

# Charakterystyki wytwarzania folii polimerowych w procesie wytłaczania z rozdmuchiwaniem

## Characteristics of producing of the polymer films in blow film extrusion process

SEBASTIAN BIAŁASZ  
ŁUKASZ GARBACZ\*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2019.4.31>

W artykule przedstawiono specyfikę procesu wytłaczania z rozdmuchiwaniem tworzyw termoplastycznych. Scharakteryzowano metody wytłaczania z uwzględnieniem możliwości otrzymywania wyrobów o żądanej charakterystyce. W badaniach wytłaczania z rozdmuchiwaniem folii zastosowano polietylen PE-LD Malen-E. Przeprowadzono obszerne badania procesu wytłaczania oraz wybranych właściwości użytkowych otrzymanej folii.

**SŁOWA KLUCZOWE:** tworzywa termoplastyczne, wytłaczanie z rozdmuchiwaniem, efektywność procesu

*In the article specification of blown film extrusion process of thermoplastics was presented. Methods of extrusion subject to products with determine characteristic received in the process where characteristic. In the research, extrusion blow molding process used polyethylene film PE-LD Malen-E were used. Extensive studies of the extrusion process and selected properties of polymer films were used.*

**KEYWORDS:** thermoplastics polymers, blown film extrusion, process efficiency

### Charakterystyka procesu wytłaczania z rozdmuchiwaniem

Folię najczęściej otrzymuje się w procesach wytłaczania z rozdmuchiwaniem swobodnym oraz wytłaczania przez głowicę szczelinową. Podstawowym warunkiem prowadzenia procesu wytłaczania jest odpowiedni rozkład temperatury i ciśnienia tworzywa wzdłuż układu uplastyczniającego i głowicy wytłaczarskiej. Typowymi tworzywami stosowanymi w procesie wytłaczania folii są: polietylen, poli(chlorek winylu), poliwęglan, poliamid, polistyren i octan celulozy [1–3].

Proces technologiczny wytłaczania z rozdmuchiwaniem swobodnym polega na wytłoczeniu cienkościennej rury i jej natychmiastowym rozdmuchaniu za pomocą powietrza o małym ciśnieniu oraz wyciągnięciu za pomocą urządzenia odbierającego. Podczas rozdmuchiwania zachodzi rozciąganie w kierunku poprzecznym, a podczas wyciągania – rozciąganie w kierunku wzdłużnym. Aby móc lepiej sterować procesami rozciągania, wytłaczana rura jest ochładzana bezpośrednio za dyszą głowicy w strumieniu powietrza z urządzenia nadmuchiującego [3–5]. Folia otrzymana w ten sposób jest uznawana za nieorientowaną, a ze względu na kurczenie się pod wpływem ciepła w zależności od warunków procesu – za folię zwykłą lub termokurczliwą.

Celem wytłaczania z rozdmuchiwaniem swobodnym jest wtłoczenie powietrza, którego ciśnienie powoduje rozszerzenie się plastycznego tworzywa i nadanie mu odpowiedniego kształtu.

Proces wytłaczania jest realizowany w linii technologicznej wytłaczania. Budowa i charakterystyka linii zależą od: kształtu i wymiarów wyrobu, właściwości tworzywa oraz pożądanej jakości i wydajności wytłaczania. Folię otrzymuje się metodami wytłaczania z rozdmuchiwaniem swobodnym poziomo (rys. 1), pionowo w górę lub pionowo w dół. Uzyskana folia ma postać rękawa z tworzyw termoplastycznych.



Rys. 1. Linia do wytłaczania folii porowatej firmy IMG-Plastec – wytłaczanie z rozdmuchiwaniem swobodnym poziomo [14]

W procesie wytłaczania z rozdmuchiwaniem wytwarza się folie opakowaniowe, które powinny być cienkie, mocne i sztywne. Folie o dobrej wytrzymałości produkuje się z polietylenu PE-HD, który ma dużą lepkość i jest mało rozciągliwy. Sztywne folie wymagają tworzywa o dużej gęstości, cienkie folie (o grubości poniżej 30  $\mu\text{m}$ ) powstają głównie z polietylenu PE-LD o małej lepkości [6, 7].

Powietrze wprowadza się do wnętrza folii przez głowicę, ponieważ rękaw folii jest z jednej strony ograniczony urządzeniem spłaszczającym i odbierającym. Po ochłodzeniu zasadniczym folia jest spłaszczana za pomocą urządzenia spłaszczającego. Urządzenie odbierające stanowią dwa walce, które odciągają wytłaczaną folię – przez to urządzenie przechodzi spłaszczony rękaw folii, który powinien być wolny od zmarszczeń i fałd. Ochłodzona folia jest nawijana na walce urządzenia nawijającego [2, 6, 7].



Rys. 2. Przykład linii technologicznych do produkcji folii metodą wytłaczania z rozdmuchiwaniem pionowo w górę [18, 19]

\* Mgr inż. Sebastian Białasz (sebastian.bialasz@pollub.edu.pl), <https://orcid.org/0000-0002-2295-7757> – Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Technologii i Przetwórstwa Tworzyw Polimerowych, Lublin, Polska  
Mgr inż. Łukasz Garbacz (lukasz.garbacz@pollub.edu.pl) – Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Technologii i Przetwórstwa Tworzyw Polimerowych, Lublin, Polska

Proces wytłaczania z rozdmuchiwaniem pionowo w górę (rys. 2) jest najpopularniejszy – ma zastosowanie w produkcji folii o różnych wymiarach i z wykorzystaniem urządzenia o dowolnej wielkości [9–11, 15]. Jego zaletą jest to, że w przypadku dużych instalacji nie są potrzebne specjalne pomosty robocze do ustawienia wytłaczarki, głowicy i napędu. W przypadku grubościennych rękawów foliowych ciężar folii, która jeszcze musi być ukształtowana, jest przenoszony przez ochłodzony materiał [12, 13, 16, 17].

### Charakterystyka badań

Celem przeprowadzonych badań było określenie charakterystyki wydajnościowej stanowiska technologicznego wytwarzania folii metodą wytłaczania z rozdmuchiwaniem. W skład stanowiska badawczego do wytłaczania z rozdmuchiwaniem wchodzi: linia technologiczna do wytłaczania z rozdmuchiwaniem folii W 25/M przedsiębiorstwa „Metalchem” Toruń oraz stanowisko do pomiaru grubości folii.

Linia technologiczna wytłaczania z rozdmuchiwaniem folii składa się z:

- wytłaczarki W-25,
- głowicy krzyżowej,
- urządzenia nadmuchiującego doprowadzane powietrze chłodzące i rozdmuchującego to powietrze,
- urządzenia spłaszczającego,
- urządzenia odbierającego,
- urządzenia nawijającego.

Podstawowe dane technologiczne linii technologicznej wytłaczania z rozdmuchiwaniem są następujące:

- wydajność do 8 kg/h,
- średnica ślimaka 25 mm,
- obroty ślimaka  $2,8 \text{ s}^{-1}$ ,
- grubość folii  $30 \pm 120 \text{ }\mu\text{m}$ ,
- prędkość odbierania folii  $0,046 \pm 0,31 \text{ m/s}$ .

Układem narzędziowym stanowiska badawczego do wytłaczania z rozdmuchiwaniem folii jest głowica wytłaczarska krzyżowa (pierścieniowa) z dyszą o średnicy  $d = 90 \text{ mm}$  i szerokości szczeliny pierścieniowej otworu wylotowego  $g_0 = 0,8 \text{ mm}$ . Głowica ma układ trzech grzejników o mocy 600 W, podzielonych na dwie strefy, z dwoma czujnikami temperatury wbudowanymi w układzie uplastyczniającym oraz pierścienia chłodzącego folię.

Urządzenie nadmuchiujące chłodzące na stanowisku badawczym składa się z silnika prądu przemiennego o mocy 0,55 kW, zasilanego prądem o napięciu 380 V, połączonego z wentylatorem, z którego powietrze jest tłoczone poprzez przewód rurowy i przepustnicę z regulacją do zbiornika wyrównawczego, skąd jest następnie rozprowadzane przewodami rurowymi o mniejszej średnicy do pierścienia chłodzącego usytuowanego w głowicy wytłaczarskiej.

Urządzenie spłaszczające jest zbudowane z listew spłaszczających oraz pary wałków spłaszczających, zamocowanych w górnej części ramy odciągowej. Listwy składają się z dwóch podzespołów: nieruchomego oraz rozruchowego. Wałki spłaszczające są dociskane do siebie sprężynowo.

Urządzenie odbierające jest złożone z dwóch walców wykonanych z rolek metalowych pokrytych na powierzchni walcowej warstwą gumy. Jeden z walców jest napędzany silnikiem elektrycznym o mocy 0,25 kW i prędkości obrotowej do  $46 \text{ s}^{-1}$ , za pośrednictwem przekładni redukcyjnej łańcuchowej. Wskutek docisku walców za pomocą

sprężyny powstaje siła tarcia, niezbędna do wprowadzenia w ruch drugiego walca i przemieszczania pomiędzy nimi spłaszczonej folii.

W skład urządzenia nawijającego wchodzi dwa walce, z których jeden jest napędzany bezpośrednio przez silnik urządzenia odbierającego – prędkość nawijania zależy więc od prędkości rozciągania folii. Szerokość maksymalna nawijanej folii wynosi 400 mm, natomiast średnica wewnętrzna rulonu waha się w granicach od 74 do 84 mm.



Rys. 3. Stanowisko technologiczne wytłaczania z rozdmuchiwaniem folii podczas wytwarzania jednowarstwowej

W badaniach wykorzystano polietylen o małej gęstości Malen-E FABS23D022. To tworzywo zawiera przeciwutleniające oraz dodatki antyblokingowe i poślizgowe, zapobiegające sklejanemu się folii. Jego zastosowanie do produkcji cienkich folii jest możliwe dzięki korzystnej charakterystyce reologicznej. Temperatura układu uplastyczniającego w poszczególnych strefach dla tego tworzywa wynosi:  $150^\circ\text{C}$  – w strefie zasilania,  $180^\circ\text{C}$  – w strefie przemiany,  $190^\circ\text{C}$  – w strefie dozowania,  $165^\circ\text{C}$  – temperatura głowicy.

Proces wytłaczania z rozdmuchiwaniem folii jest charakteryzowany stopniem rozciągania poprzecznego  $R_p$ , równym stopniowi rozdmuchania, i stopniem rozciągania wzdłużnego  $R_w$  folii.

Stopień rozciągania poprzecznego  $R_p$  określa się jako stosunek średnicy  $D$  folii rurowej do średnicy  $d$  otworu wylotowego dyszy (pomija się grubość folii – ze względu na jej małą wartość w stosunku do wymienionych wielkości) zgodnie z zależnością;

$$R_p = \frac{D}{d} = \frac{2B}{d\pi} \quad (1)$$

gdzie:  $B$  – szerokość spłaszczonej folii rurowej.

Stopień rozciągania wzdłużnego  $R_w$  folii określa się jako stosunek prędkości odbierania folii do prędkości, z jaką wytłoczyna opuszcza dyszę głowicy.

Dzięki wykorzystaniu zależności pomiędzy wydajnością procesu, prędkością wytłaczania oraz grubością wyrobu otrzymano wzór określający stopień rozciągania w kierunku wzdłużnym:

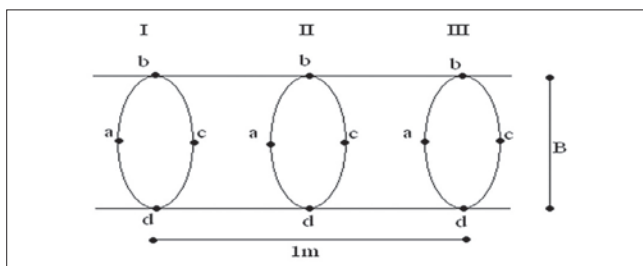
$$R_w = \frac{g_0 d}{g_1 D} = \frac{g_0}{g_1 R_p} \quad (2)$$

**TABLICA I. Wyniki pomiarów prędkości walców, grubości wytłoczyny (mierzonej w czterech punktach i trzech płaszczyznach) oraz średniej grubości folii**

Numer próby	Prędkość obrotowa walców $n$ , obr/min	Płaszczyzna pomiaru	Grubość folii, mm				Średnia grubość folii $g_1$ , mm
			$a$	$b$	$c$	$d$	
1	15	I	0,068	0,077	0,071	0,073	0,072
		II	0,078	0,073	0,073	0,075	
		III	0,071	0,069	0,072	0,068	
2	30	I	0,040	0,039	0,042	0,040	0,040
		II	0,037	0,039	0,041	0,037	
		III	0,042	0,043	0,039	0,042	
3	45	I	0,028	0,024	0,027	0,024	0,028
		II	0,030	0,029	0,029	0,029	
		III	0,024	0,027	0,029	0,030	
4	60	I	0,022	0,017	0,021	0,022	0,020
		II	0,020	0,018	0,022	0,017	
		III	0,022	0,022	0,021	0,019	
5	75	I	0,016	0,015	0,016	0,014	0,015
		II	0,014	0,016	0,017	0,015	
		III	0,015	0,015	0,015	0,017	

**TABLICA II. Wyniki badań szerokości oraz stopnia rozciągania poprzecznego folii**

Numer próby	Prędkość obrotowa walców $n$ , obr/min	Szerokość rękawa folii $B$ , mm	Stopień rozciągania poprzecznego $R_p$ , %	Grubość folii $g_1$ , mm	Stopień rozciągania wzdłużnego $R_w$ , %
1	15	243	1,720	0,072	6,450
2	30	238	1,684	0,040	11,876
3	45	231	1,635	0,028	17,475
4	60	223	1,579	0,020	25,332
5	75	219	1,550	0,015	34,408



Rys. 4. Schemat rękawa foliowego:  $a$ ,  $b$ ,  $c$  i  $d$  – punkty, w których dokonano pomiaru grubości folii; I, II i III – płaszczyzny pomiarów

## Wyniki badań

Pomiary grubości folii wykonano w 12 punktach, po cztery pomiary na różnych długościach odcinka folii w postaci rękawa. Schemat pomiarów przedstawiono na rys. 4. Taki sam sposób pomiarów zastosowano w przypadku każdej z pięciu próbek użytych do badań.

Grubość folii  $g_1$  wyznaczono za pomocą mikrometru Wilson Wolpert 200-01 DDL. Umożliwił on pomiar w zakresie 0÷25 mm z dokładnością 0,001 mm.

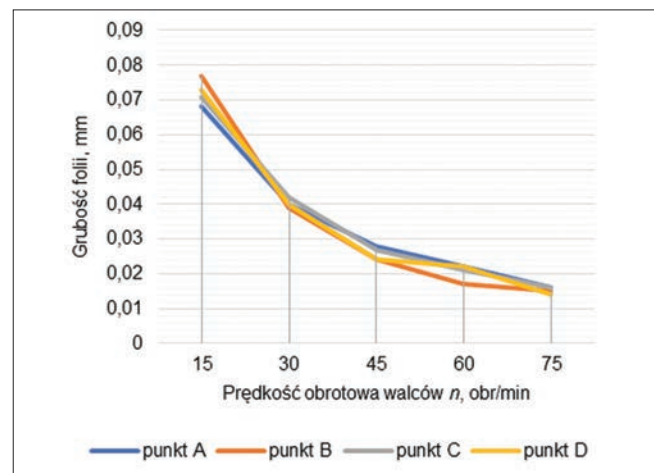
Szerokość folii określono z użyciem liniału z dokładnością do 1 mm.

Przykładowe wyniki pomiarów oraz obliczeń przedstawiono w tabl. I i II oraz na rys. 5 i 6.

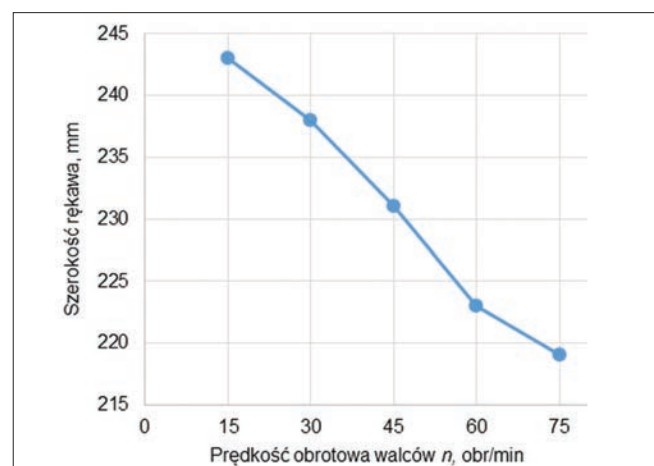
## Podsumowanie i wnioski końcowe

Proces wytłaczania z rozdmuchiwaniem przebiega prawidłowo dzięki odpowiednio dobranym parametrom wytłaczania, tj. prędkości obrotowej walców, szerokości szczeliny pierścieniowej otworu wylotowego, temperaturze stref grzejnych, ciśnieniu spiętrzającemu oraz ciśnieniu powietrza rozdmuchującego.

Znaczenie ma także dobór odpowiednich materiałów do produkcji folii. Te z kolei należy dobierać w kategoriach



Rys. 5. Wyniki pomiarów prędkości walców, grubości wytłoczyny mierzonej w czterech punktach dla płaszczyzny I



Rys. 6. Wykres zależności szerokości rękawa folii od prędkości walców odbierających

zastosowania gotowego wyrobu. Nieodpowiedni wybór tworzywa może prowadzić do zerwania folii podczas rozdmuchiwania twardego tworzywa.

Przeprowadzone badania i charakterystyki procesu wytłaczania z rozdmuchiwaniem folii pozwalają na przedstawienie następujących wniosków.

Dzięki zastosowaniu do prób wytłaczania polietylenu Malen-E FABS 23D022 oraz prawidłowemu dobraniu warunków przetwórstwa (takich jak temperatura w układzie uplastyczniającym wytłaczarki oraz temperatura w głowicy wytłaczarskiej) otrzymano folię rękawową. Prędkości, z jakimi obracały się wałki, zaczynały się od 15 obr/min i wzrastały o 15 obrotów, aż osiągnęły 75 obr/min. Zmiana prędkości obrotowej walców odbierających w zakresie od 15 do 75 obr/min spowodowała, że grubości folii w każdej z pięciu próbek nie są jednakowe i wynoszą od 0,072 do 0,015 mm. Wraz ze wzrostem prędkości obrotowej walców odbierających maleje grubość folii. Różnice grubości folii w obrębie tej samej próbki wynikają głównie z masowego natężenia przepływu tworzywa, średnicy wytłaczanego oraz prędkości odbierania folii. Wyznaczony stopień rozciągania folii  $R_w$  w kierunku wzdłużnym jest zależny od warunków procesu technologicznego i w przypadku zmian prędkości obrotowej rośnie wraz z jej wzrostem od 6% przy 15 obr/min do 34% przy 75 obr/min. Stopień rozciągania folii  $R_p$  w kierunku poprzecznym w mniejszym stopniu zależy od zmiany prędkości walców urządzenia odbierającego i przy 15 obr/min wynosi 1,72%, a przy 75 obr/min – 1,55%. W przypadku wyznaczania stopnia rozciągania w kierunku poprzecznym występuje niewielka tendencja spadkowa, gdy obroty walców urządzenia odbierającego rosną.

## LITERATURA

- [1] Grajewski F., Stieglitz H. „Extrudieren von weichen PVC-Folien”. *Kunststoffe*. 10 (2003): 169–172.
- [2] Große M. „Wirtschaftlich und flexibel extrudieren”. *Plastverarbeiter*. 11 (2001): 52–53.
- [3] Kaczmarek D., Wortberg J. „Holz aus dem Extruder”. *Kunststoffe*. 2 (2003): 18–23.
- [4] Lutomirski S. „Metody stabilizacji grubości folii w procesie jej wytwarzania metodą wytłaczania ze swobodnym rozdmuchiowaniem”. *Przetwórstwo Tworzyw*. 2 (2005): 50–52.
- [5] Łączyński B. „Metody przetwórstwa tworzyw sztucznych”. Warszawa: WNT, 1985, 307–313.
- [6] Mascia L., Zhao J. “Extrusion of polymers in the plastic”. *Advances in Polymer Technology*. 5 (1990): 87–99.
- [7] Michaeli W., Schmitz T. „Folienextrusion: PET-Extrusion ohne Vortrocknung?”. *Kunststoffe*. 8 (2004): 114–119.
- [8] Sikora R., Garbacz T. „Ocena jakości wytworów otrzymywanych metodą wytłaczania z rozdmuchiowaniem”. *Polimery*. 6 (2000): 540–545.
- [9] Sikora R., Jachowicz T. „Wpływ czasu ochładzania na skurcz przetworczy wytworów otrzymywanych metodą wytłaczania z rozdmuchiowaniem”. *Polimery*. 11 (2000): 713–716.
- [10] Stasiek J. „Kierunek rozwoju linii do wytłaczania z rozdmuchiowaniem folii, w tym z rozdmuchiowaniem dwustopniowym”. *Przetwórstwo Tworzyw*. 4 (2005): 15–17.
- [11] Stasiek J. „Współczesne technologie i urządzenia do wytłaczania folii metodą wytłaczania z rozdmuchiowaniem”. *Polimery*. 3 (2005): 170–175.
- [12] Wilczyński K., Nastaj A., Krutysz P. „Optymalizacja procesu wytłaczania jednoślakowego tworzyw sztucznych”. *Mechanik*. 10 (2003): 83–86.
- [13] Zawistowski H. „Zasady wytłaczania folii rozdmuchiowanych”. Warszawa: Plastech Wydawnictwo Poradników i Książek Technicznych, 1999, 131–151.
- [14] [www.imgplastec.com](http://www.imgplastec.com) (dostęp: 04.02.2019).
- [15] [www.bbmachinery.com](http://www.bbmachinery.com) (dostęp: 04.02.2019).
- [16] [www.chinfach.com.tw](http://www.chinfach.com.tw) (dostęp: 04.02.2019).
- [17] [www.rommel.de](http://www.rommel.de) (dostęp: 04.02.2019).
- [18] [www.chinajinda.en](http://www.chinajinda.en) (dostęp: 04.02.2019).
- [19] [www.cacoplastics.com](http://www.cacoplastics.com) (dostęp: 04.02.2019).