

JANUSZ W. SIKORA

Politechnika Lubelska  
Katedra Procesów Polimerowych  
ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin

## Wpływ elementów konstrukcyjnych ślimaka na charakterystykę procesu wytłaczania z rozdmuchiowaniem

### THE INFLUENCE OF CONSTRUCTION ELEMENTS OF THE SCREW ON THE CHARACTERISTIC OF BLOWN FILM EXTRUSION

**Summary** — Experimental results on the effect of various construction element features responsible for intensive shearing and mixing and screw rotation speed ( $v$ ) on characteristics of film extrusion with free vertical upward blow are presented. Experiments were performed using an intensive shearing and mixing ring located at the screw feeding zone, allowing to vary the gap ( $\delta$ ) between external surface of the ring active surface and inner surface of the extruder barrel. Dependences of polymer mass flow rate ( $\dot{G}$ ), polymer pressure in front of the ahead ( $p$ ), specific energy consumption of the extruder conducted to its power transmission system ( $E_{JN}$ ) and component energy efficiency of the extruder ( $\kappa$ ) (coming from its power transmission system) on  $v$  at different  $\delta$  values were presented. Increase in rotation speed of the screw for all investigated  $\delta$  values causes increase in  $\dot{G}$ ,  $p$  and  $\kappa$ , and reduction of  $E_{JN}$ . Visual inspection of the resultant film shows that the changing geometrical factors ( $\delta$ , intensive shearing and mixing ring active barrel surface —  $d_e$ , channel inclination angle on inflow and outflow from the gap —  $\alpha$ ) and  $v$  values do not affect homogenization and appearance of the extruded film.

**Key words:** blown film extrusion, screw shearing and mixing elements, extrusion characteristics, low-density polyethylene.

Proces technologiczny wytłaczania przebiegający w warunkach jednoczesnego nieograniczonego mechanicznego procesu rozdmuchiwania nazywa się umownie wytłaczaniem z rozdmuchiowaniem swobodnym [1–4]. Polega on na wytłoczeniu folii rurowej (rękawa folii) oraz natychmiastowym jej rozdmuchaniu powietrzem o nieznacznym ciśnieniu i wyciągnięciu za pomocą urządzenia odbierającego. Folia podczas rozdmuchiwania ulega przede wszystkim rozciąganiu w kierunku poprzecznym, natomiast w trakcie wyciągania następuje jej rozciąganie w kierunku wzdłużnym. Wyróżnia się następujące odmiany procesu wytwarzania folii rurowej za pomocą wytłaczania z rozdmuchiowaniem (klasyfikacja ze względu na kierunek odbioru wytłoczyny): pionowo w górę, pionowo w dół i poziomo [4, 5]. Najczęściej stosuje się wytłaczanie z rozdmuchiowaniem folii pionowo w górę.

Typowa linia technologiczna wytłaczania z rozdmuchiowaniem, bez względu na kierunek odbioru wytłoczyny, składa się z wytłaczarki z głowicą i następujących urządzeń: nadmuchiująco-chłodzącego, spłaszczającego, odbierającego i nawijającego.

Ślimakowy układ uplastyczniający wytłaczarki ze ślimakiem klasycznym wykazuje wady, do których zali-

cza się przede wszystkim ścisłą zależność natężenia przepływu tworzywa od oporów głowicy wytłaczarskiej, znaczną pulsację natężenia tego przepływu, małą efektywność transportowania tworzywa, powolny wzrost ciśnienia tworzywa wzdłuż układu oraz niezadawalającą jego jednorodność cieplną i mechaniczną.

Wady te uwypuklają się w przypadku stosowania ślimaków o dużych średnicach, a koryguje się je wzrostem długości ślimaków. Jednak osiągnąć tu wzrost natężenia przepływu tworzywa, a zwłaszcza jakości otrzymywanych wytworów, był nadal niezadawalający. W związku z tym zaczęto konstruować ślimaki specjalne zaopatrzone w elementy intensyfikujące ścinanie i mieszanie przetwarzanego tworzywa. Chociaż oba te procesy występują jednocześnie, to elementy intensyfikujące można podzielić na takie, w których przeważa proces bądź ścinania, bądź też mieszania [4, 6].

Elementy o przewadze procesu ścinania (tzw. elementy intensywnego ścinania) charakteryzują się obecnością szczelin, przez które przepływa, ruchem zbliżonym do liniowego, strumień tworzywa, gdzie następuje intensyfikacja ścinania [4, 7, 8]. Elementy te umieszcza się w strefie przemiany ślimaka, ewentualnie stanowią

one jego zakończenie. Znanych jest bardzo dużo rozwiązań konstrukcyjnych elementów intensywnego ścinania; wiele z nich jest chronionych patentami.

Elementy o przewodzie procesu mieszania (tzw. elementy intensywnego mieszania) zawierają obszary, w których strumień przepływającego tworzywa ulega wielokrotnemu podziałowi i łączeniu, z dużym udziałem ruchu obrotowego tworzywa, co powoduje jego intensywne mieszanie [4, 9]. Najczęściej umieszcza się je na ślimaku w strefie dozowania. Konstrukcje elementów intensywnego mieszania, podobnie jak elementów intensywnego ścinania, są różnorodne.

Oprócz ślimaków klasycznych i specjalnych, wyróżnia się ślimaki niekonwencjonalne odznaczające się tym, że na długości części roboczej zawierają nie kanał śrubowy ciągły, lecz odcinki kanału o innych elementach geometrycznych [4, 10–15].

W układach uplastyczniających przeznaczonych do wytłaczania z rozdmuchiwaniami folii prawie wyłącznie stosuje się rozwiązania konstrukcyjne ślimaków będące połączeniem rozwiązań ślimaków zarówno specjalnych, jak i niekonwencjonalnych.

Powierzchnia wewnętrzna cylindra wytłaczarki może mieć rowki — wzdłużne lub śrubowe — znajdujące się w obszarze pod otworem zasypowym i dalej, na długości ok. 3–4 średnic zewnętrznych ślimaka, w kierunku głowicy [16].

W literaturze można znaleźć wyniki badań wytłaczania z rozdmuchiwaniami swobodnym pionowo w górę, dotyczące m.in. pewnych zagadnień energetycznych oraz wpływu strefy rowkowanej cylindra wytłaczarki na podstawowe wielkości charakteryzujące proces wytłaczania [16–18]. Znane są też wyniki badań dotyczące wpływu wybranych elementów konstrukcyjnych ślimaka oraz parametrów technologicznych na jakość uplastyczniania tworzywa [9, 19]. W stosunkowo nowej pozycji [20] poświęconej problematyce wytwarzania wytworów metodą wytłaczania z rozdmuchiwaniami nie ma jednak, praktycznie biorąc, żadnych informacji dotyczących wytłaczania z rozdmuchiwaniami folii rurowej. Tak więc, określenie wpływu wybranych cech konstrukcyjnych ślimaka na charakterystykę procesu wytłaczania z rozdmuchiwaniami swobodnym w górę, które powinno stanowić uzupełnienie już wykonanych badań, jest uzasadnione.

Celem badań doświadczalnych takiego procesu przedstawionych w niniejszym artykule jest bliższe poznanie wpływu wybranych cech konstrukcyjnych elementu intensywnego ścinania i mieszania na charakterystykę tego typu wytłaczania.

## CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

### Materiały

Do badań użyto polietylenu małej gęstości o nazwie handlowej „Malen E” i symbolu FABS 23-D022 firmy

Petrochemia Płock SA; miał on postać ziaren (granulek) średnicy ok. 3 mm i zawierał oprócz polimeru również przeciwutleniacz, środek poślizgowy oraz środek antyblokujący [16, 21].

Do zabarwienia tworzywa zastosowano czarny środek barwiący, stanowiący barwnik — sadzę oraz środek rozpuszczający — polietylen małej gęstości w proporcjach odpowiednio 40% oraz 60%, w postaci ziaren średnicy ok. 2,5 mm firmy A. Schulman, Polska. Miało to na celu umożliwienie wstępnego, wizualnego stwierdzenia — na podstawie oceny równomierności rozprzodzenia barwnika w przetwarzanym tworzywie — stopnia ujednorodnienia składu oraz właściwości i struktury tworzywa w zależności od wysokości badanej szczeliny w układzie pierścień/cylinder. Na potrzeby badań przygotowywano mieszaninę polietylenu ze środkiem barwiącym, zawierającą 99% mas. PE-LD oraz 1% mas. środka barwiącego.

### Program badań

Na podstawie przeglądu literatury i badań rozpoznawczych, w programie badań przyjęto wymienione poniżej czynniki.

#### Czynniki badane bezpośrednio:

- temperatura tworzywa przed głowicą wytłaczarską  $T$  ( $^{\circ}\text{C}$ ),
- ciśnienie tworzywa przed głowicą wytłaczarską  $p$  (MPa),
- masa odcinka pomiarowego wytłoczyny  $m$  (kg),
- czas wytłaczania odcinka pomiarowego wytłoczyny  $t$  (s),
- napięcie prądu stałego pobierane przez układ napędowy wytłaczarki  $U$  (V),
- natężenie prądu stałego pobierane przez układ napędowy wytłaczarki  $I$  (A).

#### Czynniki badane pośrednio:

- masowe natężenie przepływu tworzywa  $\dot{G}$  (kg/s),
- moc doprowadzana do układu napędowego wytłaczarki  $\dot{P}$  (W),
- jednostkowe zużycie energii doprowadzanej do układu napędowego wytłaczarki  $E_{JN}$  (J/kg),
- składowa sprawności energetycznej wytłaczarki, pochodząca z jej układu napędowego  $\kappa$  (%).

Wymieniona składowa sprawności energetycznej wytłaczarki jest konsekwencją przyjęcia do analizy wyników badań jednostkowego zużycia energii doprowadzanej do układu napędowego wytłaczarki, definiowanej jako stosunek mocy układu napędowego do natężenia przepływu tworzywa [9, 22–25].

#### Czynniki zmienne:

Podstawowym czynnikiem zmiennym była średnica walcowej części czynnej pierścienia intensywnego ścinania i mieszania ( $d_c$ ), umożliwiającą uzyskanie różnych

wysokości ( $\delta$ ) badanej szczeliny. Wraz ze zmianą średnicy  $d_e$ , zmieniał się też kąt pochylenia kanału ( $\alpha$ ) przy wpływie i wypływie z badanej szczeliny (tabela 1), a także zwiększała się lub zmniejszała jej wysokość. Można więc mówić tu o zespole zmiennych czynników geometrycznych charakteryzujących układ pierścień/cylinder, który w dalszej części pracy będzie przede wszystkim rozpatrzony na przykładzie wysokości szczeliny, nazywanej tu „badaną szczeliną”. Kolejnym czynnikiem zmiennym była częstotliwość obrotów ślimaka ( $v$ ) wynosząca 1,7; 2,0; 2,3; 2,6; 2,9 lub 3,2 s<sup>-1</sup>.

**T a b e l a 1.** Elementy geometryczne charakteryzujące układ pierścień/cylinder

**T a b l e 1.** Geometrical parameters characterizing the ring/barrel system

Średnica otworu cylindra $D$ , mm	Średnica części czynnej pierścienia $d_e$ , mm	Wysokość badanej szczeliny $\delta$ , mm	Kąt pochylenia kanału $\alpha$ , rad
25	22,8	1,1	0,254364
	23,4	0,8	0,363133
	24,0	0,5	0,463646

#### Czynniki stałe:

— elementy geometryczne ślimaka, głowicy wylączarskiej krzyżowej, cylindra, urządzenia nadmuchiwo-chłodzącego oraz urządzeń splaszczającego, odbierającego i nawijającego folię rurową;

— długość pierścienia intensywnego ścinania i mieszania — 26 mm;

— długość części czynnej pierścienia intensywnego ścinania i mieszania — 12 mm, w tym części walcowej — 7 mm;

— liczba stref grzejących układu uplastyczniającego wynosząca w przypadku wylączarki 4, a głowicy wylączarskiej 1;

— temperatura poszczególnych stref grzejących układu uplastyczniającego:  $T_I = 135^\circ\text{C}$ ,  $T_{II} = 150^\circ\text{C}$ ,  $T_{III} = 160^\circ\text{C}$ ,  $T_{IV} = 160^\circ\text{C}$  oraz temperatura głowicy wylączarskiej  $T_G = 180^\circ\text{C}$ ;

— stopień rozciągania folii w kierunku wzdłużnym — 8,5;

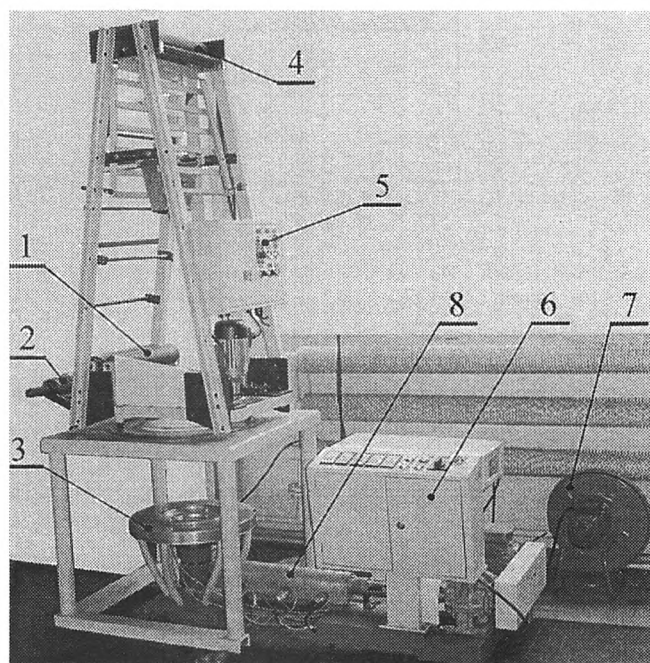
— stopień rozciągania folii w kierunku poprzecznym (równy stopniowi rozdmuchiwania) — 1,8;

— szczelina pierścieniowa otworu wylotowego dyszy głowicy wylączarskiej krzyżowej — 0,6 mm.

Na wyniki badań mogą wpływać przede wszystkim czynniki zakłócające, takie jak np.: napięcie prądu elektrycznego (zmiany od ok. 215 do 225 V), temperatura otoczenia (zmiany od 20 do 24°C), wilgotność bezwzględna tworzywa wejściowego (zmiany od 0,04 do 0,06%) oraz wilgotność względna powietrza (zmiany od 55 do 65%). Założono jednak, że wpływ tych czynników jest bardzo mały i można go pominąć, bez szkody dla wyników pracy.

#### Stanowisko badawcze

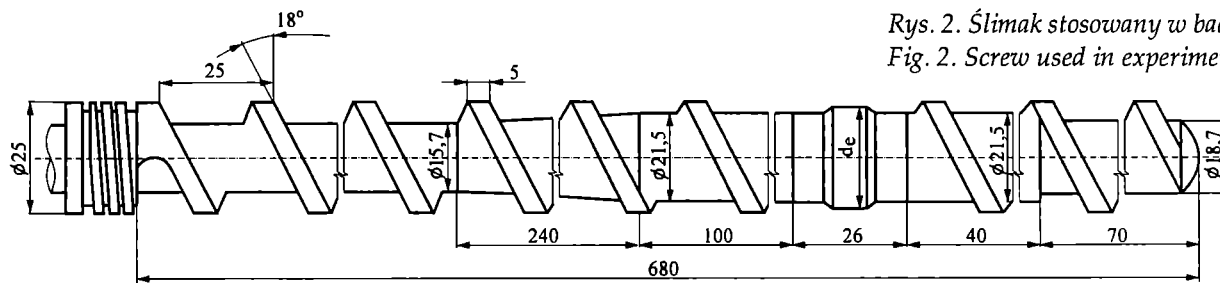
Badania przeprowadzono w Instytucie Przetwórstwa Tworzyw Metalchem w Toruniu, wykorzystując doświadczalną wylączarkę jednoślímakową W-25D, o stosunku części roboczej ślimaka do jego średnicy  $L/D = 25$ . Stosowaną do badań linię technologiczną wylączania z rozdmuchiowaniem swobodnym pionowo w górę przedstawia rys. 1. Wylączarkę wyposażono w silnik prądu stałego o mocy 2,6 kW i maksymalnej częstotliwości obrotów 24,2 s<sup>-1</sup> oraz w układ tyrystorowy umożliwiający bezstopniową regulację częstotliwości obrotów ślimaka. Cylinder w strefie zasypu i zasilania układu uplastyczniającego wylączarki nie ma rowków. Dodatkowo w linii technologicznej znajduje się: głowica wylączarska krzyżowa, urządzenie nadmuchiwo-chłodzące, splaszczające, odbierające i nawijające folię rurową [26].



Rys. 1. Stanowisko badawcze: 1 — urządzenie odbierające, 2 — urządzenie nawijające, 3 — głowica wylączarska, 4 — urządzenie splaszczające, 5 — układ sterujący urządzeniem odbierającym, 6 — układ sterujący wylączarką, 7 — wentylator, 8 — obudowa układu uplastyczniającego

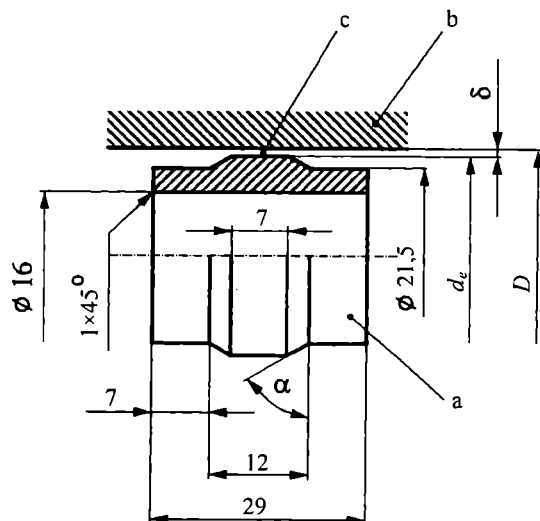
Fig. 1. Experimental setup: 1 — receiving device, 2 — winding device, 3 — extruder head, 4 — flattening device, 5 — receiving device control system, 6 — extruder control system, 7 — fan, 8 — plasticizing system with screen

Ślimak (rys. 2) ma konstrukcję umożliwiającą zmianę pierścienia intensywnego ścinania i mieszania zamontowanego w końcowej części ślimaka — w strefie dozowania układu uplastyczniającego w odległości 123 mm od czoła ślimaka. Jak już wspomniano, pierścienie umożliwiają uzyskanie różnej wysokości  $\delta$  szczeliny między po-



Rys. 2. Ślimak stosowany w badaniach  
Fig. 2. Screw used in experiments

wierzchnią zewnętrzną walcowej czynnej części pierścienia a powierzchnią wewnętrzną cylindra wylączarki (rys. 3).



Rys. 3. Schemat układu pierścień/cylinder: a — pierścień intensywnego ścinania i mieszania, b — cylinder, c — badana szczelina

Fig 3. Scheme of the ring/barrel system: a — intensive shearing and mixing ring used for experiments, b — barrel, c — gap

Zastosowana głowica wylączarska krzyżowa do wylączania folii rurowej ma konstrukcję typową. W głowicy znajduje się rdzeń średnicy 50 mm, a w nim otwór, przez który powietrze rozdmuchuje folię rurową. Wokół rdzenia jest wykonana szczelina pierścieniowa do wylączania folii, a za nią następna szczelina do ochładzania wylączanej folii. Powietrze rozdmuchujące i chłodzące folię doprowadza się z wentylatora o mocy 0,55 kW.

Rozdmuchana, ochłodzona i spłaszczona folia jest ciągniona pomiędzy dwoma walcami i następnie nawijana w urządzeniu nawijającym.

### Metodyka badań

Po odłączeniu głowicy wylączarskiej krzyżowej od układu uplastyczniającego i wyjęcia ślimaka, zamontowano na nim pierścień intensywnego ścinania i mieszania

średnicy zewnętrznej równej 22,8 mm, co zapewnia wysokość badanej szczeliny  $\delta$  równą 1,1 mm. Następnie umieszczono ślimak w cylindrze i przymocowano głowicę wylączarską do układu uplastyczniającego oraz nastawiono, podaną już uprzednio, temperaturę poszczególnych stref grzejnych układu uplastyczniającego i głowicy wylączarskiej, dobraną na podstawie literatury i badań wstępnych.

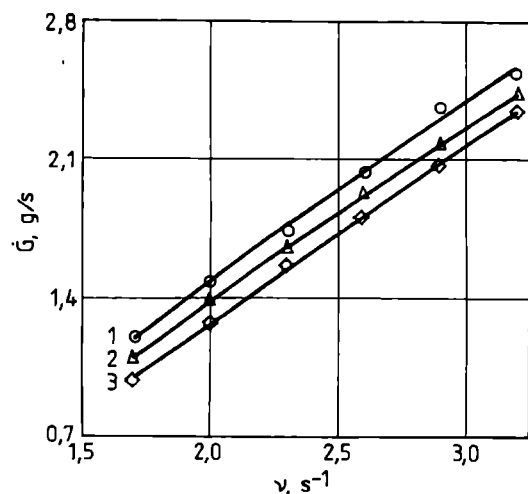
Po uzyskaniu wymaganych wartości temperatury, mieszaninę polietylenu i środka barwiącego wsypywano do zasobnika, uruchamiano silnik wylączarki, urządzenie nadmuchiwo-chłodzące oraz odbierające i rozpoczynano proces wylączania z rozdmuchiowaniem stosując najmniejszą z przyjętych szybkość obrotową ślimaka.

Na podstawie uprzednio przeprowadzonych prób przyjęto, że w ciągu 30 min następowała stabilizacja cieplna wylączarki oraz całego procesu wylączania z rozdmuchiowaniem, tzn. stopień rozciągania folii w kierunku wzdłużnym i poprzecznym nie ulegał już zmianie. Po ustabilizowaniu cieplnym procesu przystępowano do pomiarów czynników badanych bezpośrednio. Następnie zwiększano prędkość obrotów ślimaka do następnej z badanych, czekano na ustabilizowanie się cieplne wylączarki oraz procesu wylączania i ponownie wykonywano pomiary. Wreszcie, po wykonaniu pomiarów w warunkach największej prędkości obrotów ślimaka, zmniejszono ją do zera oraz wyłączano wszystkie urządzenia. Po zakończeniu omówionej serii dotyczącej wartości  $\delta = 1,1$  mm wymieniano pierścień intensywnego ścinania i mieszania na następny (zmieniając w ten sposób wartość  $\delta$ ) i wszystkie czynności powtarzano od początku, realizując kolejną serię badań.

### WYNIKI BADAŃ I ICH INTERPRETACJA

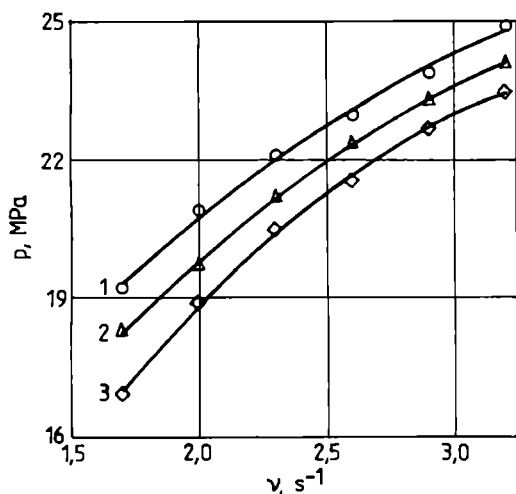
Po wyznaczeniu wartości czynników badanych bezpośrednio, obliczono czynniki badane pośrednio w sposób podany w publikacjach [17, 18, 27]. Wyniki obliczeń dotyczące różnych wartości wysokości badanej szczeliny przedstawiają rys. 4—7.

Zwiększanie szybkości obrotowej ślimaka, niezależnie od wartości  $\delta$ , przyczynia się do wzrostu masowego natężenia przepływu tworzywa (rys. 4), ciśnienia tworzywa przed głowicą (rys. 5) i jednostkowego zużycia energii doprowadzanej do układu napędowego wylączarki (rys. 6) oraz do zmniejszenia składowej sprawności energetycznej wylączarki (pochodzącej z jej ukła-



Rys. 4. Zależność masowego natężenia przepływu tworzywa ( $\dot{G}$ ) od częstotliwości obrotów ślimaka ( $\nu$ ) i od wysokości badanej szczeliny ( $\delta$ ); wartości  $\delta$ : 1 — 1,1 mm, 2 — 0,8 mm, 3 — 0,5 mm

Fig. 4. Dependence of polymer mass flow rate ( $\dot{G}$ ) on screw rotation speed ( $\nu$ ) and heights of gap ( $\delta$ );  $\delta$  values: 1 — 1.1 mm, 2 — 0.8 mm, 3 — 0.5 mm



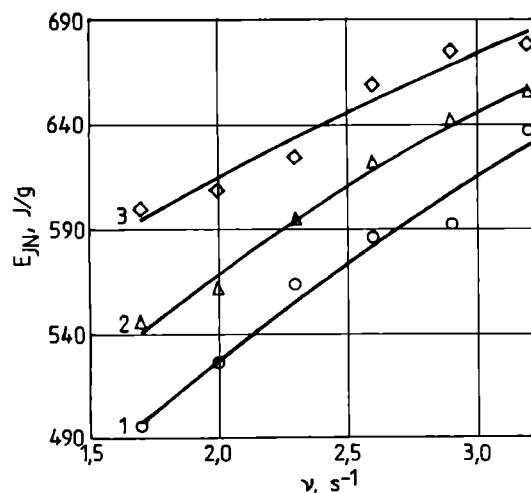
Rys. 5. Zależność ciśnienia tworzywa ( $p$ ) przed głowicą wylączarską od częstotliwości obrotów ślimaka ( $\nu$ ) i od wysokości badanej szczeliny ( $\delta$ ); oznaczenia jak na rys. 4

Fig. 5. Dependence of polymer pressure ( $p$ ) in front of the extruder head on the screw rotation speed ( $\nu$ ) and heights of gap ( $\delta$ ); markings as in Fig. 4

du napędowego) (rys. 7). Charakter zmian wymienionych wielkości jest zgodny z danymi literaturowymi [4, 9, 11, 18].

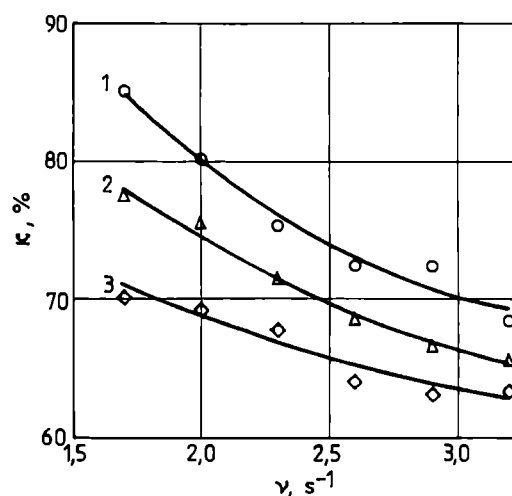
Zmniejszanie wysokości badanej szczeliny, niezależnie od częstotliwości obrotów ślimaka, powoduje spadek  $\dot{G}$ ,  $p$  i  $\kappa$ , zwiększa się natomiast wartość  $E_{JN}$ .

Długość części czynnej pierścienia intensywnego ścinania i mieszania stanowi tylko nieco ponad 1,75% długości części roboczej ślimaka, a pomimo to pierścien wpływa intensywnie na przebieg i efektywność procesu



Rys. 6. Jednostkowe zużycie energii doprowadzanej do układu napędowego wylączarki ( $E_{JN}$ ) od częstotliwości obrotów ślimaka ( $\nu$ ) i od wysokości badanej szczeliny ( $\delta$ ); oznaczenia jak na rys. 4

Fig. 6. Dependence of specific energy consumption of the extruder conducted to its power transmission system ( $E_{JN}$ ) on the screw rotation speed ( $\nu$ ) and heights of gap ( $\delta$ ); markings as in Fig. 4



Rys. 7. Zależność składowej sprawności energetycznej wylączarki ( $\kappa$ ) od częstotliwości obrotów ślimaka ( $\nu$ ) i od wysokości badanej szczeliny ( $\delta$ ); oznaczenia jak na rys. 4

Fig. 7. Dependence of component energy efficiency of the extruder ( $\kappa$ ) on the screw rotation speed ( $\nu$ ) and heights of gap ( $\delta$ ); markings as in Fig. 4

wylączania. Procesy reologiczne, dynamiczne, kinematyczne i inne zachodzące podczas przepływu tworzywa przed szczeliną, na jej długości i za nią oraz pomiędzy powierzchnią zewnętrzną walcowej części czynnej pierścienia intensywnego ścinania i mieszania a powierzchnią wewnętrzną cylindra, są tak intensywne, że ich efekty obserwuje się nawet po pokonaniu przez tworzywo w kanale śrubowym układu uplastyczniającego dalszej drogi długości ok. 360 mm.

Taki przebieg przedstawionych zależności, można wyjaśnić charakterem przepływu tworzywa w kanale ślimaka. Najmniejsza wysokość badanej szczeliny powoduje największy opór przepływu tworzywa na długości walcowej części czynnej pierścienia intensywnego ścinania i mieszania. Najmniejszej wartości  $\delta$  odpowiada największy kąt pochylenia kanału przy wpływie i wypływie ze szczeliny ( $\alpha$ ), który również stawia największy opór podczas wpływu tworzywa do szczeliny. Wszystkie te czynniki dają najmniejszą wartość  $\dot{G}$ . Niewielkie zwiększenie objętości kanału śrubowego występujące za badaną szczeliną powoduje spadek ciśnienia tworzywa. Im większa jest szczelina, tym opór przepływu i spadek ciśnienia tworzywa jest mniejszy, a w konsekwencji wzrasta wartość ciśnienia tworzywa przed głowicą.

W przypadku największej wysokości badanej szczeliny, a więc najmniejszego kąta  $\alpha$  oraz wraz ze zwiększaniem  $v$  z  $1,7 \text{ s}^{-1}$  do  $3,2 \text{ s}^{-1}$  (o 88,2%), masowe natężenie przepływu wzrasta o 110,7%, a ciśnienie tworzywa przed głowicą o 29,7%. Natomiast gdy dobiera się najmniejsze wartości wysokości badanej szczeliny i taki sam wzrost szybkości obrotowej ślimaka, wówczas  $\dot{G}$  wzrasta o 131%, a  $p$  o 38,2%.

Jednostkowe zużycie energii ( $E_{JN}$ ) i składowa sprawności energetycznej wylączarki ( $\kappa$ ) są ze sobą związane odwrotną zależnością zarówno od  $v$ , jak i od  $\delta$ . Zwiększanie się jednostkowego zużycia energii wraz ze wzrostem  $v$  jest zapewne spowodowane znacznie szybszym przyrostem mocy układu napędowego wylączarki w stosunku do zwiększania masowego natężenia przepływu tworzywa. Do układu napędowego wylączarki należy doprowadzić największą moc wówczas, gdy stosuje się pierścień o największej średnicy (co odpowiada najwęższej szczelinie). Zmniejszaniu natężenia przepływu tworzywa odpowiada największe jednostkowe zużycie energii doprowadzanej do układu napędowego wylączarki i, co się z tym wiąże, najmniejsza wartość składowej sprawności energetycznej wylączarki.

Wzrost częstotliwości obrotów ślimaka z  $1,7 \text{ s}^{-1}$  do  $3,2 \text{ s}^{-1}$  powoduje zwiększenie jednostkowego zużycia energii układu napędowego oraz zmniejszenie składowej sprawności energetycznej wylączarki odpowiednio do wysokości szczeliny. Tak więc, gdy szczelina ma największą wysokość, wartość  $E_{JN}$  wzrasta o 28,4%, a jednocześnie  $\kappa$  zmniejsza się o 19,5%. Gdy zaś stosuje się najmniejszą wysokość szczeliny ( $\delta = 0,5 \text{ mm}$ ), to  $E_{JN}$  także wzrasta ze zmianą prędkości, ale już tylko o 13,2%. Odpowiada temu zmniejszenie  $\kappa$  o 9,8%.

Temperatura tworzywa przed głowicą wylączarską w warunkach zadanej częstotliwości obrotów ślimaka, niezależnie od wysokości badanej szczeliny, praktycznie biorąc, nie ulegała zmianie. Intensywne ścinanie tworzywa zachodzące w szczelinie powoduje wprawdzie wzrost jego temperatury, jednak w warunkach prowadzenia badań skutek ten jest niwelowany na dalszej drodze przepływu tworzywa w kanale śrubowym układu uplastyczniającego.

Wstępna wizualna ocena otrzymanej folii wskazuje na jednolite jej zabarwienie (a więc dobrą homogenizację składu) oraz korzystny wygląd, niezależnie od zespołu zmiennych czynników geometrycznych i częstotliwości obrotów ślimaka przyjętych w badaniach.

## LITERATURA

1. Nentwig J.: „Kunststoff-Folien”, Carl Hanser Verlag, Monachium 2000, str. 14—20.
2. Ogando J.: *Plast. Technol.* 1993, **39**, 51.
3. Schut J. H.: *Plast. Technol.* 2001, **47**, 47.
4. Sikora R.: „Przetwórstwo tworzyw wielkokształczkowych”, Wydawnictwo Edukacyjne, Warszawa 1993.
5. Praca zbiorowa: „Handbuch der Kunststoff-Extrusionstechnik. II Extrusionanlagen” (red. Hansen F., Knappe W., Potente H.), Carl Hanser Verlag, Monachium — Wiedeń 1986, str. 79—106.
6. Stasiak J.: *Polimery* 1981, **26**, 27.
7. *Pat. USA* 3 756 574 (1971).
8. Maddock B. H.: *Plast. Eng.* 1974, **30**, nr 1, 28.
9. Stasiak J.: *Polimery* 1983, **28**, 23.
10. Stasiak J.: *Inżynieria i Aparatura Chemiczna* 1985, **24**, nr 2, 9.
11. Stasiak J.: „Wpływ parametrów konstrukcyjnych ślimaka oraz czynników technologicznych procesu wytłaczania na wydajność i jakość uplastyczniania”, praca doktorska, Politechnika Śląska, Toruń — Gliwice 1983.
12. Anonim: *Plast. Eng.* 1983, **39**, nr 12, 26.
13. Ladwig H.: *Plastverarbeiter* 1979, **30**, 361.
14. Smorawiński A.: „Technologia wtrysku”, WNT, Warszawa 1989, str. 101—106.
15. Klein I., Klein R.: *Plast. Eng.* 1979, **35**, nr 10, 57.
16. Sikora J. W.: „Studium autotermiczności procesu wytłaczania i strefy rowkowanej wylączarki”, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej 2000, str. 34—43.
17. Sikora R. i in.: *Przegląd Mechaniczny* 1980, **39**, nr 22, 8.
18. Sikora R.: *Polimery* 1987, **32**, 247.
19. Sikora R., Tomaszewski J.: *Polimery* 1982, **27**, 170.
20. Praca zbiorowa: „Formowanie wyrobów z tworzyw sztucznych metodą rozdmuchiwania” (red. Zawistowski H.), Wydawnictwo Poradników i Książek Technicznych, Warszawa 1998.
21. Prospekty i katalogi firmy Petrochemia Płock SA.
22. Schenkel G.: „Kunststoff-Extrudertechnik”, Carl Hanser Verlag, Monachium 1963, str. 202—208.
23. Schumacher F.: *Kunststoffe* 1974, **64**, 274.
24. Fritz H. G., Hillebrand H.: *Kunstst.-Berat.* 1976, **21**, 612.
25. Fischer P.: *Plastverarbeiter* 1979, **30**, 117.
26. Dokumentacja techniczna linii technologicznej wytłaczania z rozdmuchiwaniem W-25.
27. Sikora J. W.: *Polimery* 1999, **44**, 190.