

Joanna LUDWICZAK, Marek KOZŁOWSKI\*

## **SPIENIANIE ODPADOWYCH TWORZYW SZTUCZNYCH**

W pracy zaprezentowano koncepcję ponownego wykorzystania odpadowych tworzyw sztucznych poprzez wytworzenie struktury komórkowej. Przedstawiono zasady tworzenia struktur komórkowych w materiałach pierwotnych oraz odpadowych na przykładzie polietylenu niskiej gęstości (LDPE), który jest jednym z najczęściej wykorzystywanych tworzyw polimerowych w przemyśle opakowaniowym. Proces porowania tworzyw sztucznych pozwala na uzyskanie materiałów o małej gęstości, co przynosi korzyści ekonomiczne oraz ekologiczne ze względu na oszczędność surowców. Zaprezentowano wyniki badań procesu porowania polietylenu z wykorzystaniem metody ciągłej. Określono wpływ ilości środka porującego (CBA) na gęstość, morfologię oraz wielkość komórek spienionego LDPE.

### **1. WSTĘP**

Światowa produkcja tworzyw sztucznych w 2012 roku wyniosła 288 mln ton, co oznacza wzrost o 2,8% w odniesieniu do roku poprzedniego. Od wielu lat największym obszarem zastosowań tworzyw polimerowych jest sektor opakowaniowy, stanowiący 34,9% ogólnego zapotrzebowania na tworzywa sztuczne. Przemysł opakowań zdominowany jest przez butelki, folie, worki oraz różnego rodzaju pojemniki z polietylenu (PE), polipropylenu (PP), polistyrenu (PS) i poli(tereftalanu etylenu) (PET). Ilość wytworzonych odpadów w 2012 osiągnęła poziom ponad 25 milionów ton, z czego odpady opakowaniowe stanowią 62,2% wszystkich odpadów. W ciągu ostatnich pięciu lat zaobserwowano znaczący spadek ilości odpadowych tworzyw sztucznych składowanych na składowiskach, jednak wciąż składa się 38,1% odpadów. Aby osiągnąć w Europie cel „zero odpadów tworzyw sztucznych na składowiskach do roku 2020” należy stosować recykling tam, gdzie jest to tylko możliwe [5].

---

\* Politechnika Wroclawska, Wydział Inżynierii Środowiska, Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska, pl. Grunwaldzki 9, 50-377 Wrocław.

Jedną z metod zagospodarowania odpadów jest wytworzenie materiałów z tworzyw odpadowych, równocześnie nadając im nowe właściwości. Proces porowania umożliwia uzyskanie materiałów o strukturze komórkowej, o porach otwartych lub zamkniętych [2, 3, 6]. Korzyści płynące z wytworzenia struktury porowatej to głównie obniżenie masy gotowych produktów oraz zmniejszenie kosztów materiałowych. Do produkcji materiałów o strukturze komórkowej wykorzystuje się porofory chemiczne (CBA) lub fizyczne (PBA), będące źródłem gazu, który po rozpuszczeniu w polimerze, po dekompresji powoduje nukleację zarodków fazy gazowej oraz wzrost porów w matrycy polimerowej [1]. Materiały porowate stosowane są jako materiały biomedyczne, opakowania do żywności, części samochodowe i elementy samolotów o wysokiej wytrzymałości i dobrej izolacji akustycznej, sprzęt sportowy o zmniejszonej masie i dużą zdolnością pochłaniania energii [4].

Możliwość zagospodarowania nawet części odpadów poprzez wytworzenie materiałów o dobrych właściwościach izolacyjnych oraz niskiej gęstości pozwoli zarówno zmniejszyć ilość odpadów na składowiskach, jak również ograniczyć ilość surowców pierwotnych zużywanych do produkcji.

## 2. METODYKA BADAŃ

Do procesu wytłaczania porującego użyto polietylen niskiej gęstości LDPE Malen E FGAN 23, D-003 firmy Basell Orlen Polyolefins, przeznaczony jest do wytwarzania folii opakowaniowej o dobrej jakości i grubości powyżej 25  $\mu\text{m}$ ; typowe właściwości badanego materiału przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Typowe właściwości LDPE Malen E FGAN 23, D-003

Właściwości	Metoda	Wartość
Gęstość	PN EN ISO 1872-2	0,922 g/cm <sup>3</sup>
Wskaźnik szybkości płynięcia (MFR)	PN EN ISO 1872-2 (190 °C/2,16 kg)	0,70 g/10 min
Temperatura topnienia	PN EN ISO 1872-2	114 °C

Materiał odpadowy przygotowano przy użyciu wtryskarki BOY podczas 10 cykli przetwórczych w temperaturze 150-170-185-185-185 °C.

Do wytworzenia struktury porowatej użyto środek spieniający Hydrocerol CF firmy Clariant w ilości 0,5; 1,0; 2,0%.

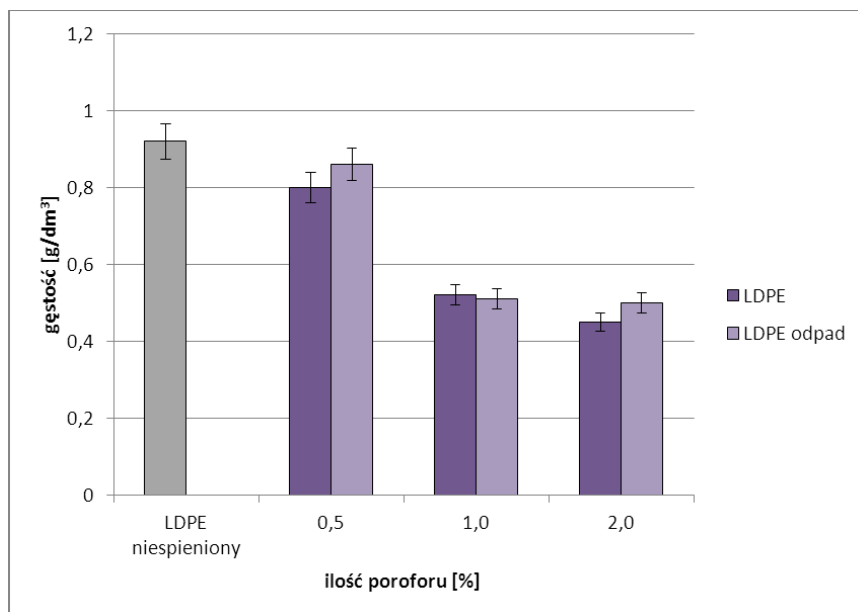
Proces porowania prowadzono metodą ciągłą przy użyciu wylączarki jednoślismkowej. Temperatura na poszczególnych strefach układu wynosiła 150-165-185-195-165 °C, prędkość wytłaczania 20 rpm. Otrzymano próbki o przekroju prostokątnym.

Gęstość materiałów badano metodą hydrostatyczną, stosując wagę WPB210/C/1 firmy Radwag.

Morfologię materiałów scharakteryzowano przy użyciu mikroskopu PZO Biolar PI przy powiększeniu ok. 60 razy. Próbki o grubości 0,1 mm do badań mikroskopowych przygotowano za pomocą mikrotomu.

### 3. WYNIKI BADAŃ I ICH OMÓWIENIE

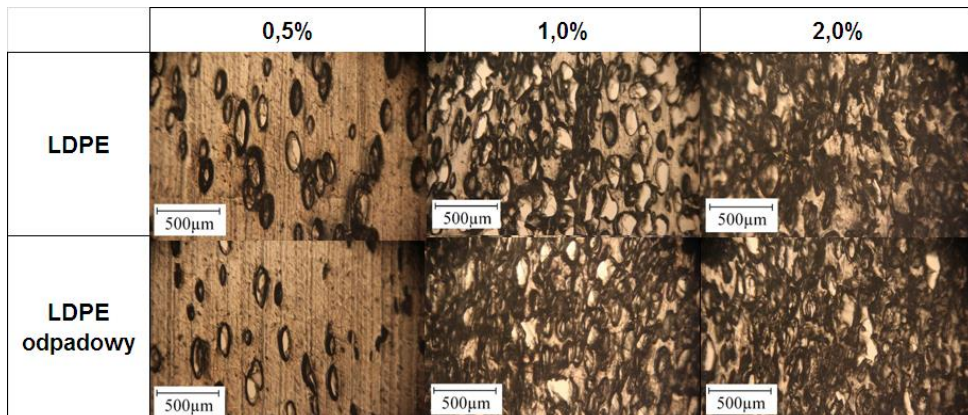
W celu określenia podatności polietylenu odpadowego do spieniania, oba materiały (pierwotny, odpadowy) poddano procesowi spieniania w tych samych warunkach. Ilość dodanego poroforu ma wpływ na gęstość LDPE, gęstość polietylenu zmniejsza się wraz ze wzrostem ilości CBA. Dodatek 0,5% środka porującego powoduje obniżenie gęstości, natomiast znaczne obniżenie gęstości w stosunku do polietylenu niespianionego ( $0,92 \text{ g/dm}^3$ ) uzyskano stosując 1,0% oraz 2,0% poroforu (rys 1). Nie odnotowano znacznego wpływu 10-krotnego recyklingu na gęstość LDPE, wartości gęstości materiału odpadowego zbliżone do materiału pierwotnego (w zakresie błęd pomiarowego).



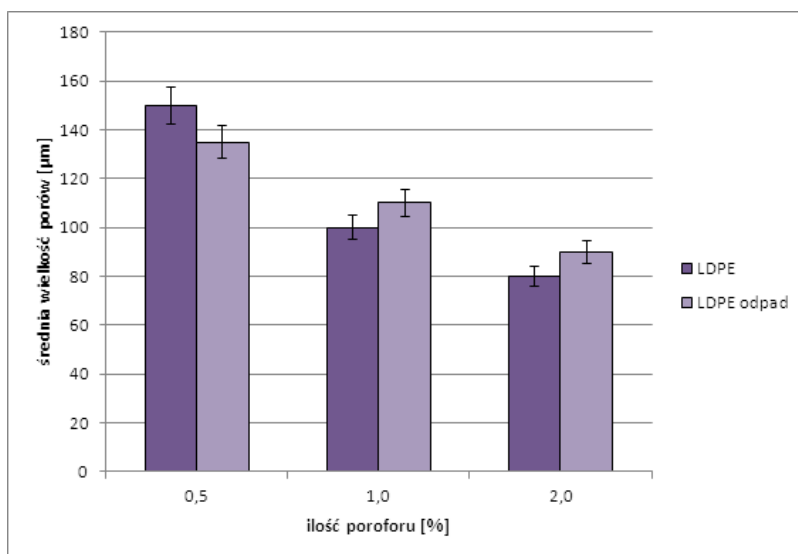
Rys. 1. Gęstość materiałów porowatych w zależności od ilości poroforu

Ilość środka porującego ma również wpływ na morfologię materiałów. Jak pokazano na rys. 2 ilość wytwarzanych porów zwiększa się wraz ze wzrostem zawartości poroforu. Dodatek małej ilości (0,5%) środka porującego powoduje powstanie komórek w polietylenie, jednak zwiększenie zawartości do 1,0 oraz 2,0% CBA powoduje

powstanie struktury komórkowej o dużej ilości porów. Zdjęcia mikroskopowe uzyskane dla LDPE nie pokazują znacznych różnic w strukturze komórkowej materiału pierwotnego oraz odpadowego (rys. 2).



Rys. 2. Morfologia materiałów porowatych w zależności od ilości poroforu



Rys. 3. Morfologia materiałów porowatych w zależności od ilości poroforu

W materiałach spienianych przy użyciu 0,5% CBA odnotowano największą średnią wielkość porów. Większa ilość środka porującego (1,0; 2,0%) powoduje wytworzenie większej ilości komórek, sąsiadujące pory utrudniają wzajemny wzrost. Dodatek 1,0% CBA spowodował zmniejszenie wymiarów porów do ok. 100 µm, zawartość 2,0% poroforu umożliwia otrzymanie komórek o średnicy ok. 80 µm (rys. 3).

#### 4. PODSUMOWANIE

Technologia wytłaczania porującego może być wykorzystywana do uzyskania polietylenu o strukturze komórkowej w materiałach pierwotnych oraz odpadowych.

Polietylen po 10 cyklach przetwórczych z powodzeniem może być poddawany procesowi porowania w warunkach niezmienionych w stosunku do polietylenu pierwotnego.

Możliwe jest uzyskanie materiałów o małej gęstości ( $0,4 \text{ g/cm}^3$ ) za pomocą chemicznych środków porujących.

Wykazano wpływ ilości środka porującego na strukturę komórkową polietylenu pierwotnego oraz odpadowego.

#### LITERATURA

- [1] BALDWIN D.F., PARK C.B., SUH N.P., *An extrusion system for the processing of microcellular polymer sheets: Shaping and cell growth control*. Polymer Engineering & Science, 1996, Vol. 36, No 10, 1425–35.
- [2] KOZŁOWSKI M., *Lightweight Plastic Materials*. [w:] Thermoplastic Elastomers, El-Sonbati A. InTech; 2012. Pobrano z: <http://www.intechopen.com/books/thermoplastic-elastomers/lightweight-plastic-materials>.
- [3] KOZŁOWSKI M., KOZŁOWSKA A., FRĄCKOWIAK S., *Materiały polimerowe o strukturze komórkowej*. Polimery. 2010;55(10):726–39.
- [4] PARK C.B., SUH N.P., *Filamentary extrusion of microcellular polymers using a rapid decompressive element*. Polymer Engineering & Science, 1996, Vol. 36, No 1, 34–48.
- [5] PLASTICS – the Facts 2013, *An analysis of European latest plastics production, demand and waste date*. Pobrano z: <http://www.plasticeurope.co.uk>.
- [6] RODEHEAVER B.A., COLTON J.S., *Open-celled microcellular thermoplastic foam*. Polymer Engineering & Science. 2001, Vol. 41, No 3, 380–400.

#### FOAMING PROCESS OF PLASTICS WASTE

The paper presents the concept of re-use of plastics waste by forming a cellular structure. The principles of the formation of cellular structures of raw and waste materials, on the example of low density polyethylene (LDPE), which is one of the most widely used polymer in the packaging industry. Foaming process allows to obtain a low density materials, which brings ecological and economic advantages due to the saving of raw materials. The influence of the amount of foaming agent (CBA) on the density, cellular morphology and pores size of the foamed LDPE were presented.