory w miejscach styku z igłami [Królikowski i in., Zgłoszenie patentowe 2013]

Walec górny – 1 wyposażony jest w igły – 3 o odpowiednim profilu umożliwiającym przebicie oraz zaczepienie tworzywa w sposób umożliwiający oderwanie elementów tworzyw przez układ zgarniaczy. Metalowa powierzchnia walca transportującego – 2 jest pokryta tworzywem elastomerowym i zawiera otwory – 6 odpowiadające punktom styku igieł walca górnego. W metalowych ścianach walca górnego znajdują się otwory do suwliwego umieszczenia igieł przebijających. Takie wykonanie korpusu walca zabezpiecza igły przed wyginaniem podczas przebijania tworzywa. We wnętrzu walca górnego osadzony jest gumo-

wy cylinder – 4 otaczający mniejszy stalowy cylinder przymocowany wraz z cylindrem gumowym do ścian bocznych zewnętrznego. Siłę nacisku, z jaką igły mogą oddziaływać na rozdzielaną mieszaninę można regulować zmieniając ciśnienie gazu wprowadzanego do cylindra gumowego.

Na rys. 2 przedstawiono schemat urządzenia [Królikowski i in., 2013]. Jest ono wyposażone w specjalnie wyprofilowany lej zasypowy – 1 rozprowadzający mieszaninę tworzyw na całej szerokości taśmy transportującej – 2. Transporter wyposażony jest w układ grzewczy – 3. Taśma wprowadza rozdzielaną mieszaninę tworzyw na walec dolny – 5. Igły walca górnego – 4 przebijają tworzywo o mniejszej twardości. Walce obracają się w przeciwnych kierunkach z tą samą prędkością obrotową w sposób umożliwiający ciągłe pobieranie cząstek mieszaniny.



Rys. 2. Schemat rozdzielacza igłowego: 1 – lej zasypowy, 2 – przenośnik taśmowy, 3 – urządzenie grzewcze, 5 – walec dolny, 4 – walec górny (przebijający), 6 – układ zgarniaczy, 7 – pojemnik A, 8 – pojemnik B [Królikowski i in., 2013]

Igły na walcu górnym rozmieszczone są w rzędach. Pomiedzy rzęдами igieł znajdują się elementy układu zgarniającego – 6 w postaci płaskowników wygiętych w kształt półkolisty umieszczonych w bliskiej odległości od powierzchni tego walca w sposób umożliwiający zgarnianie cząstek tworzywa zatrzymanych na igłach. Układ zgarniający wyposażony jest dodatkowo w płytę kierującą oddzielone tworzywo do pojemnika A – 7. Składniki mieszaniny o większej twardości zbierane są w pojemniku B – 8. Dla mieszanin zawierających więcej niż dwie frakcje składników rozdział następuje w kolejnym systemie walców wyposażonym w igły o większej sile nacisku. W miarę potrzeby rozdział można prowadzić w temperaturze otoczenia lub w temperaturze podwyższonej.

## Badania doświadczalne

### Stanowisko badawcze

Charakterystyka prototypowego rozdzielacza igłowego: średnica walców wynosiła 192 mm, a odległość między walcami można było regulować w zakresie od 0 do 30 mm, a prędkość obrotowa walców w zakresie od 5 do 16 min<sup>-1</sup>. W walcu górnym zamontowano trzy rzędy igieł, po 46 w każdym rzędzie. Odległość między igłami wynosiła 14 mm, odległość między rzędami 12 mm. Taśmę o szerokości 150 mm można było przesuwac z prędkością regulowaną w zakresie od 3 do 10 m/min.

### Mieszaniny modelowe

Przeprowadzono testy skuteczności rozdziału dwóch modelowych mieszanin tworzyw o różnej twardości.

Rozdzielano mieszaninę 1 składającą się z 50% wag. termoplastycznego elastomeru poliuretanowego (TPU) i 50% wag. plastyfikowanego poli(chloroku winylu) (PVC). Oba materiały zostały rozdrobnione ręcznie poprzez pocięcie wyprasek o grubości około 1 mm na nieregularne płytki o wymiarach około 15×28 mm i wymieszane. Rozdział prowadzono w temperaturze pokojowej.

Przeprowadzono także rozdział mieszaniny 2 złożonej z 50% wag. polietylenu o małej gęstości (PELD) oraz 50% wag. kopolimeru akrylonitryl-butadien-styren (ABS). Mieszaninę przygotowano podobnie

jak poprzednio, jednak przed rozdzielaniem została ogrzana do temp. 70°C.

## Wyniki badań

**Mieszanina 1.** Stwierdzono, że płytki TPU były przebijane przez igły i zgarniane do pojemnika A, natomiast płytki PVC były transportowane do pojemnika B. Stwierdzono, że po rozdziale wydzielony TPU zawiera około 2% PVC, natomiast PVC zebrany w pojemniku B zawiera około 5% TPU.

**Mieszanina 2.** Płytki PELD były oddzielone od cząstek ABS poprzez przebicie cząstek PELD przez igły rozdzielacza, płytki ABS przechodziły do pojemnika B. Stwierdzono, że po rozdziale wydzielony PELD zawiera około 2% ABS, natomiast ABS zebrany w pojemniku B zawiera około 6% PELD.

W przypadku obu mieszanin stwierdzono, że do pojemnika gromadzącego tworzywo o większej twardości przedostają się płytki tworzywa o mniejszej gęstości tylko wówczas, gdy podczas przejścia przez system walców nie są one dostępne dla igieł wskutek przesłaniania płytkami o tworzywa o większej twardości lub wówczas, gdy ich rozmiary są mniejsze niż odstęp między igłami.

## Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że rozdział mieszanin tworzyw polimerowych o różnej twardości można skutecznie prowadzić na rozdzielaczu igłowym.

Skuteczność rozdziału i pożądaną efektywność rozdzielacza można uzyskać poprzez regulację siły nacisku igieł, prędkości obrotowej walców, szybkości przesuwu taśmy transportera, temperatury, stopnia rozdrobnienia materiału i odległości między walcami.

Można sądzić, że zaproponowana metoda będzie szczególnie przydatna wówczas, gdy strumień opadów złożony będzie z tworzyw o znacznie zróżnicowanej twardości, np. odpadów pochodzących ze strzępienia samochodów osobowych.

## LITERATURA

- Błędzi A.K. (red.) 1997. *Recykling materiałów polimerowych*. WNT, Warszawa
- Kijęński J., Błędzi A.K., Jeziorska R., 2011. *Odzysk i recykling materiałów polimerowych*. PWN, Warszawa
- Kozłowski M. (red.), 1998. *Podstawy recyklingu tworzyw sztucznych*. Wyd. Pol. Wrocławskiej, Wrocław
- Kozłowski M. (red.) 2006. *Recykling tworzyw sztucznych w Europie*. Wyd. Pol. Wrocławskiej, Wrocław
- Kozłowski M., Rydarowski H. (red.), 2012. *Recykling odpadów polimerowych z elektroniki i pojazdów*. WNT, Warszawa
- Królikowski K., Piszczek K., Żuk T., Tomaszewska J., 2013. *Sposób i urządzenie do separacji mieszanin tworzyw polimerowych*. Zgłoszenie patentowe, nr P.405364 z dnia 16.09.2013
- Rabek F.J., 2009. *Współczesna wiedza o polimerach. Wybrane zagadnienia*, PWN, Warszawa
- Tall S., 2000. *Recycling of mixed plastic waste – Is separation worthwhile?* PhD Thesis. Dep. of Polymer Tech., Royal Inst. of Technology, Stockholm, Sweden (03.2014): <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.198.7128&rep=rep1&type=pdf>
- Tilmate A., Medles K., Younes M., Bendaout A., Descalescu L., 2010. Roll-type versus free-fall electrostatic separation of tribocharged plastic particle. *Industry Applications, IEEE Transactions*, **46**, 4, 1564-1569. DOI: 10.1109/TIA.2010.2049553
- Ustawa z dnia 27 czerwca 1997 r. o odpadach (Dz.U. 1997 nr 96, poz. 592)
- Zinowicz Z., Gołębiowski J., Świć A., 2003. *Technologiczne problemy zagospodarowania odpadów tworzyw polimerowych*, Wyd. Pol. Lubelskiej, Lublin
- Żenkiewicz M., Żuk T., Królikowski K., 2012. Metody sortowania odpadów tworzyw polimerowych. *Przetw. Tworzyw*, **6**, 692-698
- Żenkiewicz M., Żuk T., 2013. Błaszowski M., Szumski Z.: Elektrostatyczny separator walcowy mieszanin tworzyw polimerowych. *Przem. Chem.*, **92**, 279-283
- Żenkiewicz M., Żuk T., 2014. Separacja elektrostatyczna mieszanin poli(chloroku winylu) i poli(tereftalanu etylenu). *Przem. Chem.*, **93**, 54-57
- Żenkiewicz M., Żuk T., Błaszowski M., 2014. Badania procesu separacji elektrostatycznej mieszanin polimerowych o różnych zawartościach ABS i PMMA. *Polimery*, **59**, (w druku)