

**Wydział Towaroznawstwa**

Katedra

Towaroznawstwa i Ekologii  
Produktów Przemysłowych



UNIwersytet  
EKONOMICZNY  
W POZNANIU



**Czy w Gospodarce o Obiegu Zamkniętym  
będzie miejsce dla nano(bio)kompozytów opakowaniowych?**

**Prof. zw. dr hab. Zenon Foltynowicz**

<http://ktiepp.ue.poznan.pl/foltynowicz>

# Czy w Gospodarce o Obiegu Zamkniętym będzie miejsce dla nano(bio)kompozytów opakowaniowych?

## Wprowadzenie

- Od kilkudziesięciu lat tworzywa sztuczne towarzyszą nam w życiu codziennym, od opakowań produktów po zaawansowane technologicznie wyroby przemysłowe.
- Niestety, wiele z nich kończy swój użyteczny żywot po jednorazowym zastosowaniu, przyczyniając się do stale rosnącej ilości odpadów.
- Unia Europejska od lat próbuje walczyć z tym problemem wprowadzając różnego rodzaju strategie.
- Mieliśmy ZPP – zintegrowaną politykę produktową, Europę „recyklingu”, Europę efektywną surowcowo.
- W 2012 roku szumnie wprowadzono strategię bioekonomii, inaczej zwanej biogospodarką lub **zieloną gospodarką**.

# Czy w Gospodarce o Obiegu Zamkniętym będzie miejsce dla nano(bio)kompozytów opakowaniowych?

## Wprowadzenie

- **Biogospodarka** była odzwierciedleniem na konieczność wprowadzania strategii „Zrównoważonego rozwoju” zgodnie z Deklaracją z Rio (1992).
- To wtedy rozpoczęło się wprowadzanie na szeroką skalę biotworzyw – biodegradowalnych, kompostowalnych, ogólnie „ekologicznych”.
- Oczekiwano, że tworzywa biodegradowalne, wytwarzane z surowców odnawialnych lub „biopochodne” (PE nie z ropy), takie jak PLA, PHB, skrobiowe i celulozowe nowej generacji rozwiążą problem rosnącej góry odpadów opakowaniowych.
- Strategia biogospodarki spowodowała boom na te tworzywa.

Można podać wiele przykładów skomercjalizowanych materiałów opakowaniowych.

**Niestety, nie wyparły one konwencjonalnych tworzyw opakowaniowych.**

# Czy w Gospodarce o Obiegu Zamkniętym będzie miejsce dla nano(bio)kompozytów opakowaniowych?

## Wprowadzenie

- Po kilku latach realizacji strategii zrównoważonego rozwoju opracowano wytyczne dla **zrównoważonych produktów**, w tym opakowań.
- Zrównoważone produkty to produkty zapewniające korzyści środowiskowe, społeczne i ekonomiczne, a jednocześnie chroniące zdrowie publiczne, dobrobyt i środowisko w całym cyklu życia, od wydobycia surowców po końcowe zagospodarowanie.
- Powstała **Koalicja Zrównoważonych Opakowań** promująca zrównoważone opakowania.

**Wszystkie te działania mają na celu zapewnienie ochrony zapakowanego produktu oraz zmniejszenie ilości odpadów.**

# Czy w Gospodarce o Obiegu Zamkniętym będzie miejsce dla nano(bio)kompozytów opakowaniowych?

## Wprowadzenie

- W ramach wdrażania strategii zrównoważonego rozwoju stwierdzono, że należy odejść od tradycyjnego, liniowego modelu konsumpcji i zamknąć pętlę.
- I tak zrodziła się **idea gospodarki o obiegu zamkniętym**, powszechnie znana jako **circular economy**.
- W ramach tego trendu pojawiły się hasła: **Europa bez odpadów**, czy „no packaging solution”;
- Unia Europejska dość szybko zaangażowała się w GOZ widząc w tym szansę wsparcia strategii zrównoważonego rozwoju.

# Czy w Gospodarce o Obiegu Zamkniętym będzie miejsce dla nano(bio)kompozytów opakowaniowych?

## Europejska nowa strategia gospodarki tworzywami sztucznymi

- W grudniu 2015 r. Komisja Europejska przyjęła plan działania UE na rzecz gospodarki o obiegu zamkniętym.
- W dokumencie tym uznano tworzywa sztuczne za jeden z kluczowych priorytetów.
- KE zobowiązała się do "opracowania strategii dotyczącej wyzwań stawianych przez tworzywa sztuczne w całym łańcuchu wartości, biorąc pod uwagę ich cały cykl życia".
- 2017 r. KE – **cel**: zapewnienie, że wszystkie opakowania z tworzyw sztucznych będą nadawały się do recyklingu do 2030 r..

# Czy w Gospodarce o Obiegu Zamkniętym będzie miejsce dla nano(bio)kompozytów opakowaniowych?

## Europejska nowa strategia gospodarki tworzywami sztucznymi

### Strategia:

- **kładzie fundamenty** pod nową gospodarkę tworzywami sztucznymi, w której projektowanie i produkcja tworzyw sztucznych oraz wyrobów z tworzyw sztucznych w pełni respektują wymagania ponownego użycia, naprawy i recyklingu;
- **opracowywane i promowane** będą bardziej zrównoważone materiały.
- **ma również pomóc** osiągnąć priorytet ustanowiony przez Komisję dla Unii Energetycznej (Energy Union) z nowoczesną, niskoemisyjną, zasobooszczędną i wydajną energetycznie gospodarką,
- **ma przyczynić się** do osiągnięcia do roku 2030 celów Zrównoważonego Rozwoju i Porozumienia Paryskiego

# Czy w Gospodarce o Obiegu Zamkniętym będzie miejsce dla nano(bio)kompozytów opakowaniowych?

## Europejska nowa strategia gospodarki tworzywami sztucznymi

### Wyzwania są duże.

- 26% całkowitej produkcji tworzyw sztucznych jest wykorzystywane do produkcji opakowań - 95% wartości materiałów opakowaniowych z tworzyw sztucznych, tj. od 70 do 105 miliardów euro rocznie, jest tracone w gospodarce po bardzo krótkim cyklu ich pierwszego użycia.
- zapotrzebowanie na recyklowane tworzywa sztuczne stanowi obecnie tylko około 6% popytu na tworzywa sztuczne w Europie.
- produkcja tworzyw sztucznych i spalanie odpadów tworzyw sztucznych na całym świecie generuje około 400 milionów ton CO<sub>2</sub> rocznie.
- potencjalne roczne oszczędności energii, które można by uzyskać dzięki recyklingowi wszystkich odpadów z tworzyw sztucznych na świecie, odpowiadają 3,5 mld baryłek ropy rocznie.

# Czy w Gospodarce o Obiegu Zamkniętym będzie miejsce dla nano(bio)kompozytów opakowaniowych?

## Europejska nowa strategia gospodarki tworzywami sztucznymi

Wśród punktów strategii kilka bezpośrednio dotyczy opakowań:

- do 2030 r. wszystkie opakowania z tworzyw sztucznych wprowadzane na rynek UE muszą być ponownie użyte lub mają być poddane recyklingowi w opłacalny sposób.

## Założenia słuszne, jednakże czy wykonalne?

- Istnieje ok. **100 technologii recyklingu**. KE zakłada, że wspólnie z EFSA zostaną one zweryfikowane pod kątem ich przydatności do wytwarzania materiałów z recyklingu nadających się do kontaktu z żywnością.
- większość metod recyklingu prowadzi nie tylko do **10% strat** materiału, ale i do **10% utraty jakości** materiału.
- w obecnym systemie opakowania z tworzyw sztucznych mogą być poddawane recyklingowi **do siedmiu razy**, po czym polimery ulegną degradacji w takim stopniu, że nie będą już mogły być dalej używane.

# Czy w Gospodarce o Obiegu Zamkniętym będzie miejsce dla nano(bio)kompozytów opakowaniowych?

## Opakowania a nowa strategia gospodarki tworzywami sztucznymi

Już w 2015 r. Komisja zaproponowała, że do 2025 r. co najmniej 55% wszystkich opakowań z tworzyw sztucznych w UE powinno podlegać recyklingowi.

- Jeśli do 2030 roku mają zostać osiągnięte wyższe poziomy recyklingu i to pozwalającego uzyskać materiały opakowaniowe o wysokiej jakości, muszą zostać rozwiązane kwestie projektowania zgodnie z Dyrektywą Ekoprojektowania.
- W związku z tym poszukuje się rozwiązań w zakresie projektowania opakowań z materiałów biodegradowalnych i kompostowalnych tworzyw sztucznych.

# Czy w Gospodarce o Obiegu Zamkniętym będzie miejsce dla nano(bio)kompozytów opakowaniowych?

## Opakowania a nowa strategia gospodarki tworzywami sztucznymi

### Funkcje opakowań:

- **stare** "3P" (Protect, Preserve and Promote) = chroń, zachowaj i promuj produkt;
- **nowe funkcje/aspekty**: śledź (Trace), uwierzytelniaj (Authenticate), informuj (Inform), dodaj wartość (Add Value), zabezpiecz (Secure) i zmniejsz strumień odpadów (Reduce Waste).

Ponieważ zapotrzebowanie na ulepszone funkcje podstawowe i dodatkowe wzrasta, rośnie również złożoność opakowania.

## Czy w Gospodarce o Obiegu Zamkniętym będzie miejsce dla nano(bio)kompozytów opakowaniowych?

### Opakowania a nowa strategia gospodarki tworzywami sztucznymi

- Wielowarstwowe materiały opakowaniowe na bazie polimerów są powszechnie stosowane w celu połączenia odpowiednich, najlepszych właściwości różnych polimerów.
- Dzięki takiemu podejściu tworzy się funkcjonalne opakowanie, pozwalające wystarczająco chronić wrażliwe produkty spożywcze i tym samym uzyskać przedłużony okres ich trwałości.
- Jednak z powodu małej możliwości ich recyklingu, większość zużytych wielowarstwowych materiałów opakowaniowych jest zwykle spalana lub składowana. Jest to wbrew założeniom GOZ i działaniom na rzecz niezależności od ropy naftowej.

Dyrektor Kornacki: „**biotworzywa staną się szybciej niż myślimy nową generacją tworzyw sztucznych**”. **Tylko czy potrzebną w GOZ, jeżeli nie ma możliwości ich recyklingu?**



## Czy w Gospodarce o Obiegu Zamkniętym będzie miejsce dla nano(bio)kompozytów opakowaniowych?

### Opakowania a nowa strategia gospodarki tworzywami sztucznymi

- **Laminaty** i ogólnie **materiały wielowarstwowe** znalazły szerokie zastosowanie w opakownictwie i ich wykorzystanie stale rośnie ze względu na właściwości użytkowe przewyższające właściwości pojedynczych materiałów wchodzących w ich skład.
- Oczywiście znane są problemy z ich końcowym zagospodarowaniem, małą przydatnością do recyklingu, itp.
- Alternatywą dla kompozytów opartych na tradycyjnych materiałach polimerowych mają być **biokompozyty**, najczęściej **biodegradowalne**.

Jednakże czy ich użytkowanie, a zwłaszcza końcowe zagospodarowanie da się pogodzić z zasadami GOZ?

# Czy w Gospodarce o Obiegu Zamkniętym będzie miejsce dla nano(bio)kompozytów opakowaniowych?

## Nanobiokompozyty dla opakowalnictwa

Najnowszy przegląd materiałów kompozytowych dla opakowalnictwa można znaleźć w monografii „**Composites Materials for Food Packaging**”, która niedawno ukazała się na rynku wydawniczym [Cirillo, 2018].

Oprócz tradycyjnych materiałów kompozytowych opartych na powszechnie stosowanych polimerach: PE, PP, PET, PS, wiele miejsca poświęcono nanokompozytom, materiałom nowej generacji opartych na nanomateriałach, w tym nanobiokompozytom.

# Czy w Gospodarce o Obiegu Zamkniętym będzie miejsce dla nano(bio)kompozytów opakowaniowych?

## Nanobiokompozyty dla opakowalnictwa

Głównym celem badań nad nowymi materiałami opakowaniowymi jest dążenie do uzyskania materiałów o zaawansowanych właściwościach eksploatacyjnych – mechanicznych, barierowych, przeciwutleniających, antymikrobiologicznych, itp.

**Wprowadzenie napełniaczy - nanonapełniaczy:**

- a) **krzemiany warstwowe**, pozwalają uzyskać biodegradowalne kompozyty o ulepszonych właściwościach mechanicznych i barierowych względem pary wodnej i gazów.
- b) **krzemiany halozytowe** (mogą występować w postaci nanorurek), niedegradowalne nanokompozyty, cała gamma degradowalnych bionanokompozytów;

# Czy w Gospodarce o Obiegu Zamkniętym będzie miejsce dla nano(bio)kompozytów opakowaniowych?

## Nanobiokompozyty dla opakowalnictwa

### Wprowadzenie napełniaczy - nanonapełniaczy:

c) **nanorurki węglowe** = nowa generacja nanokompozytów o bardzo specyficznych właściwościach. Jako materiał węglowy powinny być degradowalne, tylko pojawiają się pytania o problemy związane z migracją i bezpieczeństwem ich użytkowania.

d) przyszłościowe nanokompozyty zawierają jako nanonapełniacz **grafen lub jego pochodne!** Z jego udziałem możliwe jest uzyskanie kompozytów na bazie syntetycznych polimerów jak również opartych na biomateriałach.

e) biodegradowalne wzmacniacze polimerów opakowaniowych można uzyskać stosując **nanocelulozę**.

**Nanocelulozę** stosuje się w połączeniu z organicznymi i nieorganicznymi biocydami, co pozwala uzyskać specyficzne folie opakowaniowe.

# Czy w Gospodarce o Obiegu Zamkniętym będzie miejsce dla nano(bio)kompozytów opakowaniowych?

## Nanobiokompozyty dla opakowalnictwa

**Syntetyczny kwas polimlekowy** to sztandarowe biotworzywo biodegradowalne, które znalazło już zastosowanie jako materiał opakowaniowy.

- W celu uzyskania poprawy właściwości użytkowych PLA wprowadza się dodatki w postaci napełniaczy i wzmacniaczy.
- W zależności od pochodzenia i biodegradowalności tych składników kompozyty PLA można podzielić na **biokompozyty** i „**zielone**” kompozyty.
- Zaliczane do nich są kompozyty PLA z napełniaczami lub wzmacniaczami ropopochodnymi, nieorganicznymi lub z włókien naturalnych.

# Czy w Gospodarce o Obiegu Zamkniętym będzie miejsce dla nano(bio)kompozytów opakowaniowych?

## Nanobiokompozyty dla opakowalnictwa

- Oprócz konwencjonalnych zastosowań PLA, np. w postaci folii, może on również stanowić matrycę nanokompozytów.
- **Hybrydowe nanokompozyty PLA** uzyskuje się poprzez dodatek nanonapełniaczy lub nanowzmacniaczy, organicznych lub nieorganicznych.
- Pozwalają one uzyskać jeszcze lepsze parametry niż wykazują konwencjonalne kompozyty.

Pojawia się jednak problem ekotoksyczności tych materiałów.

- Pozostaje rozważyć problem recyklowalności tak samego PLA jak i nanokompozytów na jego bazie oraz biodegradowalności. Niezależnie od wielu zalet nanokompozytów na bazie matrycy PLA, materiały te stwarzają wyzwania pod względem bezpieczeństwa i końcowego zagospodarowania. Ich recykling czy kompostowanie wymaga nie tylko wydzielenia ze strumienia odpadów opakowaniowych lecz także specjalnych instalacji.

# Czy w Gospodarce o Obiegu Zamkniętym będzie miejsce dla nano(bio)kompozytów opakowaniowych?

## Nanobiokompozyty dla opakowalnictwa

Problematyka biodegradowalności i kompostowalności  
nanobiokompozytów opakowaniowych

- **Zdolność do biodegradacji i kompostowalność** opakowań żywności opartych na nanobiokompozytach jest jednym z najciekawszych tematów zarówno w naukach o żywności, jak i technologii polimerów oraz w dziedzinie technologii opakowań polimerowych.
- Chociaż podjęto wiele wysiłków w celu zastąpienia syntetycznych polimerów uzyskanych z surowców przemysłu petrochemicznego przez materiały odnawialne, wiele problemów pozostaje nadal do rozwiązania, w tym zagadnienie poprawy właściwości mechanicznych, fizykochemicznych i użytkowych materiału opakowaniowego bez uszczerbku dla jego biodegradowalności, a co ważniejsze, kompostowalności.



# Czy w Gospodarce o Obiegu Zamkniętym będzie miejsce dla nano(bio)kompozytów opakowaniowych?

## Nanobiokompozyty dla opakowalnictwa

- **Kompostowalność** z definicji jest bardziej rygorystyczną koncepcją niż biodegradowalność.
- **Kompostowalność** konkretnego materiału, a zwłaszcza opakowania żywności, wymaga produkcji w 100% ekologicznych materiałów (zielone materiały).
- Zasadniczo interakcje chemiczne zachodzące w materiale wpływają na biodegradowalność i kompostowalność materiału do zastosowań w nanopakowaniu żywności.
- Na przykład dodatki zwiększające efekt plastyfikujący poprawiają biodegradowalność materiałów.
- W przeciwieństwie do tego, efekt sieciowania opóźnia biodegradowalność materiału, ale poprawia jego właściwości mechaniczne i fizykochemiczne.

# Czy w Gospodarce o Obiegu Zamkniętym będzie miejsce dla nano(bio)kompozytów opakowaniowych?

## Nanobiokompozyty dla opakowalnictwa

- Zwykle biodegradacja nanopakowania żywności z biopolimerów doprowadza do defragmentacji biopolimeru w wyniku której powstają produkty uboczne biodegradacji o niskiej masie cząsteczkowej.
- Są one zwykle **metabolizowane przez mikroorganizmy** do CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, biomasy i związków mineralnych.
- Jednakże opakowania aktywne zawierają coraz częściej Ag, Cu, związki antymikrobiologiczne, które te **mikroorganizmy mogą po prostu unieszkodliwiać.**

# Czy w Gospodarce o Obiegu Zamkniętym będzie miejsce dla nano(bio)kompozytów opakowaniowych?

## Nanobiokompozyty dla opakowalnictwa

- **Dodanie nanocząstek** zarówno nieorganicznych jak i węglowych do bionanokompozytów **może przyspieszyć** biodegradację nanopakowania żywności.
- Niemniej jednak **może to zagrozić** kompostowalności materiału pod względem jego ekotoksyczności, ze względu na pozostałości z biodegradacji.

**Tym samym, niekoniecznie materiał ulegający biodegradacji będzie przyjazny dla środowiska.**

# Czy w Gospodarce o Obiegu Zamkniętym będzie miejsce dla nano(bio)kompozytów opakowaniowych?

## Nanobiokompozyty dla opakowalnictwa

### Podsumowanie

- **GOZ** rozróżnia pomiędzy cyklem technicznym i biologicznym.
- W przypadku materiałów pozyskiwanych z surowców odnawialnych szczególną uwagę zwraca na ich **biodegradowalność**.
- W ten sposób często pomija się wkład, jaki odnawialne materiały oraz ich ponowne wykorzystanie i recykling mogą mieć na poprawę gospodarki o obiegu zamkniętym i efektywność środowiskową.
- **Strategia UE** odnośnie tworzyw sztucznych zwraca uwagę na obydwa te aspekty.

# Czy w Gospodarce o Obiegu Zamkniętym będzie miejsce dla nano(bio)kompozytów opakowaniowych?

## Nanobiokompozyty dla opakowalnictwa

### Podsumowanie

- **Problematyka nanobiokompozytów dla opakowalnictwa jest bardzo złożona, zwłaszcza w kontekście GOZ.**
- **GOZ otwiera nowe horyzonty dla nanobiokompozytów, zwłaszcza otrzymywanych z materiałów odpadowych.** Szwedzcy autorzy najnowszego raportu nt. materiałów odnawialnych w GOZ są bardziej ostrożni w osądach a nawet nieco sceptyczni.
- ZF: nowe materiały opakowaniowe oparte na biokompozytach, a zwłaszcza nanobiokompozytach, stanowić mogą nowe problemy dla recyklingu.

# Czy w Gospodarce o Obiegu Zamkniętym będzie miejsce dla nano(bio)kompozytów opakowaniowych?

## Nanobiokompozyty dla opakowalnictwa

### Podsumowanie

- Komisja Junckera w nowej ogólnounijnej Strategii dotyczącej tworzyw sztucznych podjęła zobowiązanie, że „wszystkie opakowania z tworzyw sztucznych będą możliwe do ponownego wykorzystania lub recyklingu do 2030 r. ”!

### Jednakże czy wszystkie?

- **Postęp technologiczny** jaki nastąpił i nadal postępuje w zakresie nanobiokompozytów opakowaniowych **jest tak duży i nieodwracalny**, że praktycznie nie można go zaprzepaścić żadną dyrektywą.

# Czy w Gospodarce o Obiegu Zamkniętym będzie miejsce dla nano(bio)kompozytów opakowaniowych?

## Nanobiokompozyty dla opakowalnictwa

### Podsumowanie

- Dotychczas nie ma przemysłowej metody recyklingu nanobiokompozytów opakowaniowych, nawet, gdyby się do niego nadawały.
- **Nanobiokompozyty stanowią przyszłość materiałów opakowaniowych** i będą się nadal rozwijały, niezależnie od biogospodarki czy gospodarki o obiegu zamkniętym.
- **Należy mieć nadzieję, że przemysł tworzyw sztucznych znajdzie rozwiązania, które będą spełniały wymagania GOZ.**



**Zenon FOLTYNOWICZ**

[zenon.foltynowicz@ue.poznan.pl](mailto:zenon.foltynowicz@ue.poznan.pl)

<http://kctiepp.ue.poznan.pl/pl/foltynowicz>



UNIWERSYTET EKONOMICZNY  
W POZNANIU

