

JANUSZ W. SIKORA<sup>\*)</sup>, TOMASZ KAPUŚNIAK

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

## Efektywność procesu wytłaczania a charakterystyka dyszy stożkowo-walcowej głowicy wytłaczarskiej

### EFFICIENCY OF THE EXTRUSION PROCESS AND CHARACTERISTICS OF A CONICAL-CIRCULAR DIE

**Summary** — The effects of die constructional features (circular channel diameter and length, conical channel length — dies I—IV, Table 1, Fig. 3) on selected properties, characterizing and unequivocally determining the efficiency of the process of low-density polyethylene autothermal extrusion, have been investigated. The following parameters were analyzed: polymer mass flow rate ( $G$ , Fig. 4), thermal power conveyed by the polymer ( $Q_N$ , Fig. 7), power supplied to the extruder ( $Q_c$ , Fig. 5), efficiency of the extrusion process ( $\kappa_p$ , Fig. 8) and specific consumption of a total energy supplied to the extruder ( $E_{jcr}$ , Fig. 6), dependently on a screw rotation frequency ( $v = 3.7\text{--}5.17\text{ s}^{-1}$ ). Additionally the distribution of temperature and pressure of a polymer processed along the plasticating unit and extrusion die, dependently on the length/diameter ( $L/D$ ) ratio of the screw for various dies (I—IV, Fig. 9 and 10) were determined. Most advantageous energetic conditions that is best efficiency of autothermal extrusion process were obtained for die IV ( $\kappa_p = 73\%$ ).

**Key words:** autothermal extrusion characteristics, conical-circular die, constructional elements, extrusion head, low-density polyethylene, process efficiency.

Jedną z najbardziej rozpowszechnionych metod przetwórstwa tworzyw polimerowych jest wytłaczanie [1, 2]. Wytłaczarki stanowią maszyny przetwórcze w liniach technologicznych wytłaczania różnego rodzaju kształtowników, w tym rur, płyt, taśm, folii, pojemników oraz butelek, a także powlekania kabli [3—5].

Wytłaczanie jednoślakowe, najbardziej rozpowszechnione, ze względu na sposób doprowadzania ciepła do tworzywa przetwarzanego można podzielić na wytłaczanie konwencjonalne i autotermiczne. W procesie wytłaczania konwencjonalnego strumień ciepła potrzebny do uplastyczniania tworzywa jest dostarczany z grzejników za pośrednictwem cylindra i głowicy wytłaczarskiej. Natomiast w procesie wytłaczania autotermicznego ciepło jest generowane bezpośrednio w tworzywie wskutek tarcia zewnętrznego tworzywa o powierzchnię cylindra i ślimaka oraz tarcia wewnętrznego tworzywa przetwarzanego. Aby generowanie ciepła było wystarczające, prędkość obwodowa ślimaka powinna być większa niż w przypadku wytłaczania kon-

wencjonalnego i wynosić nawet do 1,5 m/s [2, 6—8]. Wytłaczanie takie nazywa się również szybkobieżnym. Ze względu na zmianę stanu skupienia tworzywa (ze stanu stałego w strefie zasypu i zasilania, do stanu plastycznego w strefie przemiany i dozowania), a tym samym oporów tarcia wzdłuż układu uplastyczniającego, występują problemy w sterowaniu generowaniem ciepła. Dlatego metodę wytłaczania autotermicznego można stosować do tworzyw o dużym przedziale temperatury przetwórstwa, jak np. polietylen.

Wytłaczarki autotermiczne w porównaniu z wytłaczarkami konwencjonalnymi są tańsze, zapewniają większe natężenie przepływu tworzywa oraz odpowiedni czas przebywania tworzywa w układzie uplastyczniającym, charakteryzują się większą sprawnością energetyczną, mniejszym jednostkowym zużyciem energii, odpowiednim stopniem homogenizacji i mniejszymi wymiarami [8, 9]. Dotychczas znalazły zastosowanie w liniach technologicznych do wytwarzania folii rurowej, powlekania przewodów elektrycznych oraz wytłaczania z granulowaniem [10—12].

W dostępnej literaturze nie znaleziono informacji dotyczących wpływu średnicy dyszy głowicy wytłaczarskiej

<sup>\*)</sup> Autor, do którego należy kierować korespondencje; e-mail: janusz.sikora@pollub.pl

skiej na wybrane właściwości charakteryzujące zarówno proces wytłaczania konwencjonalnego, jak i autotermicznego. Zatem uznano, że ze względu na możliwość zmniejszenia zużycia energii i zwiększenia sprawności procesu wytłaczania, przeprowadzenie badań mających na celu określenie efektywności procesu wytłaczania w zależności od zastosowania głowicy wytłaczarskich z różnymi dyszami stożkowo-walcowymi i od prędkości ślimaka jest celowe i uzasadnione.

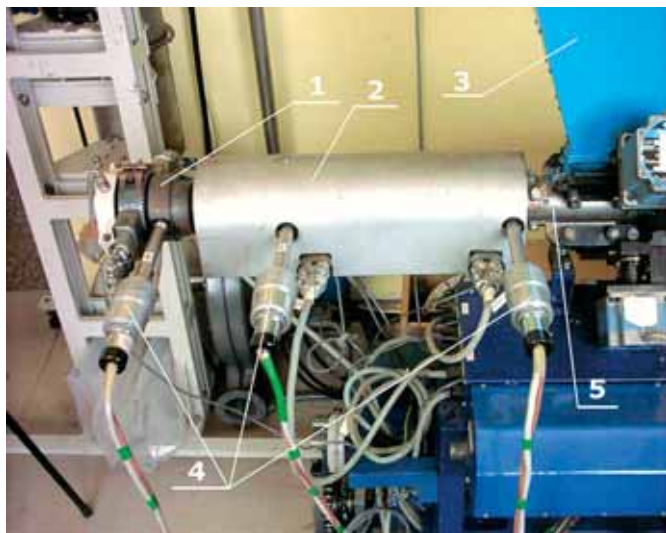
## CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

### Materiał

Do badań wykorzystano polietylen małej gęstości (PE-LD) o nazwie handlowej „Malen E” i symbolu FABS 23-D022, firmy PKN Orlen SA w postaci granulatu (ziarn). Zawiera on, oprócz polimeru, środki pomocnicze, między innymi antyutleniacz, środek poślizgowy oraz antyblokujący. Podstawowe właściwości polietylenu „Malen E” są następujące: gęstość = 919–923 kg/m<sup>3</sup>,  $MFR_{(190; 2,16)} = 1,6–2,5$  g/10 min, efekt Barusa  $\leq 160$  %, wytrzymałość na rozciąganie  $\leq 12$  MPa, naprężenie rozciągające przy zerwaniu  $\geq 8$  MPa, wydłużenie przy zerwaniu  $> 600$  %, temperatura mięknięcia według Vicata  $\geq 96$  °C, liczbowo średni ciężar cząsteczkowy = 10 580–12 150, wagowo średni ciężar cząsteczkowy = 65 900–71 300, polidispersyjność = 5,86–6,22.

### Stanowisko badawcze

Badania efektywności procesu wytłaczania w zależności od charakterystyki dyszy stożkowo-walcowej, w szczególności od wybranego zestawu związanych ze sobą jej cech konstrukcyjnych zostały przeprowadzone w Katedrze Procesów Polimerowych Politechniki Lubelskiej, z wykorzystaniem autotermicznej wyciarki jednoślismakowej „W-25D” (rys. 1) wyposażonej w głowicę



Rys. 2. Fragment ślimaka z elementami intensywnego ścinania i mieszania zastosowanego do badań

Fig. 2. Fragment of screw with elements of intensive shearing and mixing, used for studies

wytłaczarską z wymienną dyszą stożkowo-walcową. Stosowano ślimak o  $L/D = 20$  oraz  $D = 25$  mm, wyposażony w elementy intensywnego ścinania i mieszania (rys. 2). Dysze głowicy z kanałami przepływowymi: doprowadzającym stożkowym i formującym walcowym o kołowym kształcie przekroju poprzecznego, są przeznaczone do wytłaczania prętów lub do wytłaczania z granulowaniem. Szczegółowy opis działania wyciarki oraz zastosowanych przyrządów pomiarowych przedstawiono w pracy [7].

### Program badań

#### Czynniki badane:

##### 1) Bezpośrednio:

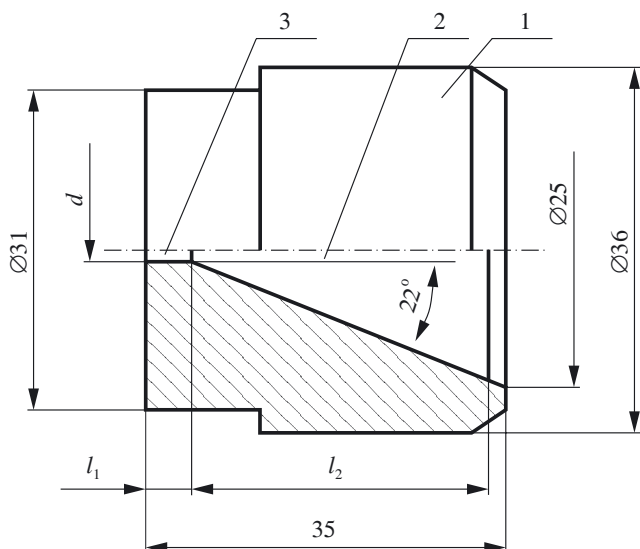
- temperatura tworzywa przetwarzanego w poszczególnych strefach funkcjonalnych układu uplastyczniającego i głowicy wytłaczarskiej ( $T_1, T_2, T_3, ^\circ\text{C}$ );
- ciśnienie tworzywa przetwarzanego w poszczególnych strefach funkcjonalnych układu uplastyczniającego i głowicy wytłaczarskiej ( $p_1, p_2, p_3, \text{MPa}$ );
- masa odcinka pomiarowego wytłoczyny ( $m_w, \text{mm}$ );
- czas wytłaczania odcinka pomiarowego wytłoczyny ( $t_w, \text{s}$ );
- temperatura wytłoczyny mierzona bezpośrednio po wyjściu z dyszy ( $T_{wr}, ^\circ\text{C}$ );
- czas obrotu tarczy pomiarowej licznika energii elektrycznej ( $t_e, \text{s}$ );
- moment obrotowy mierzony na wale ślimaka ( $M_0, \text{Nm}$ ).

##### 2) Pośrednio:

- natężenie przepływu tworzywa ( $\dot{G}, \text{g/s}$ );
- przyrost entalpii tworzywa ( $\Delta H, \text{J/g}$ );

Rys. 1. Fragment wyciarki „W-25D” z umieszczonymi czujnikami temperatury i ciśnienia: 1 — głowica wytłaczarska, 2 — osłona układu uplastyczniającego, 3 — zasobnik tworzywa, 4 — czujniki pomiarowe temperatury i ciśnienia, 5 — układ uplastyczniający

Fig. 1. Fragment of W-25D extruder with temperature and pressure sensors: 1 — extrusion head, 2 — plasticating system casing, 3 — polymer hopper, 4 — temperature and pressure sensors, 5 — plasticating unit



Rys. 3. Schemat dyszy głowicy wylaczarskiej: 1 — korpus, 2 — kanał doprowadzający stożkowy liniowo zbieżny, 3 — kanał formujący walcowy,  $d$  — średnica kanału formującego,  $l_1$  — długość kanału formującego,  $l_2$  — długość kanału doprowadzającego

Fig. 3. Scheme of the die: 1 — body, 2 — conical feeding channel linearly convergent, 3 — circular channel,  $d$  — channel diameter,  $l_1$  — channel length,  $l_2$  — feeding channel length

— energia całkowita doprowadzana do wylaczarki ( $E_c, J$ );

— moc całkowita doprowadzana do wylaczarki ( $\dot{Q}_c, W$ );

— jednostkowe zużycie energii całkowitej doprowadzanej do wylaczarki ( $E_{jc}, J/g$ );

— moc cieplna przenoszona przez tworzywo ( $\dot{Q}_N, W$ );

— sprawność procesu wylaczania ( $\kappa_p, \%$ ).

#### Czynniki zmienne:

— zestaw związanych ze sobą cech konstrukcyjnych dyszy głowicy wylaczarskiej; średnica kanału walcowego dyszy (rys. 3) głowicy wylaczarskiej ( $d$ ), długość kanału walcowego ( $l_1$ ), długość kanału stożkowego ( $l_2$ ) oraz stosunek  $l_1/d$  (tabela 1);

— częstotliwość obrotów ślimaka ( $v, s^{-1}$ ) 3,7; 4,2; 4,6; 4,9 i 5,17.

T a b e l a 1. Charakterystyka dysz głowicy wylaczarskiej używanych w badaniach

T a b l e 1. Characteristics of the dies used

Dysza	$d, mm$	$l_1, mm$	$l_2, mm$	$l_1/d$
I	1,5	4,38	28,62	2,92
II	2,0	5,00	28,00	2,50
III	2,5	5,62	27,38	2,25
IV	3,0	6,24	26,76	2,08

#### Czynniki stałe:

— elementy konstrukcyjne układu uplastyczniającego i głowicy wylaczarskiej (poza dyszą);

— liczba otworów dyszy głowicy wylaczarskiej — jeden;

— liczba stref grzejnych układu uplastyczniającego — dwie;

— liczba stref grzejnych głowicy wylaczarskiej — jedna;

— liczba obrotów tarczy licznika energii elektrycznej — dziesięć.

#### Czynniki zakłócające stanowią niestabilności:

— napięcia prądu elektrycznego — 225,4—234,6 V;

— temperatury otoczenia — 20—24 °C;

— wilgotności tworzywa wejściowego 0,04—0,06 %;

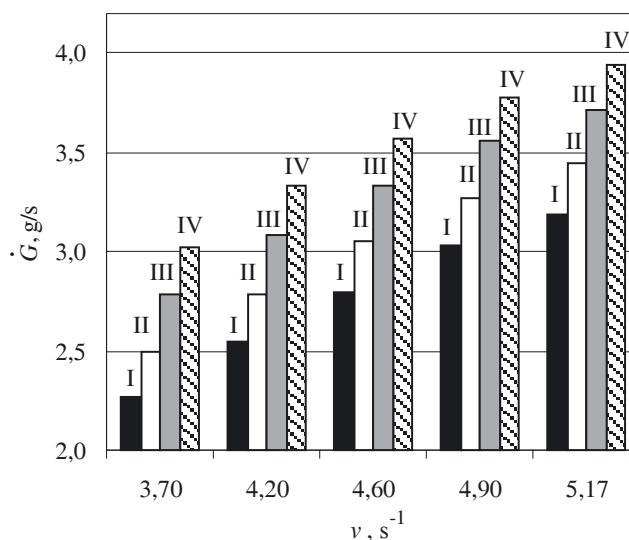
— wilgotności względnej powietrza 55—65 %.

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

#### WYNIKI BADAŃ I ICH OMÓWIENIE

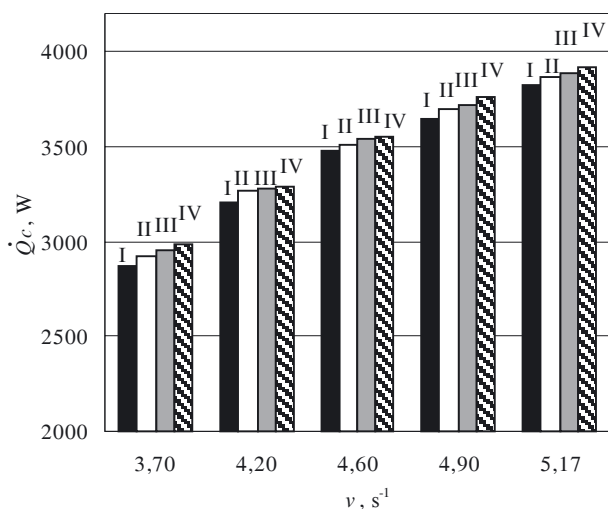
Wyniki badań przedstawiono graficznie jako zależności pomiędzy wybranymi czynnikami badanymi bezpośrednio i pośrednio a czynnikami zmiennymi oraz jako zależności temperatury i ciśnienia tworzywa przetwarzanego wzdłuż długości układu uplastyczniającego i głowicy wylaczarskiej.

Zaobserwowano, że wraz ze wzrostem prędkości ślimaka i w konsekwencji wzrostem szybkości ścinania tworzywa w kanale śrubowym układu uplastyczniającego oraz zwiększeniem się średnicy kanału walcowego i zmianą związanych z nią cech konstrukcyjnych dyszy głowicy wylaczarskiej zwiększa się natężenie przepływu tworzywa ( $\dot{G}$ ) (rys. 4). Moc całkowita ( $\dot{Q}_c$ ) doprowadzana



Rys. 4. Zależność masowego natężenia przepływu tworzywa ( $\dot{G}$ ) od częstotliwości obrotów ślimaka ( $v$ ) w przypadku zastosowania różnych dysz (I—IV) głowicy wylaczarskiej; symbole i charakterystyka dysz por. tabela 1

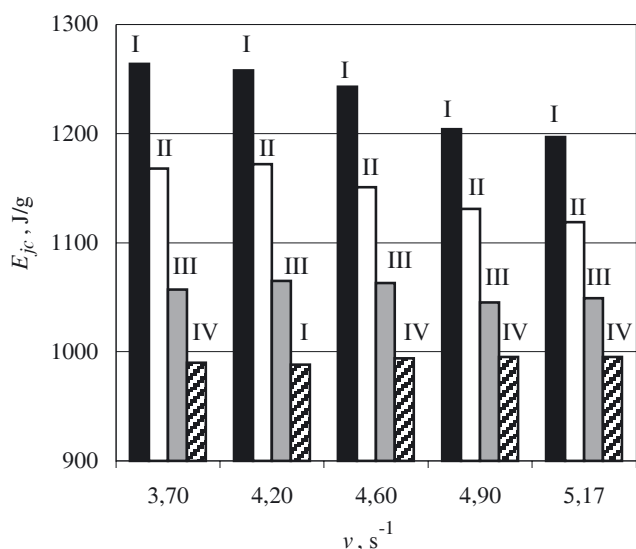
Fig. 4. Dependence of polymer mass flow rate ( $\dot{G}$ ) on screw rotation frequency ( $v$ ) for various dies (I—IV); symbols and characteristics of the dies — see Table 1



Rys. 5. Zależność mocy całkowitej ( $\dot{Q}_c$ ) doprowadzanej do wylączarki od częstotliwości obrotów ślimaka ( $\nu$ ) w przypadku różnych dysz (I—IV) głowicy wylączarskiej; symbole i charakterystyka dysz por. tabela 1

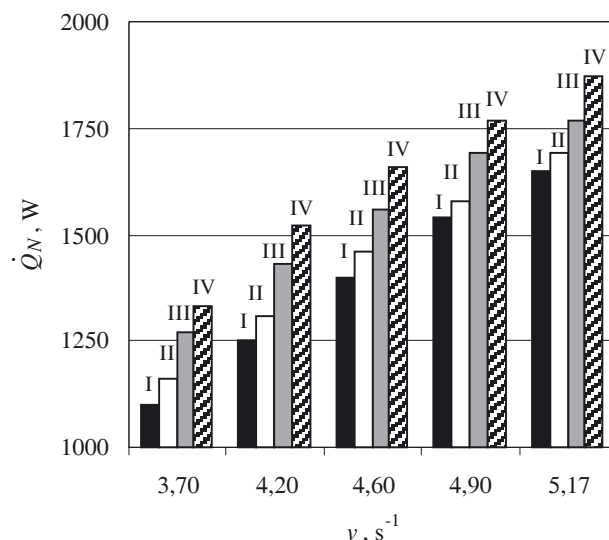
Fig. 5. Dependence of power supplied to the extruder ( $\dot{Q}_c$ ) on screw rotation frequency ( $\nu$ ) for various dies (I—IV); symbols and characteristics of the dies — see Table 1

dzana do wylączarki (rys. 5) również wzrasta wraz ze zwiększaniem się prędkości ślimaka, niezależnie od zastosowanej dyszy, co wynika z zapotrzebowania energetycznego wylączarki na uplastycznianie większej ilości tworzywa. Jest to charakterystyczne zarówno w przypadku wylączania konwencjonalnego, jak i autotermicznego [9, 13, 14].



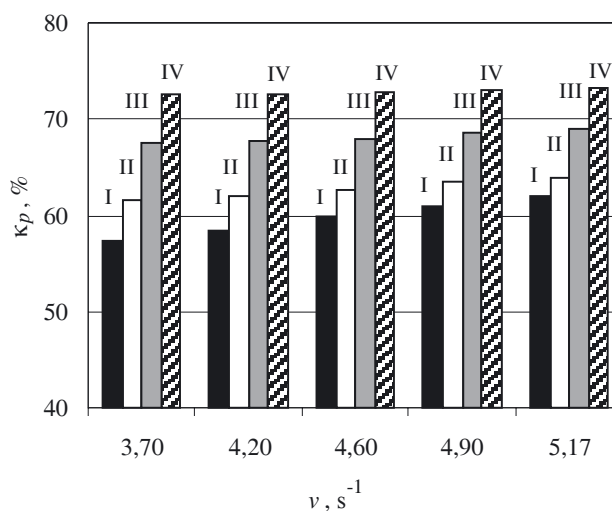
Rys. 6. Zależność jednostkowego zużycia energii całkowitej doprowadzanej do wylączarki ( $E_{jc}$ ) od częstotliwości obrotów ślimaka ( $\nu$ ) w przypadku różnych dysz (I—IV) głowicy wylączarskiej; symbole i charakterystyka dysz por. tabela 1

Fig. 6. Dependence of specific consumption of a total energy supplied to the extruder ( $E_{jc}$ ) on screw rotation frequency ( $\nu$ ) for various dies (I—IV); symbols and characteristics of the dies — see Table 1



Rys. 7. Zależność mocy cieplnej przenoszonej przez tworzywo ( $\dot{Q}_N$ ) od częstotliwości obrotów ślimaka ( $\nu$ ) w przypadku różnych dysz (I—IV) głowicy wylączarskiej; symbole i charakterystyka dysz por. tabela 1

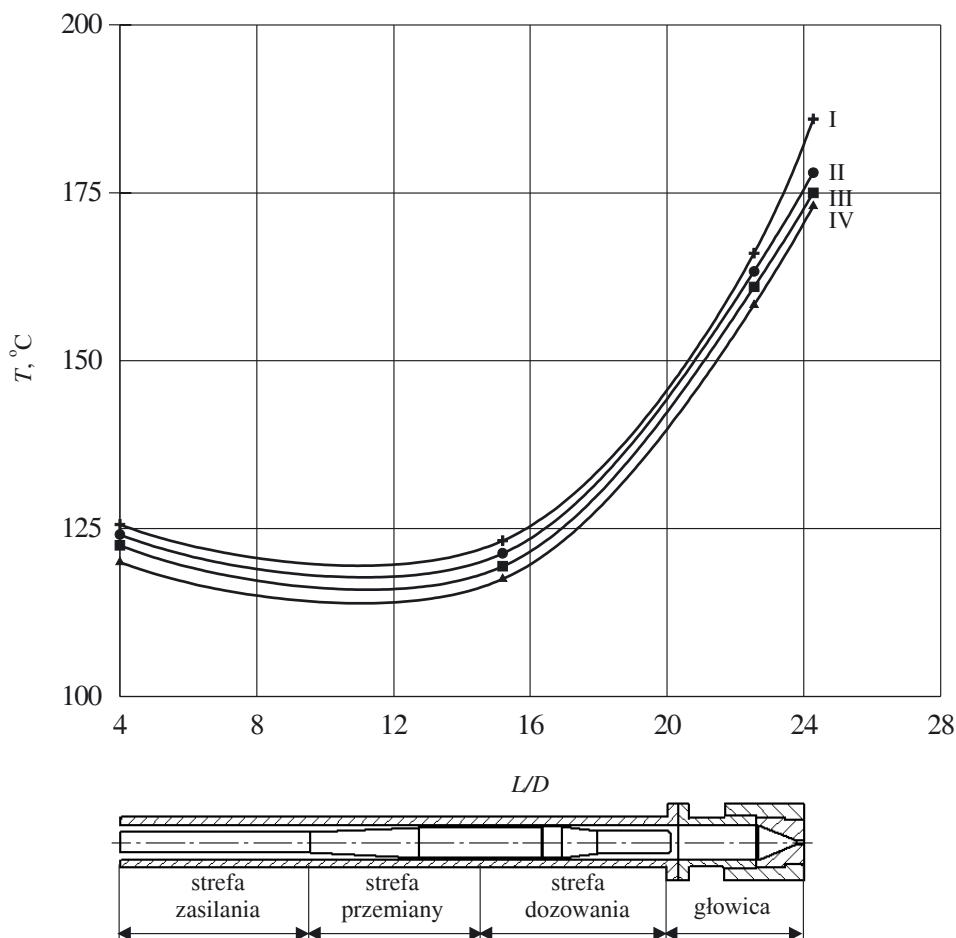
Fig. 7. Dependence of thermal power conveyed by the polymer ( $\dot{Q}_N$ ) on screw rotation frequency ( $\nu$ ) for various dies (I—IV); symbols and characteristics of the dies — see Table 1



Rys. 8. Zależność sprawności procesu wylączania ( $\kappa_p$ ) od częstotliwości obrotów ślimaka ( $\nu$ ) w przypadku różnych dysz (I—IV) głowicy wylączarskiej; symbole i charakterystyka dysz por. tabela 1

Fig. 8. Dependence of efficiency of the extrusion process ( $\kappa_p$ ) on screw rotation frequency ( $\nu$ ) for various dies (I—IV); symbols and characteristics of the dies — see Table 1

Zwiększanie średnicy kanału walcowego dyszy głowicy, a więc odpowiednia zmiana zestawu cech konstrukcyjnych dyszy, powoduje, niezależnie od prędkości ślimaka, wyraźne zmniejszenie się jednostkowego zużycia energii całkowitej doprowadzanej do wylączarki. Z większej szybkości przyrostu natężenia przepływu w stosunku do szybkości przyrostu mocy całkowitej doprowadzonej do wylączarki wynika zmniejszenie jed-



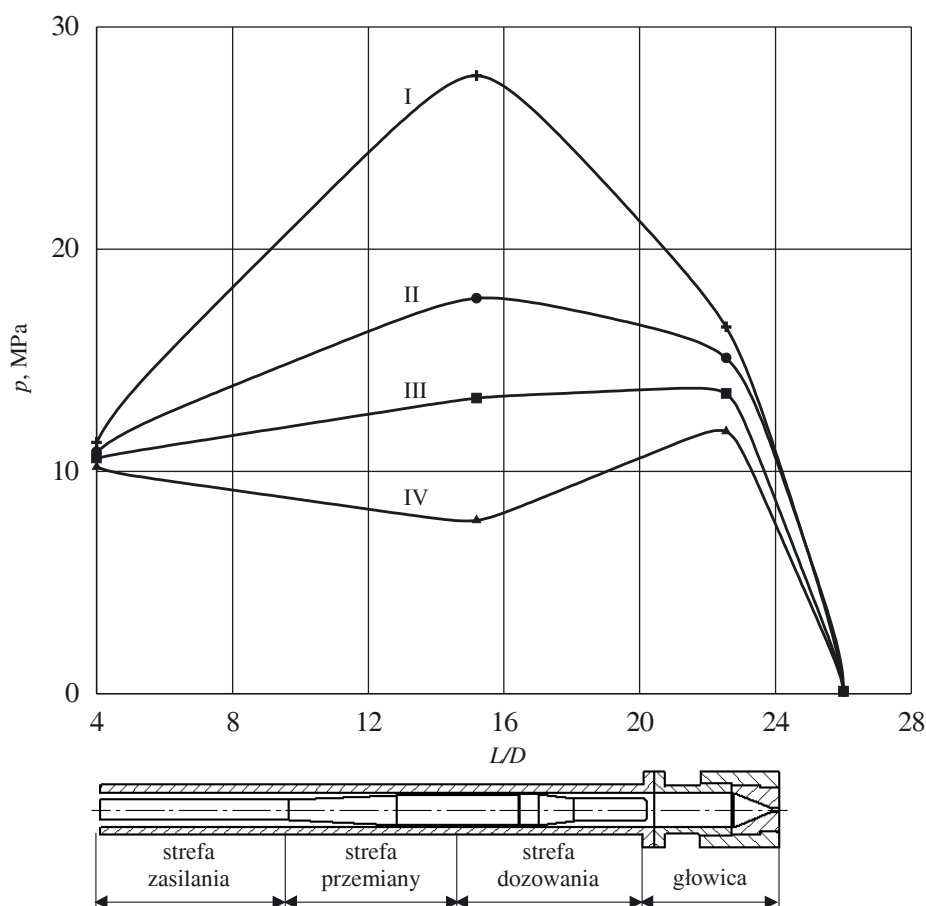
Rys. 9. Rozkład temperatury ( $T$ ) tworzywa przetwarzanego w układzie uplastyczniającym i głowicy wylączarskiej w zależności od wartości  $L/D$  różnych dysz (I—IV) głowicy wylączarskiej,  $v = 5,17 \text{ s}^{-1}$ ; symbole i charakterystyka dysz por. tabela 1  
 Fig. 9. Temperature distribution of polymer processed in plasticating unit and a die head dependently on  $L/D$  value and various dies (I—IV);  $v = 5,17 \text{ s}^{-1}$ ; symbols and characteristics of the dies — see Table 1

nostkowego zużycia energii całkowitej ( $E_{jc}$ ) (rys. 6), które maleje wraz ze wzrostem prędkości ślimaka w przypadku użycia dyszy I oraz II i jest prawie stałe w odniesieniu do dyszy III i IV. Zwiększająca się prędkość ślimaka powoduje intensywniejsze generowanie ciepła, wskutek czego wzrasta moc cieplna przenoszona przez tworzywo ( $\dot{Q}_N$ ) (rys. 7) i w konsekwencji sprawność procesu wylączania, co jest szczególnie widoczne przy użyciu dyszy I oraz II. Zjawisko to znane jest w literaturze [15, 16]. Zmiana częstotliwości obrotów ślimaka w całym badanym zakresie, w przypadku zastosowania dyszy IV powoduje niewielkie zwiększenie sprawności procesu wylączania ( $\kappa_p$ ) (rys. 8).

W układzie uplastyczniającym wartości temperatury tworzywa znacznie różnią się w poszczególnych strefach (rys. 9). Rozkład temperatury jest inny niż w wylączaniu konwencjonalnym [9, 17]. W strefie zasilania temperatura rośnie do wartości, w której następuje przemiana fazowa. Ponieważ proces przejścia granulek tworzywa w stan plastyczny jest endotermiczny, najprawdopodobniej tym można tłumaczyć obniżenie temperatury na końcu strefy zasilania i w strefie przemiany. Po osiągnięciu przez tworzywo stanu plastycznego w stre-

fie dozowania, temperatura wzrasta, gdyż zaczyna ponownie dominować generowanie ciepła tarcia. Analityczny opis zjawisk zachodzących w układzie uplastyczniającym podczas wylączania autotermicznego znajduje się w pracach [8, 18, 19].

Zmiana zestawu cech konstrukcyjnych dyszy głowicy wylączarskiej, w tym przede wszystkim zmiana średnicy dyszy wpływa na przebieg ciśnienia tworzywa wzdłuż układu uplastyczniającego i głowicy wylączarskiej (rys. 10); jest to najlepiej widoczne w obszarze zmniejszenia głębokości kanału ślimaka. W miarę zwiększania średnicy dyszy, obserwuje się mniejsze ciśnienie tworzywa w strefie dozowania i w głowicy wylączarskiej. Można to tłumaczyć zmniejszeniem udziału przepływów ciśnieniowego i przeciekowego w stosunku do przepływu wlezonego, co wynika ze zmniejszenia oporów przepływu tworzywa w kanale głowicy wylączarskiej. Przepływy ciśnieniowy i przeciekowy przeciwdziałają przemieszczaniu się tworzywa w kierunku głowicy wylączarskiej, powodując wzrost ciśnienia tworzywa w układzie uplastyczniającym w miarę zmniejszania średnicy. Dłuższy czas przebywania tworzywa w układzie uplastyczniającym i większe ciśnienie



Rys. 10. Rozkład ciśnienia ( $p$ ) tworzywa przetwarzanego w układzie uplastyczniającym i głowicy wyltaczarskiej w zależności od wartości  $L/D$  różnych dysz (I—IV) głowicy wyltaczarskiej,  $v = 5,17 \text{ s}^{-1}$ ; symbole i charakterystyka dysz por. tabela 1

Fig. 10. Pressure distribution of polymer processed in plasticating unit and a die head dependently on  $L/D$  value and various dies (I—IV);  $v = 5.17 \text{ s}^{-1}$ ; symbols and characteristics of the dies — see Table 1

tworzywa w układzie powoduje wzrost intensywności generowania ciepła poprzez tarcie.

W przypadku dyszy I i II, na skutek dłuższego czasu przebywania tworzywa w układzie uplastyczniającym i większego ciśnienia tworzywa, może wzrastać degradacja mechaniczna i cieplna tworzywa [20] pogarszająca jakość wyltaczyny oraz ograniczająca możliwość powtórnego przetworstwa.

#### PODSUMOWANIE

Natężenie przepływu tworzywa i moc całkowita doprowadzana do wyltaczarki w miarę wzrostu prędkości ślimaka rośnie prawie proporcjonalnie w odniesieniu do każdej z zastosowanych dysz. Jednostkowe zużycie energii całkowitej maleje w przypadku zastosowania dysz I i II, a jest praktycznie stałe w całym badanym zakresie prędkości ślimaka w odniesieniu do pozostałych dysz.

Sprawność procesu wyltaczania z zastosowaniem dyszy IV przebiega z niewielkim przyrostem i jest największa, a w przypadku użycia pozostałych dysz rośnie intensywniej, ale nie osiąga zadowalającego poziomu. Może być to spowodowane zbyt dużym oporem przepływu tworzywa w dyszy głowicy.

Rozkład temperatury tworzywa w układzie uplastyczniającym i głowicy wyltaczarskiej w zależności od stosunku  $L/D$ , w przypadku wszystkich badanych dysz jest zbliżony. Obserwowane największe wartości ciepła generowanego w przypadku zastosowania dysz I i II są konsekwencją większego oporu przepływu niż w przypadku dysz III i IV.

Wraz ze zmianą średnicy dyszy głowicy wyltaczarskiej, która pociąga za sobą zmianę cech konstrukcyjnych kanałów dyszy głowicy oraz oporów przepływu tworzywa w kanałach przepływowych dyszy, zmianie ulega nie tylko sprawność energetyczna procesu wyltaczania, ale także intensywność generowania ciepła w wyniku tarcia oraz wartość i rozkład ciśnienia tworzywa wzdłuż układu uplastyczniającego wyltaczarki.

Podsumowując, najkorzystniejsze warunki energetyczne, a więc największą efektywność procesu wyltaczania autotermicznego (sprawność 73 % w całym badanym zakresie prędkości ślimaka) uzyskiwano w przypadku użycia dyszy IV. Zastosowanie innych dysz charakteryzujących się m.in. mniejszymi średnicami kanału walcowego pozwala na osiągnięcie sprawności procesu wyltaczania nieprzekraczającej 64 %, a więc także stosunkowo dużej.

## LITERATURA

1. White J. L., Potente H.: „Screw Extrusion”, Carl Hanser Verlag, Monachium 2003.
2. Sikora R.: „Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych”, Wydawnictwo Edukacyjne, Warszawa 1993.
3. Michaeli W.: „Extrusion Dies for Plastics and Rubber”, Hanser Publishers, Nowy Jork 1992.
4. Samujło B.: „Badania uniepalnienia rur instalacyjnych z polietylenu”, IX Profesorskie Warsztaty Naukowe „Przetwórstwo tworzyw polimerowych”, materiały, Wyd. Uczelniane PSz, Szczecin 2004, str. 33.
5. Rauwendaal Ch.: „Polymer Extrusion”, Carl Hanser Verlag, Monachium 2001.
6. Diakun J., Sikora R., Bil T.: *Polimery* 1996, **41**, 113.
7. Sikora J. W.: *Polimery* 1997, **42**, 565.
8. Sikora J. W.: „Studium autotermiczności procesu wytłaczania i sfery rowkowej wytłaczarki”, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2000.
9. Sikora J. W.: *Int. Polym. Proc.* 1998, **13**, 9.
10. Sikora J. W.: *Polimery* 1994, **39**, 7.
11. Sikora R.: *Przegl. Mech.* 1980, **22**, 8.
12. Materiały informacyjne firm: Alpha Marathon Technologies Inc. ([www.alphamarathon.com](http://www.alphamarathon.com)), Arenz GmbH ([www.arenz-gmbh.de](http://www.arenz-gmbh.de)), B&P Process Equipment and Systems CO. Ltd ([www.bpprocess.com](http://www.bpprocess.com)), Chen Yieu Development Machinery CO. Ltd ([www.cykf.com.tw](http://www.cykf.com.tw)), Chi Chang Machinery CO. Ltd ([www.extrusion.com.tw](http://www.extrusion.com.tw)), Continent Machinery Industries CO. Ltd ([www.continent-machine.com](http://www.continent-machine.com)), Hosokawa Micron Group ([www.hosokawa.com](http://www.hosokawa.com)), IPTS Metalchem Toruń ([www.ipts-metalchem.torun.pl](http://www.ipts-metalchem.torun.pl)), PolyTech Consultants ([www.polytechconsultants.com](http://www.polytechconsultants.com)), Reifenhäuser GmbH & CO. Ltd ([www.reifenhäuser.com](http://www.reifenhäuser.com)), R. Dray Mit freundlichen Grüßen. CO ([www.rdray.com](http://www.rdray.com)), Schwingel GmbH ([www.schwingel.de](http://www.schwingel.de)), Spirex CO. Ltd ([www.spirex.com](http://www.spirex.com)), The Japan Steel Works CO. Ltd ([www.jsw.co.jp](http://www.jsw.co.jp)), Yao Ta Machinery MFG. CO. Ltd ([www.yaota.com.tw](http://www.yaota.com.tw)).
13. Grünschloß E.: *Int. Polim. Proc.* 2003, **18**, 226.
14. Potente H., Obermann C.: *Int. Polim. Proc.* 1999, **14**, 21.
15. Sikora J. W.: *Polimery* 1999, **44**, 190.
16. Sikora J. W.: *Przegl. Mech.* 1998, **19**, 5.
17. Sikora R., Tomaszewski J.: *Polimery* 1982, **27**, 170.
18. Young K. L., Xu Y., Lau K. H.: *Polymer* 2002, **43**, 2543.
19. Sikora J. W.: *Polimery* 1997, **42**, 111.
20. Kuo-Cheng C.: *Polym. Degrad. Stab.* 1996, **51**, 271.

Otrzymano 7 IX 2004 r.