

Arkadiusz KLOZIŃSKI, Paulina JAKUBOWSKA

e-mail: arkadiusz.klozinski@put.poznan.pl

Zakład Polimerów, Wydział Technologii Chemicznej, Politechnika Poznańska, Poznań

## Właściwości mechaniczne folii użytkowych stosowanych w rolnictwie

### Wstęp

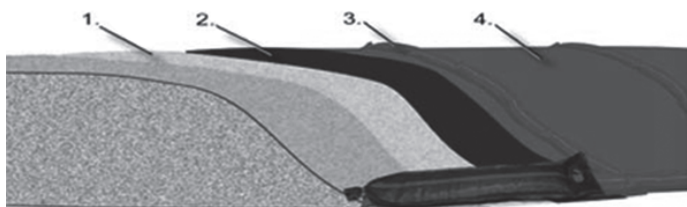
Zużycie tworzyw sztucznych w sektorze rolniczym wynosi około (2–4)% i dotyczy przede wszystkim tworzyw poliolefinowych takich jak PE, PP i PVC w produkcji materiałów o różnym zastosowaniu: folie, liny, sznurki, siatki, rury, rękawy itp. Na masową skalę wytwarzane są również produkty wtryskowe z poliolefin i PS, między innymi: skrzynki, zbiorniki, doniczki, elementy do systemów nawadniających, kontenery i opakowania [Wilczyński, 2002; Hamnett i in., 2000]. Sektor rolniczy jest jednym z największych odbiorców, po sektorze opakowaniowym, produktów foliowych. Folie stosowane są do silosowania, ściółkowania, przykrywania pól uprawnych oraz produkcji worków na nawozy sztuczne, pasze, komposty i komponenty ogrodnicze.

Pod koniec lat 70. ubiegłego wieku zastosowano po raz pierwszy folię do produkcji worków polietylenowych wykorzystywanych w procesie wytwarzania kiszonek. Problem hermetycznego zamykania worków został rozwiązany dopiero pod koniec lat 90. przez zastąpienie worków folią polietylenową do owijania bel [Hamnett i in., 2000]. Obecnie produkcja kiszonek i sianokiszonek odbywa się przy zastosowaniu jednej z trzech podstawowych technologii: konserwacja masy w formie naziemnych silosów, w pryzmach lub belach (balotach) [Hamnett i in., 2000; Rydzik, 1995]. Zadaniem folii w procesie konserwacji kiszonki (niezależnie od typu technologii zakiszania) jest jej szczelne okrycie i stworzenie warstwy barierowej zapewniającej właściwy przebieg procesów fermentacyjnych bez dostępu powietrza. W warunkach takich folia narażona jest na występowanie degradacji, w wyniku bezpośredniego działania czynników atmosferycznych oraz kontaktu z kiszonką, co prowadzić może do pogorszenia jej właściwości użytkowych.

Celem pracy jest ocena wpływu czasu użytkowania folii polietylenowych, zastosowanych po wytwarzania sianokiszonek, na ich właściwości mechaniczne.

### Charakterystyka badanych materiałów

Materiał badawczy stanowiły dwa rodzaje polietylenowej folii do zastosowań w rolnictwie. Pierwsza z nich (oznaczona jako folia I), to handlowa trzywarstwowa folia z PE-LD, koloru białego, o grubości 35  $\mu\text{m}$ , przeznaczona do produkcji kiszonek w formie silosów. Folia została użyta do procesu zakiszania w silosie (sianokiszonka z dodatkiem środka zakiszającego) na początku maja 2010 roku, jako folia spodnia – bezpośredni kontakt z kiszonką (Rys. 1). Próbkę badawczą pobierano po 5, 7 i 8 miesiącach od rozpoczęcia procesu zakiszania.



Rys. 1. Schemat przygotowania pryzmy: 1 – folia spodnia, 2 – folia kiszonkarska, 3 – syntetyczny worek z piaskiem w rękawie, 4 – siatka ochronna; na podstawie [jbs, 2010]

Druga badana folia (oznaczona jako folia II), to również handlowa rolnicza folia z PE-LD, lecz przeznaczona do owijania kiszonek w formie bel. Folia pięciowarstwowa koloru zielonego, o szerokości 750 mm i grubości 25  $\mu\text{m}$ , została użyta do owijania sianokiszonki (brak środka zakiszającego) na początku września 2010 roku. Próbkę badaw-

czą pobrano do badań po 2, 3 i 4 miesiącach od rozpoczęcia procesu zakiszania. Bele zostały owinięte folią czterokrotnie (2 + 2 z zakładką 50%), dlatego zdecydowano się na pobranie 2 typów próbek folii II: IIA – próbki z warstwy spodniej, mające bezpośredni kontakt z sianokiszonką; IIB – próbki z warstwy wierzchniej, narażone na bezpośrednie działanie czynników atmosferycznych. Próbkę badawczą folii użytkowych po pobraniu poddawano myciu w wodzie destylowanej, suszeniu, a następnie ocenie właściwości mechanicznych. Jako materiał referencyjny zastosowano folie nieużywane (oznaczenie 0 na osi czasu – wyniki badań).

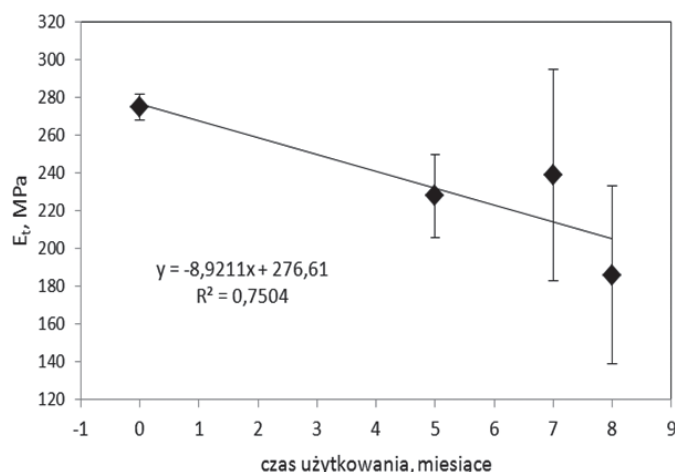
### Metodyka badań

Badania właściwości mechanicznych folii przeprowadzono w warunkach statycznego rozciągania przy użyciu uniwersalnej maszyny wytrzymałościowej firmy Zwick, model Roell Z020, zaopatrzonej w głowicę pomiarową 100 N. Badania wykonano zgodnie z normą [PN-EN ISO 527-1-3, 1998] przy prędkości posuwu trawersy 50 mm/min. Próbkę badawczą (paski o szerokości 20 mm) wycięto w kierunku wzdłużnym do kierunku wytłaczania folii.

Przeprowadzono również badania odporności folii na przebicie, zgodnie z normą [ASTM D4649, 2003] przy prędkości posuwu trawersy 10 mm/min. Wszystkie prezentowane w pracy wyniki badań stanowią uśrednione wartości z 5 pomiarów wraz z wartością odchylenia standardowego.

### Wyniki badań

W wyniku przeprowadzonych badań określono wpływ czasu użytkowania folii na parametry wytrzymałościowe takie jak: moduł Younga ( $E_t$ ), wytrzymałość przy zerwaniu ( $\sigma_B$ ) oraz wydłużenie przy zerwaniu ( $\epsilon_B$ ). Wartość modułu Younga folii silosowej referencyjnej wynosiła 275 MPa. W wyniku użytkowania folii przez okres 8 miesięcy odnotowano spadek wartości  $E_t$  o około 25%. Dokładny przebieg zmian modułu Younga, w funkcji czasu użytkowania folii wraz z wyznaczoną linią trendu, przedstawiono na rys. 2. Największy spadek sprężystości folii nastąpił między 7 i 8 miesiącem użytkowania, tj. na przełomie grudnia 2010 i stycznia 2011. W okresie tym wystąpiły również największe spadki średnich temperatur rocznych (Tab. 1), co potwierdziło, że jednym z czynników wpływających na pogorszenie właściwości polimerów jest ich użytkowanie w zmiennych warunkach temperaturowych.

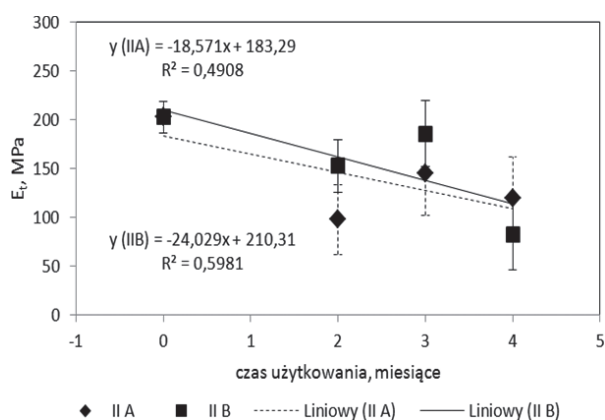


Rys. 2. Wykres zależności modułu Younga ( $E_t$ ) od czasu użytkowania, dla folii silosowej (folia I)

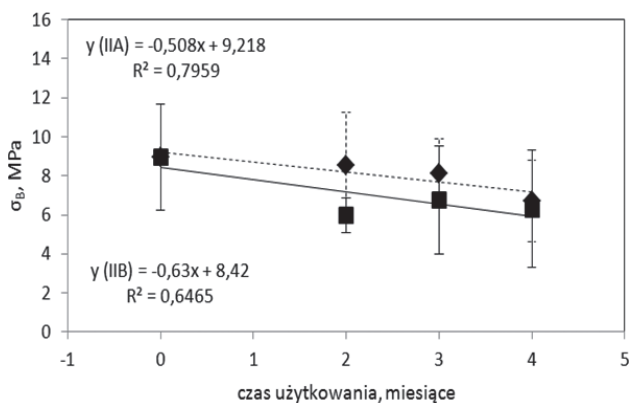
Tab. 1. Średnie wartości temperatur w wybranych miesiącach w roku 2010 i 2011 [Smolarnia, 2011]

Rok	2010					2011
Miesiąc	Maj	Wrzesień	Październik	Listopad	Grudzień	Styczeń
Temperatura średnia [°C]	12,11	11,98	5,92	5,55	-6,82	0,00

Czas użytkowania wpłynął również niekorzystnie na moduł sprężystości wzdłużnej folii zastosowanej do sianokiszonki w postaci bel (II). W przypadku folii II odnotowano także różnicę  $E_t$  dla folii IIA i IIB (Rys. 3). Większa wartość modułu Younga, określanego na podstawie wyznaczonych linii trendu (równania na Rys. 3) w całym okresie użytkowania cechowała folię poddaną bezpośredniemu działaniu czynników atmosferycznych (IIB). Sytuacja taka może wynikać ze zróżnicowania stopnia wpływu degradacyjnych czynników atmosferycznych na folię IIB i czynników degradacyjnych związanych z procesem fermentacji na folię IIA. Dodatkowo folia IIA ulegała miejscowym mikrorozciągnięciom, w wyniku bezpośredniego kontaktu z sianokiszonką, które mogły wpłynąć na obniżenie jej sprężystości.

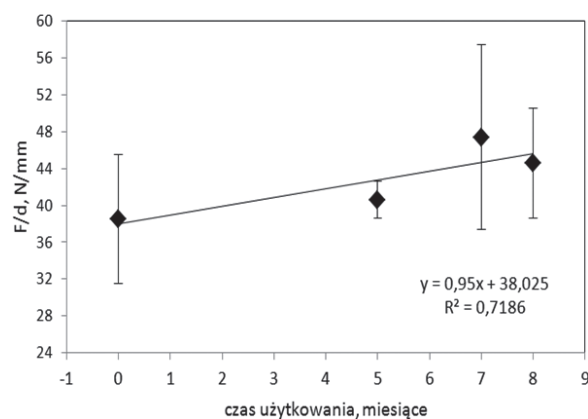
Rys. 3. Wykres zależności modułu Younga ( $E_t$ ) od czasu użytkowania, dla folii stosowanej do sianokiszonki w postaci bel: IIA – kontakt z sianokiszonką; IIB – poddana działaniu czynników atmosferycznych

Rozpatrując wpływ czasu użytkowania na wytrzymałość folii I nie odnotowano wyraźnych zmian  $\sigma_B$ , którego wartość, po uwzględnieniu odchylenia standardowego, wynosiła około 9 MPa. W przypadku folii II zauważyć można tendencję spadkową wytrzymałości folii wraz z upływem czasu jej użytkowania (Rys. 4). Uzyskane wyniki obarczone są dużym błędem, wynikającym ze zróżnicowania grubości folii referencyjnej (brak stabilności wymiarowej produktu) oraz folii użytkowej. Niestabilność grubości próbek folii użytkowej była również konsekwencją procesu owijania bel, podczas którego folia ulega mechanicznemu rozciąganiu. Z wzajemnego położenia wyznaczonych linii trendu (Rys. 4: IIA i IIB) wynika, że mniejsza wytrzymałość cechuje folię poddaną bezpośredniemu działaniu czynników atmosferycznych.

Rys. 4. Wykres zależności naprężenia przy zniszczeniu  $\sigma_B$  od czasu użytkowania, dla folii stosowanej do sianokiszonki w postaci bel: IIA – kontakt z sianokiszonką; IIB – poddana działaniu czynników atmosferycznych

Wydłużenie względne przy zerwaniu, zarówno w przypadku folii I i II, uległo zmniejszeniu w funkcji czasu użytkowania. Wyraźne spadki wydłużenia dla folii typu II odnotowano już po 2 miesiącach od rozpoczęcia czasu zakiszania sianokiszonki. Wydłużenie folii referencyjnej typu I wyniosło około 290%, po 8 miesiącach użytkowania spadło do poziomu 250%. Dla folii typu IIA spadek wydłużenia po 4 miesiącach użytkowania wyniósł około 166%; w przypadku folii IIB różnica ta wyniosła aż 226%.

Próby przebiccia przeprowadzono tylko dla próbek folii I (spodnia folia silosowa), gdyż folia II nie ulegała przebicciu w zakresie pomiarowym maszyny (swobodny zakres przesuwu trzpienia). Graficzne zestawienie uzyskanych wartości odporności na przebiccie, rozumianej jako stosunek siły przebiccia do grubości folii (N/mm), z wyznaczonymi przebiegami linii trendu, przedstawiono na rys. 5. Wraz ze wzrostem czasu użytkowania odporność folii na przebiccie (działanie sił prostopadłych do jej powierzchni) rosła, co potwierdziło zmiany zachodzące w obszarze modułu sprężystości folii, w funkcji czasu – spadkowi wartości  $E_t$  towarzyszy wzrost odporności folii na przebiccie.



Rys. 5. Wykres zależności siły przebiccia/grubości od czasu użytkowania dla folii silosowej (folia I)

## Wnioski

Przeprowadzone badania wykazały wpływ czasu użytkowania folii na jej właściwości mechaniczne. szczególne znaczenie odgrywa tutaj czynnik atmosferyczny, jakim jest spadek średnich temperatur w okresie zimowym. Dotyczy to zarówno folii stosowanej jako warstwa spodnia w zakiszaniu sianokiszonek w formie silosów (Rys. 1), jak i folii rolniczych stosowanych w produkcji sianokiszonek w postaci bel.

Odnotowano również zróżnicowanie właściwości folii poddanych bezpośredniemu działaniu czynników atmosferycznych (folia zewnętrzna) oraz czynników środowiska procesów fermentacyjnych (warstwa wewnętrzna – bezpośredni kontakt z sianokiszonką), dla folii zastosowanej do wytwarzania kiszonki w postaci bel.

## LITERATURA

- ASTM D 4649, 2003 – rozdz. 3 A5. *Określenie odporności cienkich folii na przebiccie*
- Hamnett R.G., Jankowska-Hufiejt H., Zastawny J., 2000. *Zakiszanie runi łąkowej*. Wyd. IMUZ, Raszyn
- jbs, 2010. *Joachim Behrens Scheessel GmbH - folie kisonkarskie* (14.11.2010): <http://www.behrens-scheessel.eu/index.php/pl/towrzywa-sztuczne/folie-kisonkarskie>
- PN-EN ISO 527-1-3, 1998. *Wytrzymałość na rozciąganie*
- Rydzik W., 1995. *Kiszonka z traw i roślin motylkowych stosowanych w żywieniu bydła*. Olecko
- Smolarnia, 2011. *Wykaz temperatur w roku 2010* (15.03.2011): <http://www.smolarnia.org/klimat.php>
- Wilczyński K., 2002. *Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych*. WPW, Warszawa

**Autorzy składają podziękowanie Marianowi Klupezyńskiemu (gospodarstwo rolne) za umożliwienie poboru prób folii oraz inż. Marzenie Jarosik za pomoc w realizacji badań opisanych w niniejszej pracy.**