

## WYKORZYSTANIE ODPADÓW Z TWORZYW SZTUCZNYCH DO OTRZYMYWANIA NANOKOMPOZYTÓW

Ewa Tomaszewska<sup>1,2</sup>, Zbigniew Szczepański<sup>1</sup>, Marek Macko<sup>1</sup>,  
Krzysztof Tyszczyk<sup>1</sup>, Izabela Rojek<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instytut Mechaniki i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy, ul. Kopernika 1, 85-074 Bydgoszcz, e-mail: ewtomasz@wp.pl

<sup>2</sup> Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN w Warszawie, ul. Adolfa Pawińskiego 5b, 02-106 Warszawa

### STRESZCZENIE

Problem gromadzenia odpadów zawierających tworzywa sztuczne osiąga coraz większe rozmiary w otaczającym nas świecie. W przedstawionym artykule dokonano krótkiej charakterystyki zjawiska i zaproponowano sposób wykorzystania odpadów z tworzyw sztucznych pozyskanych z recyklingu do otrzymywania nanomateriałów kompozytowych za pomocą prostej i ekonomicznej technologii.

**Słowa kluczowe:** nanokompozyty, odpady, tworzywa sztuczne.

### THE USE OF POLYMER WASTE FOR NANOCOMPOSITES PRODUCTION

#### ABSTRACT

The problem of accumulation of waste containing plastics reaches alarming levels as products of polymeric materials are present in every area of life. These products represent a growing percentage of impurities and waste in Europe and the World. The paper is a short description of the phenomenon and proposes a method for the use of waste plastic obtained from recycling to receive nanomaterials and composites with a simple and economic technologies.

**Keywords:** nanomaterials and composites, plastics, waste.

### WSTĘP

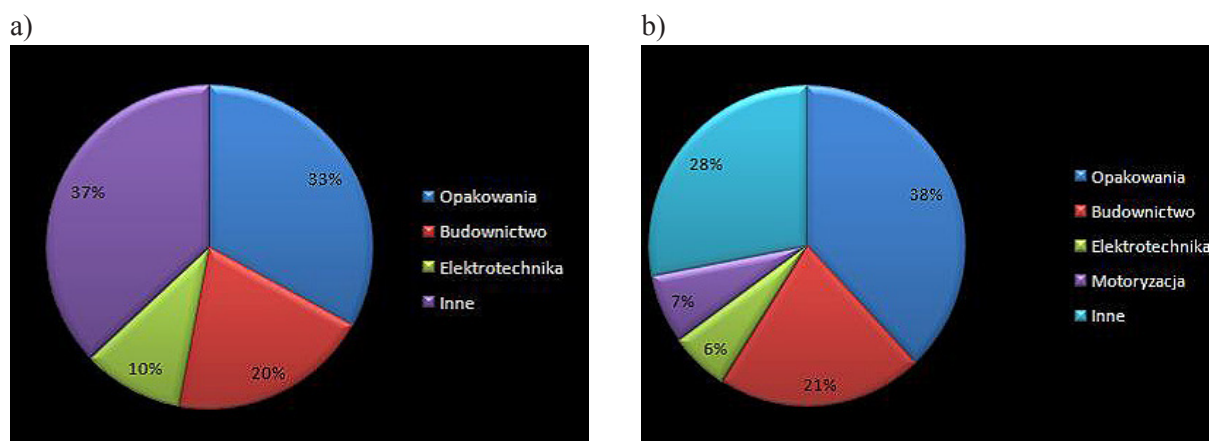
Wprowadzone na rynek torebki foliowe, butelki na napoje, opakowania produktów spożywczych i higienicznych, materiały konstrukcyjne, samochody osobowe, lekkie telefony komórkowe, powłoki nawierzchniowe, a także wiele, wiele innych wytworów z tworzyw sztucznych, są nieodzowną częścią naszego życia. Dzięki tym produktom cywilizacja osiągnęła wyższy poziom dobrobytu. Minusem tego stanu jest problem z odpowiednim zagospodarowaniem odpadów produktów z tworzyw sztucznych.

Największe zużycie przypada na przemysł opakowaniowy, kolejno na budownictwo i elektrotechnikę (rys. 1). Recykling stał się w krajach o dużym stopniu rozwoju przemysłowego ważnym problemem. Badania w tym kierunku zostały wymuszone częściowo przez działania usta-

wodawcze rządów krajów uprzemysłowionych mające na celu ochronę środowiska naturalnego.

Rosnąca skala zjawiska przyczynia się do wynalezienia nowych, tanich i prostych metod ich przetwórstwa. Jednak obniżone właściwości mechaniczne i termiczne oraz ograniczona kolorystyka przetworzonych odpadów decydują o zrezygnowaniu z ponownego wprowadzenia i wykorzystania ich w codziennym życiu.

Tworzywa sztuczne otrzymywane są zarówno z czystych polimerów jak i z modyfikowanych, poprzez dodanie różnych substancji pomocniczych. Nazwa ta w języku potocznym obejmuje również półwyroby oraz wyroby gotowe. Ich produkcja w dużych ilościach wymaga specjalnej troski o ochronę środowiska naturalnego (rys. 2). Podstawowym zagrożeniem dla środowiska są procesy syntezy monomerów oraz ich polimeryzacja. Monomery jako reaktywne związki che-



Rys. 1. Porównanie zużycia tworzyw sztucznych występujące: a) w Europie Zachodniej; b) na świecie

miczne o dużej lotności, palności, toksyczności często tworzą mieszaniny wybuchowe z powietrzem. Podczas pracy z nimi aparatura przemysłowa posiada zabezpieczenia uniemożliwiające wybuch oraz przedostanie się substancji do ścieków lub atmosfery (akrylonitryl, aldehyd mrówkowy, aminy, chlorek winylu oraz fenole).

### METODY RECYKLINGU TWORZYW SZTUCZNYCH

Wyróżniamy cztery sposoby zagospodarowania odpadów z tworzyw sztucznych:

- składowanie w specjalnie przystosowanych do tego celu składowiskach, ubijanie i prasowanie z uprzednio rozdrobnionymi odpadami (na nowoczesnych składowiskach pozyskiwany jest gaz wykorzystywany do produkcji energii elektrycznej lub ciepłej);
- spalanie w spalarniach, którego zaletą jest otrzymanie resztek odpadów nie dających się przetworzyć, o 90% zmniejszonej objętości (masa odpadów maleje o 40–60% już po dwugodzinnym czasie spalania);

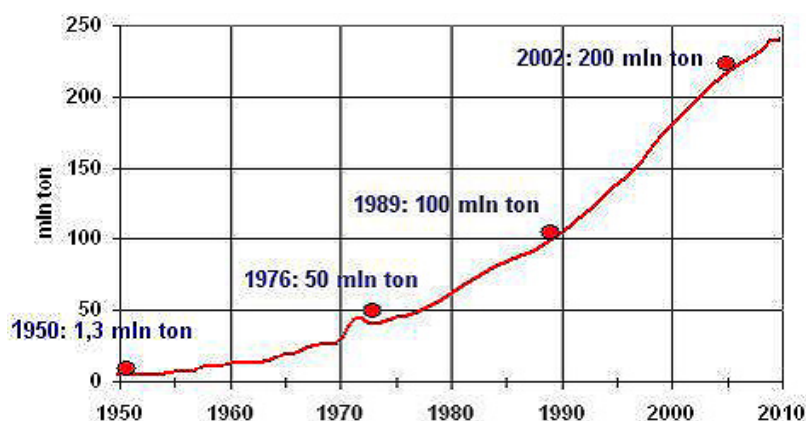
- koksowanie, gdzie odpady nie muszą być selekcjonowane ani czyszczone;
- powtórne wykorzystanie (gromadzenie, sortowanie wstępne, rozdrabnianie i mielenie, oddzielenie ciał obcych, sortowanie według rodzaju, suszenie oraz wytwarzanie półproduktu z odzyskanego surowca).

Proces recyklingu tworzyw sztucznych można podzielić na:

- recykling materiałowy – ponowne przetworzenie odzyskanych tworzyw sztucznych na nowe wyroby,
- chemiczny – rozłożenie cząstek tworzyw sztucznych na monomery (depolimeryzacja lub inne surowce chemiczne (piroliza, uwodornienie, hydroliza, dehydrochlorowanie).

### KONCEPCJA WYKORZYSTANIA ODPADÓW Z TWORZYW SZTUCZNYCH

Świadomie wykorzystanie potencjału dzisiejszych technik recyklingu pozostawia pewną ilość odpadów, które nie nadają się do recyklin-



Rys. 2. Światowa produkcja tworzyw sztucznych w latach 1950–2010 (mln ton)



Rys. 3. Odpady tworzyw sztucznych

gu w sposób efektywny zarówno ekologicznie jak i ekonomicznie. Innowacyjnym pomysłem wykorzystania odpadów z tworzyw sztucznych jest wytworzenie z nich nanokompozytów polimerowych, które są materiałami dwufazowymi (składające się z fazy ciągłej i rozproszonej).

Otrzymuje się je w wyniku modyfikacji tradycyjnych tworzyw polimerowych przez wprowadzenie i zdyspergowanie w matrycy polimerowej dodatków rozdronionych do wymiarów poniżej 100 nm. Matryca polimerowa może zostać wytworzona na bazie polimerów zarówno termoplastycznych, jak i termoutwardzalnych. Drugim komponentem, tzw. napełniaczem mogą być różne materiały pod względem charakteru chemicznego, struktury fizycznej oraz kształtu cząstek, tj. krzemionka, fulereny, krzemiany warstwowe, nanorurki węglowe.

Obecnie znane są cztery podstawowe metody wytwarzania nanokompozytów polimerowych:

- interkalacja polimeru lub prepolimer z roztworu,
- interkalacyjna polimeryzacja *in situ*,
- interkalacja w stanie stopionym,
- technologia zol-żel.

Najprostszym sposobem wytwarzania jest interkalacja w stopie czyli dyspersyjne zmieszanie odpowiednio zmodyfikowanego krzemianu warstwowego z polimerem w stanie stopionym. Gdy krzemian jest kompatybilny z matrycą poli-

merową, to polimer może wnikać do wewnątrz warstwowych przestrzeni, dzięki czemu otrzymuje się nanokompozyt o strukturze warstwowej lub całkowicie eksfoliowanej, powodując zwiększenie odległości pomiędzy warstwami.

Nanokompozyty polimerowe mają szereg zalet, m.in.:

- dużą wytrzymałość uderową,
- korzystne charakterystyki wytrzymałości do-  
rażnej i zmęczeniowej,
- małą gęstość własną zapewniającą konstruk-  
cjom zmniejszenie masy,
- właściwości barierowe w stosunku do przeni-  
kania gazów oraz dużą odporność na rozpusz-  
czalniki,
- zwiększoną odporność ogniową,

Poniżej podano przykłady wykorzystania nanokompozytów polimerowych:

- jako kostki o wymiarach 100×100×10 wyko-  
rzystywane zamiast kostek betonowych oraz  
jako kostki uszczelniające rowy melioracyjne  
wokół domów mieszkalnych przed ewentual-  
nymi podtopieniami,
- jako wyłożenie wałów przeciwpowodziowych  
ze względu na efekt barierowy oraz estetykę  
wykonania,
- jako lekkie i wytrzymałe blaty stołów dla pla-  
cówek szkolno-wychowawczych.

Produkcja materiałów z odpadów termopla-  
stycznych może odbywać się na dwa sposoby:

1) pierwszy sposób w następujących etapach:

- zbieranie odpadów (u producenta i prze-  
twórcy),
- przygotowanie tworzyw sztucznych do  
dalszego przetwórstwa (sortowanie, miele-  
nie, rozdrabnianie, oddzielanie ciał obcych  
i suszenie),
- wytwarzanie półproduktu z odzyskanego  
surowca (wytłoczenie żyłki przez wytła-  
czarki ślimakowe i zgranulowanie w gra-  
nulatorach),
- modyfikacja krzemionki za pomocą do-  
stępnych soli czwartorzędowych oraz ich  
długotrwałe suszenie ( etap powinien bie-  
gnąć równocześnie z etapem pierwszym,  
drugim i ewentualnie trzecim, tak, aby  
glinka była gotowa tuż po otrzymaniu re-  
granulatu i nie powodowała przestoju pro-  
dukcji o czas niezbędny na dosuszanie za-  
równo matrycy, jak i napełniacza).

2) Drugi sposób różni się od pierwszego tym, iż  
zamiast kilkakrotnie poddawać tworzywo od-

padowe rozgrzewaniu i uplastycznianiu (powodując tym samym jeszcze większe obniżenie właściwości mechanicznych tego materiału i dalszą jego degradację), w momencie wytwarzania półproduktu z odzyskanego surowca należy dozować nanododatek do gorącego stopu w jednej z końcowych stref wylączarki za pomocą odpowiednio skalibrowanego dozownika. Z otrzymanego granulatu nanokompozytu, wykorzystując prasę do prasowania przetłoczonego, otrzymywano by zadane kształtki o odpowiednich wymiarach. Schemat formy do otrzymywania kostek z odpadowych nanokompozytów przedstawia rysunek 4.

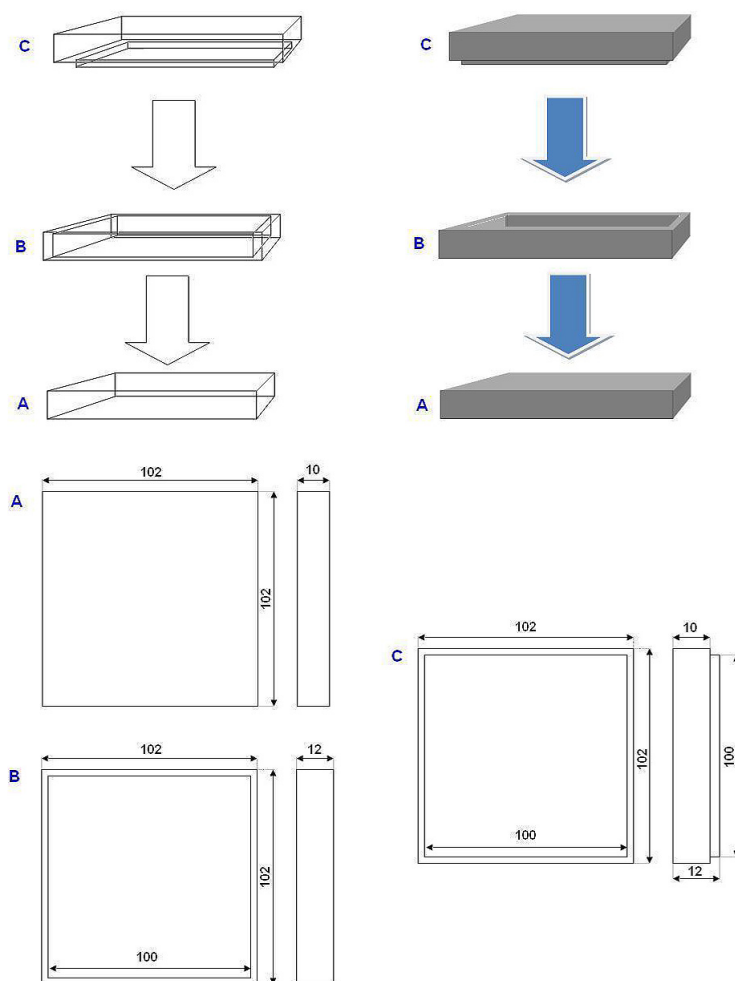
Do produkcji kostek nanokompozytów z odpadowych tworzyw sztucznych potrzebna jest niewielka hala przemysłowa, która pomieściłaby maszyny przetwórcze, mieszcząca się przy, lub na terenie wysypiska śmieci. Wystarczą dwie linie produkcyjne do wytwarzania kostek. Obsługa maszyn przetwórczych, jak również składowanie

surowców, produktów i wytwarzanie elementów materiałów wymaga zatrudnienia dodatkowego personelu. Zakup maszyn przetwórczych oraz stworzenie nowych miejsc pracy jest jednak mniej kosztowne, niż wybudowanie spalarni tworzyw sztucznych.

Elementy wykonane z nanokompozytów opartych na bazie recyklowanej osnowy polimerowej mogą posłużyć jako:

- spody maszyn użytkowych,
- obudowy komputerów stacjonarnych,
- pojemniki na odpady komunalne.

W zależności od użytego napełniacza można uzyskać różne kolory nowych wyrobów bez zastosowania barwników, np. bezbarwny odpad z polipropylenu po zmieszaniu z nanokrzemionką daje wyrób w kolorze śnieżnobiałym lub kremowym, w zależności od warunków prowadzenia procesu. Przedmioty wytworzone z nanokompozytów polimerowych mogą być szeroko wykorzystane w budownictwie oraz gospodarstwie



**Rys. 4.** Projekt formy do prasowania granulatu nanokompozytów opartych na matrycy wytworzonej z odpadowego tworzywa sztucznego

domowym. Po zużyciu wyroby te można poddać obróbce termicznej. Uzyskany popiół można z kolei wykorzystać jako dodatek do betonów i gipsów. Poszerza to możliwości wykorzystania odpadowych tworzyw, które obecnie są składowane lub zakopywane.

## LITERATURA

1. Association of Plastics Manufacturers, Fakty o tworzywach sztucznych 2009. Analiza produkcji, zapotrzebowania i odzyskiwania tworzyw sztucznych w Europie w roku 2008. Plastics Europe, Brussels 2008.
2. Association of Plastics Manufacturers, Fakty o tworzywach sztucznych 2010. Analiza produkcji, zapotrzebowania i odzyskiwania tworzyw sztucznych w Europie w roku 2009. Plastics Europe, Brussels 2009.
3. Kacperski M. 2003. Nanokompozyty polimerowe. Kompozyty, 7.
4. Majka T, Majka M. 2012. Odpady z tworzyw sztucznych jako nowe i tanie komponenty stosowane do wyrobu nanokompozytów polimerowych. Studenckie Naukowe Czasopismo Internetowe TH!NK, 4(12), 60–74.
5. Olejnik M. 2008. Nanokompozyty polimerowe – rola nanododatków. Techniczne Wroby Włókiennicze.
6. Pielichowski J., Puszyński A. 1998. Technologia tworzyw sztucznych. WNT, Warszawa.
7. Polaczek J., Przybek P. 2003. Otrzymywanie uży-tecznych kompozytowych materiałów z odpadowego poli(tereftalanu etylenu). Zeszyty Naukowe: Prace z Zakresu Towaroznawstwa Przemysłowego, 630.
8. Polaczek J., Przybek P. 2004. Właściwości kompozytów otrzymywanych z pozyskiwanych na wysypiskach komunalnych butelek PET. Eko-Problemy, 2.
9. Przybek P. 2011. Materiał dla budownictwa z recyklingu butelek PET. Przetwórstwo Tworzyw, 5.
10. Pyłka-Gutowska E. 2000. Ekologia z ochroną środowiska. Wydawnictwo Oświata, Warszawa.
11. Stodolak E., Zych Ł., Łącz A., Kluczewski W. 2009. Modyfikowany montmorylonit jako nanowypełniacz w nanokompozytach polimerowo-ceramicznych. Kompozyty, 2.
12. Xiao W., Yu H., Han K., Yu M. 2005. Study on PET fiber modified by nanomaterials: Improvement of dimensional thermal stability of PET fiber by forming PET/MMT nanocomposites. Journal of Applied Polymer Science, 6.