

Tomasz GARBACZ ^{1)*}, Paweł PALUTKIEWICZ ²⁾

¹⁾ Politechnika Lubelska, Katedra Procesów Polimerowych

²⁾ Politechnika Częstochowska, Zakład Przetwórstwa Polimerów

* e-mail: t.garbacz@pollub.pl

Cechy geometryczne folii polimerowych wytwarzanych w procesie wytłaczania z rozdmuchiowaniem

Streszczenie: Właściwości folii wytwarzanej metodą wytłaczania z rozdmuchiowaniem można ocenić na podstawie stopnia rozciągania folii w kierunku poprzecznym, stopnia rozciągania w kierunku wzdłużnym oraz parametrów geometrycznych, to jest grubości i szerokości folii. Właściwości te zależą w dużej mierze od warunków technologicznych procesu, geometrii oraz konstrukcji głowicy wytłaczarskiej, jak również rodzaju tworzywa. W pracy przedstawiono charakterystykę procesu wytłaczania z rozdmuchiowaniem folii jednowarstwowej przy zastosowaniu trzech rodzajów tworzyw poliolefinowych. Zaprezentowano badania wpływu zmiany warunków technologicznych procesu przetwórstwa na parametry charakteryzujące rozciąganie rozdmuchiwanej folii oraz jej właściwości geometryczne.

Słowa kluczowe: tworzywa termoplastyczne, wytłaczanie z rozdmuchiowaniem, rozciąganie folii, właściwości geometryczne folii

GEOMETRICAL PROPERTIES OF POLYMER FILMS PRODUCED IN BLOWN MOLDING EXTRUSION PROCESS

Abstract: Properties of the films produced by extrusion blow molding can be evaluated by the degree of stretching the film in the cross direction and stretch ratio in the longitudinal direction and geometric parameters, i.e. the thickness and width of the film. These properties depend on the conditions of the technological process, geometry and construction of extrusion head as well as the type of polymer. Process of extrusion blow-molding single-layer films using three types of polyolefins was described. Measurements and studies of the impact of changes in the conditions of technological process of processing parameters characterizing the stretch blown film and geometrical characteristics of the resulting single-layer films were used.

Keywords: thermoplastics polymers, blow molding extrusion, film stretching, geometric properties of films

1. WSTĘP

W przetwórstwie tworzyw polimerowych duże znaczenie dla efektywnego przebiegu procesu wytłaczania z rozdmuchiowaniem mają konstrukcja wytłaczarki i głowicy wytłaczarskiej, warunki technologiczne procesu oraz rodzaj stosowanego do przetwórstwa tworzywa.

Podstawowymi warunkami prowadzenia procesu wytłaczania jest rozkład temperatury i ciśnienia tworzywa wzdłuż długości układu uplastyczniającego i głowicy wytłaczarskiej oraz parametry dotyczące rozdmuchiwania i prędkości rozciągania wytwarzanej folii [1, 2, 3]. Właści-

wości geometryczne otrzymanej folii można ocenić na podstawie parametrów geometrycznych, to jest grubości i szerokości folii oraz za pomocą takich parametrów jak stopień rozciągania folii w kierunku poprzecznym i stopień rozciągania folii w kierunku wzdłużnym. Żeby lepiej sterować procesem rozciągania, wytłaczana folia jest ochładzana bezpośrednio za dyszą głowicy wytłaczarskiej w strumieniu powietrza z urządzenia nadmuchującego [1, 3, 4].

Aspekty technologiczne dotyczące wytwarzania folii oraz kierunki rozwoju linii do wytwarzania folii jedno- i wielowarstwowych zostały zaprezentowane w wielu publikacjach nauko-

wych. Stasiek J. przedstawił w publikacjach [5, 6] kierunki rozwoju wytwarzania folii jedno- i wielowarstwowych, w zakresie konstrukcji oraz budowy urządzeń stanowiących elementy linii technologicznej. Zagadnienia wpływu konstrukcji układu uplastyczniającego, otworu zasypowego, cylindra oraz ślimaka wytłaczarki na efektywność procesu wytłaczania, określoną za pomocą wydajności procesu oraz sprawności energetycznej, zostały szczegółowo opisane w publikacjach naukowych [7, 8] zespołu z Politechniki Lubelskiej. Przedstawiono w nich aspekty nagrzewania, sprężania oraz transportowania tworzyw w modyfikowanych konstrukcyjnie układach uplastyczniających wytłaczarek oraz wpływ tych zmian na właściwości otrzymanych wyłoczn z różnych tworzyw polimerowych. W pracach [9, 10, 11, 12, 13] stwierdzono, że właściwości reologiczne tworzyw mają wpływ na łatwość przemieszczania się tworzywa w układzie uplastyczniającym i głowicy wytłaczarskiej, nie określono jednak bezpośrednio cech geometrycznych rozdmuchiwanych folii, wydajności czy też sprawności procesu wytłaczania.

Tworzywami najczęściej stosowanymi w procesie wytłaczania folii ogólnego przeznaczenia są polietylen małej i dużej gęstości, polipropylen, poli(chlorek winylu) oraz przy wytwarzaniu folii specjalistycznych najczęściej poliwęglan, poliamid, polistyren, octan celulozy, poli(tereftalan etylenu) czy też biopolimery na bazie wymienionych tworzyw [6, 10, 14]. Foliemi powstającymi w procesie wytłaczania z rozdmuchiwaniem są bardzo często folie opakowaniowe, które powinny być cienkie, mocne i sztywne. Interesujące są prace [11, 12, 15] w których opisano badania procesu wytwarzania folii tych rodzajów oraz właściwości struktury folii z modyfikowanego PE oraz PP, różnych typów i zastosowań. Między innymi przedstawiono w nich możliwości efektywnego wytwarzania folii z PE-HD, który ma dużą lepkość i jest mało rozciągliwy oraz cienkich folii o grubości poniżej $30\mu\text{m}$, wytwarzanych przede wszystkim z PE-LD. W pracach [16, 17] określono również efektywność modyfikacji materiałowej biopolimerów do wytwarza-

nia biodegradowalnych folii opakowaniowych o nowych właściwościach i zastosowaniach.

Jednak rzadko poruszonym zagadnieniem jest wpływ warunków technologicznych procesu na cechy geometryczne, takie jak szerokość i grubość folii, wytwarzanych z różnych tworzyw polimerowych, przy założonych jednakowych dla tych tworzyw, warunkach realizacji procesu technologicznego. W czasie rozdmuchiwania folii zachodzi bowiem przede wszystkim rozciąganie w kierunku poprzecznym, natomiast podczas wyciągania, rozciąganie w kierunku wzdłużnym [1, 4]. Mimo zatem stosunkowo dużej liczby publikacji dotyczących wytłaczania, w tym wytłaczania folii, w zasadzie brak jest szerszych informacji porównawczych dotyczących właściwości geometrycznych folii z różnych tworzyw, wytworzonych w tych samych, założonych warunkach procesu technologicznego.

Celem omówionych w artykule badań jest doświadczalne określenie wpływu warunków procesu przetwórstwa oraz rodzaju tworzywa na parametry charakteryzujące rozciąganie rozdmuchiwanej folii oraz właściwości geometryczne otrzymanej folii jednowarstwowej. Przebieg procesu wytłaczania z rozdmuchiwaniem opisano na podstawie zmiany prędkości odbioru folii oraz wyznaczenia stopnia rozciągania folii w kierunku poprzecznym oraz w kierunku wzdłużnym.

Właściwości geometryczne otrzymanej folii jednowarstwowej określono na podstawie pomiarów szerokości oraz grubości folii w charakterystycznych punktach.

2. METODYKA BADAŃ

2.1. STANOWISKO BADAWCZE I MATERIAŁY

W skład stanowiska badawczego wchodzi linia technologiczna do wytłaczania z rozdmuchiwaniem folii W 25/25 (Metalchem Toruń), przedstawiona na rysunku 1 oraz urządzenie do pomiaru grubości folii, ultramet A91.

Wytłaczarka stanowiąca integralną część linii technologicznej wytłaczania z rozdmu-

chiwaniem posiada układ uplastyczniający, składający się ze ślimaka o średnicy 25 mm i długości roboczej $L = 25 D$. W tylnej części cylindra jest wykonany otwór zasypowy, na którym jest przymocowany zasobnik gra-

witacyjny tworzywa wejściowego. Zespół grzewczy układu uplastyczniającego, w którego skład wchodzi osiem grzejników o mocy 300 W, podzielony jest na trzy strefy, wyposażone w trzy czujniki temperatury.



Rys. 1. Wygląd linii technologicznej wytwarzania folii W 25/25, przedsiębiorstwa „Metalchem” Toruń
Fig. 1. View of blow molding technological line W 25/25, made by company „Metalchem” Toruń



Rys. 2. Wygląd urządzenie odbierającego oraz urządzenia nawijającego linii technologicznej wraz z wytwarzanym rękawem folii
Fig. 2. View of the receiving device and the winding device with sleeves produced films

Układ narzędziowy stanowi głowica wytłaczarska krzyżowa, charakteryzująca się dyszą pierścieniową o średnicy zewnętrznej 90 mm i szerokością szczeliny pierścieniowej 0,8 mm. Głowica jest wyposażona w układ trzech grzejników o mocy 600 W, podzielonych na dwie strefy z wbudowanymi dwoma czujnikami temperatury w układzie uplastyczniającym oraz w pierścień chłodzący folię. Układ nadmuchująco-chłodzący stanowi wentylator, z którego powietrze jest tłoczone poprzez przewód rurowy i regulowaną przepustnicę, skąd jest rozprowadzane przewodami rurowymi o mniejszej średnicy do pierścienia chłodzącego, usytuowanego w głowicy wytłaczarskiej. Na układ odbierający, pokazany na rys.2 składają się dwa walce, każdy o średnicy zewnętrznej 80 mm, które wykonane są z rolek metalowych pokrytych na powierzchni walcowej warstwą gumy. Jeden z walców jest napędzany przez przekładnię redukcyjną łańcuchową z silnika elektrycznego o mocy 0,25 kW i prędkości obrotowej do 100 obr/min. Wskutek docisku walców powstaje siła tarcia niezbędna do wprawiania w ruch drugiego walca i przemieszczania się pomiędzy nimi spłaszczonej folii. Układ nawijający składa się z dwóch walców, z których jeden jest napędzany bezpośrednio z silnika układu od-

bierającego, a tym samym prędkość nawijania jest zależna od prędkości rozciągania folii.

W prezentowanych badaniach zastosowano trzy rodzaje tworzyw poliolefinowych zawierające przeciwutleniacze oraz dodatki antyblokingowe i poślizgowe, zapobiegające wzajemnej adhezji folii, mające zastosowanie do wytwarzania wytworów różnych typów. Był to polietylen małej gęstości PE-LD o nazwie handlowej Malen E, FABS 23-DO22, gęstości $(23 \pm 2^\circ\text{C})$ 925 kg/m³, wskaźniku szybkości płynięcia MFR_(150°C/10,29kg) w zakresie 1,6–2,5 g/10 min, granicy plastyczności przy rozciąganiu 12 MPa. Drugim tworzywem był polietylen dużej gęstości PE-HD Hostalen ACP 9240, który według danych producenta charakteryzuje się średnią gęstością 946 kg/m³, MFR_(150°C/21,6kg) wynoszącym 0,2–6,0 g/10 min, wydłużeniem przy zerwaniu do 500%, wytrzymałością na rozciąganie przy zerwaniu do 45 MPa. Jako trzeci materiał zastosowano polipropylen Malen P S901 o gęstości 922 kg/m³, MFR_(230°C/2,16kg) w zakresie 12,5–35 g/10 min, wytrzymałością na rozciąganie przy zerwaniu do 25 MPa oraz wydłużeniem przy zerwaniu do 100%. Zalecana temperatura przetwórstwa tych tworzyw wynosi od 120 do 190°C. W tabeli 1 przedstawiono charakterystykę techniczną stanowiska, według danych producenta.

Tab.1. Parametry techniczne linii technologicznej wytłaczania z rozdmuchiwaniem W 25/25

Tab.1. Technical parameters of the technological line W25/25 of blow molding processing

Lp.	Wielkość charakterystyczna	Jednostka	Wartość
1	Wydajność wytłaczania	kg/h	≥ 8
2	Średnica ślimaka	mm	25
3	Stosunek długości ślimaka do średnicy	-	25
4	Liczba obrotów ślimaka	s ⁻¹	2,8
5	Grubość folii wytłaczanej	μm	10+120
6	Prędkość odbierania folii	m/s	0,05+0,30
7	Masa stanowiska technologicznego	kg	490

W prowadzonych badaniach, dla wszystkich tworzyw, ustalono rozkład temperatury tworzywa w układzie uplastyczniającym odpowiednio: strefa zasilania =150 °C, strefa przemiany =180 °C,

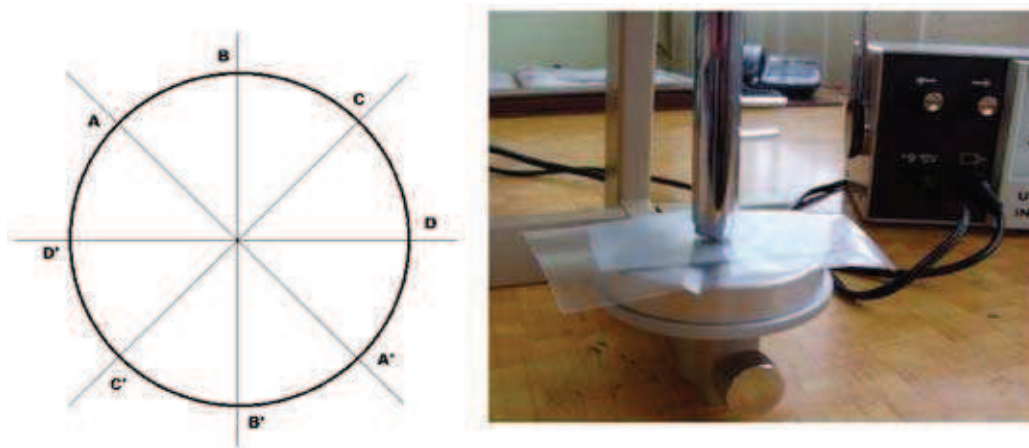
strefa dozowania =190 °C oraz temperatura tworzywa w głowicy wytłaczarskiej =165 °C.

Prędkość obrotowa walców odbierających wynosiła odpowiednio: 15, 30, 45, 60, 75 oraz

80 obr/min, przy czym prędkość 80 obr/min była maksymalną prędkością walców odbierających, przy których nie następowało przerwanie wytwarzanego rękawa folii.

Badania zostały wykonane na próbkach folii w postaci rękawa o długości 2 metry, dla każdego rodzaju materiału. Pomiar grubości folii przeprowadzono w 24 punktach pomiarowych danej próbki, w 4 przekrojach poprzecznych na długości odcinka folii w postaci rękawa oraz w 6 punktach charakterystycznych w danym przekroju poprzecznym. Grubość wytworzo-

nej folii g_1 wyznaczono za pomocą urządzenia pomiarowego, ultrametru A 91 z dokładnością 0,001 mm, zaś jej szerokość wyznaczano za pomocą liniału z dokładnością do 1 mm. Schemat położenia charakterystycznych punktów pomiarowych oraz wygląd urządzenia do pomiaru grubości folii pokazano na rysunku 3. Ultrametru jest przyrządem o działaniu elektromagnetycznym, przeznaczonym do szybkich, dokładnych i nieniszczących pomiarów grubości wytworów w tym folii. Zakres pomiarów grubości folii wynosi: 0÷3000 μm , zasilanie – 230 V, waga 2,3 kg.



Rys. 3. Schemat położenia punktów pomiarowych w przekroju poprzecznym rękawa folii (punkty D i D' miejsce spłaszczenia rękawa folii) oraz wygląd ultrametru A91 podczas pomiaru grubości folii

Fig. 3. Scheme of position of the measuring points in the film cross section (the points D and D' place flattening of the film) and the appearance of ultrameter A91 during the measurement of the film thickness

2.2. CZYNNIKI BADAWCZE

Ze względu na cel pracy opracowano i przyjęto grupę czynników charakteryzujących proces badawczy. W programie badań przyjęto jako czynniki wynikowe:

- grubość otrzymanej folii g_1 , mm,
 - szerokość spłaszczonej folii, B , mm.
 - stopień rozciągania w kierunku wzdłużnym, R_w ,
 - stopień rozciągania w kierunku poprzecznym, R_p ,
 - prędkość odbierania folii V_p , m/min.
- Czynniki zmienne stanowiły:
- rodzaj tworzywa,

- prędkość obrotowa walców odbierających, n , w zakresie od 15 do 80 obr/min.

Stopień rozciągania R_w w kierunku wzdłużnym folii określono, jako stosunek prędkości odbierania folii do prędkości, z jaką wytłoczona opuszcza dyszę głowicy. Przy wykorzystaniu zależności pomiędzy wydajnością procesu, prędkością wytłaczania oraz grubością wyrobu, zależność określającą stopień rozciągania w kierunku wzdłużnym ma postać;

$$R_w = (g_0 d) / (g_1 D) = g_0 / (g_1 R_p) \quad (1)$$

w której: g_0 – grubość początkowa folii, równa szerokości otworu dyszy = 0,8 mm

g_1 – grubość otrzymanej folii

R_p – stopień rozciągania w kierunku poprzecznym

Stopień rozciągania R_p w kierunku poprzecznym, określono jako stosunek średnicy D folii w postaci rękawa do średnicy d otworu wylotowego dyszy, przy pominięciu grubości folii, ze względu na jej małą wartość w stosunku do wymienionych wielkości, zgodnie z zależnością;

$$R_p = D/d = (2B)/(d\pi) \quad (2)$$

gdzie: B – szerokość spłaszczony folii rurowej.

Prędkość odbierania folii V_f wyznaczamy z zależności

$$V_f = \pi d_o n \quad (3)$$

przy czym d_o – średnica zewnętrzna wałka odbierającego, n – prędkość obrotowa walców odbierających.

3. WYNIKI BADAŃ

W wyniku przeprowadzonego procesu technologicznego otrzymano folie w postaci rękawa z trzech rodzajów tworzyw, to jest z polietylenu małej gęstości Malen E FABS 23D022, polietylenu dużej gęstości Hostalen ACP 9240 oraz polipropylenu Malen P S901, które wytworzono przy stałej prędkości wytłaczania $2,8 \text{ s}^{-1}$, średnicy rękawa folii $D = 178 \div 181 \text{ mm}$ i zmiennej prędkości odbierania folii. Folie te charakteryzowały się szeroko-

ścią rękawa w zakresie od 280 do 285 mm oraz grubością w zakresie od 0,06 mm do 0,01 mm, w zależności od rodzaju tworzywa oraz założonej programem badań prędkości walców odbierających folię.

Szczegółowe wyniki pomiarów cech geometrycznych otrzymanych folii w punktach pomiarowych w zależności od zmiany prędkości obrotowej walców odbierających przedstawiono w tabelach 2÷4. Stwierdzono, że rodzaj tworzywa do wytwarzania folii wpływa w dużym stopniu na grubość otrzymanej folii, niezależnie od ustalonych warunków technologicznych przetwórstwa oraz zmiany prędkości odbierania folii. Na podstawie pomiarów grubości folii jednego rodzaju, w punktach charakterystycznych przekroju rękawa, stwierdzono różnice grubości folii w danym przekroju, wynoszące około 100%. W przypadku wytwarzania folii z polietylenu PE-LD, przy małej prędkości odbierania folii w zakresie od 3,80 do 11,30 m/min, różnice w grubości folii wynoszą od 18 do 30 %. Jednak już podwyższenie prędkości do 15,10 m/min i wyżej skutkuje różnicą grubości nawet do 57 %, przykładowo od 0,013 do 0,022 mm w przekroju poprzecznym rękawa folii (tabela 2).

Tab.2. Wyniki pomiarów grubości wytłoczonej folii z polietylenu małej gęstości Malen E FABS 23D022, mierzonej w 6 punktach charakterystycznych, przy zmiennej prędkości obrotowej walców odbierających

Tab.2. The results of the thickness of the extruded film of low density polyethylene Malen FABS 23D022 E, measured at characteristic points 6 at variable speed take-off rolls

Prędkość obrotowa walców n , obr/min	Prędkość odbierania folii V_f m/min	Średnia grubość folii w punktach charakterystycznych, mm						Średnia grubość folii g_1 , mm
		A	B	C	A'	B'	C'	
15	3,80	0,065	0,055	0,057	0,072	0,065	0,059	0,062
30	7,55	0,032	0,031	0,028	0,040	0,035	0,036	0,034
45	11,30	0,020	0,020	0,020	0,021	0,025	0,024	0,022
60	15,10	0,022	0,016	0,015	0,013	0,015	0,014	0,016
75	18,85	0,013	0,012	0,014	0,016	0,015	0,012	0,014
80	20,10	0,012	0,010	0,012	0,010	0,008	0,008	0,010

Tab.3. Wyniki pomiarów grubości wytłoczonej folii z polietylenu dużej gęstości Hostalen ACP 9240, przy zmiennej prędkości obrotowej walców odbierających

Table 3. The results of the thickness of extruded film of high density polyethylene Hostalen ACP 9240 at variable speed take-off rolls

Prędkość obrotowa walców n , obr/min	Prędkość odbierania folii V_p m/min	Średnia grubość folii w punktach charakterystycznych, mm						Średnia grubość folii ξ_1 , mm
		A	B	C	A'	B'	C'	
15	3,80	0,035	0,034	0,038	0,046	0,039	0,042	0,039
30	7,55	0,029	0,025	0,027	0,033	0,029	0,032	0,029
45	11,30	0,019	0,017	0,023	0,026	0,025	0,024	0,022
60	15,10	0,018	0,016	0,019	0,023	0,021	0,020	0,020
75	18,85	0,016	0,012	0,012	0,015	0,018	0,018	0,014
80	20,10	0,012	0,012	0,012	0,016	0,015	0,011	0,013

Tab.4. Wyniki pomiarów grubości wytłoczonej folii z polipropylenu Malen P S901, przy zmiennej prędkości obrotowej walców odbierających

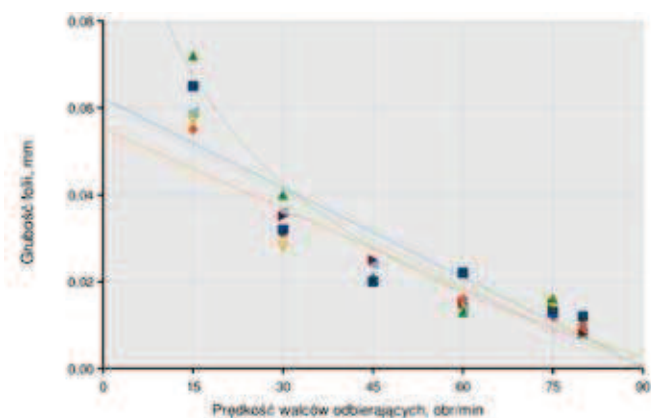
Tab.4. The results of the thickness of the extruded polypropylene film with Malen S901 P, at variable speed take-off rolls

Prędkość obrotowa walców n , obr/min	Prędkość odbierania folii V_p m/min	Średnia grubość folii w punktach charakterystycznych, mm						Średnia grubość folii ξ_1 , mm
		A	B	C	A'	B'	C'	
15	3,80	0,095	0,072	0,070	0,097	0,098	0,084	0,086
30	7,55	0,034	0,037	0,044	0,049	0,044	0,041	0,042
45	11,30	0,027	0,037	0,040	0,031	0,033	0,025	0,032
60	15,10	0,021	0,021	0,017	0,023	0,031	0,030	0,024
75	18,85	0,013	0,015	0,017	0,018	0,026	0,019	0,018
80	20,10	0,012	0,012	0,013	0,021	0,023	0,016	0,016

W przypadku wytwarzania folii z polietylenu dużej gęstości różnice grubości rękawa folii wynoszą średnio 30 % przy zastosowaniu prędkości odbierania folii do 7,55 m/min, by również wzrosnąć do ponad 50 %. Przykładowo, przy prędkości 18,85 m/min zmiana grubości folii zawiera się w przedziale od 0,012 do 0,018 mm (tabela 3). Folie wytworzone z polipropylenu również charakteryzują się zmienną grubością w zakresie od 40 do 100 %, co zostało szczegółowo pokazane w tabeli 4.

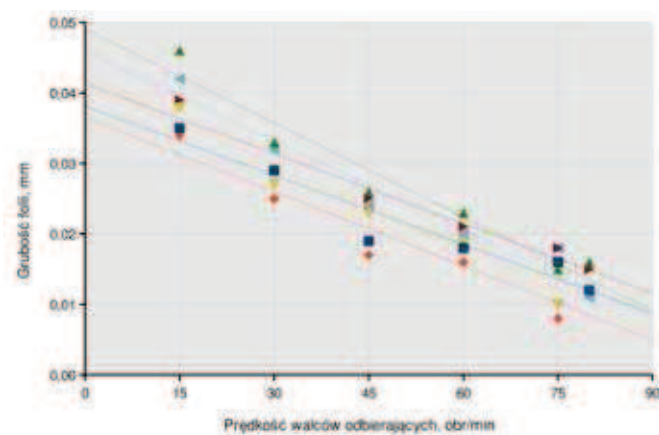
Na rysunkach 4÷6 przedstawiono interpretację graficzną zmiany grubości wytworzonej

folii w zależności od rodzaju stosowanego tworzywa i od prędkości walców odbierających w zakresie od 15 do 80 obr/min. W przypadku zastosowania polietylenu małej gęstości otrzymano folie o grubości od 0,06 do 0,01 mm (rys.4), co stanowi zmianę grubości nawet o 600 %. W przypadku zastosowania polietylenu dużej gęstości stwierdzono, że grubość folii wynosi od 0,04 do 0,01 mm i zmienia się średnio o 400 %, zaś w przypadku wytwarzania folii z polipropylenu grubość folii zawierała się w zakresie od 0,09 do 0,02 mm, to jest zmianą grubości folii o 450 % (rys.6).



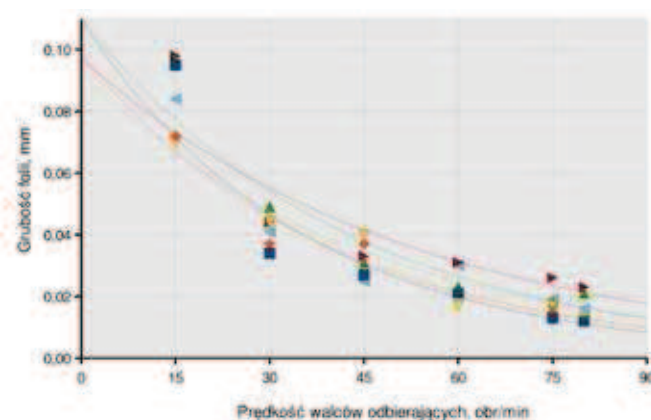
Rys.4. Zależność zmiany grubości folii z polietylenu małej gęstości Malen E FABS 23D022 w punktach charakterystycznych A-C, A'-C' w zależności od prędkości obrotowej walców odbierających

Fig. 4. The dependence of the film thickness changes from low density polyethylene Malen E FABS 23D022 on characteristic points A-C, A' - C' at the speed of take-off rolls



Rys.5. Zależność zmiany grubości folii z polietylenu dużej gęstości Hostalen ACP 9240 w punktach charakterystycznych w zależności od prędkości obrotowej walców odbierających

Fig. 5. The dependence of the film thickness changes from high density polyethylene Hostalen ACP 9240 on the speed of take-off rolls



Rys.6. Zależność zmiany grubości folii z polipropylenu Malen P S901 w punktach charakterystycznych w zależności od prędkości obrotowej walców odbierających

Fig. 6. Dependence of the film thickness changes from polypropylene Malen P S901 on the speed of take-off rolls

Zmiana właściwości geometrycznych folii została również scharakteryzowana na podstawie pomiarów szerokości rękawa folii oraz badań stopnia rozciągania folii w kierunku wzdłużnym, co przedstawiono w tabeli 5.

Nie stwierdzono wpływu rodzaju tworzywa na szerokość rękawa wytwarzanej folii, niezależnie od rodzaju tworzywa oraz prędkości odbierania folii. Utworzony, poprzez nadmuch powietrza, rękaw folii charakteryzował się stałą średnicą oraz kształtem, co związane jest z konstrukcją oraz działaniem linii technologicznej wytłaczania z rozdmuchiwaniami. Stopień rozciągania folii określa stosunek prędkości odbierania folii do prędkości z jaką wytłoczyna opuszcza dyszę głowicy i jest on zależny głównie od metody technolo-

gicznej rozciągania folii. Stwierdzono, że parametrem wpływającym bezpośrednio na stopień rozciągania folii jest zmiana prędkości obrotowej walców odbierających (tabela 5).

Rodzaj wytłaczanego tworzywa wpływa zauważalnie na możliwości rozciągania wytwarzanej folii. Zmiana prędkości obrotowej walców odbierających w zakresie od 15 do 80 obr/min powoduje wzrost stopnia rozciągania folii w kierunku wzdłużnym średnio pięciokrotnie. W przypadku polietylenu małej gęstości i polipropylenu stwierdzono sześciokrotny wzrost stopnia rozciągania folii. Dla zastosowanego polietylenu dużej gęstości, ze względu na jego mniejszą szybkość płynięcia, stopień rozciągania folii wzrasta trzykrotnie z wartości 10,3 do 30,8.

Tab.5. Wyniki pomiarów szerokości rękawa folii oraz badań rozciągania folii w kierunku wzdłużnym R_p , przy zmiennej prędkości obrotowej walców odbierających

Tab.5. The results of the width of the film and the tensile test in the longitudinal direction of the film R_p at variable speed take-off rolls

Prędkość obrotowa walców n , obr/min	Średnia szerokość rękawa folii B , mm	Stopień rozciągania w kierunku wzdłużnym R_p		
		Polietylen LDPE Malen E 23D022	Polietylen HDPE Hostalen ACP 9240	Polipropylen Malen P S901
15	280	6,45	10,30	4,65
30	285	11,80	13,80	9,50
45	285	18,20	18,20	12,50
60	282	25,00	20,00	16,70
75	284	28,50	28,60	22,20
80	285	40,00	30,80	25,00

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przeprowadzone badania procesu wytłaczania z rozdmuchiwaniami folii dla wybranych tworzyw polimerowych pozwalają na przedstawienie następujących wniosków. Zastosowanie podczas prób wytłaczania trzech różnych tworzyw poliolefinowych oraz dobrane

warunki przetwórstwa, to jest: temperatura w układzie uplastyczniającym wytłaczarki, temperatura w głowicy wytłaczarskiej, ilość powietrza rozdmuchującego oraz prędkość odbierania folii zostały dobrane prawidłowo, co przyczyniło się do otrzymania folii w postaci rękawa, odpowiedniej szerokości i grubości, nie mającej wizualnych błędów i anomalii. Fo-

lie te charakteryzowały się szerokością rękawa w zakresie od 280 do 285 mm oraz grubością w zakresie od 0,06 mm do 0,01 mm w zależności od rodzaju tworzywa oraz założonej programem badań prędkości obrotowej walców odbierających folię.

Grubość otrzymanej folii jest determinowana głównie masowym natężeniem przepływu tworzywa, średnicą wytłaczanej folii rurowej, ilością i ciśnieniem powietrza rozdmuchującego oraz prędkością odbierania folii. Stopień rozciągania folii w kierunku poprzecznym nie zależy w zauważalny sposób od zmiany warunków realizacji procesu technologicznego przyjętych w badaniach. Wyznaczony stopień rozciągania folii w kierunku wzdłużnym, dla badanych tworzyw, zależy od prędkości odbierania i rozciągania folii, realizowanej poprzez zmianę prędkości walców urządzenia odbierającego. W przypadku polietylenu małej gęstości i poliptylenu stwierdzono sześciokrotny wzrost stopnia rozciągania folii, zaś dla zastosowanego polietylenu dużej gęstości, stopień rozciągania folii wzrasta ponad 3 razy. Jednocześnie trzeba zauważyć, że rozważana ocena jest miarodajna w odniesieniu do stosowanych tworzyw i tylko w stosowanym zakresie zmiany parametrów procesu wytwarzania folii.

LITERATURA

1. Sikora R.: *Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych*. Wydawnictwo Edukacyjne, Warszawa 1993, 263–272, 467–470.
2. Sikora J.W.: *Screw extrusion*. Praca zbiorowa pod redakcją Sabu T., Yang W.: *Advances in polymer processing. From macro to nanoscales*. Woodhead Publishing Limited, Oxford-Cambridge-New Delhi, United Kingdom, 2009, 122–130.
3. Grajewski F., Stieglitz H.: *Extrudieren von weichen PVC-Folien*. *Kunststoffe* 2003, 10, 169–172.
4. Lutomirski S.: *Metody stabilizacji grubości folii w procesie jej wytwarzania metodą wytłaczania ze swobodnym rozdmuchiwaniem*. *Przetwórstwo Tworzyw* 2005, 2, 50–52.
5. Stasiak J.: *Kierunek rozwoju linii do wytłaczania z rozdmuchiwaniem folii, w tym z rozdmuchiwaniem dwustopniowym*. *Przetwórstwo Tworzyw* 2005, 4, 15–17.
6. Stasiak J.: *Współczesne technologie i urządzenia do wytłaczania folii metodą wytłaczania z rozdmuchiwaniem*. *Polimery* 2005, 3, 170–175.
7. Samujło, B., Sikora, J.W.: *The impact of selected granulometric properties of poly(vinyl chloride) on the effectiveness of the extrusion process*. *Journal of Polymer Engineering* 2013, 1, 77–85. DOI: 10.1515/polyeng-2012-0100.
8. Jachowicz T., Sikora J. W.: *Wpływ starzenia naturalnego na wybrane właściwości folii polimerowej*. *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Chemia, zeszyt 20, Przetwórstwo tworzyw polimerowych*. Oficyna Wyd. Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2009, 47–50.
9. Garbacz T., Dulebova L.: *Zastosowanie termowizji w ocenie procesu wytłaczania*. *Przetwórstwo Tworzyw* 2014, 6, 542–546.
10. Michaeli W., Schmitz T.: *Folienextrusion: PET-Extrusion ohne Vortrocknung?* *Kunststoffe* 2004, 8, 114–119.
11. Godshall D. i inni: *Processing-structure-property investigation of blown HDPE films containing both machine and transverse direction oriented lamellar stacks*. *Polymer* 2003, 18, 5397–406.
12. Santamaría P., Eguiazabal J.I.: *Structure and mechanical properties of blown films of ionomer-compatible LDPE nanocomposites*. *Polymer Testing* 2012, 33, 3, 367–374. DOI:10.1016/j.polymertesting.2011.12.015
13. Tor-Świątek A.: *Characteristics of physical structure of poly(vinyl chloride) extrudate modified with microspheres*. *Polimery* 2012, 7–8, 577–580.
14. Palutkiewicz P., Margol. M., Mazik K.: *Wytłaczanie z rozdmuchem*. *Tworzywa Sztuczne w Przemysle*, 2014, 3, 10–14.
15. Laffargue J., Demay Y., Agassant J.F.: *Investigation of polymer stretching instabilities: application to film blowing*. *International Polymer Processing* 2010, 5, 356–371. DOI: 10.3139/217.1704
16. Garbacz T.: *Opakowania biodegradowalne z tworzyw polimerowych*. *Przetwórstwo Tworzyw* 2012, 1, 12–16.
17. Dang KM., Yoksan R.: *Development of thermoplastic starch blown film by incorporating plasticized chitosan*. *Carbohydrate Polymers* 2015, 1, 575–81. DOI: 10.1016/j.carbpol.2014.09.005.

Publikację przyjęto do druku 28–04–16