

JANUSZ W. SIKORA

Politechnika Lubelska
Katedra Procesów Polimerowych
ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin
e-mail: janusz.sikora@pollub.pl

Dobór liczby i położenia rowków uplastyczniających cylindra wylączarki jako możliwość sterowania procesem wylączania^{*)}

Streszczenie — Przedstawiono wyniki badania wpływu liczby i położenia rowków uplastyczniających cylindra wylączarki względem otworu zasypowego oraz kierunku obrotów ślimaka a także względem siebie na wielkości charakteryzujące proces autotermicznego wylączania polietylenu małej gęstości (PE-LD). Wykorzystano wylączarkę jednoślindakową o średnicy ślimaka 25 mm i stosunku $L/D = 18$, działającą autotermicznie z ustaloną częstotliwością obrotów ślimaka. W cylindrze zamocowano tuleję rowkowaną z czterema wzdłużnymi rowkami uplastyczniającymi rozmieszczonymi symetrycznie po obwodzie; ich głębokość można zmieniać w sposób ciągły i niezależny uzyskując pożądaną konfigurację liczby (od 0 do 4) i położenia uaktywnionych rowków. W badaniach przyjęto odpowiednie czynniki wynikowe bezpośrednio i pośrednio, zmienne, stałe oraz zakłócające. Uzyskano zależności natężenia przepływu tworzywa, sprawności energetycznej wylączarki i układu uplastyczniającego oraz jednostkowego zużycia energii pobieranej przez wylączarkę i układ uplastyczniający od liczby i położenia uaktywnionych rowków uplastyczniających. Stwierdzono, że czynniki te, zgodnie z założeniem pracy, w istotny sposób wpływają na przebieg badanego procesu, przy czym decydujące znaczenie ma położenie uaktywnionych rowków względem otworu zasypowego i względem siebie, a nie ich liczba.

Słowa kluczowe: wylączanie autotermiczne, strefa rowkowania, rowki wzdłużne, liczba i położenie rowków, polietylen małej gęstości.

CHOICE OF THE NUMBER AND PLACEMENT OF THE EXTRUDER BARREL PLASTICATING GROOVES AS THE POSSIBILITY OF EXTRUSION PROCESS CONTROLLING

Summary — The results of the studies of the influence of the number and placement of the extruder barrel plasticating grooves, in relation to the hopper and the direction of the screw rotation as well as in relation each to other, on the values characterizing the process of autothermal extrusion of low density polyethylene (PE-LD) were presented. A single-screw extruder of the screw diameter 25 mm and $L/D = 18$, operating autothermally, was used and screw rotation frequency was fixed. A grooved sleeve with four longitudinal plasticating grooves, placed symmetrically on the circumference, was fixed in the barrel. Their depths could be changed continuously and independently making possible to reach the required configuration of the number (from 0 to 4) and placement of the activated grooves (Table 1). The appropriate direct and indirect resulting factors, variable, constant or disturbing were accepted. The dependence of the following factors: polymer flow rate (Fig. 2), energy efficiency of the extruder (Fig. 3) and plasticating system (Fig. 4), unit energy consumption taken by the extruder (Fig. 5) and plasticating system (Fig. 6) on the number and placement of the activated grooves was found. It was found that these factors, in agreement with the assumptions done, significantly influenced the course of the process investigated. The placement of the activated grooves (not their number) in relation to the hopper and each to other appeared to be of crucial importance.

Key words: autothermal extrusion, grooved section, longitudinal grooves, number and placement of the grooves, low density polyethylene.

Sześćdziesiąt pięć lat temu H. Decker [1] pierwszy przedstawił potrzebę zwiększenia tarcia pomiędzy two-

rywem a powierzchnią wewnętrzną cylindra układu uplastyczniającego wylączarki jako warunek skutecznego ruchu i zwiększenia natężenia przepływu tworzywa. Piętnaście lat później, w 1956 r., potwierdzili to rozważaniami teoretycznymi oraz uproszczoną weryfikacją doświadczalną W. Darnell i E. Mol [2].

^{*)} Artykuł oparty na treści referatu przedstawionego w ramach X Profesorskich Warsztatów Naukowych „Przetwórstwo tworzyw polimerowych”, Lublin—Kazimierz Dolny, 12—15 czerwca 2005 r.

Bardzo efektywnym sposobem zwiększenia wspomnianego tarcia było wykonanie na powierzchni wewnętrznej cylindra rowków nazywanych obecnie rowkami uplastyczniającymi. Obszerne wyniki badań strefy rowkowanej wytłaczarki zaprezentował G. Fuchs [3]. Wytłaczarka ta była wyposażona w wymienne tuleje — zarówno walcowe, jak i stożkowe — bez rowków bądź z rowkami wzdłużnymi, mocowane w otworach cylindra wytłaczarki; zmienna była też średnica ślimaka (40, 45 lub 90 mm). W swoich doświadczeniach dotyczących wytłaczania polietylenu małej i dużej gęstości autor zmieniał częstotliwość obrotów ślimaka i opory przepływu w dyszy głowicy wytłaczarskiej.

Zagadnieniami tymi zajmowali się również inni badacze [4—10]. W latach siedemdziesiątych E. Langecker i współpracownicy [11] opracowali koncepcję rowków śrubowych, którą w 1979 r. rozwinął E. Grünschloß [12]. Analizę warunków funkcjonowania oraz próby optymalizacji strefy rowkowanej przedstawił H. Potente [13], a także J. Diakun [14]. Wszystkie te prace dotyczyły jednak pasywnej strefy rowkowanej, której cechy konstrukcyjne (liczba i głębokość rowków, kąt ich pochylenia lub skręcenia) można zmieniać skokowo metodą wymiany tulei rowkowanej. Ta dość skomplikowana operacja jest jednak czasochłonna i wiąże się ze stratami ekonomicznymi (przerwy w produkcji), co powoduje, że w praktyce przeprowadza się ją raczej niechętnie.

Autor niniejszej publikacji, badając i analizując w procesie wytłaczania autotermicznego aktywną strefę rowkowaną, w której wspomniane cechy konstrukcyjne można zmieniać bez potrzeby przerywania pracy wytłaczarki [15], także wniósł swój skromny wkład w rozwój wiedzy doświadczalnej. Proces wytłaczania autotermicznego charakteryzuje się m.in. większym natężeniem przepływu tworzywa przetwarzanego niż proces wytłaczania konwencjonalnego, w którym ciepło niezbędne do uplastycznienia materiału powstaje wyłącznie wskutek jego tarcia. Proces autotermiczny ma jednak wciąż jeszcze ograniczone zastosowanie [15—17], co jest spowodowane przede wszystkim trudnościami w sterowaniu generowaniem ciepła w układzie uplastyczniającym, albowiem możliwe jest ono w zasadzie tylko na drodze zmiany częstotliwości obrotów ślimaka [15].

Wpływ położenia rowków — zarówno liniowych, jak i śrubowych — strefy rowkowanej wytłaczarki względem otworu zasypowego i kierunku obrotów ślimaka na przebieg procesu wytłaczania nie był dotychczas badany.

Połączenie metody wytłaczania autotermicznego z zastosowaniem aktywnej strefy rowkowanej wytłaczarki wydaje się rozwiązaniem bardzo korzystnym, zapewniającym świadomą i planowaną zmianę co najmniej dwóch niezależnych czynników (technologicznego i konstrukcyjnego) wpływających na proces wytłaczania [18, 19].

Celem obecnej pracy było właśnie zbadanie wpływu konstrukcji strefy rowkowanej wytłaczarki, przede wszystkim liczby i położenia rowków uplastyczniają-

cych, na przebieg i charakterystykę procesu wytłaczania autotermicznego. Jako wytłaczane tworzywo wybrano polietylen małej gęstości (PE-LD) chętnie stosowany do wytwarzania folii termokurczliwych i worków transportowych z folii, jak również różnych pojemników oraz kształtowników.

CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

Materiał

Do badań użyto PE-LD o nazwie handlowej „Malen E” i symbolu GGNX, 18-D003 (firmy Basell Orlen Polyolefins Sp. z o.o.) w postaci ziaren (granulek) średnicy ok. 3 mm.

Charakteryzuje się on gęstością 918—921 kg/m³ w temp. 23 °C, wartością wskaźnika szybkości płynięcia 0,2—0,4 g/10 min, liczbą Barusa ≤160 %, temperaturą mięknięcia według Vicata ≥94 °C oraz naprężeniem zrywającym ≥19 MPa [20].

Inne użytkowe właściwości PE-LD są ogólnie znane [21, 22].

Stanowisko badawcze

W badaniach przeprowadzonych w Laboratorium Katedry Procesów Polimerowych Politechniki Lubel-

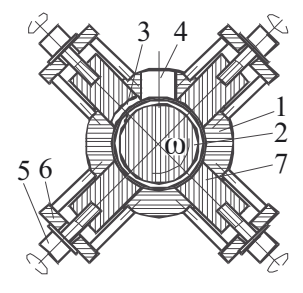
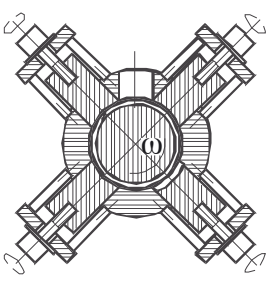
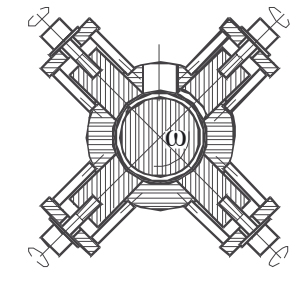
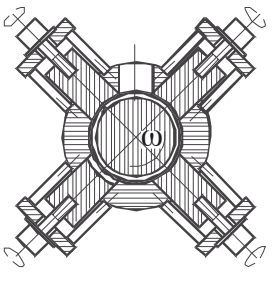
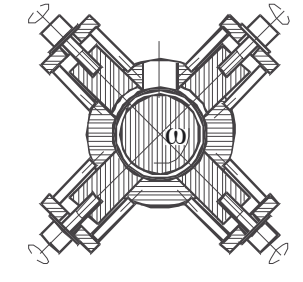
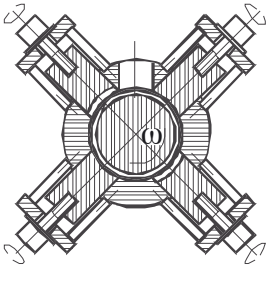
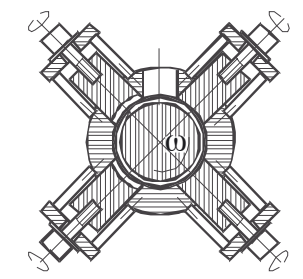
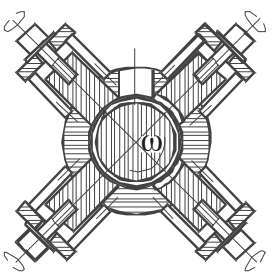


Rys. 1. Wygląd ogólny stanowiska badawczego: 1 — zasobnik tworzywa, 2 — cylinder segmentowy, 3 — głowica wytłaczarska, 4 — silnik napędowy, 5 — szafa sterownicza, 6 — licznik energii prądu elektrycznego, 7 — momentomierz, 8 — czujniki pomiaru ciśnienia i temperatury, 9 — komputer, 10 — elementy układu pomiarowego

Fig. 1. General view of the test stand: 1 — polymer hopper, 2 — segmental barrel, 3 — extruder head, 4 — drive engine, 5 — control panel, 6 — electricity meter, 7 — torque meter, 8 — pressure and temperature sensors, 9 — computer, 10 — measuring system's elements

T a b e l a 1. Zestawienie oznaczeń liczby i położenia rowków uplastyczniających w strefie rowkowanej cylindra wylączarki autotermicznej

T a b l e 1. Set of denotations of the number and placement of plasticating grooves in the grooved section of the barrel of autothermal extruder

Liczba i położenie rowków		Oznaczenie	Liczba i położenie rowków		Oznaczenie
1 rowek		1 a	1 rowek		1 c
		1 b			1 d
2 rowki		2 a	2 rowki		2 b
		2 c			2 d

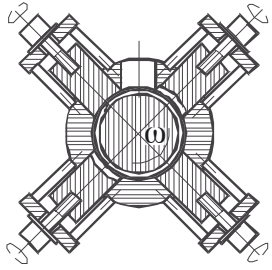
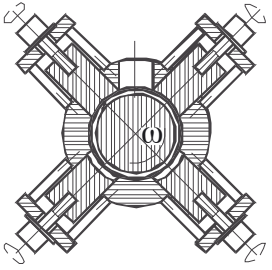
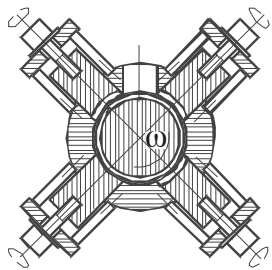
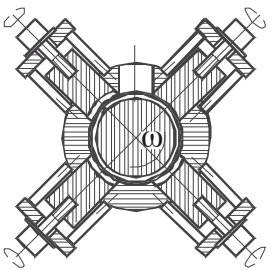
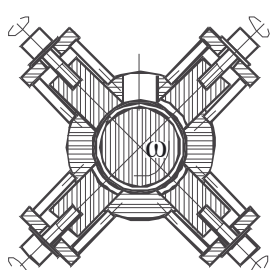
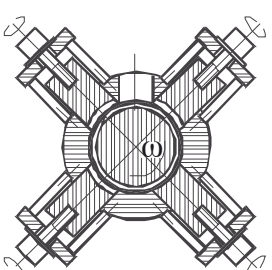
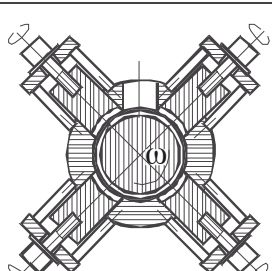
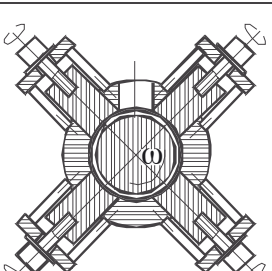
skiej wykorzystano doświadczalną wylączarkę jednosiłkową „W-25D” o stosunku $L/D = 18$, umożliwiającą prowadzenie procesu autotermicznego. Wygląd ogólny stanowiska badawczego przedstawia rys. 1.

Cylinder segmentowy jest podzielony na dwie strefy grzejne. W każdej strefie został zamontowany czujnik pomiarowy ciśnienia i temperatury przetwarzanego tworzywa. Wokół cylindra oraz głowicy znajdują się grzejniki pierścieniowe, służące do wstępnego nagrzewania układu uplastyczniającego i głowicy wylączarskiej. Układ napędowy wylączarki składa się

z: silnika prądu stałego o mocy 3,75 kW, przekładni pasowej oraz zębatej i sprzęgła przeciążeniowego. Częstotliwość obrotów ślimaka jest regulowana w sposób ciągły w przedziale $0-6 \text{ s}^{-1}$, podczas biegu jałowego.

Strefę rowkowaną wylączarki stanowi obszar pod otworem zasypowym i na części długości (ok. $5D$) strefy zasilania, w którym to obszarze można uaktywnić do czterech niezależnych rowków zmiennej wysokości (głębokości), zatem o różnym kącie pochylenia względem osi wzdłużnej wylączarki (α).

c.d. Tabeli 1

Liczba i położenie rowków		Ozna- czenie	Liczba i położenie rowków		Ozna- czenie
2 rowki		2e	2 rowki		2f
3 rowki		3a	3 rowki		3c
		3b			3d
4 rowki		4	Bez rowków		0

Cyfry podane dla przykładu w położeniu określonym jako 1a mają następujące znaczenie: 1 — cylinder, 2 — ślimak, 3 — rowek, 4 — otwór zasypowy, 5 — silnik krokowy, 6 — kołnierz mocujący, 7 — płytka ruchoma.

Szczegółową budowę i działanie tej wylączarki omówiono już w poprzednich pracach [8, 15].

Program badań

Na podstawie literatury [23] oraz wstępnych prac własnych w programie badań uwzględniono następujące czynniki.

Czynniki wynikowe bezpośrednie:

— ciśnienie tworzywa uplastycznianego w poszczególnych punktach układu uplastyczniającego i w głowicy wylączarskiej (MPa);

— temperatura tworzywa uplastycznianego w poszczególnych punktach układu uplastyczniającego (°C);

— czas wylączania odcinka pomiarowego wylączyny (s);

— masa odcinka pomiarowego wylączyny (kg);

— czas obrotów tarczy pomiarowej licznika energii elektrycznej (s);

— temperatura strefy rowkowanej (°C);

— moment obrotowy mierzony na wale ślimaka (Nm);

— temperatura wylączyny (°C).

Czynniki wynikowe pośrednie:

- energia całkowita pobierana przez wyciarkarkę (kJ);
- moc całkowita pobierana przez wyciarkarkę (W);
- masowe natężenie przepływu tworzywa (kg/h);
- przyrost entalpii właściwej tworzywa (J/kg);
- moc cieplna przenoszona przez tworzywo (W);
- sprawność energetyczna wyciarkarki (%);
- moc doprowadzona do układu uplastyczniającego wyciarkarki (W);
- sprawność energetyczna układu uplastyczniającego (%);
- jednostkowe zużycie energii elektrycznej pobieranej przez wyciarkarkę (J/g);
- jednostkowe zużycie energii elektrycznej pobieranej przez układ uplastyczniający (J/g).

Czynniki zmienne:

- zmieniająca się skokowo liczba rowków (0, 1, 2, 3 lub 4, tabela 1);
- położenie rowków względem otworu zasypowego i kierunku obrotów ślimaka (a, b, c, d, e, f, tabela 1).

W tabeli 1 pokazano (w przekroju poprzecznym układu uplastyczniającego) liczbę i położenie rowków uplastyczniających względem otworu zasypowego i kierunku obrotów ślimaka, a także względem siebie.

Uaktywnienie jednego rowka uplastyczniającego odbywa się w jednej z czterech, różnych niezależnych konfiguracji jego położenia względem otworu zasypowego układu uplastyczniającego (1a, 1b, 1c, 1d), natomiast równoczesne uaktywnienie dwóch rowków uplastyczniających — w sześciu różnych niezależnych konfiguracjach, mianowicie dwóch w konfiguracjach naprzeciwległych (2b, 2e) i czterech przyległych (2a, 2c, 2d, 2f).

Trzy rowki uplastyczniające uaktywnia się równocześnie w czterech niezależnych i różnych konfiguracjach ich położenia, w których wszystkie trzy rowki są położone obok siebie (3a, 3b, 3c, 3d).

Cztery rowki uplastyczniające można uaktywnić łącznie w jednej konfiguracji (4).

Czynniki stałe:

- elementy konstrukcyjne głowicy wytaczarskiej i układu uplastyczniającego;
- liczba otworów dyszy głowicy wytaczarskiej (1);
- liczba stref nagrzewających cylinder i głowicę wytaczarską (3);
- liczba obrotów tarczy licznika energii elektrycznej ($k = 10$);
- częstotliwość obrotów ślimaka (s^{-1}) oraz odpowiadająca jej prędkość kątowna (rad/s).

Czynniki zakłócające:**Niestabilności:**

- napięcia prądu elektrycznego (219—241 V);
- temperatury otoczenia (20—24 °C);

— wilgotności bezwzględnej tworzywa wejściowego (0,04—0,06 %);

— wilgotności względnej powietrza (55—65 %).

Założono, że wpływ czynników zakłócających jest bardzo mały i może zostać pominięty.

Metodyka badań

Przed przystąpieniem do badań ustalano temperaturę dwóch kolejnych stref grzejnych układu uplastyczniającego i głowicy wytaczarskiej; wynosiła ona odpowiednio 160 °C, 185 °C oraz 185 °C.

Po osiągnięciu zadanych wartości temperatury stref grzejnych wyłączano grzejniki, po czym uruchamiano silnik wytaczarski i za pomocą bezstopniowej przekładni nastawiano częstotliwość obrotów ślimaka pożądaną w badanym procesie autotermicznym.

Przyjęto, że ustabilizowanie cieplne działania wytaczarki oraz całego procesu wytaczania autotermicznego następuje wówczas, gdy w czasie ok. 60 min temperatura w poszczególnych strefach grzejnych układu uplastyczniającego i w głowicy wytaczarskiej nie ulegała zmianie.

Przedmiotem pomiaru były czynniki wynikowe bezpośrednie. W pierwszej kolejności mierzono je w przypadku braku rowków w cylindrze. Następnie, bez przerywania działania wytaczarki, zgodnie z przyjętym programem badań, nastawiano zamierzoną liczbę oraz położenie rowków (por. tabela 1) i po ponownym ustabilizowaniu cieplnym działania wytaczarki znowu dokonano odpowiednich pomiarów czynników wynikowych bezpośrednich.

Badania wykonywano w odniesieniu do stałej częstotliwości obrotów ślimaka, wykorzystując dyszę z walcowo-stożkowym przekrojem wzdłużnym, kołowym przekrojem poprzecznym oraz średnicą kanału walcowego = 2 mm [24].

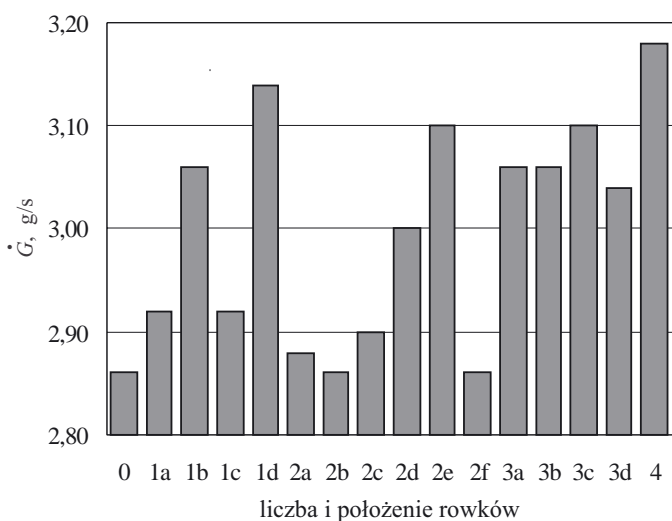
WYNIKI BADAŃ I ICH OMÓWIENIE

Wyznaczone wartości czynników bezpośrednich posłużyły do obliczenia wartości czynników pośrednich; wybrane wyniki tych obliczeń przedstawiają przytoczone w dalszym tekście rysunki 2—6.

Zmiana liczby i położenia rowków, z zachowaniem stałości cech konstrukcyjnych układu uplastyczniającego i warunków technologicznych prowadzenia procesu, w istotnym stopniu wpływa na natężenie przepływu tworzywa, sprawność energetyczną wytaczarki i układu uplastyczniającego oraz jednostkowe zużycie energii doprowadzanej do wytaczarki i układu uplastyczniającego. Wpływ ten jednak nie jest tak oczywisty i jednoznaczny, jakby to wynikało z analizy dostępnej literatury. Autorzy prac naukowych dotyczących strefy rowkowanej koncentrowali się m.in. na określeniu zależności natężenia przepływu przetwarzanego tworzywa od liczby rowków; prace te odnosiły się jednak do więk-

szych wylączarek i większej niż 4 liczby rowków bądź też do procesu wylączania prowadzonego w innych warunkach technologicznych [4, 9, 14, 17].

W referowanej tu pracy zaobserwowano, że zastosowanie czterech rowków powoduje największy, bo prawie 12-proc. wzrost natężenia przepływu (\dot{G}) tworzywa w układzie uplastyczniającym wylączarki działającej autotermicznie w stosunku do analogicznej wielkości oznaczanej w wylączarce bez rowków (rys. 2). W przypadku wszystkich pozostałych konfiguracji liczby i położenia rowków, zmiana natężenia przepływu tworzywa jest mniejsza.



Rys. 2. Zależność masowego natężenia przepływu tworzywa (\dot{G}) od liczby i położenia rowków uplastyczniających (oznaczenia tu i na dalszych rysunkach por. tabela 1)

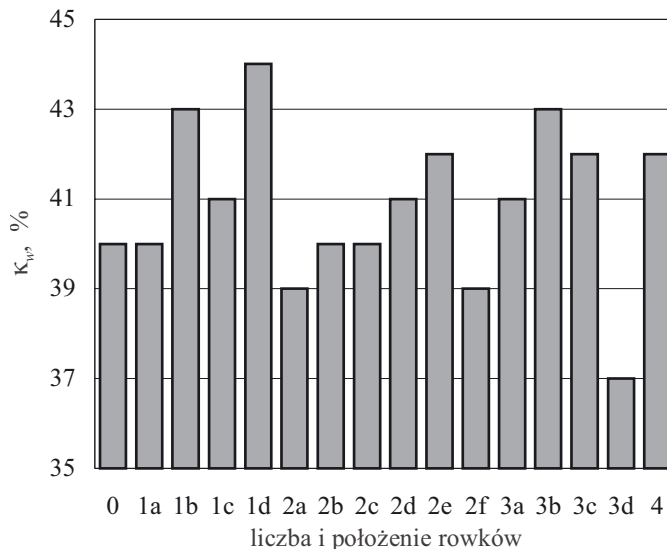
Fig. 2. Dependence of the polymer mass flow rate (\dot{G}) on the number and placement of plasticating grooves (for symbols see Table 1)

Użycie trzech rowków — niezależnie od ich położenia względem otworu zasypowego, kierunku obrotów ślimaka oraz względem siebie — powoduje niemal porównywalny wzrost \dot{G} .

W wariacie dwóch rowków występują największe różnice (w zależności od konfiguracji rowków) natężenia przepływu tworzywa. Najmniejszą wartość \dot{G} zanotowano w odniesieniu do konfiguracji 2f oraz 2b, zaś największą — w przypadku konfiguracji 2e; różnica ($\Delta\dot{G}$) wynosi zatem 8,4 %. Natomiast gdy w strefie rowkowanej znajduje się tylko jeden rowek, to największa różnica ($\Delta\dot{G}$) jest równa 7,0 %.

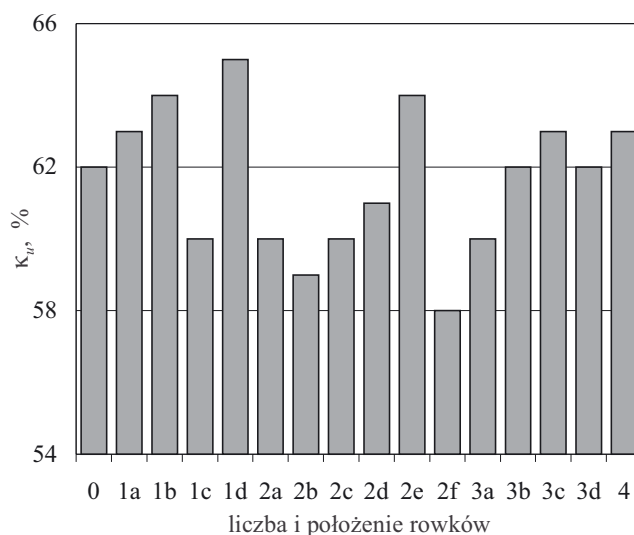
Zaobserwowane zmiany są podstawą stwierdzenia, że w warunkach opisanych tu badań większy wpływ na natężenie przepływu tworzywa ma położenie rowków względem otworu zasypowego i względem siebie niż zastosowana ich liczba.

Z analizy sprawności energetycznej wylączarki oraz układu uplastyczniającego (rys. 3 i rys. 4), a także jedno-



Rys. 3. Zależność sprawności energetycznej wylączarki (κ_w) od liczby i położenia rowków uplastyczniających

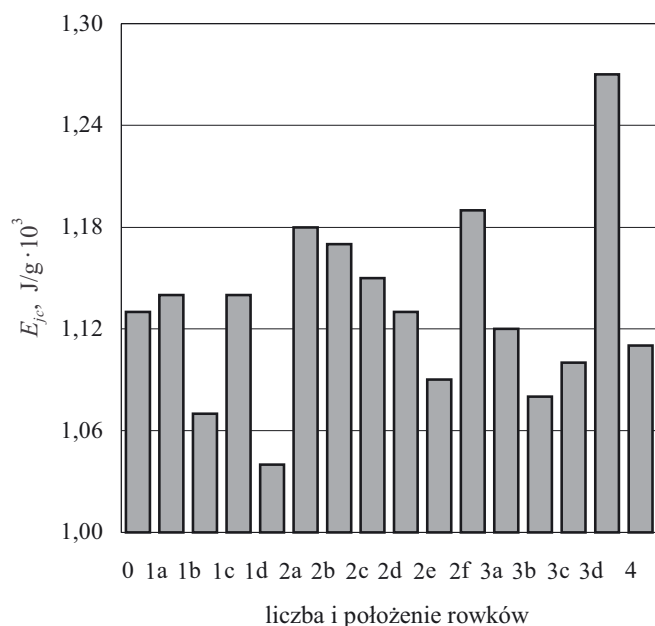
Fig. 3. Dependence of energy efficiency of the extruder (κ_w) on the number and placement of plasticating grooves



Rys. 4. Zależność sprawności energetycznej układu uplastyczniającego wylączarki (κ_u) od liczby i położenia rowków uplastyczniających

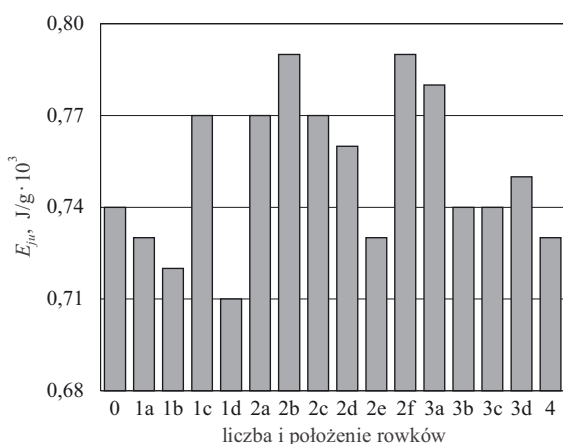
Fig. 4. Dependence of energy efficiency of the plasticating system (κ_u) on the number and placement of plasticating grooves

stkowego zużycia pobieranej przez nie energii (rys. 5 i rys. 6) wynika nieco gorsza efektywność energetyczna procesu wylączania autotermicznego odbywającego się z zastosowaniem czterech rowków strefy rowkowanej niż w przypadku niektórych konfiguracji z mniejszą liczbą rowków. Tak więc najlepsze wskaźniki energetyczne uzyskano w odniesieniu do konfiguracji 1d, 1b oraz 2e. Różnice odpowiednich wartości sprawności energetycznej wylączarki dotyczące jednostkowego zużycia energii pobieranej przez wylączarkę w odniesieniu do poszczególnych konfiguracji rowków nie prze-



Rys. 5. Zależność jednostkowego zużycia energii pobieranej przez wyltaczarkę (E_{jc}) od liczby i położenia rowków uplastyczniających

Fig. 5. Dependence of the unit energy consumption of the extruder (E_{jc}) on the number and placement of plasticating grooves



Rys. 6. Zależność jednostkowego zużycia energii pobieranej przez układ uplastyczniający wyltaczarki (E_{ju}) od liczby i położenia rowków uplastyczniających

Fig. 6. Dependence of the unit energy consumption of the plasticating system (E_{ju}) on the number and placement of plasticating grooves

kraczały 20 %, a różnice wartości pozostałych czynników wynikowych pośrednich (nieuwzględnionych już na rysunkach) nie były większe niż 12 %.

Uzyskana w toku badań największa sprawność energetyczna wyltaczarki wynosiła ok. 44 % (konfiguracja 1d), zatem nieco więcej niż sprawność energetyczna wyltaczarki bez rowków (rys. 3 i 4). Nie potwierdza to jednak doniesień literaturowych, że sprawność energetyczna wyltaczarek ze strefą rowkowaną jest nieznacznie

mniejsza niż odpowiadającej im wyltaczarki bez rowków [6, 15, 25, 26]. Sprawność energetyczna układu uplastyczniającego (κ_u) używanej przez nas wyltaczarki z dowolną konfiguracją rowków zawierała się w granicach 58—65 %, w niektórych przypadkach przekraczała więc wartość κ_u układu bez rowków (62 %).

Jednostkowe zużycie energii pobieranej przez wyltaczarkę (E_{jc} , rys. 5) mieściło się w przedziale od 1040 J/g (1d) do 1270 J/g (3d) co jest porównywalne z danymi literaturowymi [15, 27—29], zaś wartości jednostkowego zużycia energii pobieranej przez układ uplastyczniający (E_{ju} , rys. 6) wynosiły od 715 J/g (1d) do 795 J/g (2b i 2f).

Tak więc, wszystkie przedstawione wyniki pozwalają na stwierdzenie, że w warunkach opisanych badań najlepszym rozwiązaniem konstrukcyjnym strefy rowkowanej wyltaczarki działającej autotermicznie jest zastosowanie jednego rowka, przy czym rowek ten musi być odpowiednio usytuowany. Mianowicie, powinien on znajdować się w obszarze określonym przez zakres kąta α (nachylenie rowka względem osi wzdłużnej wyltaczarki) mierzonego w kierunku zgodnym z kierunkiem obrotów ślimaka i wynoszącego $\pi/2$ — π rad (konfiguracja 1d) lub $3/2\pi$ — 2π rad (konfiguracja 1b). Alternatywnym rozwiązaniem konstrukcyjnym jest użycie dwóch rowków znajdujących się w tych obszarach (konfiguracja 2e). Takie rozwiązania bowiem zapewniają lepszą efektywność procesu wyltaczania niż zastosowanie czterech rowków (por. rys. 3—6).

Charakterystykę procesu pogarsza rowek usytuowany w bezpośrednim sąsiedztwie otworu zasypowego, w obszarze określonym przez zakres kąta α od 0 do $\pi/2$ rad (konfiguracja 1a).

Prawdopodobnie jest to spowodowane brakiem powierzchni przeciwdziałającej zwrotnemu przesypywaniu granulek tworzywa do otworu zasypowego, co zakłóca pobór tworzywa przez ślimak. Dlatego też należałoby zwiększyć odległość rowka od otworu zasypowego, przesuwając ten otwór prostopadle względem osi wzdłużnej wyltaczarki w kierunku obrotów ślimaka, tak jak sugerują J. White oraz H. Potente [30].

Na charakterystykę procesu wpływa oczywiście także odpowiedni dobór elementów geometrycznych ślimaka oraz warunków procesu wyltaczania [26,31—34].

PODSUMOWANIE

Położenie rowków uplastyczniających względem otworu zasypowego oraz względem siebie, a także ich liczba, w istotny sposób wpływają na wielkości charakteryzujące proces autotermicznego wyltaczania PE-LD, przy czym decydujące znaczenia ma położenie rowków. Tak więc sterowanie tego rodzaju procesem może się odbywać nie tylko poprzez zmianę prędkości obrotów ślimaka, ale także na drodze zastosowania odpowiedniej liczby rowków oraz świadome ich usytuowanie w strefie rowkowanej. Jednakże optymalizacja takiego sposobu sterowania jest trudna i wymaga dużej wiedzy teore-

tycznej, popartej licznymi badaniami doświadczalnymi; tego rodzaju badania będą stanowiły przedmiot dalszych prac naszego zespołu.

LITERATURA

1. Decker H.: „Die Spritzmaschine”, Paul Troester Maschinenfabrik, Hanower 1941.
2. Darnell W. H., Mol E. A. J.: *Soc. Plast. Eng. J.* 1956, 4, 20.
3. Fusch G.: *Plastverarbeiter* 1968, 19, 765 oraz 1969, 20, 237 i 1970, 21, 235.
4. Menges G., Hegele R.: *Plastverarbeiter* 1972, 23, 332.
5. Burmann G., Fisher P., Michels R.: „Hightech Extrusion with Barrier-mixing Screw and Spiral Mandrel, Co-extrusion Dies”, Fifth International Conference APT'03, Katowice 2003, materiały, str. 1.
6. Helmy H.: *Plast. Eng.* 1983, 8, 43.
7. Rautenbach R., Peiffer H.: *Kunststoffe* 1982, 72, 262.
8. Sikora J. W.: *Polimery* 1998, 43, 548.
9. Schiedrum H.-O.: *Kunststoffe* 1983, 73, 2.
10. Grünschloß E.: *Int. Polym. Proc.* 2003, 18, 226.
11. Langecker E., Langecker G., Fillman W.: *Plastverarbeiter* 1977, 28, 531
12. Grünschloß E.: „Solid Conveying in Single Screw Extruders with Helical Grooves in the Barrel”, Society of Plastics Engineers — Annual Technical Conference (SPE ANTEC), New Orleans 1979, materiały, str. 160.
13. Potente H.: *Kunststoffe* 1985, 75, 439.
14. Diakun J.: *Plastverarbeiter* 1990, 41, 70.
15. Sikora J. W.: „Studium procesu wytłaczania autotermicznego i strefy rowkowanej wytłaczarki”, Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Lubelskiej, Lublin 2000.
16. Morita Y., Takai T., Yamaguchi S.: „Ultra-high Speed Extrusion of Highly Expanded Polyethylene Insulation for Communication Cables”, International Wire and Cable Symposium, Fort Monmouth 1984, materiały, str. 287.
17. Imping W.: „Optimized Processing of Polypropylen on Adiabatic Extruders”, The Polymer Processing Society, Twelfth Annual Meeting, Sorrento (Włochy) 1996, materiały, str. 351.
18. Sikora J. W., Broel-Plater B.: *Polimery* 2004, 49, 195.
19. Broel-Plater B., Sikora J. W.: *Polimery* 2004, 49, 114.
20. www.basellorlen.pl
21. Żuchowska D.: „Polimery konstrukcyjne — przetwórstwo i właściwości”, WNT, Warszawa 1995, str. 158—161.
22. Czaja K.: „Poliolefiny”, WNT, Warszawa 2005, str. 84—98.
23. Pogański Z.: „Metodyka badań doświadczalnych”, Zakład Graficzny Politechniki Krakowskiej, Kraków 1981, str. 41.
24. Sikora J. W., Kapuśniak T.: *Polimery* 2005, 50, 748.
25. Stasiak J.: *Polimery* 1981, 26, 27.
26. Sikora R.: „Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych”. Wydawnictwo Edukacyjne, Warszawa 1993, str. 30.
27. Rauwendaal Ch., Sikora J. W.: *Int. Polym. Proc.* 2000, 15, 133.
28. Sikora R.: *Polimery* 1987, 32, 247.
29. Diakun J.: *Polimery* 1990, 35, 275.
30. White J. L., Potente H.: „Screw Extrusion”, Hanser Publishers, Monachium 2003, str. 198.
31. Stasiak J.: *Polimery* 2005, 50, 881.
32. Garbacz T.: *Polimery* 2004, 49, 23.
33. Klepka T.: *Polimery* 2004, 49, 123.
34. Samujło B.: *Polimery* 2003, 48, 540.