

# WPLYW ŚREDNICY DYSZY GŁOWICY WYTŁACZARSKIEJ NA WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI CHARAKTERYZUJĄCE PROCES WYTŁACZANIA AUTOTERMICZNEGO

## EXTRUSION HEAD DIE DIAMETER INFLUENCE ON CHOSEN PROPERTIES CHARACTERIZING AN AUTOTHERMAL EXTRUSION PROCESS

*Wyniki badań przedstawione w pracy dotyczą wpływu zmiany średnicy dyszy wylaczkarskiej, przy różnych prędkościach obrotowych ślimaka, na wybrane właściwości charakteryzujące proces wytłaczania autotermicznego. Parametrami tymi są: masowe natężenie przepływu, moc całkowita pobierana przez układ napędowy wylaczkarskiej, sprawność procesu wytłaczania, a także rozkład temperatury tworzywa w układzie uplastyczniającym i głowicy wylaczkarskiej. Do badań wykorzystano polietylen małej gęstości. Zmiana prędkości obrotowej ślimaka odbywała się w zakresie 3,7 - 5,17 s<sup>-1</sup>, średnice kanału dyszy wynosiły: 1,5; 2,0; 2,5 i 3 mm.*

**Słowa kluczowe:** wytłaczanie autotermiczne, sprawność wytłaczania, masowe natężenie przepływu, dysza głowicy wylaczkarskiej.

*The paper sets out to present the results concerning the influence of an extruder die rolling passage diameter change, at various rotational speed values of the screw, on chosen properties characterizing an autothermal extrusion process. The parameters are: mass flow rate, total power taken by an extruder motive unit, extruder energy efficiency, temperature distribution along the plasticating system and extrusion head. Low density polyethylene was used in the experiment. The screw rotational speed change was within the range of 3,7 - 5,17 s<sup>-1</sup>, the extruder die diameters were: 1,5; 2,0; 2,5 and 3 mm.*

**Keywords:** autothermal extrusion, extrusion process efficiency, mass flow rate, extrusion head die

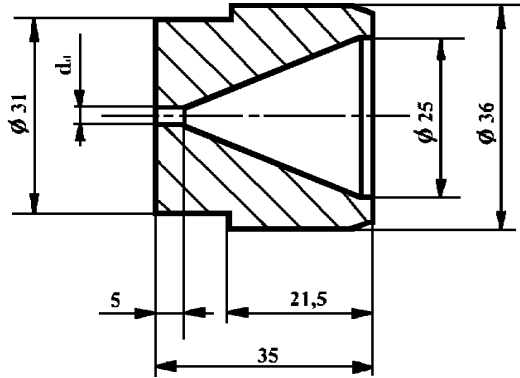
### 1. Wprowadzenie

Wytłaczanie, obok wtryskiwania, jest jedną z najbardziej rozpracowanych metod przetwórstwa tworzyw termoplastycznych poprzez ich uplastycznianie [5]. Wylaczkarski stanowią przede wszystkim elementy linii do produkcji opakowań i różnorodnych profili kształtowych. Narzędziem jest głowica wylaczkarska nadająca wytłoczynie żądany kształt. Obecnie najpopularniejszym rodzajem wytłaczania jest wytłaczanie jednoślismakowe, które dzielimy na wytłaczanie konwencjonalne i autotermiczne. W procesie wytłaczania konwencjonalnego strumień ciepła potrzebny do uplastycznienia tworzywa dostarczany jest przez grzejniki umieszczone na obwodzie cylindra układu uplastyczniającego wylaczkarskiej. Natomiast w procesie wytłaczania autotermicznego ciepło jest generowane dzięki tarcia zewnętrznemu o powierzchnię cylindra i ślimaka oraz tarcia wewnętrznemu tworzywa przetwarzanego. Aby generowanie ciepła było wystarczające, prędkość obwodowa ślimaka powinna być większa niż w wytłaczaniu konwencjonalnym i wynosić do 1,5 m/s [2, 8, 11, 13, 14]. Wytłaczanie takie nazywa się również szybkobieżnym, adiabatycznym lub autogenicznym. Z uwagi na zmianę stanu skupienia tworzywa (od stanu stałego w strefie zasypu i zasilania, przez stan plastyczny w strefie przemiany, do stanu ciekłego w strefie dozowania), a tym samym oporów tarcia wzdłuż układu uplastyczniającego, występują problemy w sterowaniu generowaniem ciepła. Dlatego metoda wytłaczania autotermicznego nadaje się do tworzyw o dużym przedziale temperatury przetwórstwa jak np.: PE, PS lub PA. Z ekonomicznego punktu widzenia wylaczkarski autotermiczne są tańsze od wylaczkarski konwencjonalnych, bardziej wydajne i mają większą sprawność energetyczną. Dotychczas znalazły zastosowanie w produkcji folii rękawowej oraz powlekanii przewodów elektrycznych [7, 12, 13].

Pierwszą wylaczkarską autotermiczną opatentował Erick Beck w 1965 r. [1]. Obecny stan literatury na temat wytłaczania autotermicznego nie oferuje dogłębnego poznania zachodzących procesów. W związku z tym, w Katedrze Procesów Polimerowych Politechniki Lubelskiej od roku 1994 zaczęto prowadzić badania procesu wytłaczania autotermicznego na jednoślismakowej wylaczkarskiej autotermicznej W25D wytworzonej przez Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Maszyn i Urządzeń Chemicznych „Metalchem” w Toruniu. Jakkolwiek ograniczenia procesu wytłaczania autotermicznego są dziś jeszcze dość znaczące, to prowadzone badania pozwalają na stopniowe udoskonalanie wylaczkarski autotermicznych. Wyniki badań zawarte poniżej pozwalają na bliższe poznanie wpływu zmian średnicy dyszy głowicy wylaczkarskiej, na wybrane parametry procesu wytłaczania autotermicznego.

### 2. Metodyka i program badań

Badania zostały przeprowadzone w Katedrze Procesów Polimerowych, na wylaczkarskiej autotermicznej jednoślismakowej W25D wyposażonej w głowicę wylaczkarską z czterema wymiennymi dyszami, przy użyciu ślimaka  $L/D = 20$ ;  $D = 25$  mm, zaopatrzonego w elementy intensywnego ścinania i mieszania. Dla każdej z czterech badanych dysz głowicy wylaczkarskiej (rys. 1.) ustalano pięć prędkości obrotowych ślimaka. Tworzywem wykorzystanym do badań był polietylen małej gęstości, o nazwie handlowej Malen E FABS 23 - D022, wyprodukowany przez PKN Orlen S. A. Czynniki badane stały były: elementy konstrukcyjne układu uplastyczniającego i głowicy wylaczkarskiej (poza dyszą), liczba otworów dyszy głowicy wylaczkarskiej. Czynniki badane zmiennymi były: średnica otworu dyszy głowicy wylaczkarskiej  $d_p$ ,



Rys. 1. Przekrój dyszy używanej do badań

prędkość obrotowa ślimaka  $v$ . Stosowano następujące prędkości obrotowe ślimaka dla każdej z dysz: 3,7; 4,2; 4,6; 4,9 i 5,17 s<sup>-1</sup>. Średnice otworu dyszy  $d_d$  wynosiły: 1) 1,5 mm; 2) 2,0 mm; 3) 2,5 mm; 4) 3 mm.

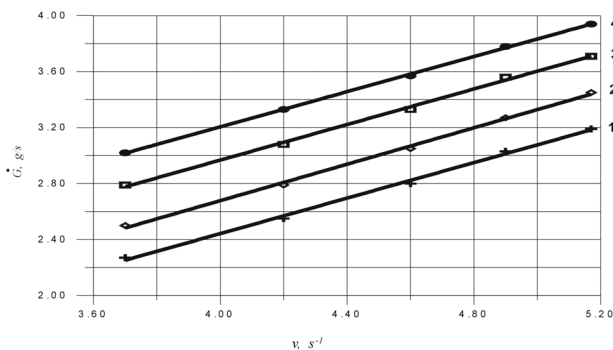
Czynnikami procesu wytłaczania autotermicznego badanymi bezpośrednio i pośrednio były:

- temperatura tworzywa uplastycznionego w poszczególnych strefach funkcjonalnych układu uplastyczniającego i głowicy wytłaczarskiej  $t_p, t_{II}, t_{III}, ^\circ\text{C}$
- moc całkowita pobierana przez wytłaczarkę  $\dot{Q}_c, \text{kW}$
- masowe natężenie przepływu tworzywa  $\dot{G}, \text{g/s}$
- sprawność procesu wytłaczania  $\kappa_p, \%$ .

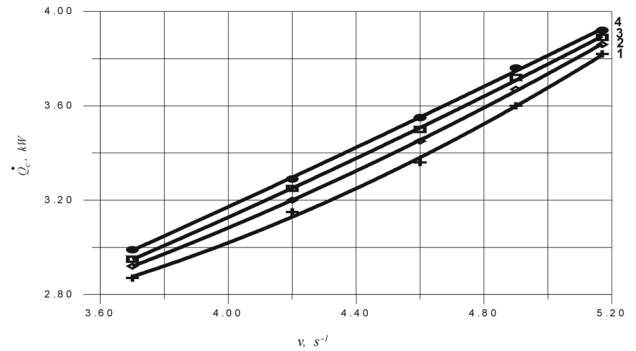
### 3. Zestawienie wyników pomiarów

Wyniki pomiarów zostały przedstawione, dla każdej z dysz badanych, w formie graficznych zależności, pomiędzy badanymi czynnikami a szybkością ślimaka  $\dot{Q}_c, \dot{G}, \kappa_p$ , lub długością układu uplastyczniającego wyrażoną jako stosunek  $L/D$  ( $t_p, t_{II}, t_{III}$ ).

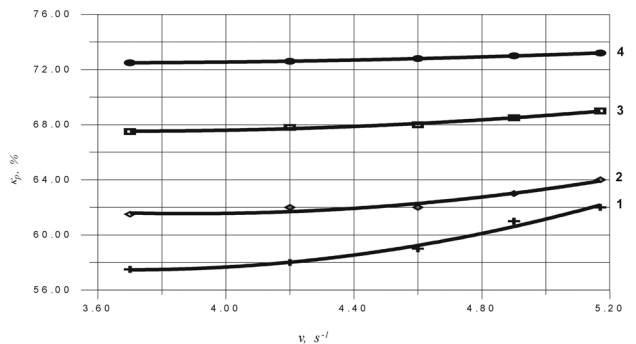
Wraz ze wzrostem prędkości obrotowej ślimaka, i w konsekwencji wzrostem szybkości ścinania, rośnie masowe natężenie przepływu (rys. 2.), co jest oczywiste. Moc całkowita pobierana przez wytłaczarkę (rys. 3.) również wzrasta wraz ze zwiększeniem się prędkości ślimaka, odzwierciedlając zapotrzebowanie energetyczne wytłaczarki na uplastycznianie większej masy tworzywa [3]. Zwiększająca się prędkość ślimaka powoduje wzrost sprawności wytłaczarki (rys. 4.) dzięki intensywniejszemu generowaniu ciepła i wroście szybkości wytłaczania [6, 9, 10].



Rys. 2. Zależność masowego natężenia przepływu od prędkości obrotowej ślimaka  $v$ , 1)  $d_d = 1,5 \text{ mm}$ , 2)  $d_d = 2,0 \text{ mm}$ , 3)  $d_d = 2,5 \text{ mm}$ , 4)  $d_d = 3,0 \text{ mm}$

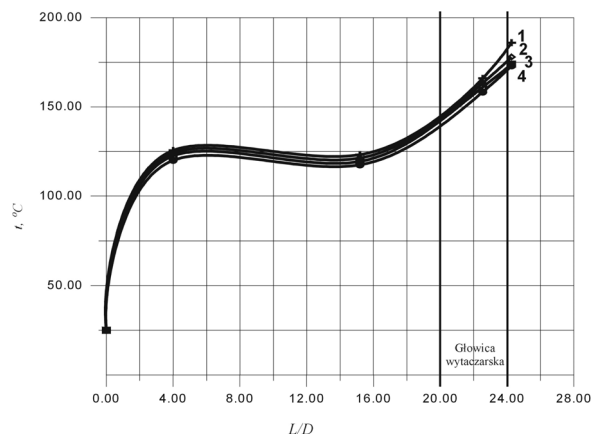


Rys. 3. Zależność mocy całkowitej pobieranej przez wytłaczarkę od prędkości obrotowej ślimaka  $v$ , 1)  $d_d = 1,5 \text{ mm}$ , 2)  $d_d = 2,0 \text{ mm}$ , 3)  $d_d = 2,5 \text{ mm}$ , 4)  $d_d = 3,0 \text{ mm}$



Rys. 4. Zależność sprawności procesu wytłaczania  $\kappa_p$  od prędkości obrotowej ślimaka  $v$ , 1)  $d_d = 1,5 \text{ mm}$ , 2)  $d_d = 2,0 \text{ mm}$ , 3)  $d_d = 2,5 \text{ mm}$ , 4)  $d_d = 3,0 \text{ mm}$

Rozkład temperatury tworzywa w układzie uplastyczniającym (rys. 5.) uwidoczni znaczne zróżnicowanie wartości w poszczególnych strefach i jest inny niż w wytłaczaniu konwencjonalnym. W strefie zasilania i na początku strefy przemiany temperatura różnie do wartości w której następuje przemiana fazowa. Ponieważ proces przejścia w stan plastyczny jest endotermiczny, temperatura w strefie przemiany spada. Po osiągnięciu przez tworzywo stanu plastycznego temperatura wzrasta gdyż zaczyna dominować generowanie ciepła tarcia. Wzrost prędkości obrotowej ślimaka powoduje intensywniejsze generowanie ciepła tarcia [4, 6, 8, 11].



Rys. 5. Przebieg rozkładu temperatury  $t$  w układzie uplastyczniającym i w głowicy w zależności od stosunku  $L/D$ , przy prędkości obrotowej ślimaka  $v = 5,17 \text{ s}^{-1}$ , 1)  $d_d = 1,5 \text{ mm}$ , 2)  $d_d = 2,0 \text{ mm}$ , 3)  $d_d = 2,5 \text{ mm}$ , 4)  $d_d = 3,0 \text{ mm}$

### 4. Podsumowanie i wnioski

Masowe natężenie przepływu i moc całkowita pobierana przez wylączarkę w miarę wzrostu prędkości ślimaka rośnie proporcjonalnie, z taką samą intensywnością, dla każdej z zastosowanych dysz.

Sprawność procesu wylączania przy zastosowaniu dysz nr 3 i 4 w całym badanym zakresie częstotliwości obrotów ślimaka przebiega z niewielkim przyrostem i największa jest w przypadku dyszy o średnicy 3 mm, dla pozostałych dysz wylączarskich rośnie intensywniej, ale nie osiąga zadowalającego poziomu. Spowodowane jest to zbyt dużym oporem przepływu tworzywa w dyszy.

Rozkład temperatury tworzywa w układzie uplastyczniającym i w głowicy wylączarskiej odniesiony do stosunku  $L/D$ , przy  $v = 5,17 \text{ s}^{-1}$ , nie wykazuje dużych rozbieżności w przebiegu krzy-

wych temperatury. Obserwowane największe wartości ciepła generowanego w przypadku zastosowania dysz o średnicach 1,5 i 2,0 mm są konsekwencją większego oporu przepływu niż w przypadku dysz o większej średnicy. Dłuższy czas przebywania tworzywa w układzie uplastyczniającym i wyższe ciśnienie powoduje wzrost intensywności generowania ciepła poprzez tarcie.

Reasumując, najkorzystniejsze warunki energetyczne procesu wylączania, w badanym zakresie prędkości obrotowej ślimaka, zachodziły przy użyciu dyszy o średnicy równej 3 mm, a więc przy największej przewodności przepływu tworzywa przez głowicę wylączarską. Dla mniejszych średnic dysz sprawność procesu ma intensywniejszy przyrost lecz nie przekracza 64 %.

### 5. Literatura

- [1] Beck E.: *Schnelllaufende Adiabatisch Arbeitende Schneckenstrangpresse*. Patent RFN nr 1186206.
- [2] Diakun J., Sikora R., Bil T.: *Przestrzeń działania autotermicznego strefy zasilania wylączarki ślimakowej*. Polimery 1996, 2, 113.
- [3] Potente H., Obermann C.: *Screw drive power of single screw plasticating units with smooth barrels*. Intern. Polymer Processing 1999, 1, 21.
- [4] Rauwendaal Ch.: *Polymer Extrusion*. Hanser Publishers, Munich–Vienna – New York 1986.
- [5] Sakai T.: *Polymer processing technology in the 21st century from the viewpoint of the Japanese plastics industry*. Intern. Polymer Processing 2001, 1, 3.
- [6] Sikora J. W.: *Comparison between LDPE conventional and autothermal extrusion characteristic*. Intern. Polymer Processing 1998, 1, 9.
- [7] Sikora J. W.: *Wylączanie autotermiczne - stan aktualny*. Polimery 1994, 1, 7.
- [8] Sikora J. W.: *Badania doświadczalne procesu wylączania autotermicznego polietylenu małej gęstości*. Polimery 1997, 9, 565.
- [9] Sikora J. W.: *Charakterystyka badań sprawności energetycznej procesu wylączania i wylączarki*. Polimery 1999, 3, 190.
- [10] Sikora J. W.: *Badania symulacyjne strumienia ciepła przenoszonego przez tworzywo podczas wylączania tworzyw termoplastycznych*. Przegląd Mechaniczny 1980, 19, 5.
- [11] Sikora J. W.: *Studium autotermiczności procesu wylączania i strefy rowkowej wylączarki*. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2000.
- [12] Sikora J. W.: *Sprawność energetyczna procesu wylączania tworzyw sztucznych*. Przegląd Mechaniczny 1980, 22, 8.
- [13] Sikora R.: *Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych*. Wydawnictwo Edukacyjne, Warszawa 1993.
- [14] Yung K. L., Xu Y., Lau K. H.: *Analytical expressions for transient melting of polymer pellet sliding against adiabatic wall*. Polymer 2002, 43, 2543.

---

**Mgr inż. Tomasz Kapuśniak**

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

---