

Bronisław SAMUJŁO\*, Janusz W. SIKORA  
Katedra Procesów Polimerowych, Politechnika Lubelska  
ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin  
\* b.samujlo@pollub.pl

## Wybrane aspekty funkcjonowania układu uplastyczniającego wylączarki ze zmodyfikowaną strefą zasypu

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu zmian konstrukcji strefy zasilania oraz cech geometrycznych granulatu poli(chlorku winylu) plastyfikowanego na wybrane wielkości charakteryzujące proces wytłaczania. Ustalono, że szerokość otworu zasypowego, głębokość wybrania materiałowego w cylindrze pod otworem zasypowym oraz długość granulki ma niewielki wpływ na temperaturę wylóczyny. Moment obrotowy ślimaka wylączarki oraz wydajność masowa procesu wytłaczania ulegają zwiększeniu wraz ze zwiększaniem wybrania materiałowego oraz zmniejszaniem szerokości otworu zasypowego. Największą wydajność procesu wytłaczania zapewnia zastosowanie granulatu o kształcie zbliżonym do kulistego.

### SELECTED ASPECTS OF THE EXTRUDER PLASTICIZING SYSTEM OPERATION WITH A MODIFIED FEED SECTION

**Summary.** The paper presents the results of the impact of changes in construction of the feeding zone and the geometrical characteristics of the plasticized poly(vinyl chloride) granulate on selected quantities characterizing the extrusion process. It was found that the width of the feed opening, the depth of the recess in the cylinder under the charging hole and the length of the granules has little influence on the temperature of the extrudate. The torque of the extruder screw and the mass efficiency of the extrusion process are increased with the increase of the depth of the recess in the cylinder and reduces the width of the feed opening. The greatest efficiency of the extrusion process and applicable granulate with a nearly spherical shape.

### Wprowadzenie

Przebieg procesu wytłaczania zależy od zjawisk cieplnych i reologicznych zachodzących w układzie uplastyczniającym, w tym od pobierania przez ślimak tworzywa w strefie zasypu i zasilania [1÷3]. Zapewnienie warunków do efektywnego pobierania tworzywa z zasobnika i wprowadzanie do układu uplastyczniającego umożliwia zwiększenie wypełnienia tworzywem kanału śrubowego ślimaka. Zwiększeniu ulega przewodność cieplna strumienia transportowanego tworzywa, a więc w konsekwencji szybszy i sprawniejszy jest proces nagrzewania i przechodzenia tworzywa w stan plastyczny. Łatwiej jest także wytworzyć w strumieniu tworzywa odpowiednie ciśnienie, co wpływa na funkcjonowanie pozostałych stref układu uplastyczniającego i determinuje wydajność i efektywność procesu wytłaczania, a także pośrednio właściwości wylóczyny.

Wpływ konstrukcji zasobnika, otworu zasypowego, cylindra oraz ślimaka w tych strefach jest poruszany w wielu publikacjach naukowych [2÷4] i jest bezdyskusyjny. W literaturze spotyka się często niejednoznaczne zalecenia odnośnie kształtu, położenia i rozmiarów otworu zasypowego. W pracy Ch. Rauwendaala [5] zaleca się kształt kołowy zasobnika bezpośrednio przed otworem zasypowym, co zapewnia najkorzystniejsze warunki przemieszczania tworzywa w tym obszarze. Otwór zasypowy powinien mieć kształt i wymiary identyczne z otworem zasobnika, przy czym korzystniejsze jest stosowanie otworów podłużnych [2]. Także niewiele jest informacji dotyczących wpływu bocznego wybrania materiałowego

wego w cylindrze bezpośrednio pod otworem zasypowym na proces wytłaczania [5, 6], przy czym zaleca się wykonanie takiego wybrania pod otworem zasypowym po tej stronie cylindra w którą obraca się ślimak [2]. Na stopień wypełnienia i ruch tworzywa w strefie zasypu i zasilania mają także wpływ siły spójności pomiędzy poszczególnymi granulkami, opory tarcia powstające przy wzajemnym przemieszczaniu się granulek, a także ich wilgotność, skład granulometryczny, kształt i rozmiary [7]. W dostępnej literaturze [2, 3] można odnaleźć pewne fragmentaryczne dane dotyczące zachowania się tworzyw sypkich przy ich przemieszczaniu w kanałach otwartych i zamkniętych, jak również nacisków jakie wywierają tworzywa sypkie na ściany zbiorników, w tym zasobników wylączarek i wtryskarek [8].

Zagadnienia te były tematem wcześniejszych prac autorów, którzy badali wpływ szerokości otworu zasypowego [9] oraz długości granulki [10] na efektywność procesu wytłaczania PVC. Nadal nie ma jednak w dostępnej literaturze analizy jednoczesnego wpływu szerokości otworu zasypowego, głębokości wybrania materiałowego oraz długości granulki na przebieg procesu wytłaczania poli(chlorku winylu).

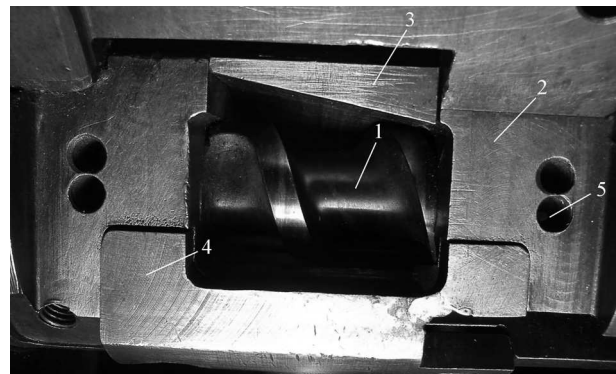
### Metodyka badań

Celem przeprowadzonych badań było doświadczalne określenie wpływu takich cech konstrukcyjnych strefy zasypu, jak szerokość otworu zasypowego oraz głębokość bocznego wybrania materiałowego jak również długości granulek tworzywa wejściowego na proces wytła-

czania poli(chlorku winylu) plastyfikowanego, określony momentem obrotowym ślimaka wylączarki, temperaturą wylóczyny oraz masowym natężeniem przepływu tworzywa.

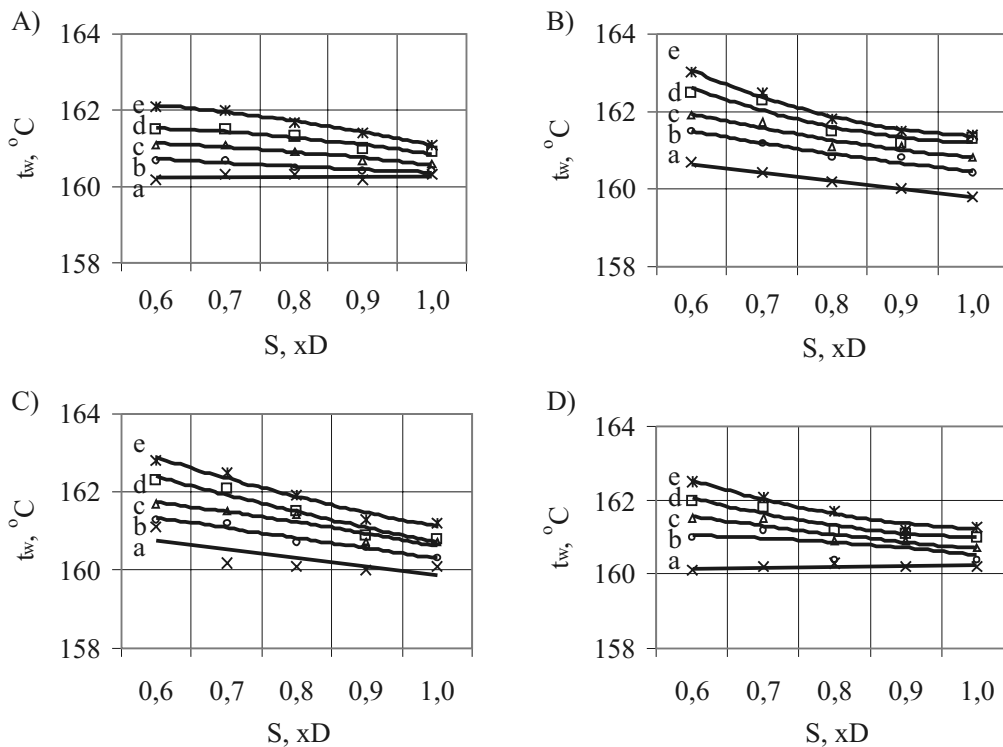
W badaniach wykorzystano poli(chlorek winylu) plastyfikowany Alfavinył GMF/4-31TR (Alfa PVC Sp. z o.o.), o gęstości  $1230 \div 1400 \text{ kg/m}^3$  i masowym wskaźniku szybkości płynięcia wynoszącym  $4,3 \div 4,6 \text{ g/10 min}$ . Wykorzystany w badaniach granulata różnił długością  $l$  granulki, która wynosiła 2,11, 2,60, 3,22 oraz 4,34 mm. Badania procesu wylączania przeprowadzono przy wykorzystaniu wylączarki W-25D o zmodyfikowanej konstrukcji strefy zasypu [9, 10]. W cylindrze pod otworem zasypowym wybrano wybranie materiałowe i usunięto fragment cylindra na długości otworu zasypowego. Wykonano wymienne elementy konstrukcyjne – wkładki kształtowe do zmiany głębokości wybrania materiałowego, segmenty zasypowe o zmiennej szerokości otworu zasypowego oraz element zamykający (rys. 1). Poprzez jednoczesną wymianę obu elementów konstrukcyjnych strefy zasypu zmieniano głębokość  $h$  wybrania materiałowego (0, 2, 4, 6 oraz 8 mm) oraz szerokość  $S$  otworu zasypowego (1,0D, 0,9D, 0,8D, 0,7D i 0,6D) [9, 10].

Mając na uwadze cel badań oraz ogólne zasady metodyczne prowadzenia badań doświadczalnych opracowano zbiór ważniejszych czynników badawczych charakteryzujących badany proces wylączania, a mianowicie zestawienie czynników badanych bezpośrednio, badanych pośrednio, czynników zmiennych, stałych i zakłóca-



Rys. 1. Wygląd zmodyfikowanej strefy zasypu z zamontowaną wkładką kształtową oraz elementem zamykającym: 1 – ślimak, 2 – cylinder, 3 – wkładka kształtowa, 4 – element zamykający, 5 – otwory montażowe segmentów zasypowych

jących. Za czynniki badane bezpośrednio przyjęto: temperaturę wylóczyny  $t_w$  ( $^{\circ}\text{C}$ ), moment obrotowy ślimaka wylączarki  $M$  (Nm) oraz masę odcinka wylóczyny  $m_w$  (kg). Czynnikiem badanym pośrednio było masowe natężenie przepływu tworzywa  $G$  (kg/h). Czynniki zmieniane były: głębokość  $h$  wybrania materiałowego (0, 2, 4, 6 oraz 8 mm), szerokość  $S$  otworu zasypowego (1,0D, 0,9D, 0,8D, 0,7D i 0,6D) oraz długość granulki  $l$  (2,11; 2,60; 3,22 oraz 4,34 mm). Czynniki stałe stanowił rodzaj tworzywa, temperatura nastawiana w poszczególnych strefach



Rys. 2. Zależność temperatury wylóczyny  $t_w$  od szerokości  $S$  otworu zasypowego cylindra wylączarki, przy długości granulki  $l$  wynoszącej 2,11 mm (A), 2,60 mm (B), 3,22 mm (C), 4,34 mm (D) oraz różnej głębokości wybrania materiałowego w cylindrze: a) 0 mm, b) 2 mm, c) 4 mm, d) 6 mm oraz e) 8 mm

grzejnych układu uplastyczniającego wylączarki  $t_A$ ,  $t_B$ ,  $t_C$  i głowicy wylączarskiej  $t_D$ , której wartość wynosiła odpowiednio 100, 130, 140 oraz 150°C czas wylączania odcinka wylóczyny  $T_w = 60$  s, pozo, prędkość obrotowa  $v$  ślimaka wylączarki równa  $0,5 \text{ s}^{-1}$ , stałe elementy geometryczne układu uplastyczniającego i głowicy wylączarskiej. Jako czynniki zakłócające przyjęto: napięcie prądu elektrycznego: od 219 do 241V, wilgotność względna powietrza: od 45 do 55%, temperatura otoczenia: od 20 do 24°C. Ocenia się jednak, że wpływ czynników zakłócających był minimalny i można go pominąć.

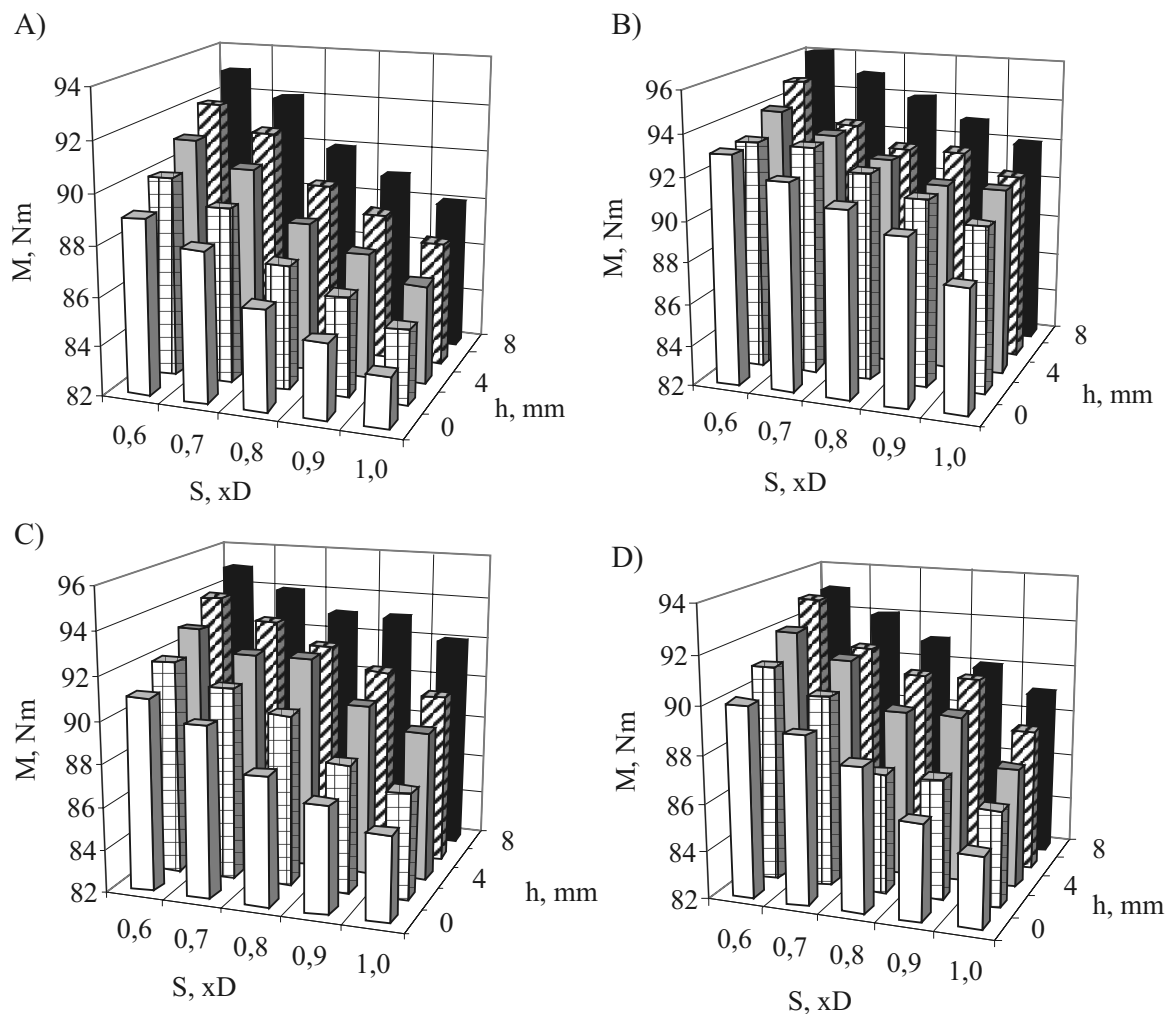
### Wyniki badań

W wyniku przeprowadzonych badań określono zależności temperatury wylóczyny, momentu obrotowego ślimaka wylączarki oraz masowego natężenia przepływu tworzywa od długości granulki, głębokości wybrania materiałowego oraz szerokości otworu zasypowego.

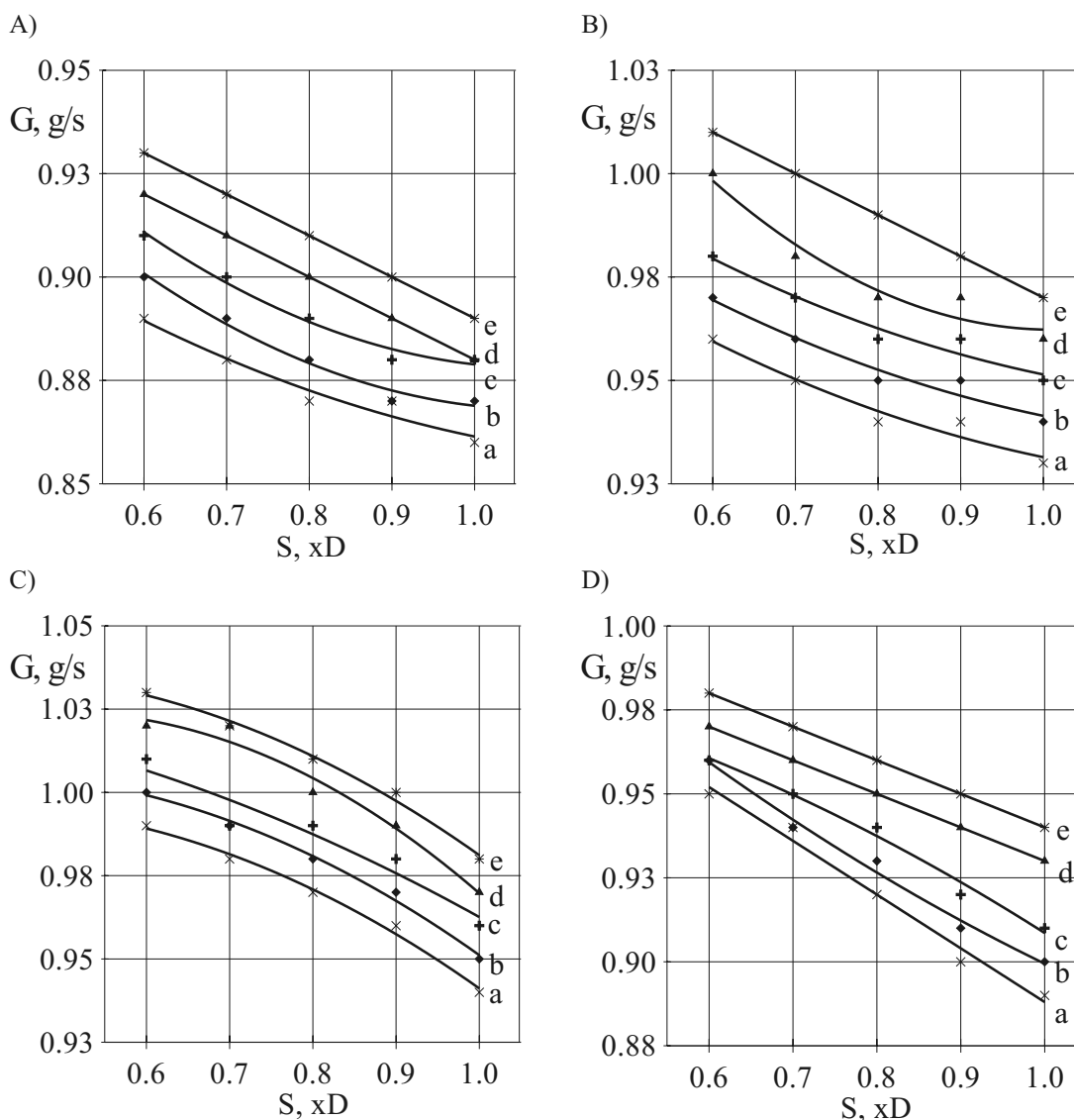
Na rysunku 2 przedstawiono zależność temperatury wylóczyny  $t_w$  od długości  $l$  granulek, głębokości  $h$  wy-

brania materiałowego oraz szerokości  $S$  otworu zasypowego, wyrażonej w wielokrotności średnicy ślimaka ( $xD$ ).

Nie stwierdzono istotnego wpływu szerokości otworu zasypowego w segmencie zasypowym, głębokości wybrania materiałowego w cylindrze oraz długości granulki na temperaturę wylóczyny. Są jednak obserwowalne pewne powtarzalne zależności (rys. 2). Charakter zależności temperatury wylóczyny od szerokości otworu zasypowego zmienia się wraz ze zwiększaniem głębokości wybrania materiałowego wkładki kształtowej w cylindrze strefy zasypu układu uplastyczniającego wylączarki oraz długością granulki. Przy braku wybrania materiałowego w cylindrze pod otworem zasypowym oraz najmniejszej i największej długości granulki temperatura wylóczyny jest prawie stała niezależnie od szerokości otworu zasypowego. Przy długości granulki zbliżonej do jej średnicy (rys. 2B oraz 2C) temperatura wylóczyny wzrasta wraz ze zmniejszaniem szerokości otworu zasypowego. Niezależnie od długości granulki zwiększanie wybrania materiałowego w cylindrze powoduje coraz



Rys. 3. Zależność momentu obrotowego ślimaka wylączarki  $M$  od szerokości  $S$  otworu zasypowego cylindra wylączarki oraz głębokości wybrania materiałowego  $h$  w cylindrze przy długości granulki  $l$  wynoszącej 2,11 mm (A), 2,60 mm (B), 3,22 mm (C), 4,34 mm (D)



Rys. 4. Zależność masowego natężenia przepływu tworzywa  $G$  od szerokości  $S$  otworu zasypowego cylindra wylączarki, przy długości granulki  $l$  wynoszącej 2,11 mm (A), 2,60 mm (B), 3,22 mm (C), 4,34 mm (D) oraz różnej głębokości wybrania materiałowego w cylindrze: a) 0 mm, b) 2 mm, c) 4 mm, d) 6 mm oraz e) 8 mm

większy spadek temperatury wylączarki wraz ze zwiększeniem szerokości otworu zasypowego. Wraz ze wzrostem głębokości wybrania materiałowego wkładki kształtowej cylindra temperatura wylączarki zwiększa się. Zmiany te nie są jednak znaczące. Przy szerokości otworu zasypowego wynoszącej  $1D$  wraz ze wzrostem głębokości wybrania materiałowego temperatura wylączarki zwiększa się o około  $1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , natomiast przy szerokości otworu zasypowego wynoszącej  $0,6D$  zwiększa się już o nieco powyżej  $2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Zwiększenie głębokości bocznego wybrania materiałowego, zmniejszenie szerokości otworu zasypowego cylindra wylączarki oraz kształt granulek zbliżony do kulistego umożliwi ich skuteczniejsze pobieranie w strefie zasypu i lepsze upakowanie na początku strefy zasilania. Skutkuje to większą przewodnością cieplną uplastycznianego tworzywa i skuteczniejszym

jego nagrzewaniem, co znajduje potwierdzenie w wyższej temperaturze tworzywa opuszczającego dyszę głowicy wylączarki.

W każdym z badanych przypadków moment obrotowy ślimaka wylączarki zmniejsza się wraz ze zwiększeniem szerokości otworu zasypowego i zmniejszeniem głębokości wybrania materiałowego w cylindrze układu uplastyczniającego wylączarki niezależnie od długości granulki (rys. 3). Początkowo wraz ze zwiększaniem długości granulki do 3,22 mm moment rośnie o blisko 3%, natomiast zwiększenie długości granulatu do 4,34 mm powoduje jego spadek do wartości zbliżonych do początkowych uzyskanych dla granulek o długości 2,11 mm. Zastosowanie wkładki o największej głębokości wybrania materiałowego i najmniejszej szerokości otworu zasypowego skutkuje wzrostem momentu obrotowego ślimaka

ka o 4,49%, zaś wzrost szerokości otworu zasypowego do 1,0D powoduje wzrost momentu ślimaka o 4,76%.

Zaobserwowany wzrost momentu obrotowego ślimaka wylączarki wraz ze zmniejszaniem szerokości otworu zasypowego najprawdopodobniej wynika ze zwiększenia oporów przepływu tworzywa w stanie stałym w strefie zasypu, natomiast w przypadku granulek o długościach zbliżonych do średnicy (rys. 2B oraz 2C) z większe- go ich upakowania w strefie zasilania.

Masowe natężenie przepływu tworzywa zmniejsza się wraz ze zwiększaniem szerokości otworu zasypowe- go w segmencie zasypowym cylindra układu uplastycz- niającego niezależnie od głębokości wybrania materiało- wego jak i długości granulek (rys. 4). Przy czym, dla tej samej wartości szerokości otworu zasypowego, wraz ze wzrostem głębokości wybrania materiałowego w cylin- drze, masowe natężenie przepływu tworzywa zwiększa się. Podobnie jak w przypadku pozostałych badanych wielkości zwiększanie długości granulki powoduje po- czątkowo zwiększenie masowego natężenia przepływu tworzywa, a następnie niewielki jego spadek przy maksy- malnej długości granulki.

Masowe natężenie przepływu tworzywa wraz ze zwiększaniem szerokości otworu zasypowego od 0,6D do 1,0D zmniejsza się o nieco powyżej 3% przy braku wybra- nia materiałowego, natomiast przy zastosowaniu wkład- ki o największej, z badanych, głębokości wybrania w cy- lindrze zmniejsza się o ponad 4%. Zwiększenie długości granulek do 3,22 mm powoduje maksymalnie, przy  $S = 0,6D$  oraz  $h = 8$  mm) blisko 10% wzrost masowego natęże- nia przepływu tworzywa. Dalsze zwiększenie długości granulek powoduje już obniżenie masowego natężenia przepływu tworzywa. Zastosowanie wkładki o najwięk- szej głębokości wybrania materiałowego i najmniejszej szerokości otworu zasypowego skutkuje uzyskaniem naj- wyższych wartości masowego natężenia przepływu two- rzywa. Można to tłumaczyć tym, że większa głębokość wybrania materiałowego cylindra stwarza lepszą możli- wość upakowania granulek w kanale śrubowym. Wraz ze zmianą długości granulek ich kształt zbliża się do kuliste- go, co także ułatwia ich wzajemne przemieszczanie się w strefie zasypu oraz lepsze upakowanie w kanale śrubo- wym. Przesunięcie krawędzi otworu zasypowego unie- możliwia natomiast wystąpienie zjawiska recyrkulacji granulek w otworze zasypowym.

## Podsumowanie

Na podstawie analizy otrzymanych wyników badań stwierdzono, że na proces wytłaczania korzystnie wpły- wa użycie otworu zasypowego o mniejszej niż standardo- wa szerokości wynoszącej 0,6D, wykonanie wybrania materiałowego w cylindrze wylączarki bezpośrednio pod otworem zasypowym oraz stosowanie granulatu charakteryzującego się długością zbliżoną do średnicy. Przy takich warunkach prowadzenia procesu wytłacza- nia uzyskano najwyższą temperaturę wytłoczyny, war- tości momentu obrotowego ślimaka wylączarki oraz masowego natężenia przepływu tworzywa – masowej wydajności procesu wytłaczania.

## Literatura

1. Stasiek J.: „Wytłaczanie tworzyw polimerowych”. Wydaw- nictwo UTP w Bydgoszczy, Bydgoszcz 2007.
2. White J. L., Potente H.: „Screw Extrusion”. Carl Hanser Ver- lag, Munich 2003.
3. Rauwendaal Ch.: „Polymer Extrusion”. Carl Hanser Verlag, Munich 2001.
4. Qiu, D. Q., Prentice, P.: Influence of pressure on bulk density of polymer solid granules at different temperatures. *Advan- ces in Polymer Technology* **1998**, 17, 23.
5. Rauwendaal Ch.: „Understanding Extrusion”. Carl Hanser Verlag, Munich 1998.
6. Lehnen J.P., Zingelmann G.: Process and apparatus for mol- ding elastomers. *Patent niemiecki* 2 738 308, 1979.
7. Burzyński P., Bieliński M.: *Procesy pomocnicze w przetwó- rstwie tworzyw – dozowanie*. Przetwórstwo Tworzyw **2005**, 11, 172.
8. Bieliński M., Burzyński P.: *Wpływ cech granulometrycznych materiałów polimerowych na procesy dozowania. Postęp w prze- twórstwie materiałów polimerowych*. Politechnika Czę- stochowska, Częstochowa 2002, 290
9. Sikora J.W., Samujło B.: Impact of feed opening width and position on PVC extrusion process effectiveness. *Internatio- nal Polymer Processing* **2013**, 28, 291.
10. Samujło B., Sikora J.W.: The impact of selected granulome- tric properties of poly(vinyl chloride) on the effectiveness of the extrusion process. *Journal of Polymer Engineering* **2013**, 33, 77.