

AGNIESZKA EWA STĘPIEŃ

Uniwersytet Rzeszowski
Centrum Biotechnologii Stosowanej i Nauk Podstawowych
Zamiejscowy Wydział Biotechnologii z siedzibą w Weryni
Zakład Biotechnologii
ul. Sokołowska 26, 36-100 Kolbuszowa
e-mail: astepien@univ.rzeszow.pl

Mikrobiologiczna degradacja tworzyw poliuretanowych

Streszczenie — Artykuł stanowi przegląd literatury obejmującej zagadnienia związane z mikrobiologiczną degradacją tworzyw poliuretanowych (PUR). Omówiono podatność różnych typów poliuretanów na degradację z udziałem mikroorganizmów glebowych (bakterii, grzybów mikroskopowych) w warunkach laboratoryjnych bądź naturalnych. Scharakteryzowano wpływ środowiska na przebieg procesu biodegradacji a także zależność stopnia degradacji od struktury i krystaliczności PUR.

Słowa kluczowe: poliuretany, biodegradowalność, mikrobiologiczna degradacja.

MICROBIOLOGICAL DEGRADATION OF POLYURETHANES

Summary — The article presents a review of scientific literature related to microbial degradation of polyurethane (PUR). Susceptibility of polyurethane for degradation by soil microorganisms (bacteria, microscopic fungi) are discussed. The environmental conditions under which the biodegradation process proceeds and the impact of the structure of PUR on the degree of degradation were characterized.

Key words: polyurethane, biodegradability, microbial degradation.

W ostatnich latach coraz więcej uwagi poświęca się biodegradacji materiałów polimerowych, głównie z powodu wzrostu ich produkcji i zwiększających się składowisk odpadów tworzyw sztucznych zanieczyszczających środowisko. Świadomość narastającego problemu inicjuje poszukiwania możliwości biologicznej degradacji polimerów. Odporność na degradację tworzyw polimerowych jest jednak ważna ze względu na ich zastosowanie, w warunkach eksploatacji nie powinny bowiem zmieniać swoich mechanicznych właściwości.

W przyrodzie biotyczne i abiotyczne czynniki (m.in. promieniowanie słoneczne, zanieczyszczenia atmosferyczne, energia cieplna, obecność wody), działając synergistycznie wspomagają rozkład materii organicznej. Badania biologicznej degradacji polimerów syntetycznych wykazują, iż degradacja abiotyczna poprzedza działanie mikroorganizmów [1].

Decydującą rolę w procesie biologicznej degradacji tworzyw polimerowych w warunkach środowiska naturalnego odgrywają mikroorganizmy, takie jak: bakterie, grzyby, pierwotniaki lub glony [2].

Biodegradacja tworzyw polimerowych przebiega pod wpływem destrukcyjnego oddziaływania mikroorganizmów powodującego zmiany (pogorszenie) ich właściwości wskutek przebiegu szeregu reakcji biochemicznych. Proces mikrobiologicznej degradacji rozpoczyna

się kolonizacją grzybów mikroskopowych i bakterii na powierzchni polimeru. W sprzyjających dla ich rozwoju warunkach (w obecności tlenu, wilgoci, mikroelementów, w odpowiedniej temperaturze i pH) mikroorganizmy wydzielają enzymy inicjujące proces depolimeryzacji prowadzący do ostatecznego rozkładu polimeru na monomery lub do powstawania innych związków małowcząsteczkowych [3–6], które następnie są przyswajane przez mikroorganizmy jako materiał odżywczy.

Warunki środowiskowe oraz gatunek mikroorganizmu określają przebieg degradacji. W warunkach tlenowych końcowymi produktami całkowitej degradacji są: biomasa, CO₂ i H₂O (degradacja aerobowa) a w warunkach beztlenowych: biomasa, CH₄ i H₂O (degradacja anaerobowa) [7].

W przypadku częściowej biodegradacji rozkładowi ulega jeden ze składników tworzywa (biorozkład) [8].

Obecne na powierzchni różnych materiałów mikroorganizmy mogą tworzyć specyficzne ugrupowania zwane biofilmami, stanowiąc w takiej postaci poważne zagrożenie dla wyrobów polimerowych [7]. Wywołując zmiany w strukturze chemicznej polimeru podczas biodegradacji, pogarszają jednocześnie właściwości mechaniczne wyrobu polimerowego powodując biodeteriorację. Takie działanie drobnoustrojów w obrębie danego materiału polimerowego, pochodzenia zarówno naturalnego, jak

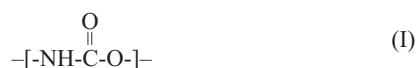
i syntetycznego niekorzystnie wpływa na jego właściwości użytkowe ograniczając zastosowanie [9].

Przebieg mikrobiologicznej degradacji tworzyw polimerowych zależy nie tylko od czynników biologicznych, ale również od właściwości polimeru, takich jak: orientacja cząsteczek, krystaliczność, ciężar cząsteczkowy, usieciowanie i obecność grup chemicznych w łańcuchu polimeru oraz dodatków decydujących o przebiegu całkowitej lub częściowej degradacji [8–13].

W niniejszym artykule, na podstawie badań prezentowanych w aktualnych opracowaniach naukowych, dokonano oceny podatności poliuretanów (PUR) na degradację mikrobiologiczną.

CHARAKTERYSTYKA POLIURETANÓW

Poliuretany (PUR) to liniowe lub usieciowane polimery, otrzymywane w procesie poliaddycji wielofunkcyjnych izocyjanianów z dwu- lub więcej funkcyjnymi poliostro- lub polieterolami oraz małowcząsteczkowymi diolami lub aminami, charakteryzujące się występowaniem w ich głównych łańcuchach polarnego ugrupowania uretanowego (I).



Specyficzna mikrofazowa struktura utworzona przez segmenty sztywne zbudowane z reszt izocyjanianowych, grup uretanowych i przedłużaczy oraz segmenty giętkie złożone z grup metylenowych i eterowych bądź estrowych determinują właściwości poliuretanów.

Dzięki takiej strukturze chemicznej poliuretany cechują się dużą elastycznością, a jednocześnie dość dobrą wytrzymałością na rozciąganie, regulowaną w szerokim przedziale wartości twardością i dobrą odpornością na ścieranie. Niestety, poliuretany powyżej temp. 130 °C są jednak niestabilne termicznie, ponadto wykazują zróżnicowaną odporność chemiczną i biologiczną [14–21]. Charakteryzują się mianowicie wyjątkową odpornością na działanie wody i czynników atmosferycznych, bardzo dobrą odpornością na działanie olejów, smarów, rozpuszczalników organicznych, rozcieńczonych kwasów i zasad.

Poliuretany znajdują bardzo szerokie zastosowanie w wielu dziedzinach jako tworzywa piankowe, elastomery konstrukcyjne i powłokowe, kleje, farby, materiały skóropodobne, włókna, środki pomocnicze i, od niedawna, jako biomateriały w medycynie lub inżynierii tkankowej.

Komórkowe elastomery PUR jako pianki giętkie są wykorzystywane w motoryzacji i meblarstwie, sztywne pianki natomiast zapewniają lekkość i trwałość konstrukcji oraz doskonałą izolację termiczną (pianki zamknięte) lub akustyczną (otwartokomórkowe) [14–21].

Zastosowanie poliuretanów w wielu dziedzinach gospodarki, zwłaszcza w ciepłownictwie i budownictwie w charakterze izolacji, wymaga określenia ich podatności

na działanie mikroorganizmów, na które są narażone w warunkach eksploatacji.

Jednocześnie wzrost produkcji PUR powoduje zwiększenie ilości odpadów zalegających na wysypiskach i stanowi poważne zagrożenie dla środowiska naturalnego. Poznanie zatem mechanizmu mikrobiologicznej degradacji poliuretanów umożliwi ich właściwe zastosowanie oraz biologiczny recykling.

MIKROBIOLOGICZNA DEGRADACJA PUR W WARUNKACH LABORATORYJNYCH

Degradację poliuretanów pod wpływem mikroorganizmów glebowych przedstawili, m.in. Blade i Howard [22]. Stwierdzili oni wzrost kolonii bakterii z rodzaju *Bacillus sp.* na pożywce agarowej, zawierającej koloidalny roztwór poliuretanu Impranil DLNTM (zsyntezowanego z poliheksa/neopentylodypinanu i izocyjanianu heksametylenu HDI [23]) jako źródło węgla koniecznego do rozwoju mikroorganizmów. Po 4 dniach eksperymentu w temp. 30 °C zaobserwowano zanik poliuretanu, świadczący o jego degradacji.

Rowe i Howard [24] w swoich badaniach również zaobserwowali intensywny wzrost kolonii bakterii glebowych *Bacillus subtilis* na podłożu agarowym z dodatkiem koloidalnego roztworu Impranilu, w temp. 30 °C, ale już po 24 h.

Kay i współpr. [25] analizowali zmiany struktury chemicznej i właściwości fizycznych poliuretanu (zsyntezowanego z diizocyjanianu toluilenu — TDI i polietylenodypinianu — PEA) po degradacji przebiegającej z udziałem szczepu bakterii *Corynebacterium sp.* Szczep ten inkubowali w temperaturze otoczenia przez 13 dni na pożywce zawierającej sole mineralne i wyciąg drożdżowy z dodatkiem poliuretanu. Na podstawie analizy widm IR przed i po biodegradacji stwierdzili zmiany w strukturze chemicznej poliuretanu wskazujące na hydrolizę estrowego segmentu łańcucha polimeru. Zaobserwowano ponadto wyraźne pogorszenie właściwości mechanicznych (zmniejszenie wytrzymałości na rozciąganie i wydłużenie) próbek poliuretanu po biologicznej degradacji.

Akutsu i współpr. [26] również oceniali zmiany w strukturze chemicznej poliuretanu (zsyntezowanego z TDI i PEA) po degradacji z udziałem wyizolowanego z gleby szczepu bakterii *Comamonas acidovorans TB-35*. Po 24 h degradacji w temp. 30 °C, metodą chromatografii gazowej (GC) oraz wysokosprawnej chromatografii (HPLC), stwierdzono obecność w podłożu hodowlanym: glikolu dietylenowego oraz kwasu adypinowego. Obecność tych związków świadczy o przebiegu hydrolizy wiązania estrowego w giętkim segmencie poliuretanu. Za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM) zaobserwowano również morfologiczne zmiany powierzchni: liczne wżery i pęknięcia.

Gautam i współpr. [27] badali możliwość degradacji odpadów pianek poliuretanowych używanych

w motoryzacji, pod wpływem *Pseudomonas chlororaphis* ATCC 55729. W ciągu 12 dni inkubowali ten szczep na pożywce mineralnej z dodatkiem próbek PUR w temp. 29 °C. Zaobserwowali wzrost liczebności bakterii oraz wydzielanie się azotu i glikolu dietylenowego, a analiza SEM obrazu powierzchni próbek po biodegradacji wykazała obecność w matrycy pianki licznych kraterów. Wszystkie te zmiany potwierdzają podatność pianek poliuretanowych na degradację przebiegającą z udziałem *P. chlororaphis*.

Upreti i Srivastava [28] poddali degradacji polietero-uretan (produkt firmy Kanpur, oparty na polieterolu i cykloalifatycznym diizocyjanianie) wykorzystując wyizolowany z gleby grzyb *Aspergillus foetidus*. Próbkę PUR w pożywce mineralnej z *A. foetidus* inkubowali w temp. 30 °C w ciągu 90 dni. Metodą mikroskopii skaningowej SEM na powierzchni zdegradowanego PUR zaobserwowano liczne pęknięcia, stwierdzono ponadto pogorszenie właściwości mechanicznych (wytrzymałości na rozciąganie, modułu sprężystości przy rozciąganiu i wydłużenia przy zerwaniu). Ibrahim i współpr. [29] oceniali podatność na degradację wyizolowanym z gleby grzybem *Alternaria solani* poliesteruuretanu (syntezowanego w Instytucie Zastosowań Biochemii Uniwersytetu Tsukuba, Ibaraki, Japonia) inkubując grzyb przez 3 tygodnie w temp. 30 °C i pH = 7 w obecności poliesteruuretanu jako jedyne źródła węgla. Po upływie tego czasu zaobserwowali ubytek masy próbek, zmniejszenie wytrzymałości na rozciąganie przy zerwaniu i wydłużenie przy zerwaniu. Stwierdzono również mikroskopijne pęknięcia na powierzchni poliesteruuretanu. Wyniki analizy widm FT-IR wykazały zmiany struktury chemicznej w estrowym fragmencie łańcucha poliuretanu, a dzięki użyciu techniki HPLC wykryto obecność kwasu adypinowego, glikolu dietylenowego oraz aminy, świadcząca o przebiegu hydrolizy wiązania estrowego oraz uretanowego PUR i wskazanie jej jako głównego mechanizmu degradacji.

MIKROBIOLOGICZNA DEGRADACJA PUR W GLEBIE

Omówione badania mikrobiologicznej degradacji, prowadzone w kontrolowanych warunkach laboratoryjnych nie odzwierciedlały jednak w pełni rzeczywistego przebiegu procesu.

Potrzebne było zatem podjęcie prac zmierzających do poznania mechanizmu degradacji przebiegającej w warunkach naturalnych, np. w glebie.

W tym celu Cosgrove i współpr. [30] umieścili próbki poliesteruuretanu Impranil w dwóch rodzajach gleby o pH = 5,5 (kwaśnej) i pH = 6,7 (obojętniej). Po 5 miesiącach stwierdzono zmniejszenie się o 95 % wytrzymałości na rozciąganie próbek, zarówno w glebie kwaśnej, jak i obojętniej. Dominującymi mikroorganizmami (oznaczonymi w posiewie z powierzchni PUR) w glebie kwaśnej były grzyby z gatunku *Geomyces pannorum* a w glebie obojętniej *Phoma* sp.

W dalszych badaniach Cosgrove i współpr. [31] oceniali możliwość biostymulacji degradacji PUR z udziałem mikroorganizmów glebowych. Próbkę poliesteruuretanu Impranil z czynnikiem biostymulującym (ekstraktem drożdżowym) lub bez, umieszczono w glebie na okres 4 tygodni z wyhodowanymi na sterylnej pszenicy grzybami *Nectria haematococca*, *Penicillium viridicatum*, *Penicillium ochrochloron* lub nieidentyfikowanymi *Mucormycotina* sp. Biostymulacja wyciągiem drożdżowym zwiększyła degradację Impranilu, nastąpił spadek wytrzymałości na rozciąganie o 65 %.

Suresh S. Umare i współpr. [32] prowadzili degradację w glebie poliesteruuretanu otrzymanego z poli(sebacyanianu propylenu) (PPS), MDI i butano-1,3-diolu, w różnym stosunku molowym. Próbkę PUR umieścili na 140 dni w ogrodniczej glebie o pH = 7,5, w warunkach laboratoryjnych w temp. 30 °C. Zaobserwowali liniowy ubytek masy, zmniejszenie ciężaru cząsteczkowego poliesteruuretanu (metodą FT-IR), wzrost temperatury topnienia próbki, stopnia krystaliczności wraz z upływem czasu biodegradacji. Analiza struktury chemicznej PUR po degradacji w glebie wskazywała na hydrolizę wiązania estrowego i uretanowego. Obserwowana za pomocą SEM powierzchnia próbek wykazywała liczne małe ubytki, pęknięcia i zagłębienia. Wyniki badań świadczą, iż mała krystaliczność poliuretanu wpływa na przyspieszenie degradacji z udziałem mikroorganizmów glebowych.

Shah i współpr. [33] opisali zdolność folii poliesteruuretanowej [poli(4,4'-metyleno-bis(fenylizocyjanianobutano-1,4-diol/poli(adypinian butylenu))] do degradacji z udziałem bakterii obecnych w glebie pobranej ze składowisk odpadów z tworzyw polimerowych w Islamabadzie (Pakistan). Na powierzchni próbek folii umieszczonej na okres 6 miesięcy w temp. 30–35 °C w glebie z dodatkiem podłoża mineralnego i glukozy jako źródła węgla, zidentyfikowano szczepy bakteryjne: *Bacillus* sp. AF8, *Pseudomonas* sp. AF9, *Micrococcus* sp. 10, *Arthrobacter* sp. AF11, *Corynebacterium* sp. AF12. Stwierdzono większą emisję CO₂ (określoną testem Sturm) podczas degradacji niż w przypadku próbki kontrolnej, co wskazuje na zwiększoną aktywność obecnych na powierzchni folii bakterii, świadcząca o ich zdolności do wykorzystania PUR jako źródła węgla i energii. Badanie skaningowym mikroskopem elektronowym wykazało zmiany w morfologii powierzchni folii poliuretanowej. Z analizy widm FT-IR wynika, że w strukturze chemicznej próbek nastąpiły zmiany świadczące o przebiegu hydrolizy wiązań estrowych.

Barratt i współpr. [34] w celu zidentyfikowania dominujących degradujących mikroorganizmów obecnych w glebie określali zależność pomiędzy pojemnością wodną gleby (water holding capacity WHC) a biodegradacją poliesteruuretanu. Grzyby i bakterie odzyskiwano z biofilmu powstałego na powierzchni poliesteruuretanu Impranil DLN (Bayer GmbH, Dormagen, Niemcy) przechowywanego przez 44 dni w glebie o określonym WHC (15–100 %). Odnotowano spadek o 60 % wartości

wytrzymałości na rozciąganie próbek tylko w przypadku gleby o WHC w granicach 20–80 %. Zidentyfikowano 13 szczepów grzybów reprezentujących trzy główne typy morfologiczne kolonii odpowiedzialnych za degradację PUR, mianowicie: *Nectria gliocladioides* (pięć szczepów), *Penicillium ochrochloron* (jeden szczep) i *Geomyces pannorum* (siedem szczepów), który był dominującym mikroorganizmem degradującym PUR. Po usunięciu biofilmu, na powierzchni poliuretanu za pomocą SEM obserwowano pęknięcia i przebarwienia, ale tylko w przypadku próbek przechowywanych w glebie o WHC z zakresu 20–80 %. Oznacza to, że pojemność wodna gleby w istotnym stopniu wpływa na degradację PUR.

Oceguera Cervantes i wspópr. [35] analizowali próbki pianek poliuretanowych Hydroform (produkt firmy Polyform, Meksyk), pobrane ze składowiska odpadów polimerowych (Bordo de Xochiaca, Nezahualcoyotl, Edo. De Mexico, Meksyk). Za pomocą magnetycznego rezonansu jądrowego, FT-IR i spektroskopii masowej sprzężonej z chromatografią gazową zidentyfikowano Hydroform jako poliuretan. Następnie mikroorganizmy wyizolowane z powierzchni pianki poliuretanowej inkubowano na podłożu minimalnym, w warunkach laboratoryjnych przez 5 dni w temp. 37 °C. Zidentyfikowanymi szczepami zdolnymi do wzrostu na piance były *Alicyclophilus sp.* i *Alicyclophilus denitrificans*. Udział *Alicyclophilus sp.* w rozkładzie PUR potwierdzają zmiany w widmie IR, wskazujące na hydrolizę wiązania estrowego, oraz liczne, obserwowane za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego, dziury na powierzchni stałej pianki.

Kim i wspópr. [36] zbadali biodegradowalność poliuretanów o różnym składzie chemicznym w warunkach aerobowych, zgodnie z zaleceniami normy [37], wykorzystując bioreaktor zawierający kompost. Próbkę PUR przetrzymywano w bioreaktorze z kompostem organicznym o pH = 6,8 i temp. 35 °C – 1 dobę, w temp. 58 °C – 4 doby, w temp. 50 °C – 22 doby, w temp. 35 °C – 3 doby. Wpływ biodegradacji oceniono na podstawie ubytku masy, który w przypadku PUR otrzymanego z HDI-PCL wyniósł 50,4 %. Przy użyciu SEM zaobserwowano największe zmiany powierzchni próbek PUR otrzymanych z MDI-PHA.

Urgun-Demirtas i wspópr. [38] oceniali podatność na biologiczną degradację pianki poliuretanowej, stosowanej jako materiał zabezpieczający wysypiska śmieci. W warunkach laboratoryjnych umieścili pianki w glebie na okres 10 tygodni, w temp. 25 °C, a jednocześnie w bioreaktorze na okres 30 dni, w temp. 25 °C, w warunkach beztlenowych. Wykazano, że pianki PUR nie ulegają biodegradacji w warunkach beztlenowych, nie stwierdzając zmiany masy próbek, wytrzymałości na rozciąganie oraz wzrostu bakterii beztlenowych wykorzystujących poliuretan jako źródło węgla lub azotu. Analiza FT-IR potwierdziła niezmienną strukturę chemiczną pianki po biologicznej ekspozycji. W opisanych warunkach poliuretan o podanym składzie chemicznym

jest odporny na oddziaływanie mikroorganizmów glebowych, co umożliwia wykorzystanie go, m.in. jako materiał zabezpieczający na wysypiskach śmieci bądź jako powłoki ochronne.

PODSUMOWANIE

Analiza wyników prezentowanych publikacji naukowych dowodzi, że degradacja poliuretanów przebiegająca z udziałem mikroorganizmów glebowych zależy od ich budowy chemicznej, głównie polioliu (poliestro- bądź polieterolu), rodzaju wiązań w łańcuchach oraz stopnia krystaliczności polimeru.

Poliuretany, mające w strukturze chemicznej ugrupowanie estrowe są podatne na degradację mikroorganizmami glebowymi, co umożliwia ich recykling na drodze biologicznej.

Pianki poliuretanowe nie ulegają natomiast działaniu takich mikroorganizmów, dzięki temu mogą być stosowane jako materiał zabezpieczający składowiska odpadów, chroniący tym samym środowisko naturalne przed skażeniem.

Dodatkowa biostymulacja wzrostu i aktywności metabolicznej mikroorganizmów przyspiesza degradację tworzyw poliuretanowych przebiegającą z ich udziałem, co może być wykorzystywane do rekultywacji środowisk zanieczyszczonych odpadami poliuretanowymi.

Dokładniejsze określenie podatności PUR na degradację wywołaną mikroorganizmami glebowymi wymaga uwzględnienia warunków glebowych, m.in. wartości pojemności wodnej gleby (WHC).

Zrozumienie zaś mechanizmu takiego mikrobiologicznego rozkładu jest możliwe po ustaleniu relacji biochemicznych między strukturą chemiczną poliuretanów a mikroorganizmami.

Pozwoli to zaprojektować poliuretany o określonej strukturze chemicznej determinującej właściwości mechaniczne nie zmieniające się pod wpływem środowiska, np. gleby. Wiedza z tego zakresu jest niezmiernie ważna ze względu na szerokie zastosowanie poliuretanów, zwłaszcza jako materiałów ochronnych w różnego typu instalacjach w budownictwie oraz ciepłownictwie.

LITERATURA

1. Lucas N., Bienaime Ch., Belloy Ch., Queneudec M., Silvestre F., Nava-Saucedo J.-E.: *Chemosphere* 2008, **73** (4), 42.
2. Kaczmarek H.: *Polimery* 1997, **42**, 521.
3. Nowak B., Pająk J., Łabuźek S.: *Problemy Ekologii* 2003, **7**, 110.
4. Fabrycy E.: mat. konf. „Recykling tworzyw sztucznych”, Szczecin 1993, str. 153–171.
5. Łabuźek S., Pająk J., Nowak B.: *Polimery* 2005, **50**, 675.
6. Łabuźek S., Pająk J., Nowak B.: *Biotechnologia* 2008, **1** (80), 45.
7. Gu J.-D.: *Int. Biodeter. Biodegrad.* 2003, **52**, 69.
8. Szlezyngier W.: „Tworzywa sztuczne”, t. 3., rozdz. IV, Rzeszów 1999.

9. PN-EN ISO 846:1997 Tworzywa sztuczne. Ocena działania mikroorganizmów.
10. Kozłowska A.: *Tworzywa sztuczne i chemia* 2004, **3**, 25.
11. Kaczmarek H., Bajera K.: *Polimery* 2006, **51**, 719.
12. Kaczmarek H., Bajera K.: *Polimery* 2007, **52**, 13.
13. Howard G. T.: *Int. Biodeter. Biodegrad.* 2002, **49**, 245.
14. Randall Aamer Ali S., Fariha H., Abdul H., Safia A.: *Int. Biodeter. Biodegrad.* 2008, **26**, 246.
15. Randall D. D.: „The Polyurethanes Book”, J. Wiley & Sons Ltd., 2002.
16. Oertel G.: „Polyurethane Handbook”, 2nd Ed., Hanser Publisher, New York 1994.
17. Wirpsza Z.: „Poliuretany, chemia, technologia, zastosowanie”, WNT, Warszawa 1991.
18. Olczyk W.: „Poliuretany”, WNT, Warszawa 1968.
19. Król P.: „Linear Polyurethanes”, Leiden-Boston 2008.
20. Florjańczyk Z., Penczek S.: „Chemia polimerów”, t. 3, Warszawa 1998.
21. Błędzki A., Fabrycy E.: *Polimery* 1992, **37**, 343.
22. Blake R. C., Howard G. T.: *Int. Biodeter. Biodegrad.* 1998, **42**, 63.
23. *Pat. USA* 5 233 009 (1993).
24. Rowe L., Howard G. T.: *Int. Biodeter. Biodegrad.* 2002, **50**, 33.
25. Kay M. J., McCabe R. W., Morton L. H. G.: *Int. Biodeter. Biodegrad.* 1993, **31**, 209.
26. Akutsu Y., Nakajima-Kambe T., Nomura N., Nakahara T.: *Appl. Environ. Microbiol.* 1998, **64**, 62.
27. Gautama R., Bassi A. S., Yanful E. K., Cullen E.: *Int. Biodeter. Biodegrad.* 2007, **60**, 245.
28. Upreti U. C., Srivastava R. B.: *Curr. Sci.* 2003, **84** (11–10), 1399.
29. Ibrahim N. I., Anwar M., Khalid M. H., Saadoun S., Maswadeh H. M., Nakajima-Kambe T.: *Adv. Environ. Biol.* 2009, **3** (2), 162.
30. Cosgrove L., McGeechan P. L., Robson G. D., Handley P. S.: *Appl. Environ. Microbiol.* 2007, **73** (18), 5817.
31. Cosgrove L., McGeechan P. L., Robson G. D., Handley P. S.: *Appl. Environ. Microbiol.* 2010, **76** (3), 810.
32. Umare Suresh S., Chandure Ajay S.: *Chem. Eng. J.* 2008, **142**, 65.
33. Shah A. A., Hasan F., Akhter J. I., Hameed A., Ahmed S.: *Annal. Microbiol.* 2008, **58** (3), 381.
34. Barratt S. R., Ennos A. R., Greenhalgh M., Robson G. D., Handl P. S.: *J. Appl. Microbiol.* 2003, **95**, 78.
35. Ocegüera-Cervantes A., Carrillo-García A., Lopez N., Bolanos-Nunez S., Cruz-Gomez M. J., Wachter C., Loza-Tavera H.: *Appl. Environ. Microbiol.* 2007, **73** (19), 6214.
36. Kim Y. D., Kim S. Ch.: *Polym. Degrad. Stab.* 1998, **62**, 343.
37. ASTM 5338-92.
38. Urgun-Demirtas M., Singh D., Pagilla K.: *Polym. Degrad. Stab.* 2007, **92**, 1599.

Otrzymano 23 IX 2010 r.

9th WPC, NATURAL FIBRE AND OTHER INNOVATIVE COMPOSITES CONGRESS 19–20 June 2012, Stuttgart/Fellbach

Organizers: Kunststoffe, Kunststoffe International

Subject areas:

- Natural and cellulose fiber-reinforced, innovative plastic composites
- Innovative processing and manufacturing methods for bio-based polymers and composites
- Bio-based materials and biocomposites
- Additives and fillers for bio-based polymers and composites
- Innovative applications, e.g. for the furniture, construction, aircraft, packaging, sport and automotive industries

Please submit your abstract to www.nfc-congress.com

The abstract must contain the following information:

- Self-explanatory title for your paper
- Information on the presenter and co-authors (names and contact data)
- Assignment to the appropriate subject area
- List of previous publications on the topic
- The abstract must not exceed 300 words (one DIN A4 page).

Deadlines – Submittal of full paper – 30 March 2012

Participation fee: € 990.– Special price for subscribers to *Kunststoffe* or *Kunststoffe International*: € 920.– University staff/poster exhibit: € 450.– (One presenter per paper can participate for free). Prices do not include VAT.

Location: Schwabenlandhalle, Tainer Strasse 7-9, 70734 Stuttgart-Fellbach/Germany, tel.: +49/711/5859-0, Fax: +49/711/5859-304

Contact: Carl Hanser Verlag, Petra Ziegler/Project Manager, Kolbergerstrasse 22, DE 81679 Munich/Germany, tel.: +49/89/99830-522, Fax: +49/89/998 30-157, tagungen@hanser.de

www.nfc-congress.com