

ELŻBIETA BOCIĄGA, TOMASZ JARUGA

Politechnika Częstochowska

Instytut Przetwórstwa Polimerów i Zarządzania Produkcją

Al. Armii Krajowej 19c, 42-200 Częstochowa

## Wybrane zagadnienia wtryskiwania precyzyjnego

### Cz. I. WYMIARY I STABILNOŚĆ WYMIAROWA WYPRASEK PRECYZYJNYCH<sup>\*)</sup>

**Streszczenie** — W opracowaniu stanowiącym przegląd literatury przedstawiono ogólną charakterystykę procesu wtryskiwania precyzyjnego, wyszczególniając jego cechy odróżniające go od wtryskiwania konwencjonalnego i stwarzające możliwość uzyskiwania wyprasek o ściśle ustalonych cechach jakościowych — przede wszystkim o dużej dokładności oraz powtarzalności wymiarów i kształtu a także o bardzo dobrym stanie powierzchni. Szczególną uwagę zwrócono na powiązanie poszczególnych etapów omawianego procesu ze zmianą wymiarów wypraski oraz na czynniki decydujące o jakości uzyskiwanych wytworów.

**Słowa kluczowe:** wtryskiwanie precyzyjne, wypraski, stabilność wymiarowa.

SELECTED PROBLEMS OF PRECISE INJECTION MOLDING. PART I. DIMENSIONS AND DIMENSIONAL STABILITY OF PRECISE MOLDINGS

**Summary** — In the literature review the general characteristic of precise injection molding process was presented. The features distinguishing this process from the conventional injection molding are specified (Table 1). The process of precise injection molding makes possible to produce the moldings showing strictly defined quality features, mainly high precision and repeatability of dimensions and shapes as well as very good surfaces. Special attention has been paid to the relations among particular stages of the process discussed and changes of moldings' dimensions (Fig. 1) and to the factors determining the quality of the products obtained (Fig. 2).

**Key words:** precise injection molding, moldings, dimensional stability.

#### CHARAKTERYSTYKA PROCESU

Metodę wtryskiwania stosuje się do masowego wytwarzania przedmiotów z tworzyw polimerowych — zarówno termoplastycznych, jak i utwardzalnych. Wymagania dotyczące jakości wyprasek wtryskowych zależą od ich przeznaczenia. Określenie „jakość wyprasek” obejmuje wiele ich cech, przede wszystkim zaś dokładność kształtu, wymiarów i położenia, stan powierzchni, masę, właściwości mechaniczne, cieplne, elektryczne, optyczne a także charakterystykę strukturalną, na przykład grubość warstwy wierzchniej i rdzenia wypraski, stopień krystaliczności (w przypadku tworzyw częściowo krystalicznych) bądź orientację makrocząsteczkową [1—7].

Według kryterium jakości rozróżnia się trzy grupy wyprasek, mianowicie ogólnego przeznaczenia, techniczne oraz precyzyjne [8, 9]. Wytwarzanie wyprasek

ogólnego przeznaczenia wymaga niewielkich nakładów na kontrolę jakości, co wiąże się z niedużą liczbą wytworów wybrakowanych i stosunkowo krótkim czasem produkcji. W przypadku wyprasek technicznych występują już większe wymagania odnośnie do przebiegu całego procesu wtryskiwania, stanu formy wtryskowej oraz wtryskarki. Istotna jest tu już kontrola jakości, czego skutkiem może być większa liczba wyprasek wybrakowanych. Wypraski precyzyjne wyróżniają się wysoką jakością, a otrzymuje się je przy użyciu dokładnych form wtryskowych, po przeprowadzeniu optymalizacji warunków wtryskiwania.

Wypraski wtryskowe, w przypadku których wymagania dotyczące tolerancji wykonania są łagodniejsze, mogą być wytwarzane metodą konwencjonalną, natomiast wypraski o ściśle ustalonych cechach jakościowych uzyskuje się jedynie w specjalnych warunkach wtryskiwania, w procesie nazywanym umownie wtryskiwaniem precyzyjnym lub dokładnościowym [2, 10, 11]. Wtryskiwanie takie charakteryzuje się bardzo zawężonymi zakresami warunków procesu. Wprawdzie większość operacji w toku wtryskiwania jest najczęściej całkowicie zautomatyzowana i sterowana komputero-

<sup>\*)</sup> Niniejszy artykuł stanowi rozszerzoną wersję wystąpienia przedstawionego w ramach XIII Profesorskich Warsztatów Naukowych pt. „Przetwórstwo tworzyw polimerowych”, Lublin, 8—10 czerwca 2008 r.

wo, jednak gdy wytwarza się elementy precyzyjne istotne jest również nadzorowanie całego procesu przez wysoko wykwalifikowany personel. Konieczne jest ciągle monitorowanie i indywidualne ustawianie warunków wtryskiwania. Niezbędna jest ponadto bardzo szczegółowa kontrola cech jakościowych wyprasek. Wszystkie te czynniki powodują, że koszty wytwarzania wyprasek precyzyjnych są wyższe niż konwencjonalnych.

Wypraski precyzyjne muszą spełniać następujące wymagania [11, 12]:

- charakteryzować się bardzo dużą dokładnością wymiarową (tolerancja wymiaru nie może przekraczać 0,3 %, a dokładność w zakresie od 2 do 120 mm powinna odpowiadać klasom dokładności ISO z przedziału 12–18 [13–16]) oraz brakiem wpływu nawet w przypadku wyprasek o złożonej budowie (np. elementy łączące);

- mieć bardzo dobry stan powierzchni w połączeniu z powtarzalną dokładnością (np. obudowy monitorów, elementy telefonów komórkowych);

- wykazywać dużą zdolność do przenoszenia obciążeń, odporność na ścieranie i zużycie (np. precyzyjne koła zębate), dobre właściwości optyczne (np. soczewki).

## WYPRASKI

### Wymiary

Końcowe, rzeczywiste wymiary wyprasek precyzyjnych są efektem działań, operacji, zabiegów itp. występujących podczas całego procesu ich wytwarzania. Na rysunku 1 przedstawiono powiązanie różnych czynników ze zmianą wymiarów wyprasek na poszczególnych etapach wytwarzania. Po lewej stronie schematu wyszczególniono czynniki wpływające na dokładność formy wtryskowej oraz na wymiary gniazda formującego. Z prawej strony przedstawiono natomiast czynniki określające zmianę kształtu i wymiarów wyprasek podczas wypełniania gniazda formującego, fazy docisku a także ochładzania wypraski w formie, jak również czynniki związane ze zmiennym w czasie zachowaniem się tworzywa, to jest ze zmianą skurczu, struktury, naprężeń własnych, starzeniem.

Rzeczywiste wymiary wyprasek ( $A_{rz}$ ) można określić następującą funkcją [11]:

$$A_{rz} = A_0(A_0, p, T, t) \quad (1)$$

gdzie:  $A_0$  — wymiary gniazda formującego,  $p$  oraz  $T$  — ciśnienie i temperatura tworzywa, zmienne w czasie  $t$ .

**T a b e l a 1.** Ogólne porównanie przebiegu procesów wtryskiwania konwencjonalnego i precyzyjnego oraz właściwości tworzyw stosowanych w tych procesach [10, 16]

**T a b l e 1.** General comparison of the courses of conventional and precise injection molding processes and properties of polymers used in these processes [10, 16]

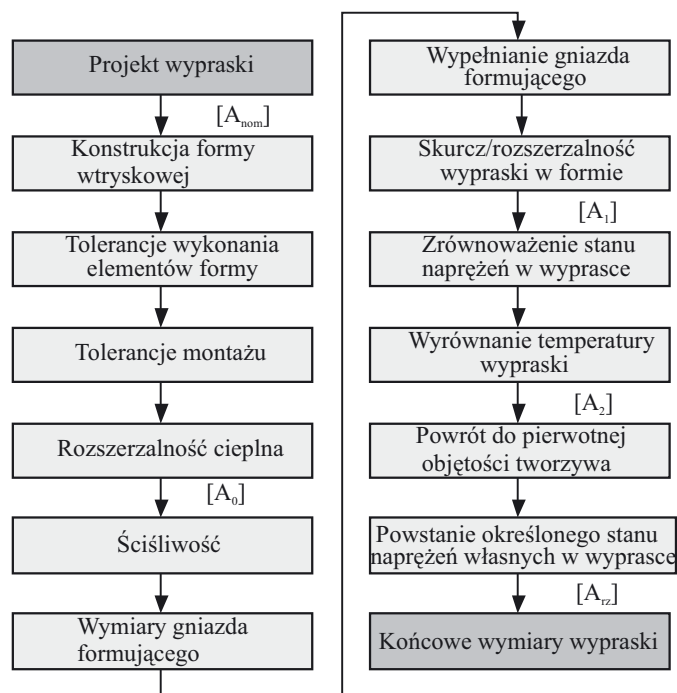
Cecha procesu	Wtryskiwanie precyzyjne	Wtryskiwanie konwencjonalne
Krytyczna faza cyklu wtryskiwania	docisk	wypełnianie gniazda
Temperatura formy	wysoka	niska
Temperatura wtryskiwania	wysoka	niska
Czas cyklu wtryskiwania	długi	krótki
Ciśnienie docisku	wysokie	średnie
Prędkość wtryskiwania	mała	duża
Główne problemy	zapadnięcia, skurcz, samoistne odkształcenia wyprasek	krótkie wtryski (niecałkowite wypełnienie gniazd), wypływki
Wypraski o cienkich ściankach	łatwe do wytwarzania	trudne do wytwarzania
Wypraski o grubych ściankach	trudne do wytwarzania	łatwe do wytwarzania
Właściwości tworzywa	Wtryskiwanie precyzyjne	Wtryskiwanie konwencjonalne
Temperatura zeszklenia	wysoka	średnia
Chłonność wody	bardzo mała	bez ograniczeń
Sztywność	duża	bez ograniczeń
Tangens kąta stratności dielektrycznej	mały	bez ograniczeń
Lepkość stopionego tworzywa	mała	mała

W celu osiągnięcia niezbędnej precyzji wyprasek jest konieczna optymalizacja całego procesu ich wytwarzania. W tabeli 1 przedstawiono podstawowe charakterystyczne cechy różniące procesy wtryskiwania konwencjonalnego i precyzyjnego a także właściwości tworzyw stosowanych w obydwu tych przypadkach [11, 17].

Zależność (1) można przedstawić jako sumę dwóch składowych

$$A_{rz} = A_2 + \Delta A_{rz}(t) \quad (2)$$

gdzie:  $A_2$  — wymiar wypraski po zakończeniu cyklu wtryskiwania i ochłodzeniu do temperatury otoczenia,  $\Delta A_{rz}(t)$  — zmiana wymiarów w funkcji czasu, zależna od właściwości



Rys. 1. Schemat powiązania etapów i zabiegów podczas wytwarzania wyprasek precyzyjnych ze zmianą ich wymiarów:  $A_{nom}$  — wymiar nominalny wypraski,  $A_0$  — wymiar gniazda formującego,  $A_1$  — wymiar wypraski po zakończeniu cyklu wtryskiwania bezpośrednio po usunięciu wypraski z formy,  $A_2$  — wymiar wypraski po jej ochłodzeniu do temperatury otoczenia,  $A_{rz}$  — wymiar rzeczywisty wypraski [10] (por. tekst)

Fig. 1. Scheme of connections among the stages and operations during precise injection molding process with the changes of moldings' dimensions:  $A_{nom}$  — nominal molding dimension,  $A_0$  — cavity geometry,  $A_1$  — molding dimension at the end of the injection molding cycle, just after ejection from the mold,  $A_2$  — molding dimension after its cooling to ambient temperature,  $A_{rz}$  — actual molding dimension [10] (see text)

tworzywa i środowiska (np. temperatury, ciśnienia, wilgotności).

Wielkość  $A_2$  można wyrazić jako

$$A_2 = A_1 + \Delta A_s \quad (3)$$

gdzie:  $A_1$  — wymiar wypraski po zakończeniu cyklu wtryskiwania, bezpośrednio po usunięciu wypraski z formy,  $\Delta A_s$  — zmiana wymiarów spowodowana skurczem, samoistnym odkształcaniem, zmianami powstającymi podczas ochładzania wypraski od temperatury wypraski w chwili usuwania jej z formy do temperatury otoczenia.

Na wymiar  $A_1$  oddziałuje relaksacja naprężeń własnych w wyprasce w chwili jej wypychania z gniazda formującego.

Poprawnie wytworzone wypraski powinny spełniać zależność

$$A_{rz} - A_{nom} \leq |\varepsilon| \quad (4)$$

gdzie:  $A_{nom}$  — określony przez projektanta nominalny wymiar wypraski,  $\varepsilon$  — tolerancje wykonania.

W przypadku wyprasek precyzyjnych wartość tolerancji powinna być bardzo mała, czyli mieścić się w zakresie submikronów.

### Stabilność wymiarowa

Stabilność wymiarowa wyprasek określa ich zdolność do zachowania w czasie określonych wymiarów w zakresie przyjętej tolerancji. Na tę właściwość wywiera wpływ wiele czynników związanych zarówno z samą wypraską wtryskową, jak i z warunkami w jakich jest wykorzystywana. Do najważniejszych czynników można zaliczyć [1, 2, 11]:

- warunki środowiska, w którym wypraski są użytkowane (np. zmienna temperatura i wilgotność);
- starzenie fizyczne materiału wypraski;
- uwalnianie odkształceń szczątkowych;
- efekty związane z właściwościami lepkosprężystymi tworzywa (np. relaksacja naprężeń, pełzanie).

Znaczenie wymienionych czynników zależy od właściwości fizycznych materiału, stanu naprężeń własnych i anizotropii wyprasek oraz od wspomnianych warunków zewnętrznych. Jeżeli wypraski nie są poddane dużemu obciążeniu, to wówczas na ich stabilność wymiarową najbardziej wpływa starzenie fizyczne, podatność na absorpcję wody, zmiana temperatury oraz naprężenia własne.

### Czynniki wpływające na jakość

Efektywność wtryskiwania precyzyjnego jest uzależniona od licznych czynników związanych z odpowiednimi urządzeniami oraz z charakterystyką samego procesu przetwórstwa [1—4, 11, 18] (por. rys. 2), mianowicie od:

— człowieka (np. projektanta wypraski, projektanta i wykonawcy formy wtryskowej, technologa, operatora wtryskarki oraz urządzeń pomocniczych, osób kontrolujących jakość wyprasek);

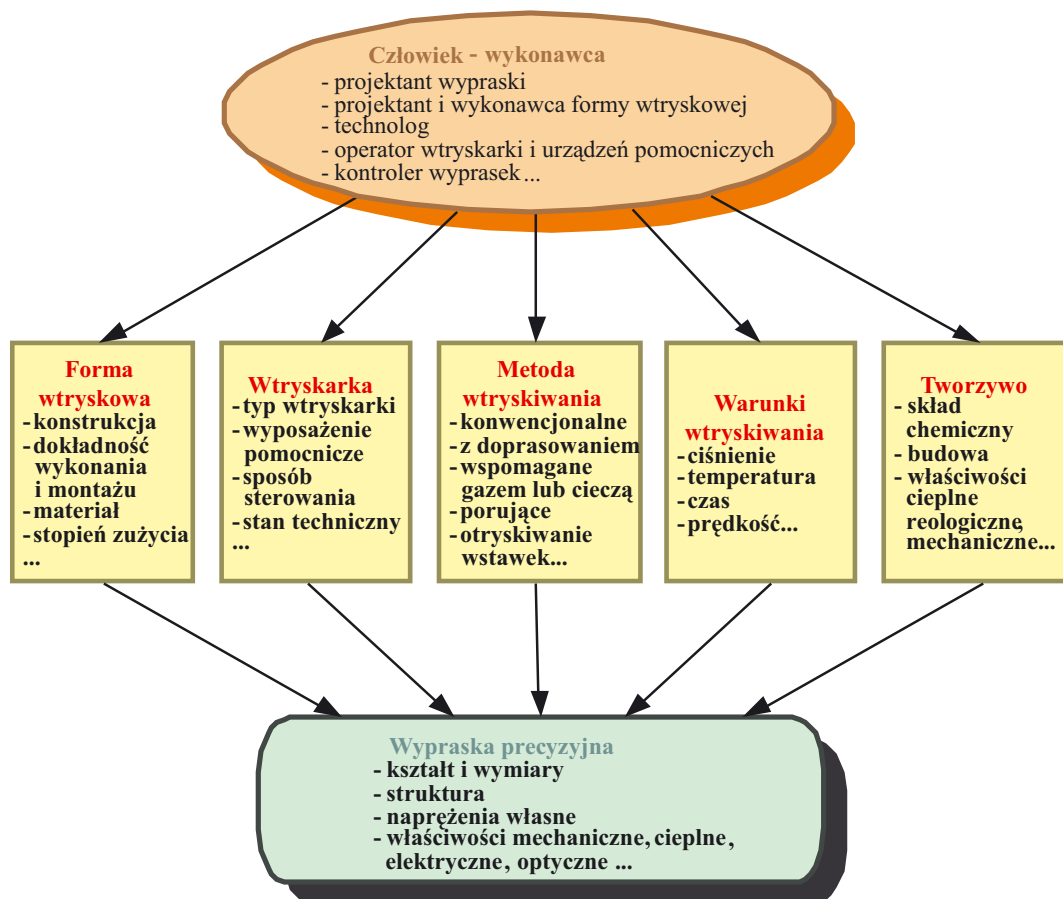
— formy wtryskowej (np. budowy i jakości wykonania oraz montażu podzespołów formy, budowy gniazd i kanałów przepływowych, przebiegu płaszczyzn podziału, sposobu oraz dokładności regulacji temperatury, sposobu odpowietrzania, układu wypychania wypraski, rodzaju materiału formy, stopnia zużycia);

— wtryskarki (np. typu i budowy, stanu technicznego, sposobu uplastyczniania tworzywa, wyposażenia dodatkowego itd.);

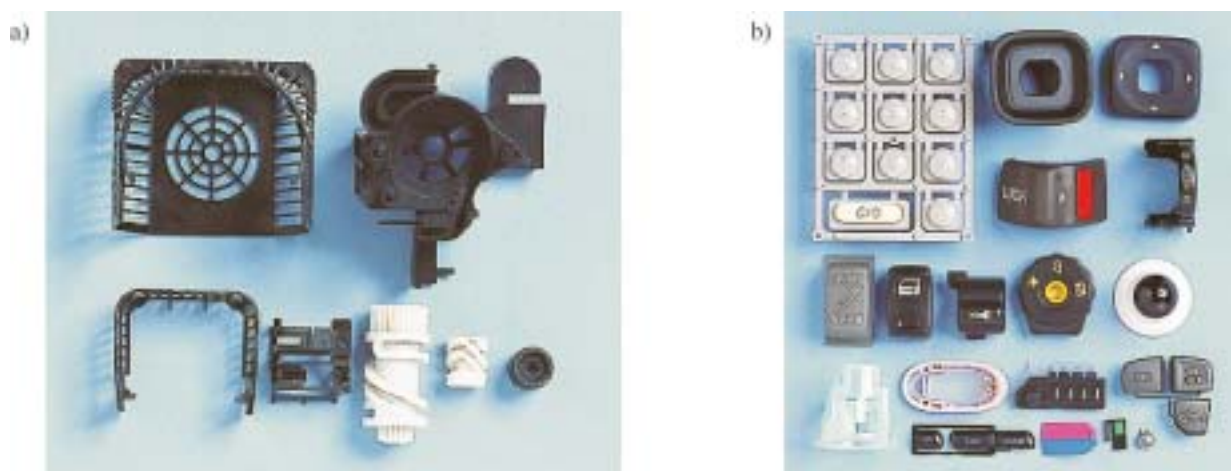
— tworzywa przetwarzanego [np. składu, struktury, właściwości (przede wszystkim reologicznych), wilgotności, jednorodności, obecności zanieczyszczeń];

— warunków wtryskiwania (np. temperatury tworzywa i temperatury formy, ciśnienia wtrysku, docisku oraz ciśnienia w formie, prędkości wtryskiwania, czasu poszczególnych etapów cyklu wtryskiwania);

— metody wtryskiwania (np. konwencjonalne, z doprasowaniem, wspomagane gazem lub cieczą, porujące,



Rys. 2. Czynniki decydujące o jakości wyprasek precyzyjnych  
Fig. 2. Factors determining the quality of precise moldings



Rys. 3. Przykłady wyprasek precyzyjnych wytwarzanych z tworzyw polimerowych: a) wypraski o złożonym kształcie, z jednego tworzywa, uzyskiwane w formach z ruchomymi trzpieniami; b) wypraski dwutworzywowowe [21]

Fig. 3. Examples of precise moldings made of polymers: a) moldings of complicated shapes, made of one polymer, b) moldings made of two polymers [21]

otryskiwanie wstawek zewnętrznych i wewnętrznych itd.).

### Zastosowanie

Wtryskiwanie precyzyjne znajduje zastosowanie do masowego wytwarzania przedmiotów używanych w

elektronice, medycynie, przemyśle chemicznym, optycznym, motoryzacyjnym i lotniczym a także elementów montowanych w urządzeniach biurowych oraz sprzęcie sportowym. Proces ten wykorzystuje się w masowej produkcji płyt CD, CD-ROM oraz DVD, w których rowki będące nośnikami informacji mają wymiary rzędu mikrometrów i muszą charakteryzować się bar-

dzo dużą dokładnością wymiarową oraz brakiem odkształceń powtryskowych. W przypadku precyzyjnych elementów optycznych (soczewek), oprócz dużej dokładności wymiarowej, jest ważny stan naprężeń własnych w wyprase oraz związana z nim dwójłomność optyczna. Elementy takie najczęściej uzyskuje się metodą wtryskiwania z doprasowaniem, umożliwiającą wytwarzanie wyprasek z małymi naprężeniami własnymi [4, 11, 19]. Wiele wyprasek precyzyjnych można zaliczyć do mikrowyprasek mających zastosowanie w różnego rodzaju przyrządach i urządzeniach, na przykład w mikropompach, mikrowymiennikach ciepła, czujnikach montowanych w samochodach i samolotach, głowicach drukarek, kamerach, zegarkach, głowicach odczytujących twarde dyski i napędów CD bądź w przekładniach kół zębatach lub kół pasowych. Wypraski precyzyjne wykorzystuje się w medycynie do budowy mikroukładów, np. mikropompek wewnątrzustrojowych, biochipów, urządzeń diagnostyki medycznej, mikropojemników do hodowli komórek *in vitro* [20]. W dziedzinie chemii i biologii stosuje się mikropompki oraz urządzenia mikrodozujące zbudowane z precyzyjnych wyprasek polimerowych. Na rysunku 3 pokazano przykłady wyprasek precyzyjnych wytworzonych z jednego tworzywa (rys. 3a) oraz dwutworzywowe (rys. 3b).

#### PODSUMOWANIE

Wiele wyprasek precyzyjnych znajduje zastosowanie w medycynie, optyce oraz elektronice. Wypraski takie, oprócz dokładnego kształtu i wymiarów, muszą charakteryzować się ściśle określonymi właściwościami, np. optycznymi albo elektrycznymi. Coraz szersze zastosowanie wyprasek precyzyjnych powoduje konieczność doskonalenia procesu ich wytwarzania oraz rozwiązywania występujących w związku z tym problemów technologicznych i konstrukcyjnych. Otrzymywanie wyprasek precyzyjnych jest trudne w realizacji, należy bowiem uwzględnić przy tym różnorodne czynniki wpływające na ich jakość, a przede wszystkim specjalną konstrukcję i wykonanie formy wtryskowej, dokładne działanie wtryskarki oraz konieczność przeprowadzenia optymalizacji warunków wtryskiwania. Istotny jest też właściwy wybór wtryskiwanego tworzywa. Często budowa wyprasek, zwłaszcza grubość ich ścianek, stanowi czynnik decydujący o przebiegu procesu. Zagadnienia wpływu różnych czynników na jakość wyprasek precyzyjnych zostaną szerzej omówione w drugiej części artykułu.

#### LITERATURA

1. Smorawiński A.: „Technologia wtrysku”, WNT, Warszawa 1989.
2. Sikora R.: „Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych”, Wydawnictwo Edukacyjne, Warszawa 1993.
3. Bociąga E.: „Procesy determinujące przepływ tworzywa w formie wtryskowej i jego efektywność”, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2001.
4. Osswald T. A., Turng L.-S., Gramann P. J.: „Injection Molding Handbook”, Hanser Publishers, Munich, Hanser Gardner Publications Inc., Cincinnati 2001.
5. Bociąga E., Jaruga T.: *Polimery* 2006, **51**, 843.
6. Kaczmar J. W., Brzostek A.: *Polimery* 2007, **52**, 94.
7. Bociąga E.: *Polimery* 2008, **53**, 286.
8. Hasenauer J., Küper D., Laumeyer J. E., Welsh I.: „Utajony czynnik podwyższający koszty”, [www.plastech.pl](http://www.plastech.pl)
9. Zawistowski H., Frenkler D.: „Konstrukcja form wtryskowych do tworzyw termoplastycznych”, WNT, Warszawa 1984.
10. Sikora R.: „Przetwórstwo tworzyw polimerowych. Podstawy logiczne, formalne i terminologiczne”, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2006.
11. Greener J., Wimberger-Friedl R.: „Precision Injection Molding”, Hanser Publishers, Munich 2006.
12. „High-end Moldings and Subassemblies for Innovative Products Solutions”, [www.oechlers.com](http://www.oechlers.com)
13. Sikora R., Kloc J.: a) *Kunststoffe* 1982, **72**, 449, b) *Kunststoffe German Plastics* 1982, **72**, 4.
14. Sikora R., Kloc J.: *Przegląd Mechaniczny* 1982, **15**, 19.
15. Sikora R.: *Plast. Massy* 1983, nr 7, 48.
16. Sikora R., Kloc J.: *Postępy Technologii Maszyn i Urządzeń* 1984, **2**, 9.
17. Mayer R.: „Precision Injection Molding. How to Make Polymer Optics for High Volume and High Precision Applications”, [www.optic-photonik.de](http://www.optic-photonik.de)
18. Sikora R.: „Podstawy przetwórstwa tworzyw wielkocząsteczkowych”, Wyd. Uczelniane Politechniki Lubelskiej, Lublin 1992.
19. Bociąga E.: „Specjalne metody wtryskiwania tworzyw polimerowych”, WNT, Warszawa 2008.
20. Kaczmar J. W., Brzostek A.: *Polimery* 2007, **52**, 94.
21. „Sansyu Micro Precise Injection Molding”, [www.sansyu.com](http://www.sansyu.com)