

PIOTR SIWEK¹⁾, ANDRZEJ LIBIK¹⁾, KRYSZYNA TWARDOWSKA-SHMIDT²⁾,
DANUTA CIECHAŃSKA^{2)*}, IZABELA GRYZA¹⁾

Zastosowanie biopolimerów w rolnictwie

Streszczenie — Artykuł stanowi przegląd literaturowy dotyczący materiałów polimerowych wykorzystywanych w rolnictwie. Wymieniono rodzaje polimerów, postaci i sposoby ich użycia, a także szczegółowo omówiono polimery biodegradowalne, zwracając uwagę na czynniki wpływające na proces degradacji. Opiszano zastosowanie takich biodegradowalnych materiałów, charakteryzując przy tym ich właściwości i wynikającą z nich przydatność w produkcji rolniczej. Osobny rozdział poświęcono polimerom termoplastycznym o właściwościach włóknotwórczych oraz biodegradowalnym materiałom włókninowym przeznaczonym do celów rolniczych.

Słowa kluczowe: biodegradowalność, polimery, rolnictwo.

BIOPOLYMERS AND THEIR APPLICATIONS IN AGRICULTURE

Summary — This paper constitutes a review of the literature of polymeric materials and their applications in agriculture. The various types of polymers, their structure and methods of application have been presented (Fig. 1). Moreover, a comprehensive analysis of biodegradable polymers with special emphasis on the factors influencing their degradation process was also done. The application of these biodegradable materials and the properties, on which their applicability in agricultural production depends was evaluated. A separate chapter was dedicated to thermoplastic polymers with fiber-producing properties and biodegradable fiber materials for agricultural applications.

Keywords: biodegradability, polymers, agriculture.

Materiały polimerowe są wykorzystywane w rolnictwie od połowy ubiegłego wieku. Pierwsze doniesienia na ten temat pojawiły się po 1950 r., kiedy zaczęto je stosować do ściółkowania gleby wokół roślin, pokrywania tuneli, produkcji doniczek a także systemów nawadniających [1]. Początkowo tego rodzaju materiałów używano w tym celu tylko w państwach wysoko rozwiniętych, ale wkrótce także kraje rozwijające się zaczęły je wykorzystywać w produkcji rolniczej, a zwłaszcza w branży ogrodniczej. Na szeroką skalę wykorzystuje się je głównie w krajach, które mają ograniczone powierzchnie uprawowe, a więc w krajach europejskich, w Japonii i Korei [2]. Wprowadzenie do rolnictwa polimerów w postaci osłon umożliwia bowiem producentom uzyskiwanie większych i wcześniejszych plonów, niezależnie także produkcję od warunków klimatycznych, pozwala ponadto na mniejsze zużycie herbicydów i bardziej efektywne wykorzystanie wody (co jest bardzo istotne w dobie zwiększającego się w wielu krajach jej deficytu). Ostatnio obserwuje się rozwój produkcji materia-

łów z polimerów biodegradowalnych, których wiele tysięcy ton rocznie przeznaczają się na potrzeby rolnictwa [3].

Stosowane w rolnictwie materiały polimerowe to przede wszystkim polietylenowe folie oraz polipropylenowe włókniny, znajdujące zastosowanie w uprawach wielu roślin [2]. Problem stanowi jednak duża trwałość takich materiałów, które zabezpieczane dodatkami fotostabilizatorów przed działaniem promieniowania UV, w warunkach klimatu umiarkowanego ulegają rozkładowi dopiero po wielu latach, a ich przydatność praktyczna wynosi 1–3 lat.

WYKORZYSTANIE MATERIAŁÓW POLIMEROWYCH W ROLNICTWIE

Obecnie światowe zużycie materiałów polimerowych w rolnictwie ciągle wzrasta. Według danych Międzynarodowego Komitetu Wykorzystania Polimerów w Rolnictwie (CIPA) wielkość światowego zużycia takich materiałów potroiła się w okresie od roku 1985 do 2005 [4], a na początku XXI wieku ich roczne zużycie na świecie przekraczało 6,5 mln ton [5]. Najwięcej polimerów wykorzystuje się do: ściółkowania (ok. 13 mln ha powierzchni uprawnych), do przykrywania tuneli foliowych: wysokich (ponad 700 tys. ha) i niskich (900 tys. ha) oraz jako osłony bezpośrednie (40 tys. ha) [6].

¹⁾ Uniwersytet Rolniczy, Katedra Warzywnictwa z Ekonomiką Ogrodnictwa, Al. 29 Listopada, 31-425 Kraków.

²⁾ Instytut Biopolimerów i Włókien Chemicznych, ul. Marii Skłodowskiej-Curie 19/27, 90-570 Łódź.

*) Autor do korespondencji; e-mail: Dciechan@ibwch.lodz.pl

Konsekwencją tak dużego zużycia tworzyw polimerowych w rolnictwie jest stale wzrastające zanieczyszczenie środowiska związane z nieumiejętnym gospodarowaniem ich odpadami. Pomimo aktualnie obowiązującej w Polsce ustawy o odpadach (z dn. 27 kwietnia 2001 r., Dz. U. nr 62) najczęściej stosowaną metodą pozbywania się odpadów polimerowych jest ich spalanie w paleniskach domowych lub na wolnym powietrzu. Duża ich ilość pozostawiana jest także na polach lub zakopywana w ziemi, co przyczynia się do degradacji środowiska naturalnego [7]. Ze względu na wysoki koszt i dużą pracochłonność procesu, recyklingowi podlega tylko niewielka część odpadów [8]. Dla porównania w USA, już od 1990 r., organizacje rządowe (np. APC-American Plastic Council) oraz prywatne firmy zainwestowały ponad miliard dolarów w szkolenia poszerzające świadomość społeczeństwa na temat zagrożeń jakie niosą za sobą duże ilości tworzyw polimerowych zalegających w środowisku naturalnym [9].

Badania nad poszczególnymi etapami rozkładu polimerów w środowisku naturalnym prowadzi się od wielu lat – jednak nadal proces ten nie jest do końca poznany. Wiadomo, że uzależniony jest od warunków środowiska, składu chemicznego materiału oraz powstających w czasie użytkowania uszkodzeń mechanicznych. Prawie wszystkie materiały zawierające węgiel ulegają rozkładowi w środowisku, ale proces może trwać nawet setki lat [9]. Rozkład folii polietylenowych zachodzi pod wpływem degradującego łańcuchy polimerowe promieniowania UV. Szacuje się, że potrzeba ok. 300 lat, aby folia z polietylenu małej gęstości (PE-LD) o grubości 60 μm uległa całkowitej degradacji [9].

POLIMERY BIODEGRADOWALNE

Techniczne i ekonomiczne problemy związane z recyklingiem odpadów materiałów polimerowych przyczyniły się do opracowania technologii wytwarzania tworzyw z surowców odnawialnych, albowiem rozkład takich materiałów przebiega szybko i bez szkodliwego oddziaływania na środowisko naturalne. Polimery biodegradowalne ulegają rozkładowi pod wpływem promieniowania słonecznego, tlenu oraz działania mikroorganizmów. Wykazują małą przepuszczalność powietrza, szybko ulegają mineralizacji do CO_2 , wody i substancji organicznej [10], nie pozostawiają szkodliwych resztek, a po zakończeniu produkcji mogą być wymieszane z glebą, gdzie ulegają końcowej mineralizacji [11, 12].

Polimery biodegradowalne otrzymuje się na drodze naturalnej, biotechnologicznej syntezy związków wielkocząsteczkowych lub w wyniku napełniania bądź modyfikowania substancjami biodegradowalnymi polimerów naturalnych zdolnych do biodegradacji. Do produkcji biomateriałów wykorzystuje się występujące w żywych organizmach biopolimery, takie jak polisacharydy (skrobia, celuloza, chityna i chitozan, kwas alginowy), polipeptydy, poliestry bakteryjne, polimery rozpuszczal-

ne (poliestry, poliamidy, polianhydryny) oraz polimery o szkielecie węglowym [poli(alkohol winylowy), poli(kwas mlekowy), poliakrylany] [10]. Polimery biodegradowalne można przetwarzać stosując większość standardowych metod przetwórstwa, włącznie z termoformowaniem, wyłaczaniem, formowaniem wtryskowym i rozdmuchowym. Dąży się do zwiększenia udziału takich polimerów w materiałach stosowanych w rolnictwie, gdyż ulegają one degradacji w wyniku enzymatycznej hydrolizy i utleniania. Mogą być, np. degradowanymi komponentami wprowadzonymi do niebiodegradowalnej matrycy polimerowej [13].

Etapy procesu biodegradacji

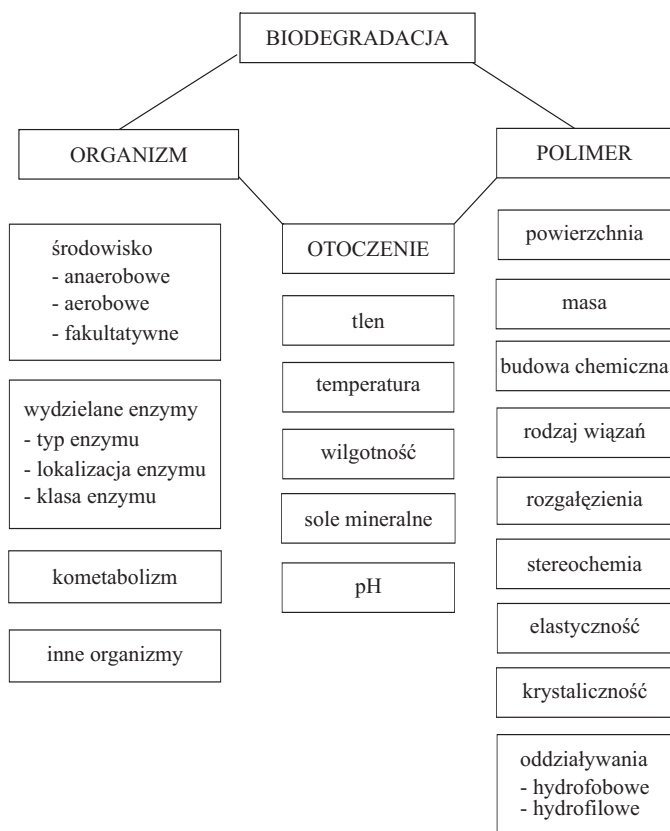
Proces biodegradacji materiałów polimerowych zachodzi w dwóch etapach. Pierwszym z nich jest zwykle fragmentacja materiału powodowana przez takie mikroorganizmy jak grzyby, bakterie lub dżdżownice, owady, gryzonie bądź korzenie roślin. W wyniku tego procesu następuje zwiększenie dostępności powierzchni materiałów polimerowych dla enzymów, działanie których odgrywa znaczną rolę na drugim etapie procesu biodegradacji. Pod wpływem enzymów trawiennych następuje rozkład łańcucha polimerowego do CO_2 lub CH_4 , wody oraz biomasy, przy czym ten drugi etap degradacji może przebiegać równolegle z pierwszym [9].

Czynniki wpływające na proces biodegradacji

Od środowiska, w którym znajduje się polimer, w stopniu decydującym zależy szybkość i stopień jego degradacji. Mikroorganizmy mogą powodować degradację zarówno w warunkach tlenowych, jak i beztlenowych, ale w przypadku braku tlenu proces ten przebiega wolniej [14]. Do innych czynników wpływających na szybkość rozkładu materiałów polimerowych w warunkach naturalnych możemy zaliczyć, m.in.: strukturę i porowatość materiału, wilgotność, temperaturę i pH gleby, różnorodność populacji drobnoustrojów, obecność zanieczyszczeń i ich koncentrację oraz dostępność w glebie składników pokarmowych potrzebnych do namnażania drobnoustrojów (rys. 1). Zbyt niska temperatura i mała wilgotność gleby wpływają hamująco na proces rozkładu. Degradacja może być spowolniona lub nawet całkowicie zahamowana gdy gleba nie wykazuje odpowiedniej aktywności biologicznej lub gdy koncentracja drobnoustrojów jest za mała [9].

Stabilizatory materiałów polimerowych

Duża zdolność biomateriałów do utleniania w środowisku powietrza oraz fotodegradacji pod wpływem promieniowania ultrafioletowego spowodowała, że do ich wytwarzania (podobnie jak w przypadku materiałów konwencjonalnych) powinny być wykorzystywane substancje pomocnicze zapewniające dostateczną trwałość



Rys. 1. Czynniki wpływające na biodegradację polimerów [15]
Fig. 1. Factors influencing the biodegradation of polymers [15]

gotowych wyrobów. Substancje takie częstokroć reagują z polimerem i w konsekwencji tworzą się struktury o dobrych właściwościach mechanicznych, optycznych i termicznych, mogą również wpływać na szybkość rozkładu danego materiału. Do ważniejszych, wzmacniających dodatków używanych w biomateriałach zalicza się, m.in. związki kobaltu, niklu, acetyloaceton, ditiokarbaminiany, żelaziany, stearynian magnezu i in. W materiałach fotodegradowalnych jako stabilizatory mogą być stosowane związki żelaza, niklu, kobaltu a także chlorki, ditiokarbaminiany oraz związki zawierające cer [16].

MATERIAŁY BIODEGRADOWALNE STOSOWANE W ROLNICTWIE

W ciągu ostatnich dwóch dziesięcioleci polimery biodegradowalne znalazły szereg zastosowań, a pierwsze tego typu tworzywa wykorzystywano do produkcji opakowań [17]. Folie opakowaniowe uzyskiwano z poli(kwasu mlekowego) oraz z tworzyw zawierających skrobię lub celulozę, niekiedy modyfikowanych związkami mineralnymi (kreda, kaolin). Takie biodegradowalne opakowania powinny w ciągu sześciu miesięcy, w różnych warunkach środowiskowych pod wpływem bakterii oraz termo- i mezofilnej mikroflory, ulegać rozkładowi do dwutlenku węgla, wody i substancji humusowych. Znaczącym odbiorcą materiałów biodegradowalnych

jest rolnictwo, gdzie wykorzystuje się je w postaci ściółek dla gleby i osłon nad roślinami [18].

Na szczególną uwagę zasługują używane w rolnictwie folie i włókniny biodegradowalne. Pierwsze folie biodegradowalne powstały w laboratoriach Departamentu Rolnictwa Stanów Zjednoczonych (USDA) i są to głównie materiały wytwarzane z modyfikowanej skrobi, często zawierające poli(alkohol winylowy), kopolimer polietylenu i kwasu akrylowego lub poli(chlorek winylu) [10]. Jak już wspomniano, w rolnictwie najbardziej rozpowszechnionym sposobem wykorzystania materiałów biodegradowalnych są ściółki i pokrycia tuneli [12]. Na ściółkach najczęściej uprawia się rośliny o długim okresie wegetacji oraz takie, które rozkładają pędy na powierzchni gleby. Przykrycie gleby ściółką nieprzepuszczającą światła chroni rośliny uprawne przed chwastami i sprzyja rozwojowi systemu korzeniowego. Do takich roślin zalicza się ogórki, dynie, truskawki, arbuzy, melony a także pomidory karłowe i kukurydza. Ściółki ulegające biodegradacji już powszechnie wykorzystuje się, m.in. we Włoszech. Stosowanie biodegradowalnych materiałów w rolnictwie ekologicznym zaleca Międzynarodowa Federacja Rolnictwa Ekologicznego (IFOAM). Na przykład ściółka Mater-Bi jest produkowana w podobny sposób jak konwencjonalna czarna folia polietylenowa, ma zbliżone właściwości fizyczne i chemiczne oraz spełnia europejskie wymagania dotyczące materiałów biodegradowalnych [21]. W uprawie roślin wykorzystuje się również folie fotodegradowalne, zawierające mieszaninę związków żelaza i niklu. Folie takie zapewniają ochronę roślin podczas uprawy a z czasem ulegają rozkładowi pod wpływem światła [23]. Folie fotodegradowalne mogą być również stosowane na kilka tygodni przed sadzeniem roślin do sterylizacji podłoża w wyniku podwyższenia temperatury gleby, umożliwiającej pozbycie się patogenicznych bakterii bez konieczności użycia bromku metylu – związku, który ze względu na szkodliwy wpływ na środowisko do 2010 roku ma być całkowicie wycofany z użycia [18].

Agrowłókniny pozwalają ponadto na lepsze wykorzystanie przez rośliny składników pokarmowych i wody. Folie biodegradowalne stosuje się również w procesie zakiszania do przykrywania silosów oraz przym.

Polimery stosowane do produkcji biodegradowalnych folii dla rolnictwa

Najważniejszymi substratami, z których otrzymuje się folie biodegradowalne wykorzystywane w rolnictwie są polikwasy hydroksyalkanowe (PHB), różne odmiany modyfikowanej skrobi oraz polilaktyd.

Kwasy hydroksyalkanowe to naturalne polimery pozyskiwane ze źródeł odnawialnych, stanowiące materiał zapasowy produkowane w odpowiedzi na stresy środowiskowe przez niektóre gatunki bakterii [19]. Folie otrzymywane z PHB to mieszaniny homo- i kopolimerów bakteryjnych, których całkowita degradacja w glebie

przebiega bardzo szybko – nawet w ciągu 14 dni [20]. Badania wykazały, że bakterie wykorzystujące różne źródła węgla mogą produkować kopolimery o odmiennym składzie, a otrzymane z nich materiały mają niekiedy lepsze właściwości użytkowe niż wyjściowy PHB.

Skrobia to polimer powszechnie występujący w roślinach i łatwo z nich pozyskiwany. Jest całkowicie biodegradowalna w środowisku naturalnym i może być wykorzystywana w produkcji różnego rodzaju materiałów, najczęściej jednak po uprzedniej modyfikacji. W wyniku rozkładu skrobi uwalnia się do atmosfery duża ilość (wcześniej pobieranego przez rośliny) CO₂ [21]. Skrobię do produkcji folii ogrodniczych pozyskuje się z ziemniaków, kukurydzy i ryżu. Pod wpływem mikroorganizmów glebowych ulega ona rozpadowi do nieszkodliwych dla środowiska substancji [10]. Na świecie zarejestrowanych jest ponad 240 tys. odmian ryżu, dlatego też folie otrzymywane ze skrobi ryżowej mogą różnić się między sobą, np. strukturą, wytrzymałością na rozciąganie i pękanie, przepuszczalnością wody i powietrza bądź szybkością degradacji [22].

Polilaktyd (PLA) jest biodegradowalnym, termoplastycznym poliestrem mającym głównie zastosowanie biomedyczne, m.in. do produkcji implantów dentystycznych i nici chirurgicznych. W przyszłości ma on całkowicie zastąpić poliolefiny i inne polimery pozyskiwane z surowców nieodnawialnych [10].

Właściwości folii biodegradowalnych stosowanych w rolnictwie

Wykorzystywane w rolnictwie materiały biodegradowalne powinny mieć niezbyt dużą gramaturę, a jednocześnie być wystarczająco wytrzymałe. Oprócz tego muszą one spełniać trzy najważniejsze wymagania; mianowicie: wykazywać dobre właściwości mechaniczne, zachowywać odpowiednią stabilność podczas przechowywania i użytkowania oraz ulegać całkowitej degradacji w glebie po zakończeniu uprawy. Badania dowodzą, że właściwości biomateriałów zależą głównie od ich składu chemicznego, sposobu produkcji, warunków przechowywania, warunków atmosferycznych podczas użytkowania oraz szybkości starzenia się materiału [2].

Doświadczenia rolnicze z zastosowaniem folii biodegradowalnych

W wielu ośrodkach naukowych na świecie prowadzi się badania wykorzystujące dostępne materiały biodegradowalne w uprawie roślin i potwierdzające ich korzystne oddziaływanie na wydajność plonów i środowisko naturalne. Innym celem tych doświadczeń jest znalezienie bardziej przyjaznych dla środowiska materiałów, umożliwiających jednocześnie optymalizację warunków uprawy. Ocenie w warunkach zarówno polowych, jak i laboratoryjnych poddaje się ich bezpośredni

wpływ na plonowanie roślin, w zależności od warunków atmosferycznych oraz szybkości degradacji.

W zachodniej części Włoch przeprowadzono testy porównujące folie konwencjonalne (PE o grubości 40 µm) z foliami biodegradowalnymi (Mater-Bi 12, 15 i 18 µm) wykorzystywanymi w uprawie pomidora, sałaty, cukinii i kapusty brukselskiej. Degradacja folii biodegradowalnej następowała stopniowo, najszybciej w części przysypanej glebą i ograniczyła kiełkowanie chwastów oraz utratę wody. Plony warzyw z upraw na ściółkach biodegradowalnych były większe (zwłaszcza pomidora i cukinii) lub pozostały na tym samym poziomie (brukselka) co plony otrzymane z obiektów gdzie zastosowano czarną folię polietylenową PE-LD [24].

Podobne wyniki uzyskano w doświadczeniach przeprowadzonych na zachodzie Stanów Zjednoczonych, gdzie testowano wpływ różnych rodzajów ściółek na plon roślin warzywnych. Jedną ze ściółek była folia biodegradowalna Garden Bio-Film. Stwierdzono wówczas, że rośliny uprawiane na ściółkach biodegradowalnych były wyższe i szybciej plonowały niż na pozostałych [1].

Folie biodegradowalne podobnie jak folie konwencjonalne, mogą mieć różne zabarwienie. Najczęściej jest to barwa czarna lub biała, ale może być również srebrna, zielona, brązowa lub niebieska. Badania wpływu różnie zabarwionych folii biodegradowalnych na plony w uprawie pomidora przeprowadzono w środkowej Hiszpanii. Wykazano, że barwa zastosowanego materiału nie miała wpływu na wielkość plonu [25].

BIODEGRADOWALNE POLIMERY TERMOPLASTYCZNE O WŁAŚCIWOŚCIACH WŁÓKNOTWÓRCZYCH

Na światowym rynku pojawia się coraz więcej otrzymanych z surowców naturalnych biopolimerów podatnych na proces biodegradacji. Rozwój nowej generacji termoplastycznych polimerów biodegradowalnych pozwala na wytwarzanie z nich nie tylko folii ale również włókien i włókniń. Spośród znanych sposobów otrzymywania nietkanych wyrobów włókienniczych jednorazowego użytku najbardziej ekonomiczne, ze względu na dużą wydajność, są metody bezpośrednie *spun bond* i *melt blown*. Każda z nich, dająca produkty o innych właściwościach i innym przeznaczeniu, znalazła kilka rozwiązań technologicznych w przemyśle. Dotychczas techniczne wyroby włókiennicze wytwarzane metodą bezpośrednią ze stopu uzyskiwano z polipropylenu i poli(tereftalanu etylenu). Wyroby z tych polimerów są odporne na działanie mikroorganizmów i nie ulegają biodegradacji. Po krótkim okresie użytkowania długo zalegają na wysypiskach. Znanymi polimerami termoplastycznymi, ulegającymi całkowitej biodegradacji w warunkach naturalnych są poliestry alifatyczne uzyskiwane z monomerów, takich jak: kwas glikolowy, kwas mlekowy, kwas masłowy i kaprolakton. Na rynku firmy światowe oferują różne biodegradowalne tworzywa termoplastyczne, m.in.: polilaktyd – NatureWorks (USA), Biomax – Du

Pont (USA), Bionolle — Showa Denko (Japonia), ECO-FLEX — BASF (Niemcy), Eastar Bio — Eastman Chemical Company (USA). W krajowych ośrodkach naukowo-badawczych (m.in. Centrum Badań Molekularnych i Makromolekularnych PAN, Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych PAN, Instytut Biopolimerów i Włókien Chemicznych) prowadzi się badania mające na celu opracowanie technologii otrzymywania biodegradowalnych poliesterów oraz kopolimerów alifatycznych i alifatyczno-aromatycznych. Istotne znaczenie dla rozwoju rynku biodegradowalnych wyrobów włóknistych będzie miało uruchomienie w kraju produkcji surowców do przetwarzania metodą bezpośrednią ze stopu.

W roku 1992 japońska firma Schimadzu wprowadziła na rynek tworzywo Lacty całkowicie oparte na PLA, a ze specjalnego włóknotwórczego typu Lacty firma Kanebo wytworzyła biodegradowalne włókno Lactron. Obecnie, czołowym producentem polimeru PLA jest firma NatureWorks (USA). Z handlowego biopolimeru tej firmy uzyskuje się całą gamę surowców włókienniczych Ingeo™. Produkcję włókien PLA z surowca firmy NatureWorks prowadzi na Tajwanie firma Far Eastern Textiles Ltd. Włókna biodegradowalne PLA są bardzo rozpowszechnione na rynku azjatyckim. Wytwarza je, m.in. kilka firm japońskich. Firma Toray, w roku 2006 wypuściła włókna z PLA o nazwie Ecodal. Znane są też włókna Terramac produkcji firmy Unitika oraz włókna Plastrach firmy Kuraray. Oferowane włókna PLA mają postać włókien ciągłych gładkich i teksturowanych, włókien ciętych a także włókien *spun bonded* i *melt blown*.

Oprócz PLA, na światowych rynkach występują też inne polimery termoplastyczne, np. produkt o nazwie handlowej Bionolle firmy Showa Denko (Japonia). Jest to alifatyczny poliester otrzymany w wyniku polikondensacji glikolu butylenowego z kwasem bursztynowym i adypinowym przeznaczony do przerobu metodą wtryskiwania lub na folie, żyłki, włókna i włókniny [26].

Firma BASF AG. oferuje tworzywo Ecoflex [27]. Jest to biodegradowalny kopolimer wytworzony z glikolu butylenowego, kwasu adypinowego i kwasu tereftalowego, jak dotychczas wykorzystywany do produkcji folii opakowaniowych. Tworzywo o nazwie Eastar Bio opracowane w firmie Eastman, a produkowane obecnie przez włoską firmę Novamont może być przerabiane na włókniny (metodą *spun bonded*) oraz na włókna cięte [28].

BIODEGRADOWALNE MATERIAŁY WŁÓKNINOWE DO CELÓW ROLNICZYCH

Włókninowe materiały biodegradowalne znajdują szerokie zastosowanie jako agrowłókniny do ochrony upraw. Duża powierzchnia polowych upraw warzyw, przekraczająca 200 tys. ha oraz wielkość zbiorów ponad 5 mln ton stawia nasz kraj w europejskiej rolniczej czołówce. Wskaźnikiem rozwoju polskiego warzywnictwa jest pierwsze miejsce w Europie pod względem produkcji kapusty i marchwi, trzecie w produkcji cebuli i ogór-

ków a czwarte w produkcji kalafiorów. Warzywnictwo pod osłonami również rozwija się intensywnie. Świadczy o tym fakt, że zajmujemy 4. miejsce w Europie pod względem powierzchni takiej uprawy i 5. pod względem produkcji. Powierzchnia szklarni i tuneli foliowych zwiększyła się w ostatnim dziesięcioleciu dwukrotnie. Dominują w nich pomidory, ogórki i papryka, której powierzchnia uprawy w ostatnich latach również znacznie wzrosła. Perspektyw dalszego rozwoju warzywnictwa upatruje się w zrównoważonych metodach produkcji, tj. metodzie integrowanej i ekologicznej. Przewiduje się koncentrację produkcji warzyw uprawianych tymi metodami, zwiększanie powierzchni upraw nawadnianych, a także rozwój produkcji warzyw z zastosowaniem osłon.

Wysokie wymagania co do jakości warzyw i owoców dostarczanych na rynek, w ostatnich latach spowodowały wzrost zainteresowania producentów metodami uprawy pozwalającymi na uzyskanie produktów o dużej wartości biologicznej. Jedną z takich metod jest wykorzystanie osłon z materiałów biodegradowalnych. Jak już wspomniano, w ogrodnictwie, oprócz folii polietylenowych stosuje się włókniny polipropylenowe jako materiały do ściółkowania gleby, osłaniania bezpośredniego roślin i przykrywania konstrukcji niskich tuneli. Obecnie w Polsce osłony te stosuje się na powierzchni ok. 5 tys. ha. Ściółkowanie gleby wykonuje się włókniną czarną o gramaturze 50 lub 60 g/m². Do bezpośredniego osłaniania wielu roślin warzywnych i niektórych sadowniczych (truskawka, poziomka) najczęściej używa się włóknin o masie 17, 19 lub 21 g/m². Do okrywania warzyw zimujących w gruncie wykorzystuje się natomiast włókniny grubsze (70–90 g/m²). Ściółkowanie umożliwia regulację temperatury gleby. W istotnym stopniu wpływa ono na parowanie wody z gleby, a tym samym zmniejsza potrzebę nawadniania. Pod tym względem bardzo korzystne warunki stwarzają włókniny, przez które woda swobodnie przenika do gleby, a jej nadmiar może być odprowadzony. Dużą zaletą tego systemu uprawy jest także zabezpieczenie przed chwastami dzięki użyciu ciemno zabarwionych włóknin. Ściółkowanie umożliwia także lepsze wykorzystanie przez rośliny zapasu składników pokarmowych (szczególnie azotu). W wyniku tego zabiegu można wyeliminować użycie herbicydów oraz ograniczyć nawożenie związkami azotu. Wyraźnie lepsze warunki mikroklimatu wokół roślin stwarzają włókniny umieszczane nad nimi, bez konstrukcji nośnych. Wzrost temperatury jest wówczas mniejszy niż pod folią perforowaną, także stosowaną w praktyce ogrodniczej, a przez porowatą strukturę włókniny zachodzi efektywna wymiana powietrza. Dzięki temu ryzyko przegrzania i oparzenia roślin jest minimalne. Pod włókniną występuje też niższa wilgotność powietrza, dzięki czemu maleje zakres porażenia przez choroby grzybowe [29].

Bardzo atrakcyjne z ekologicznego punktu widzenia materiały wykonane z polimerów biodegradowalnych, w niedalekiej przyszłości powinny stać się interesujące

również ze względów ekonomicznych, na skutek rozszerzenia skali i obniżenia kosztów ich produkcji. Już dziś na świecie prowadzi się intensywne prace nad polimerami biodegradowalnymi do zastosowań na włókiennicze wyroby techniczne, przeznaczone do krótkotrwałego, najczęściej jednorazowego użytku. W zależności od przewidywanej aplikacji produkuje się wiele asortymentów włókien, różniących się, m.in. barwą i masą powierzchniową (od 17 do 100 g/m²). Pierwsze włókniny *melt blown* z PLA wytworzono w roku 1993 na Uniwersytecie Tennessee w Knoxville. W roku 1997 francuska firma Fiberweb rozpoczęła produkcję włókien oraz laminatów techniką *melt blown* i *spun laid*. Wyroby te znane są pod nazwą handlową Deposa. Przerobem termoplastycznych polimerów biodegradowalnych na włókniny metodą bezpośrednią zajmuje się od roku 2002 Saksoński Instytut Tekstylny w Chemnitz. Na podstawie wykonanych w tym instytucie badań stwierdzono przydatność polimeru Eastar Bio oraz alifatycznego poliestroamidu firmy Bayer o nazwie BAK 402/006 do otrzymywania włókien technicznych metodą *spun bonded* [30, 31]. Prace z zakresu włókien z termoplastycznych polimerów biodegradowalnych są prezentowane na corocznych konferencjach EDANA i TANDEC.

W ostatnich latach w Katedrze Warzywnictwa z Ekonomiką Ogrodnictwa UR w Krakowie i w Instytucie Warzywnictwa w Skierniewicach wykonano wiele badań dotyczących możliwości wykorzystania włókien (w tym również wytwarzanych z polimerów biodegradowalnych) w uprawie różnych gatunków warzyw, m.in. ogórka, selera naciowego, kalafiora, kapusty pekińskiej. Oceniono wpływ zastosowanych włókien na mikroklimat, wzrost roślin, plonowanie oraz jakość plonu [29].

PODSUMOWANIE

Biodegradowalne ściółki stanowią alternatywę dla tego typu konwencjonalnych wyrobów foliowych, ponieważ nie tylko łatwa jest ich aplikacja, ale też wpływają na poprawę jakości plonu, jego wielkości a ich użycie eliminuje konieczność usunięcia resztek folii z pola po zakończonej uprawie. Najistotniejszym problemem dotyczącym stosowania folii biodegradowalnych w rolnictwie jest ich starzenie się, pękanie i degradacja w toku trwania uprawy. Wzrost wymagań w zakresie ochrony środowiska i proces rozwoju infrastruktury na obszarach wiejskich uzasadnia celowość stosowania w praktyce rolnej folii i włókien biodegradowalnych, dalsze regulacje prawne zasad zintegrowanej produkcji na poziomie regionalnym mają zachęcać do powszechniejszego użycia takich materiałów. Wprowadzenie na rynek folii biodegradowalnych ze względu na ekologiczny charakter utylizacji może częściowo rozwiązać problem zagospodarowania odpadów pochodzących z procesów produkcji w rolnictwie.

LITERATURA

1. Miles C., Garth L., Sonde M., Nicholson M.: *J. Sustainable Agric.* 2003, **16**, 33.
2. Briassoulis D.: *Polym. Degrad. Stab.* 2007, **92**, 1115.
3. Dilara P. A., Briassoulis D.: *J. Agric. Eng. Res.* 2000, **76**, 309.
4. Merino-Pacheco M.: *Plasticulture* 2006, **125**, 72.
5. Jouet J. P.: *Plasticulture* 2001, **120**, 108.
6. Jouet J. P.: *Plasticulture* 2004, **123**, 48.
7. Hiskakis M., Briassoulis D.: "Proceedings of the International Conference of Agricultural Engineers", World Congress 2006, Bonn, Germany, 3–7 września 2006; mat. konf. 4401/1958, archive No 440119580813.
8. Briassoulis D.: *Polym. Degrad. Stab.* 2006, **91**, 1256.
9. Kyriakou I., Briassoulis D.: *J. Polym. Environ.* 2007, **15**, 125.
10. Chandra R., Rustigi R.: *Prog. Polym. Sci.* 1998, **23**, 1273.
11. Scarascia-Mugnozza G., Schettini E., Vox G.: *Biosystem Eng.* 2004, **87**, 479.
12. Scarascia-Mugnozza G., Schettini E., Vox G., Malinoconico M., Immirzi B., Pagliara S.: *Polym. Degrad. Stab.* 2006, **91**, 2801.
13. Majdiuk E.: *Przetwórstwo Tworzyw* 2002, **4** (90), 105.
14. Matsunaga M., Whitney P. J.: *Polym. Degrad. Stab.* 2000, **70**, 325.
15. Łabużek S., Pająk J., Nowak B.: *Ekologia* 2005, **1**, 32.
16. Gross R. A., Kalra B.: *Science* 2002, **297** (5582), 803.
17. Briassoulis D.: *J. Polym. Environ.* 2004, **12** (2), 65.
18. Scott G.: *Polym. Degrad. Stab.* 2000, **68**, 1.
19. Savenkova L., Gercberga., Nikolaeva V., Dzene A., Bibers I., Kalnin M.: *Proc. Biochem.* 2000, **35**, 573.
20. Kunioka M., Kawaguchi Y., Doi Y.: *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 1989, **30** (6), 569.
21. Bastioli C.: *Polym. Degrad. Stab.* 1998, **59**, 263.
22. Bourtoom T., Chinnan M. S.: *Food Sci. Technol.* 2008, **41**, 1633.
23. Potts J. E., in Kirk-Otmer: "Encyclopedia of Chemical Technology", M. Grayson. Wiley — Interscience, NY, 1984, str. 626.
24. Minuto G., Guerini S., Versari M., Pisi L., Tinivella F., Bruzone C., Pini S., Cappurro M.: "2nd Conference of the International Society of Organic Agriculture Research ISO FAR", Modena, Italy, 18–20 lipca 2008.
25. Moreno M., Moreno A.: *Sci. Hortic.* 2008, **116**, 256.
26. Fujimaki T.: *Polym. Degrad. Stab.* 1998, **59**, 209.
27. Starke D., Skuoin G.: *Kunststoffe* 2001, **91** (9), 10.
28. Haile B., Heijne B.: "New Biodegradable Copolyester for Fibre and Nonwoven Applications", Symposium Edana, Kopenhaga, 7–8 czerwca 2001.
29. Siwek P.: "Warzywa pod folią i włókniną". Hortpress sp. z o.o. 2004.
30. Blechschmidt D., Fuchs H., Geus H. G., Kunze B.: "42nd International Man-Made Fibres Congress". Dornbirn: 17–18 września 2003.
31. Schmack G., Tändler B., Vogel R., Häußler L.: *Chem. Fibers Int.* 2003, **53**, 350.

Otrzymano 29 X 2009 r.