

Badanie kinetyki degradacji polimerów pochodzenia biologicznego w glebie w warunkach naturalnych

R. Ślęzak, L. Krzystek

*Katedra Inżynierii Bioprosesowej, Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony
Środowiska, Politechnika Łódzka, ul. Wólczańska 213, 90–924 Łódź*

Większość tworzyw sztucznych jest produkowanych z ropy naftowej. Klasyczne tworzywa sztuczne charakteryzują się dobrymi właściwościami, ale niestety długą akumulacją w środowisku. Pewna część tworzyw sztucznych jest niezagospodarowana, powodując zanieczyszczenie środowiska [Ślęzak i in., 2023:161–401]. Tworzywa pochodzenia biologicznego są alternatywą dla konwencjonalnych tworzyw sztucznych. Na szybkość degradacji mają wpływ warunki biotyczne, abiotyczne oraz właściwości polimeru [Polman i in., 2021:141–953].

Biotyczne czynniki są związane z mikroorganizmami, które mają styczność z degradowanym polimerem. Dokładne określenie biotycznych czynników jest utrudnione ze względu na dużą różnorodność mikroorganizmów w danym środowisku. Abiotyczne czynniki są związane z warunkami na jakie są wystawione tworzywa sztuczne, np. warunki pogodowe (temperatura, wilgotność), właściwości gleby (pH, makro- i mikroelementy, tekstura gleby). Najbardziej popularnymi tworzywami pochodzenia biologicznego są polilaktyd (PLA), a także bursztynian polibutylen (PBS). W celu poprawy właściwości polimerów pochodzenia biologicznego (przejrzystość, biodegradacja) oraz obniżenia

kosztów produkcji, do polimerów dodaje się inne polimery i/lub związki mineralne. Biodegradacja w glebie w warunkach naturalnych jest złożonym procesem i najmniej przebadanym. Celem pracy jest określenie kinetyki degradacji prób w postaci folii wykonanych z polimerów pochodzenia biologicznego z dodatkami.

Badania przeprowadzono dla trzech prób folii oznaczonych BPE-AMF-PLA, BPE-RP-PLA i BPE-SP-PBS. Pierwsza próba (BPE-AMF-PLA) zawierała PLA (70–80%), politereftalan adypinianu butylenu (PBAT) (10–20%) oraz plastifikator (1–2%). Druga próba (BPE-RP-PLA) zawierała PLA (70%) i związki mineralne (30%), a trzecia (BPE-SP-PBS) PBS (85–90%) oraz związki mineralne (<15%). Doświadczenia degradacji prób folii w glebie w warunkach naturalnych przeprowadzono na dwóch polach rolniczych oznaczonych A i B w Straszku (wieś w gminie Kłodawa) przez okres 24 miesięcy. Próby folii o wymiarach 110 × 100 mm zostały zakopane w glebie na głębokość około 10 cm. Po 3, 6, 12, 18 i 24 miesiącach procesu degradacji próby były wykopywane i poddawane analizom. Przed określeniem ubytku masy próby przemywano w wodzie, a następnie suszono w 30°C do stałej masy. Podczas degradacji prób w glebie zbierano dane pogodowe z najbliższej stacji meteorologicznej położonej w Kole. Przed rozpoczęciem badań na polach oznaczonych A i B, przeprowadzono analizę gleby określając pH, zawartość: C, N, P, K, Mg, Ca, S, B, Mn, Cu, Zn, Fe oraz teksturę gleby.

W celu określenia kinetyki degradacji obliczono ubytek masy na podstawie równania (1):

$$\text{ubytek masy} = \frac{m_0 - m_t}{m_0} \cdot 100, \quad (1)$$

gdzie: m_0 – masa próby przed zakopaniem (g), m_t – masa próby po czasie degradacji t (rok). W opisie kinetyki degradacji przyjęto, że ubytek masy próby jest proporcjonalny do powierzchni próby S (m^2) i stałej szybkości degradacji k ($kg \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$) (2):

$$\frac{dm}{dt} = -k \cdot S. \quad (2)$$

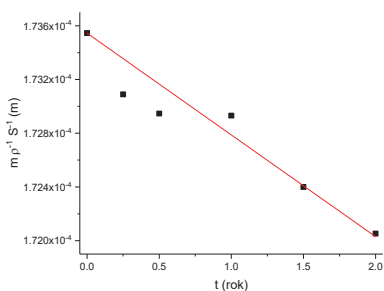
Zakładając, że degradacja zachodzi tylko na powierzchni płaskiej polimeru, to szybkość degradacji jest proporcjonalna do S . Dzieląc stałą szybkości (k) przez gęstość, otrzymano właściwą szybkość degradacji (k_d) z jednostką $m \cdot s^{-1}$. Z przyjętych założeń wynika, że ubytek masy badanej próby jest związany ze zmniejszeniem grubości folii (3):

$$-\frac{dm}{dt} = k_d \cdot \rho \cdot S \quad (3)$$

Po scałkowaniu równania (3) i przekształceniach otrzymano równanie (4):

$$\frac{m_t}{\rho \cdot S} = \frac{m_0}{\rho \cdot S} - k_d \cdot t. \quad (4)$$

Wyrażenie $m \rho^{-1} S^{-1}$ w równaniu (4) umożliwia obliczenie średniej grubości folii na podstawie jej masy. Właściwą szybkość degradacji (k_d) dla badanych prób obliczano z nachylenia prostej (rysunek 1).



Rys. 1. Zmiany grubości foli BPE-RP-PLA podczas degradacji na polu A
Źródło: opracowanie własne.

Wartości właściwej szybkości degradacji (k_d) po 24 miesiącach degradacji przedstawiono w tabeli 1. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń można zaobserwować, że najszybciej ($11,4 \mu\text{m} \cdot \text{rok}^{-1}$) degraduje się folia BPE-SP-PBS. Natomiast najwolniej ($<0,33 \mu\text{m} \cdot \text{rok}^{-1}$) folia oznaczona BPE-AMF-PLA. Należy zaznaczyć, że próba BPE-AMF-PLA ma być wykorzystana jako folia ściółkowa i nie może ulegać zbyt szybkiej degradacji. Największe rozbieżności szybkości degradacji pomiędzy poszczególnymi polami zaobserwowano dla próby BPE-RP-PLA.

Tab. 1. Właściwa szybkość degradacji (k_d) badanych materiałów po 24 miesiącach degradacji

Pole	A			B		
Próba	BPE-AMF-PLA	BPE-RP-PLA	BPE-SP-PBS	BPE-AMF-PLA	BPE-RP-PLA	BPE-SP-PBS
$K_d (\mu\text{m rok}^{-1})$	0,24	0,81	11,8	0,32	2,84	10,9
R^2	0,71	0,95	0,95	0,70	0,90	0,95

Źródło: opracowanie własne.

Badania wykonano w ramach projektu Bio-Plastics Europe EU Project (Horizon 2020, grant agreement no. 860407).

Bibliografia

Polman E.M.N., Gruter G.J.M., Parsons J.R., Tietema A., (2021), Comparison of the aerobic biodegradation of biopolymers and the corresponding bioplastics: A review, "Science of the Total Environment", vol. 753, s. 141–953.

Ślęzak R., Krzystek L., Puchalski M., Krucińska, I., Sitarski A., (2023), *Degradation of bio-based film plastics in soil under natural conditions*, "Science of The Total Environment", vol. 866, s. 161–401.