

MARTA WOŹNIAK-KARCZEWSKA¹, RAFAŁ GISZTER¹, AGNIESZKA KUTROWSKA²,
ADRIAN CZABAN^{2,3}, ROMAN MARECIK⁴, ALICJA SZULC¹, ARKADIUSZ KŁOZIŃSKI¹

¹Institut Technologii i Inżynierii Chemicznej
Politechnika Poznańska

²Institut Biologii Molekularnej i Biotechnologii
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

³Katedra Biologii Molekularnej i Genetyki
Centrum Badawcze Flakkebjerg w Slagelse
Uniwersytet Aarhus, Dania

⁴Katedra Biotechnologii i Mikrobiologii Żywności
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

CZY KOMERCYJNIE DOSTĘPNE „FOLIOWE TORBY BIODEGRADOWALNE” SĄ PRZYJAZNE ŚRODOWISKU?*

HOW BIODEGRADABLE ARE COMMERCIAL ‘BIODEGRADABLE BAGS’?

Abstrakt

Wstęp. W ostatnich latach obserwuje się wyraźną tendencję do zastępowania toreb jednorazowych foliowymi torbami biodegradowalnymi. Większość toreb foliowych dostępnych w sklepach jest wykonana z tworzyw termoplastycznych (polietylen, polipropylen) o dobrych właściwościach mechanicznych, niskim koszcie produkcji, ale jednocześnie słabej biodegradowalności. W celu polepszenia biodegradacji tworzywa sztuczne miesza się z naturalnymi polimerami, jak skrobia, czy tzw. prooksydantami. Kluczowe pozostaje jednak pytanie, czy poza nadrukiem „biodegradowalna” torby te mają cokolwiek wspólnego z materiałami ulegającymi całkowitemu rozkładowi? Celem naszych badań było określenie biodegradowalności jednorazowych toreb dostępnych w dużych sieciach handlowych.

Materiał i metody. Do badań wykorzystano trzy torby foliowe: polietylenową, oksybiodegradowalną (ulegającą rozproszeniu na granulaty polietylenowy w warunkach środowiskowych), biodegradowalną (polietylenową z dodatkiem skrobi) oraz torbę papierową. Paski badanych toreb poddano biodegradacji w czasie 12 miesięcy w środowisku glebowym w warunkach naturalnych i wspomaganym preparatem mikrobiologicznym. Pomiar stopnia degradacji sprawdzano okresowo za pomocą trzech metod: pomiaru wydzielanego dwutlenku węgla, analizy właściwości

*Projekt wykonano w ramach grantu Dziekana Wydziału Biologii UAM w Poznaniu dla projektów studenckich realizowanych przez koła naukowe.

mechanicznych (odporności na rozrywanie, na przebicie, zmian współczynnika tarcia) oraz analizy wytworzonego biofilmu (z użyciem technik mikroskopowych).

Wyniki. Uzyskane rezultaty wskazują, że jedynie torby papierowe są w pełni biodegradowalne, co wynika z dużej mineralizacji, z wyraźnego pogorszenia właściwości mechanicznych oraz z widocznego biofilmu bakteryjnego rosnącego na powierzchni włókien celulozowych. Torby polietylenowe z dodatkiem skrobi wykazywały nieznaczną podatność na biodegradację. Pozostałe torby charakteryzowały się dużą odpornością na mikrobiologiczne procesy degradacyjne. Dodatek preparatu do kompostowania nie wpływał znacząco na polepszenie biodegradacji badanych materiałów polietylenowych.

Wnioski. Użyte w badaniach torby foliowe określane jako biodegradowalne nie wykazują biodostępności dla autochtonicznej mikroflory bakteryjnej obecnej w matrycy glebowej. Pomimo symboli „biodegradowalności” na foliach torby nie są tak przyjazne środowisku, jak wskazują producenci, dlatego należy udoskonalać dotychczasowe i poszukiwać nowych metod pozwalających na zwiększenie biodegradowalności tego rodzaju materiałów polimerowych w glebach.

Słowa kluczowe: torby biodegradowalne, torby foliowe, biodegradacja, właściwości mechaniczne, testy respirometryczne, biofilm

Wstęp

Wraz ze wzrostem świadomości społecznej w dziedzinie ekologii i wykorzystywania materiałów przyjaznych środowisku obserwuje się wyraźną tendencję do zastępowania jednorazowych toreb foliowych ich biodegradowalnymi odpowiednikami. Pozostaje jednak pytanie, czy te tzw. ekotorby oferowane przez większość sieci handlowych są naprawdę przyjazne środowisku i jaki jest ich wpływ na naturalny ekosystem.

Większość toreb foliowych dostępnych w sklepach jest wykonana z tworzyw termoplastycznych, jak polietylen czy polipropylen. Polietylen jest szeroko stosowany do produkcji opakowań ze względu na swe bardzo dobre właściwości mechaniczne, niskie koszty produkcji, chemiczną oraz biologiczną obojętność (Roy i in., 2011). Jednakże polietylen jest polimerem, który szczególnie trudno ulega biodegradacji. Jest to spowodowane m.in. jego hydrofobowym charakterem oraz dużą masą cząsteczkową, która znacznie ogranicza przenikanie łańcuchów polimerowych przez błony komórkowe mikroorganizmów. Silne wiązania węgiel – węgiel oraz węgiel – wodór powodują, że polietylen jest wysoce odporny na reakcje hydrolizy, a dodatek stabilizatorów oraz antyoksydantów podczas przetwórstwa sprawia, że jest także odporny na utlenianie (Arutchev i in., 2008; Bonhomme i in., 2003). Hu i in. (2010) zaproponowali mechanizm biodegradacji polietylenu, jednakże powolne tempo rozkładu tworzyw sztucznych wynika ze skomplikowanych procesów, na które składają się liczne zachodzące po sobie reakcje elementarne (Kyrikou i Briassoulis, 2007).

Światowa produkcja wyrobów z tworzyw sztucznych wzrosła z 1,5 mln ton w 1950 roku do 311 mln ton w 2014 roku (Comăniță i in., 2016; European Commission..., 2013). Szerokie zastosowanie polimerów nieulegających biodegradacji powinno skłaniać do refleksji nad wpływem tych związków na ekosystem oraz motywować do poszukiwania rozwiązań umożliwiających ich biodegradowalność. W tym celu miesza się tworzywa sztuczne z naturalnymi polimerami, jak skrobia (Thakore i in., 2001; Żuchowska i in., 1998) i celuloza (Kaczmarek i in., 2005), czy z tzw. prooksydantami (Koutny i in.,

2006), które sprawiają, że zmodyfikowane polimery są podatne na biodegradację. Badania wykazują, że polietylen modyfikowany związkami promującymi utlenianie szybciej ulega rozkładowi, czego efektem jest pogorszenie właściwości mechanicznych oraz ubytek masy. Przykładowo efektywność rozpadu polietylenu z dodatkiem kobaltu jest większa niż niemodyfikowanego polietylenu (Day i in., 1997; Hu i in., 2010). Wiele toreb foliowych powszechnie oferowanych przez koncerny jest modyfikowanych różnymi związkami promującymi, co ma sugerować, że są tworzywami biodegradowalnymi. Kluczowe wydaje się zatem określenie podatności na degradację w warunkach zbliżonych do naturalnych (w matrycy glebowej) komercyjnych toreb foliowych oznaczonych jako „przyjazne dla środowiska”.

Material i metody

Material badawczy

Do testów biodegradacyjnych wybrano cztery komercyjnie dostępne torby: polietylenową, oksybiodegradowalną (ulegającą rozproszeniu na granulaty polietylenowy w warunkach środowiskowych, co ma ułatwiać dalszą degradację), biodegradowalną (polietylenową z dodatkiem skrobi) oraz papierową. Torby oksybiodegradowalne i biodegradowalne miały nadruk informujący o całkowitej degradowalności. Folie wykorzystane w badaniach zakupiono w ogólnopolskich sieciach handlowych.

Materiał poddano degradacji w czasie 12 miesięcy, a pomiary stopnia rozpadu prowadzono okresowo za pomocą trzech następujących metod: analizy właściwości mechanicznych (i), testów respirometrycznych (polegających na pomiarze wydzielonego dwutlenku węgla) (ii) oraz monitorowania wytworzonego biofilmu (z wykorzystaniem mikroskopowej techniki SEM – Scanning Electron Microscopy) (iii).

Próbą odniesienia w badaniach była gleba pobrana z parku Jarogniewa i Izabeli Drwęskich (52°24'04.1"N 16°55'20.3"E), znajdującego się w Poznaniu w dzielnicy Wilda. Gleba (pH 6,95 ±0,7) składała się z gliny (4 ±1%), ilu (83 ±3%) i piasku (13 ±2%). Zawartość węgla organicznego, azotu i fosforu wynosiła odpowiednio: 5,44 ±0,31, 0,57 ±0,07 i 0,080 ±0,005 g/kg. Gęstość nasypowa wynosiła 1,44 ±0,06 g/ml, porowatość: 37,3 ±2,3% v/v, wilgotność: 18 ±1% m/m. Szczegółowe informacje zawarto w publikacji Sydowa i in. (2015).

Badania właściwości mechanicznych toreb foliowych

Fragmety folii niezawierające zagięć oraz zgrzewów pocięto na paski o następujących wymiarach:

- 20 × 150 mm – do badania wytrzymałości na rozrywanie (zgodnie z normą PN-EN ISO 527-3) za pomocą uniwersalnej maszyny wytrzymałościowej firmy Zwick, model Roell Z020, z głowicą pomiarową o sile 100 N,
- 25 × 200 mm – do badania wytrzymałości na przebicie (zgodnie z normą ASTM D 4649, 2003) z użyciem przystawki do badania przebicia folii firmy Zwick,
- 150 × 400 mm (podstawa) oraz 65 × 150 mm (wózek) – do badania współczynnika tarcia (zgodnie z normą PN-EN ISO 8295) za pomocą przystawki do badania współczynników tarcia firmy Zwick.

W celu badania wytrzymałości na rozrywanie paski folii wycinano prostopadłe oraz równoległe do kierunku wytłaczania folii i umieszczano w słoikach o pojemności 1 l. Do badania wytrzymałości na przebicie oraz do badania współczynnika tarcia paski umieszczono w kuwetach o objętości 20 l. Paski folii układano warstwowo, przedzielając je niesterylizowaną, przesianą przez sito (o oczkach 1,6 mm) glebą. Na dno słoika/kuwety nasypywano około $\frac{1}{3}$ nawozonej uprzednio gleby, następnie układano równomiernie paski folii i przysypywano cienką warstwą gleby. Proces ten powtarzano trzykrotnie – do uzyskania trzech odseparowanych od siebie warstw folii. Całość przysypano pozostałą glebą (ok. $\frac{1}{3}$). Próby przechowywano w temperaturze $20 \pm 1^\circ\text{C}$, w warunkach tlenowych, bez kontaktu z promieniowaniem słonecznym. Dodatkowo do połowy badanych prób dodano dostępny komercyjnie preparat do kompostowania EKOKOMPOST (50 g preparatu na 10 l gleby, co odpowiada dawce proponowanej przez producenta). Preparat ten jest mieszaniną bakterii oraz enzymów i przyspiesza rozkład odpadów pochodzenia organicznego. Został on wymieszany z glebą przed umieszczeniem w słoikach i kuwetach. Wszystkie próby były regularnie nawadniane do początkowego poziomu wilgotności gleby.

Badania wytrzymałościowe wykonano w przypadku wszystkich folii w trzech powtórzeniach: na początku eksperymentu (próba zerowa) oraz po sześciu i 12 miesiącach od jego rozpoczęcia.

Słupki błędów przedstawione na rysunkach 2 oraz 3 odpowiadają odchyleniu standardowemu pomiarów wytrzymałościowych z trzech niezależnych pasków folii (papieru).

Badania biodegradacji toreb foliowych

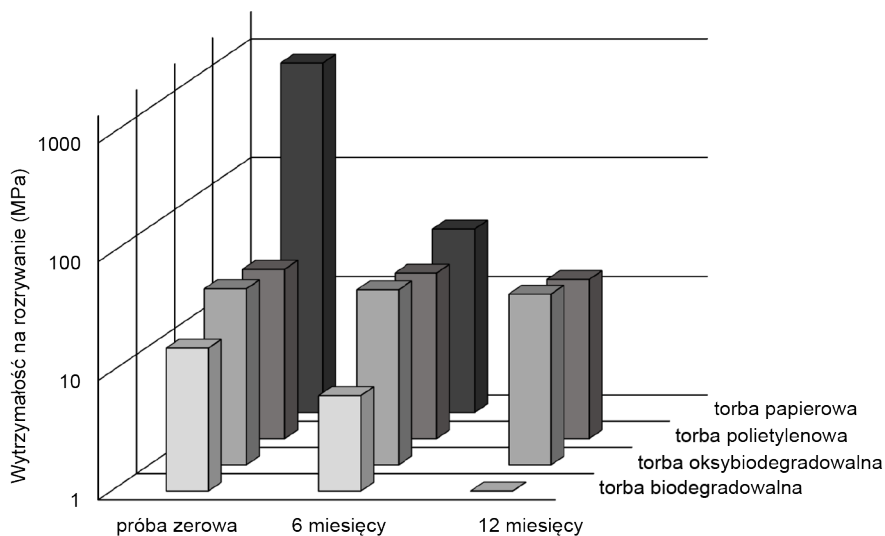
Do badania biodegradacji wykorzystano pocięte paski toreb foliowych oraz papierowych o wymiarach 20×150 mm. W szczelnie zamkniętych szklanych pojemnikach o objętości 1 l umieszczono po trzy paski badanego materiału i warstwowo ułożono 400 ml gleby. Przygotowano po trzy próby dla każdego rodzaju torby oraz próby zerowe, bez materiału badawczego. Wilgotność gleby utrzymywano na poziomie zbliżonym do jej pojemności połowej, czyli takiej, która panuje w glebie po kilku dniach od zakończenia opadów deszczu. Badania biodegradacyjne wykonywano w warunkach laboratoryjnych, przy stałej temperaturze $20 \pm 1^\circ\text{C}$. W każdym słoiku umieszczono pułapkę NaOH (naczynie zawierające roztwór wodorotlenku sodu o stężeniu $0,75 \text{ mol/dm}^3$) do monitorowania ilości wydzielonego dwutlenku węgla. Intensywność wydzielania CO_2 podczas procesu biodegradacji mierzono, stosując zmodyfikowaną potencjometryczną metodę Wardera (Cygański, 1987). Uwalniany dwutlenek węgla reagował z wodorotlenkiem sodu, tworząc węglan sodu. Stężenie węglanu sodu mierzono poprzez miareczkowanie 0,1 M kwasem solnym w automatycznym titratorze Titroprocessor 686 firmy Brinkmann.

Słupki błędów przedstawione na rysunku 4 odpowiadają odchyleniu standardowemu pomiarów respirometrycznych z trzech niezależnych układów badawczych.

Wyniki

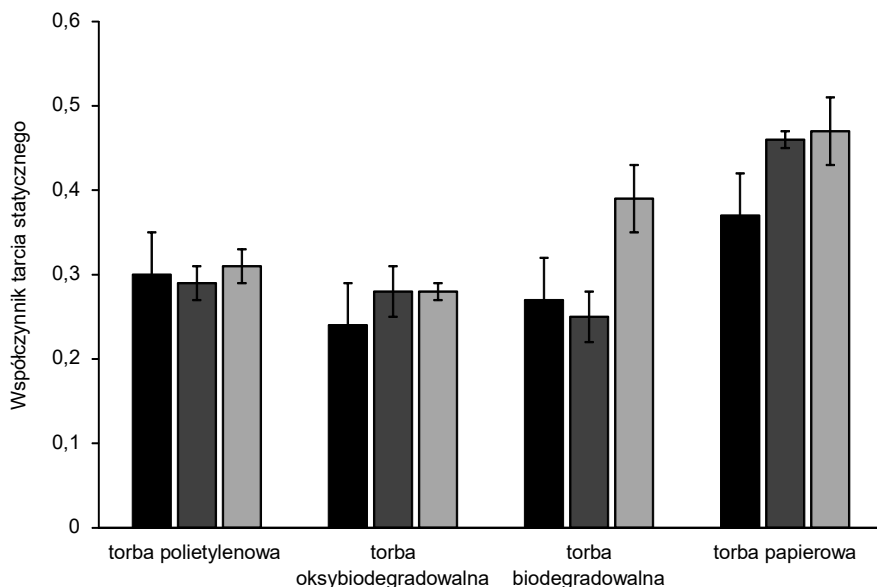
Charakterystyka właściwości mechanicznych badanych toreb

Analiza wytrzymałości na rozrywanie pasków foliowych oraz papierowych podczas eksperymentów w środowisku glebowym wykazała, że torby papierowe cechowały się największym stopniem rozkładu (rys. 1). Po sześciu miesiącach wytrzymałość pasków papierowych zmniejszyła się aż o 96%. W przypadku prób 12-miesięcznych wykonanie badań było niemożliwe z powodu znacznej degradacji badanego materiału. Spośród folii polimerowych tylko torby z dodatkiem skrobi (biodegradowalne) wykazywały wyraźne zmniejszenie wytrzymałości pasków poprzecznych (95,5%). W przypadku torby polietylenowej oraz oksybiodegradowalnej nie zaobserwowano żadnych istotnych zmian podczas trwania eksperymentu.



Rys. 1. Wytrzymałość na rozrywanie poprzecznie wyciętych pasków w zależności od czasu degradacji w środowisku glebowym bez dodatku preparatu do kompostowania (względne odchylenie standardowe: 0,2–8,9%)

Dla wszystkich badanych materiałów wyznaczono współczynnik tarcia statycznego (rys. 2). Widoczne zmiany wartości tego współczynnika zanotowano w przypadku torby biodegradowalnej (z dodatkiem skrobi) oraz torby papierowej. Paski tych toreb po 12 miesiącach były mniej odporne na ścieranie w porównaniu z materiałem niepoddanym biodegradacji. W przypadku pasków torby polietylenowej oraz oksybiodegradowalnej nie zaobserwowano znaczącego wpływu czasu na wartość współczynnika tarcia statycznego. Największy wzrost współczynnika tarcia wykazywały paski folii biodegradowalnej, a paski papierowe charakteryzowały się najszybszym wzrostem tego parametru – już po sześciu miesiącach znacząco zmieniła się ich siła tarcia. Dodanie do gleby



Rys. 2. Współczynnik tarcia statycznego pasków w zależności od czasu degradacji w środowisku glebowym z dodatkiem preparatu do kompostowania; kolor czarny – próby zerowe, kolor ciemnoszary – próby po sześciu miesiącach, kolor jasnoszary – próby po 12 miesiącach

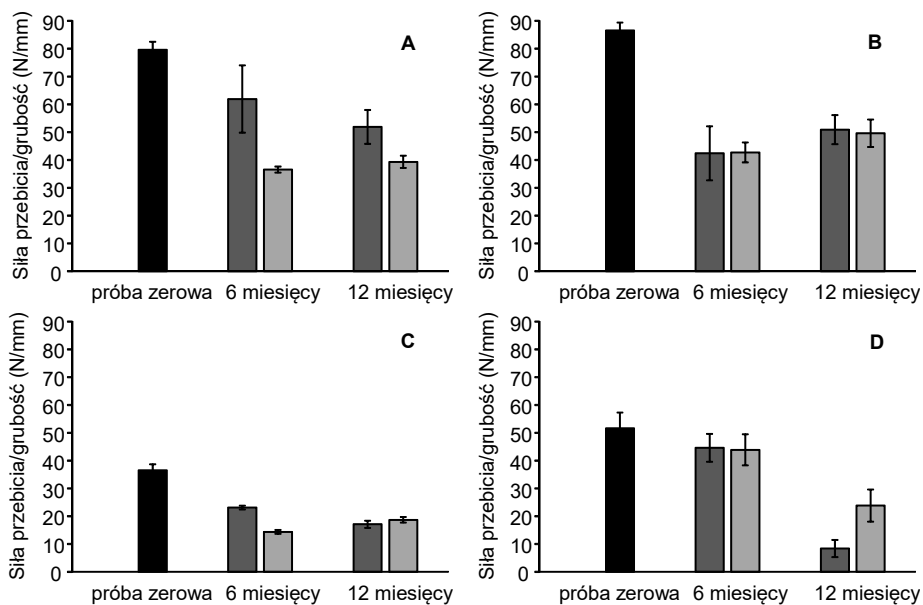
preparatu do kompostowania nie wpłynęło na wartość tego parametru w porównaniu z glebą bez preparatu.

Wykonano analizę siły potrzebnej do przebicia próby o grubości 1 mm. Na rysunku 3 przedstawiono rezultaty badań pasków, które znajdowały się w glebie z dodatkiem i bez dodatku preparatu do kompostowania po upływie sześciu i 12 miesięcy. W przypadku wszystkich materiałów obserwowano spadek oporności na przebicie wraz z upływem czasu degradacji. Największą różnicę w wytrzymałości folii na przebicie odnotowano w przypadku torby polietylenowej oraz oksybiodegradowalnej. Widoczny wpływ dodatku preparatu do kompostowania zaobserwowano tylko w paskach folii polietylenowej. Odwrotne wyniki dotyczące pasków papierowych po 12 miesiącach wynikają z innego składu jakościowego torby papierowej, a w efekcie także z wyraźnego stopnia ich zdegradowania.

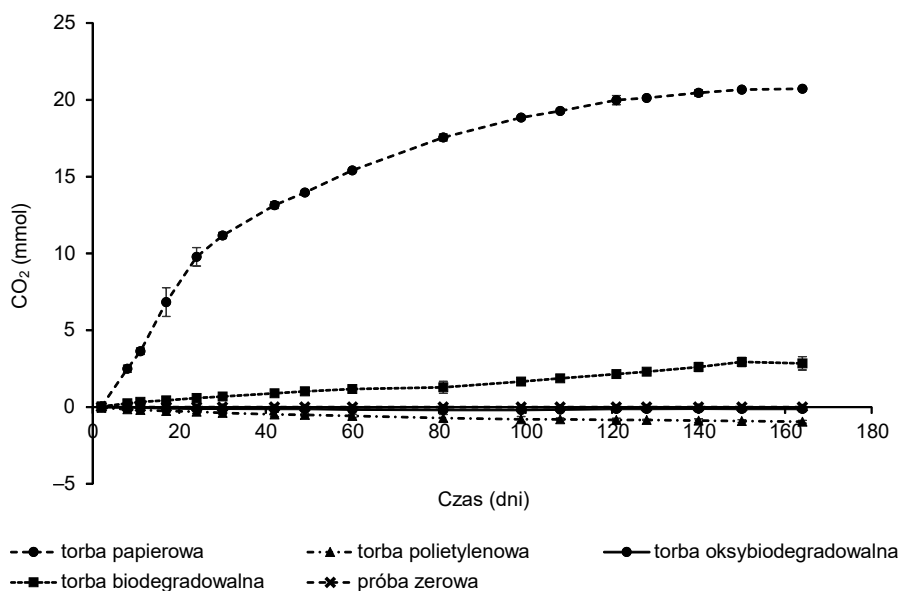
Charakterystyka biodegradacji badanych toreb

Intensywność biodegradacji badanych materiałów przedstawiono na rysunku 4, ilustrującym zależność ilości wydzielonego dwutlenku węgla od czasu degradacji w glebie zawierającej tylko mikroflorę autochtoniczną. Największą ilością dwutlenku węgla wydzielanego po 164 dniach (20,72 mmol) charakteryzowały się próby z paskami torby papierowej. Ten wynik znacznie odbiegał od prób pozostałych materiałów. Przez pierwsze 100 dni obserwowano bardzo intensywne procesy biologicznego rozkładu torby papierowej, następnie ilość wydzielanego dwutlenku węgla stopniowo się zmniejszała,

Woźniak-Karczewska, M., Giszter, R., Kutrowska, A., Czaban, A., Marecik, R., Szulc, A., Kloziński, A. (2018). Czy komercyjnie dostępne „foliowe torby biodegradowalne” są przyjazne środowisku? *Nauka Przyr. Technol.*, 12, 1, 5–17. <http://dx.doi.org/10.17306/J.NPT.00227>



Rys. 3. Stosunek siły przebicia do grubości próby w zależności od czasu degradacji; kolor czarny – próby zerowe, kolor ciemnoszary – próby bez dodatku preparatu do kompostowania, kolor jasnoszary – próby z dodatkiem preparatu do kompostowania; A – torba polietylenowa, B – torba oksybiodegradowalna, C – torba biodegradowalna, D – torba papierowa



Rys. 4. Ilość dwutlenku węgla wydzielonego przez próby w zależności od czasu degradacji

aż do osiągnięcia plateau po 150 dniach. Krzywa dla folii polietylenowej z dodatkiem skrobi (biodegradowalnej) również się różniła od próby zerowej, jednak maksymalna ilość wydzielonego CO₂ była zdecydowanie mniejsza niż w przypadku torby papierowej i wynosiła 2,94 mmol po 150 dniach. W przypadku pasków torby oksybiodegradowalnej nie zaobserwowano żadnej różnicy w stosunku do próby zerowej (obie krzywe praktycznie nakładają się na siebie). Z kolei paski torby polietylenowej spowodowały zmniejszenie ilości wydzielanego CO₂ w stosunku do próby zerowej, co sugeruje negatywny wpływ polietylenu na mikroflorę gleby.

Zdjęcia mikroskopowe SEM

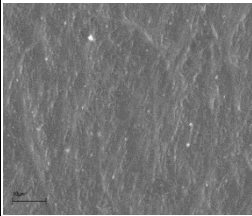
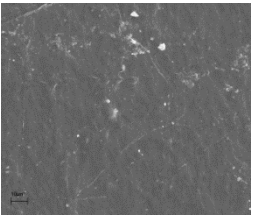
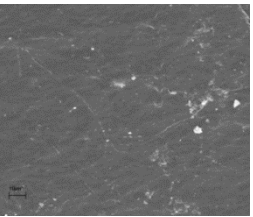
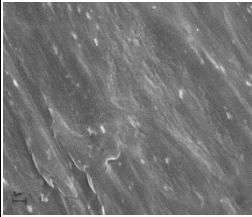
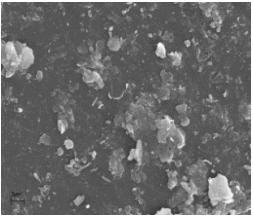
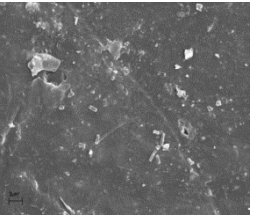
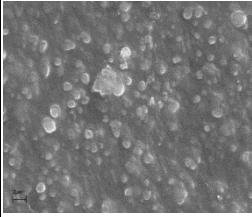
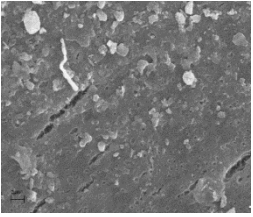
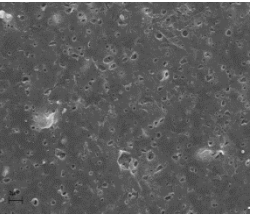
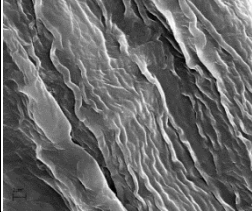
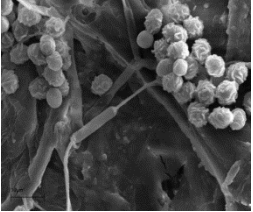
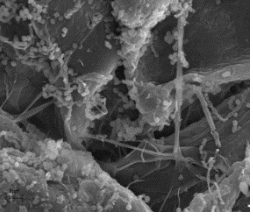
Wzrost i rozwój mikroorganizmów na podłożach polimerowych bardzo często jest powodowany modyfikowaniem tworzyw stabilizatorami, plastyfikatorami czy innymi substancjami bardziej podatnymi na biodegradację niż sama makrocząsteczka polimeru. W przypadku toreb polietylenowych nie zaobserwowano więc widocznych zmian na powierzchni badanego materiału w czasie trwania eksperymentu, co wskazuje na ich odporność na mikrobiologiczne procesy degradacyjne (tab. 1). Odporność tę potwierdza również brak wyraźnych zmian w badaniach wytrzymałościowych tego materiału. W przypadku toreb oksybiodegradowalnych zaobserwowano zmiany polegające na rozwarstwianiu się powierzchni polimeru. Paski tej folii łuszczyły się i rozpadały się na drobniejsze fragmenty. Ponadto preparat do kompostowania wymieszany z glebą przyspieszał procesy degradacyjne, a zmiany na powierzchni materiału były bardziej widoczne. Na zdjęciach mikroskopowych (tab. 1) folii polietylenowej z dodatkiem skrobi (biodegradowalnej) widać znaczące perforacje na powierzchni pasków. Na paskach z gleby bez dodatku preparatu do kompostowania obserwuje się obszary równomiernej degradacji, natomiast na próbach z gleby zawierającej preparat, oprócz drobnych perforacji na powierzchni, widać wyraźnie brakujące fragmenty materiału. Dodatek skrobi w torbach polietylenowych sprawił, że stanowiły one lepsze źródło energii dla mikroorganizmów niż torby niedomieszkowane. Na zdjęciach SEM pasków toreb papierowych można zaobserwować charakterystyczne włókna celulozowe, które były kolonizowane przez mikroorganizmy. Na paskach papierowych z gleby z dodatkiem preparatu można wyróżnić dojrzałe kolonie bakteryjne wzrastające w postaci tzw. biofilmu. Zarówno zdjęcia cyfrowe, jak i mikroskopowe wykonane podczas badań sugerują, że w największym stopniu ulegają biodegradacji torby papierowe.

Dyskusja

Wykonane badania potwierdzają dużą podatność toreb papierowych na procesy biodegradacyjne w glebie. Można o tym wnioskować na podstawie wyraźnego pogorszenia ich właściwości mechanicznych, intensywnej produkcji dwutlenku węgla oraz biofilmu powstającego na powierzchni włókien celulozowych. Dodatek skrobi do toreb polietylenowych miał pozytywny wpływ na szybkość procesów biodegradacji w matrycy glebowej. Torby foliowe składające się tylko z tworzyw sztucznych charakteryzowały się bardzo dużą odpornością na mikrobiologiczne procesy degradacyjne w glebie, co potwierdziły wszystkie wykonane testy.

Woźniak-Karczewska, M., Giszter, R., Kutrowska, A., Czaban, A., Marecik, R., Szulc, A., Kloziński, A. (2018). Czy komercyjnie dostępne „foliowe torby biodegradowalne” są przyjazne środowisku? *Nauka Przyr. Technol.*, 12, 1, 5–17. <http://dx.doi.org/10.17306/J.NPT.00227>

Tabela 1. Zdjęcia mikroskopowe SEM badanych toreb w środowisku glebowym z dodatkiem i bez dodatku preparatu do kompostowania i w próbie odniesienia

Torba	Próba odniesienia	Próba z gleby z dodatkiem preparatu	Próba z gleby bez dodatku preparatu
Polietylenowa			
Oksybiodegradowalna			
Biodegradowalna			
Papierowa			

Wiele doniesień literaturowych dotyczących degradacji polietylenu wskazuje, że proces ten zachodzi głównie w następstwie procesów fotodegradacji czy degradacji chemicznej (Jakubowicz, 2003; Santhoskumar i Palanivelu, 2014). Istotnym czynnikiem wpływającym na szybkość biodegradacji jest modyfikacja polimerów substancjami promującymi degradację. Na rynku polskim najczęściej spotykane są dwie: TDPA® (ang. *Totally Degradable Plastic Additive*) oraz d^2w ® (ang. *degrade to water*). Marcinkowska i in. (2011) wykonali badania dotyczące degradacji toreb foliowych z dodatkiem TDPA® oraz d^2w ® pod wpływem czynników atmosferycznych oraz promieniowania UV/VIS. Torby foliowe z dodatkami przyspieszającymi degradację charakteryzowały się widocznym pogorszeniem parametrów wytrzymałościowych. Na rynku

dostępne są również torby foliowe z dodatkiem kopolimerów skrobiowych jako czynników przyspieszających rozkład (Bonhomme i in., 2003; Dach i in., 2011; Liu i in., 2013). Biodegradacja kopolimerów polietylen-skrobia wskazuje na duży wpływ obecności skrobi na efektywność procesów mikrobiologicznych w glebie – ubytek masy materiału wynosił nawet 90% po czterech miesiącach (Kaur i Gautam, 2010). Z kolei Dach i in. (2011) jako układ badawczy zastosowali obornik, który jest bardzo dużym i bardzo złożonym zbiorem mikroorganizmów. Szacuje się, że w przewodzie pokarmowym ssaków i ich odchodach znajduje się od 500 do 1000 różnych gatunków drobnoustrojów, a całkowita ich populacja sięga 10^{14} komórek (Xu i in., 2003). Dach i in. (2011) wykazali, że w procesie kompostowania tylko torby zawierające dodatek skrobi ulegały biodegradacji (91% ubytku masy). Pozostałe torby foliowe nie wykazywały oznak rozkładu ani zmian struktury, pomimo iż paski toreb były poddawane intensywnemu rozkładowi tlenowemu.

W niniejszej pracy jako układ badawczy zastosowano matrycę glebową w celu jak najwierniejszego odwzorowania naturalnych warunków biodegradacji toreb foliowych i określenia ich zdolności biodegradacyjnych w glebie. Otrzymane wyniki sugerują, że mikroflora autochtoniczna znajdująca się w glebie jest mało efektywna pod względem możliwości biodegradacji toreb foliowych i nie jest w stanie samodzielnie poradzić sobie z tego typu zanieczyszczeniami. Pośród badanych toreb polietylenowych tylko ta z dodatkiem skrobi charakteryzowała się zwiększoną biodostępnością dla mikroorganizmów, jednakże ilość dodanej skrobi była niewystarczająca, żeby zapewnić mikroorganizmom podłoże hydrofilowe w takim stopniu, aby mogły one skutecznie biodegradować folie w matrycy glebowej. Okazuje się, że stosowanie wyspecjalizowanych szczepów bakteryjnych z gatunków *Pseudomonas* (Nanda i in., 2010) oraz *Rhodococcus* (Gilan (Orr) i in., 2004) może przyspieszać rozkład polietylenu. Dużym potencjałem biodegradacyjnym charakteryzują się także grzyby, takie jak *Penicillium simplicissimum* (Yamada-Onodera i in., 2001) i *Phanerochaete chrysosporium* (Orhan i Büyükgüngör, 2000), dzięki którym procesy degradacyjne polietylenu zachodzą bez potrzeby stosowania wstępnej fotodegradacji czy degradacji chemicznej.

Dalsze badania powinny zmierzać w kierunku wyizolowania wyspecjalizowanych drobnoustrojów zdolnych do wzrostu na polietylenie jako jedynym źródle węgla oraz przebadania ich zdolności biodegradacyjnych w rzeczywistych warunkach środowiskowych.

Wnioski

1. Użyte w badaniach „ekologiczne” torby foliowe, określane jako biodegradowalne, nie wykazują biodostępności dla autochtonicznej mikroflory bakteryjnej obecnej w matrycy glebowej. Zarówno torba polietylenowa, jak i oksybiodegradowalna były odporne na mikrobiologiczne procesy, co potwierdziły wszystkie wykonane badania.

2. Tylko torby papierowe charakteryzowały się znaczącą podatnością na biodegradację w matrycy glebowej, o czym świadczą: zwiększona ilość wydzielanego CO_2 , pogorszenie właściwości mechanicznych oraz powstawanie wyraźnego biofilmu na włóknach celulozowych.

3. Modyfikowanie toreb polietylenowych poprzez dodanie do nich skrobi wpływa pozytywnie na procesy biodegradacyjne, jednakże folia taka charakteryzuje się niewielkim rozkładem w stosunku do toreb papierowych.

4. Dodatek preparatu do kompostowania nie wpływał znacząco na polepszenie biodegradacji badanych materiałów polietylenowych. Wynika to z faktu, że wyselekcjonowane mikroorganizmy znajdujące się w takich preparatach specjalizują się w rozkładaniu materii organicznej, a nie tworzyw sztucznych.

Literatura

- Arutchelvi, J., Sudhakar, M., Arkatkar, A., Doble, M., Bhaduri, S., Uppara, P. V. (2008). Biodegradation of polyethylene and polypropylene. *Indian J. Biotechnol.*, 7, 9–22.
- Bonhomme, S., Cuer, A., Delort, A.-M., Lemaire, J., Sancelme, M., Scott, G. (2003). Environmental biodegradation of polyethylene. *Polym. Degrad. Stab.*, 81, 3, 441–452. [https://dx.doi.org/10.1016/S0141-3910\(03\)00129-0](https://dx.doi.org/10.1016/S0141-3910(03)00129-0)
- Comăniță, E.-D., Hlihor, R. M., Ghinea, C., Gavrilescu, M. (2016). Occurrence of plastic waste in the environment: ecological and health risks. *Environ. Eng. Manage. J.*, 15, 3, 675–685.
- Cygański, A. (1987). *Chemiczne metody analizy ilościowej*. Warszawa: WNT.
- Dach, J., Pilarski, K., Marcinkowska, A., Andrzejewska, E. (2011). Ocena wstępna stopnia rozkładu opakowań jednorazowych oferowanych przez sieci handlowe w procesach kompostowania i fermentacji. *J. Res. Appl. Agric. Eng.*, 56, 2, 32–36.
- Day, M., Shaw, K., Cooney, D., Watts, J., Harrigan, B. (1997). Degradable polymers: the role of the degradation environment. *J. Environ. Polym. Degrad.*, 5, 137–151. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02763657>
- European Commission. Press release. Environment: What should we do about plastic waste? New Green Paper opens EU-wide reflection. (2013). European Commission, Press Release Database. Brussels, 7 March 2013. http://europa.eu/rapid/press-release_IP-13-201_en.htm
- Gilan (Orr), I., Hadar, Y., Sivan, A. (2004). Colonization, biofilm formation and biodegradation of polyethylene by a strain of *Rhodococcus ruber*. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 65, 1, 97–104. <https://dx.doi.org/10.1007/s00253-004-1584-8>
- Hu, X., Thumarat, U., Zhang, X., Tang, M., Kawai, F. (2010). Diversity of polyester-degrading bacteria in compost and molecular analysis of a thermoactive esterase from *Thermobifida alba* AHK119. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 87, 2, 771–779. <https://dx.doi.org/10.1007/s00253-010-2555-x>
- Jakubowicz, I. (2003). Evaluation of degradability of biodegradable polyethylene (PE). *Polym. Degrad. Stab.*, 80, 1, 39–43. [https://dx.doi.org/10.1016/S0141-3910\(02\)00380-4](https://dx.doi.org/10.1016/S0141-3910(02)00380-4)
- Kaczmarek, H., Oldak, D., Malanowski, P., Chaberska, H. (2005). Effect of short wavelength UV-irradiation on ageing of polypropylene/cellulose compositions. *Polym. Degrad. Stab.*, 88, 2, 189–198. <https://dx.doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2004.04.017>
- Kaur, I., Gautam, N. (2010). Starch grafted polyethylene evincing biodegradation behaviour. *Malays. Polym. J.*, 5, 1, 26–38.
- Koutny, M., Lemaire, J., Delort, A.-M. (2006). Biodegradation of polyethylene films with prooxidant additives. *Chemosphere*, 64, 8, 1243–1252. <https://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.12.060>
- Kyrikou, I., Briassoulis, D. (2007). Biodegradation of agricultural plastic films: a critical review. *J. Polym. Environ.*, 15, 2, 125–150. <https://dx.doi.org/10.1007/s10924-007-0053-8>

Woźniak-Karczewska, M., Giszter, R., Kutrowska, A., Czaban, A., Marecik, R., Szulc, A., Kloziński, A. (2018). Czy komercyjnie dostępne „foliowe torby biodegradowalne” są przyjazne środowisku? *Nauka Przyr. Technol.*, 12, 1, 5–17. <http://dx.doi.org/10.17306/J.NPT.00227>

- Liu, X., Yu, L., Xie, F., Petinakis, E., Sangwan, P., Shen, S., Dean, K., Ammala, A., Wong-Holmes, S. (2013). New evidences of accelerating degradation of polyethylene by starch. *J. Appl. Polym. Sci.*, 130, 2282–2287. <https://dx.doi.org/10.1002/app.39421>
- Marcinkowska, A., Rozmysłowicz, K., Andrzejewska, E., Dach, J., Pilarski, K. (2011). Wpływ wstępnej degradacji środowiskowej oraz promieniowania UV/VIS na właściwości mechaniczne komercyjnych folii oksybiodegradowalnych. *Rocz. Ochr. Środ.*, 13, 102, 1605–1617.
- Nanda, S., Sahu, S. S., Abraham, J. (2010). Studies on the biodegradation of natural and synthetic polyethylene by *Pseudomonas* spp. *J. Appl. Sci. Environ. Manage.*, 14, 2, 57–60. <http://dx.doi.org/10.4314/jasem.v14i2.57839>
- Orhan, Y., Büyükgüngör, H. (2000). Enhancement of biodegradability of disposable polyethylene in controlled biological soil. *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, 45, 1–2, 49–55. [https://dx.doi.org/10.1016/S0964-8305\(00\)00048-2](https://dx.doi.org/10.1016/S0964-8305(00)00048-2)
- Roy, P. K., Hakkarainen, M., Varma, I. K., Albertsson, A.-Ch. (2011). Degradable polyethylene: fantasy or reality. *Environ. Sci. Technol.*, 45, 10, 4217–4227. <https://dx.doi.org/10.1021/es104042f>
- Santhoskumar, A. U., Palanivelu, K. (2014). Biodegradation of photo-oxidized low-density polyethylene using photodegradable additive. *Synth. React. Inorg. Met.-Org. Nano-Met. Chem.*, 44, 1, 55–64. <https://dx.doi.org/10.1080/15533174.2013.768642>
- Sydow, M., Szczepaniak, Z., Framski, G., Staninska, J., Owsianiak, M., Szulc, A., Piotrowska-Cyplik, A., Zgoła-Grzeškowiak, A., Wyrwas, B., Chrzanowski, Ł. (2015). Persistence of selected ammonium- and phosphonium-based ionic liquids in urban park soil microcosms. *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, 103, 91–96. <https://dx.doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.04.019>
- Thakore, I. M., Desai, S., Sarawade, B. D., Devi, S. (2001). Studies on biodegradability, morphology and thermo-mechanical properties of LDPE/modified starch blends. *Eur. Polym. J.*, 37, 1, 151–160. [https://dx.doi.org/10.1016/S0014-3057\(00\)00086-0](https://dx.doi.org/10.1016/S0014-3057(00)00086-0)
- Xu, J., Bjursell, M. K., Himrod, J., Deng, S., Carmichael, L. K., Chiang, H. C., Hooper, L. V., Gordon, J. I. (2003). A genomic view of the human-*Bacteroides thetaiotaomicron* symbiosis. *Science*, 299, 5615, 2074–2076. <https://dx.doi.org/10.1126/science.1080029>
- Yamada-Onodera, K., Mukumoto, H., Katsuyaya, Y., Saiganji, A., Tani, Y. (2001). Degradation of polyethylene by a fungus *Penicillium simplicissimum* YK. *Polym. Degrad. Stab.*, 72, 2, 323–327. [https://dx.doi.org/10.1016/S0141-3910\(01\)00027-1](https://dx.doi.org/10.1016/S0141-3910(01)00027-1)
- Żuchowska, D., Steller, R., Meissner, W. (1998). Structure and properties of degradable polyol-efin-starch blends. *Polym. Degrad. Stab.*, 60, 2–3, 471–480. [https://dx.doi.org/10.1016/S0141-3910\(97\)00110-9](https://dx.doi.org/10.1016/S0141-3910(97)00110-9)

HOW BIODEGRADABLE ARE COMMERCIAL ‘BIODEGRADABLE BAGS’?

Abstract

Background. In recent years disposable ‘biodegradable bags’ have substituted a large number of conventional polymer bags. Most commercially available bags are made of cheap thermoplastic materials (polyethylene, polypropylene), which have good mechanical properties, but are non-biodegradable. In order to improve the biodegradability of bags synthetic polymers are usually mixed with natural polymers, such as starch or pro-oxidants. However, the essential question whether biodegradable bags are really eco-friendly and can be decomposed by microorganisms in the environment has not been answered yet. The aim of the study was to determine the biodegradability of commercially available disposable bags.

Material and methods. Three different plastic bags (polyethylene, polyethylene oxy-biodegradable, polyethylene biodegradable with addition of starch) and one paper bag were used in the study. Biodegradation of the bags was studied for 12 months in the soil environment (both with or without addition of the microbial agent). The efficiency of material biodegradation was assessed periodically using three different methods: CO₂ evolution test, mechanical properties analysis and biofilm formation analysis.

Results. The results suggest that only paper bags are completely biodegradable in the soil environment, as could be seen by their high mineralisation, deterioration of mechanical properties and formation of a bacterial biofilm on cellulose fibres. Polyethylene bags with the addition of starch were biodegradable, but to a lesser extent. Other bags were resistant to microbial degradation in soil. The addition of the microbial agent did not influence biodegradability of the bags under study.

Conclusions. The so-called ‘biodegradable’ plastic bags under study could not be bioavailable to autochthonous microorganisms inhabiting soil. Although they are described as ‘biodegradable’ on their labels, they may not be as eco-friendly as their manufacturers declare. Therefore, it is important to develop new, biodegradable polymer materials that can be used for production of commercially available bags.

Keywords: biodegradable bags, plastic bags, biodegradation, mechanical properties, respirometric tests, biofilm

Adres do korespondencji – Corresponding address:

Marta Woźniak-Karczewska, Instytut Technologii i Inżynierii Chemicznej, Politechnika Poznańska, ul. Berdychowo 4, 60-101 Poznań, Poland, e-mail: marta.w.wozniak@doctorate.put.poznan.pl

Zaakceptowano do opublikowania – Accepted for publication:

17.12.2017

Do cytowania – For citation:

*Woźniak-Karczewska, M., Giszter, R., Kutrowska, A., Czaban, A., Marecik, R., Szulc, A., Kloziński, A. (2018). Czy komercyjnie dostępne „foliowe torby biodegradowalne” są przyjazne środowisku? *Nauka Przyr. Technol.*, 12, 1, 5–17. <http://dx.doi.org/10.17306/J.NPT.00227>*