

ELŻBIETA BOCIĄGA

Politechnika Częstochowska  
Instytut Przetwórstwa Polimerów i Zarządzania Produkcją  
Al. Armii Krajowej 19c, 42-200 Częstochowa  
e-mail: bociaga@ipp.pcz.pl

## Kryteria wyboru metody wtryskiwania<sup>\*)</sup>

**Streszczenie** — W artykule o charakterze przeglądu literatury przedstawiono ogólne wymagania stawiane przez użytkowników wyrobom wtryskiwanym oraz szczegółowo opisano podstawowe kryteria wyboru metody wtryskiwania umożliwiające spełnienie poszczególnych obszarów tych wymagań. Uwzględniono przy tym następujące właściwości wyprasek: ich cechy geometryczne (rozmiary, grubość ścianek i jej zróżnicowanie, prosty bądź złożony kształt), estetyka, ciężar (tabela 1), właściwości mechaniczne, różnorodne właściwości użytkowe, koszty wytwarzania, wielkość serii produkcyjnej oraz wymagania dotyczące terminu, a także możliwości recyklingu.

**Słowa kluczowe:** wtryskiwanie, cechy wyprasek, kryteria wyboru.

### CRITERION FOR THE CHOICE OF INJECTION METHOD

**Summary** — In this review the general requirements set by consumers of moulded products as well as a detailed description of basic criteria for selecting a particular injection method in order to fulfill of the specific areas of these requirements have been presented. The following properties of moulded parts were taken into consideration in making the choice of criteria: geometrical properties [dimensions, wall thickness and their variations, simplicity or complexity of shapes (Fig. 1)], esthetics (Figs. 3 and 4), weight (Table 1), mechanical properties (Fig 5), variety of application properties (Fig 6), production costs, volume of production series and deadlines (Figs. 7 and 8) as well as recycling possibilities.

**Key words:** injection moulding, properties of moulded parts, selection criteria.

Metoda wtryskiwania znajduje szerokie zastosowanie w masowym wytwarzaniu przedmiotów z tworzyw polimerowych. Jest to proces charakteryzujący się dużą wydajnością, stosunkowo niskimi kosztami wytwarzania, możliwością uzyskiwania wyprasek o dużej dokładności kształtu i wymiarów oraz o wysokiej jakości powierzchni, a przy tym wyprasek o kształcie zarówno prostym, jak i złożonym. W wielu przypadkach muszą one spełniać specyficzne wymagania, stawiane przez ich późniejszych użytkowników. Pewne szczególne cechy wyprasek (mechaniczne, cieplne, elektryczne) mogą być uzyskiwane dzięki zastosowaniu tworzyw o określonych właściwościach na podstawie, na przykład, mieszanin polimerowych lub materiałów z różnymi napełniaczami (w tym proszki metalowe i ceramiczne, proszki magnetyczne), bądź też na drodze obróbki cieplnej gotowych wyprasek [1–5]. Wiele z nich można wytwarzać w konwencjonalnym procesie wtryskiwania, dobierając umiejętnie warunki jego prowadzenia, tak aby uzyskać wypraski o określonych cechach jakościowych [6–9]. Przykładem może być wzrost temperatury formy wtryskowej w celu zwiększenia stopnia krystaliczności two-

rzywa, zmniejszenia naprężeń własnych i skurczu bądź polepszenia stanu powierzchni wypraski [2, 7, 8]. Jakość ta zależy również w istotnym stopniu od budowy formy wtryskowej, a zwłaszcza od warunków przepływu tworzywa w jej kanałach [10–13].

Niejednokrotnie jednak wymagania odnośnie do właściwości, kształtu, wymiarów, stanu powierzchni, masy oraz innych, specjalnych cech wypraski są niemożliwe do spełnienia w procesie wtryskiwania konwencjonalnego. Dążenie do wytwarzania coraz bardziej doskonałych przedmiotów powoduje rozwój i unowocześnianie maszyn przetwórczych oraz opracowywanie specjalnych sposobów prowadzenia procesu, spośród których wiele można nazwać niekonwencjonalnymi (por. np. [4, 16–21]). Prowadzi się wciąż badania nad nowymi metodami wtryskiwania, umożliwiającymi poszerzenie zakresu stosowania wyprasek wtryskowych, zwiększenie wydajności wtryskiwania, wytwarzanie wyprasek o szczególnych właściwościach, na przykład wyprasek o polepszonej wskutek określonego zorientowania makrocząsteczek wytrzymałości mechanicznej, wyrobów warstwowych, pustych, porowatych i mikroporowatych, bądź wyprasek spełniających specyficzne wymagania odnośnie do ich kształtu geometrycznego lub jakości. Znane są metody wtryskiwania będące połączeniem procesów dotychczas stosowanych oddzielnie,

<sup>\*)</sup> Artykuł zawiera treść wystąpienia na XIV Profesorskich Warsztatach Naukowych „Przetwórstwo Tworzyw Polimerowych”, Rzeszów—Kraczyń, 14–18 czerwca 2009 r.

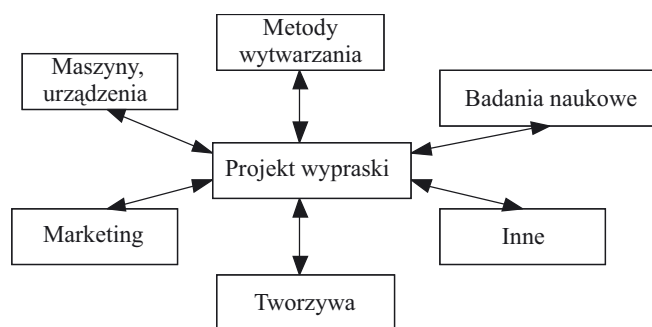
takie jak wtryskiwanie z dekorowaniem lub laminowaniem w formie albo wtryskiwanie z montażem w formie. Oddzielną grupę stanowią metody, w których dzięki złożonemu ruchowi podzespołów formy uzyskuje się wypraski o dużej dokładności, jednorodnych właściwościach, z niewielkimi naprężeniami własnymi, np. soczewki, bądź też takie złożone formy, jakie umożliwiają znaczne zwiększenie wydajności produkcji. W książce Autorki [14] przedstawiono klasyfikację i charakterystykę wielu znanych z dotychczasowej literatury specjalnych metod wtryskiwania opisanych w niniejszym artykule.

Podstawowa znajomość różnych metod wtryskiwania może pomóc w podejmowaniu decyzji o wyborze właściwego sposobu wytwarzania wyrobów z uwzględnieniem zarówno ich jakości, jak i kosztów wytwarzania. Zagadnienie wyboru metody wytwarzania nie jest jednak łatwe, należy tu bowiem rozważyć wiele czynników związanych z właściwościami, budową, rozmiarami, masą i wyglądem wypraski. Istotne są ponadto informacje dotyczące możliwości wytwarzania, takie jak znajomość technologii procesu wtryskiwania i różnych jego odmian, dane o posiadanych maszynach i urządzeniach pomocniczych, umiejętnościach wykonawców, a także właściwościach materiałów przetwarzanych.

#### OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA PODSTAWOWYCH KRYTERIÓW WYBORU METODY WTRYSKIWANIA

Niejednokrotnie do uzyskania wyprasek wtryskowych spełniających określone wymagania można zastosować więcej niż jedną metodę wtryskiwania — np. wyroby o małej masie wytwarza się w procesie wtryskiwania wspomaganego gazem lub wodą, otryskiwania traconych rdzeni, wtryskiwania porującego bądź jeszcze inaczej. Niekiedy, w jednym procesie można zastosować dwie metody wtryskiwania. Przykładem mogą tu być wypraski wieloskładnikowe dodatkowo dekorowane.

Przy wyborze metody należy rozważyć zalety i wady każdej z nich, jej ograniczenia i możliwości zastosowania w określonych warunkach technicznych występujących u wytwórcy. W ogólnym przypadku zespół inżynierów projektujących proces technologiczny wytwarzania wyprasek ma do dyspozycji informacje o przetwarzanych tworzywach, metodach wtryskiwania, wtryskarkach, warunkach panujących na rynkach zbytu, dane marketingowe i inne, co schematycznie przedstawiono na rys. 1, na podstawie pracy R. Kostera i J. Oginka [22]. W skład takiego zespołu wchodzi zarówno inżynierowie zajmujący się projektowaniem wypraski, jak i eksperci w zakresie tworzyw oraz procesów wytwarzania. Ze względu na dużą i ciągle rosnącą liczbę odmian procesu wtryskiwania ważna jest ich znajomość oraz umiejętność oceny przydatności do zastosowania w konkretnym przypadku. Wiedza inżynierów o możliwościach uzyskiwania różnych cech wyprasek specjalnymi metodami wtryskiwania, w połączeniu ze znajomością zalet



Rys. 1. Schemat przepływu informacji niezbędnych w projektowaniu procesu wytwarzania wyprasek

Fig. 1. Scheme illustrating the flow of information crucial in designing the moulding production process

i wad tych metod, może być przydatna inżynierom projektującym wypraski, pozwalając im na spełnienie — niekiedy bardzo specyficznych — wymagań odbiorców.

Przy wyborze metody wtryskiwania można kierować się różnymi kryteriami, które są związane przede wszystkim z ogólnymi wymaganiami dotyczącymi cech geometrycznych wyprasek, ich estetyki, masy (z reguły jej zmniejszenia), właściwości mechanicznych i innych cech użytkowych, kosztów wytwarzania, wielkości serii produkcyjnej, terminu wytworzenia wyprasek oraz recyklingu tworzywa lub tworzyw wyprasek. Wyboru metody wtryskiwania można również dokonywać na podstawie specyficznych cech charakterystycznych wyprasek, przy czym autorzy pracy [22] wyróżniają pod tym względem wypraski: jednoskładnikowe, wieloskładnikowe, o zmniejszonej masie, z tworzyw specjalnych, dekorowane. Należy jednak zauważyć, że niektóre wypraski można zaliczyć do więcej niż jednej z wymienionych grup, np. wypraski wieloskładnikowe mogą być dodatkowo dekorowane, mieć zmniejszoną masę dzięki zastosowaniu metody wtryskiwania wspomaganego gazem, itp. We wszystkich metodach wtryskiwania zagadnieniem podstawowym jest wybór tworzywa wyprasek oraz związane z tym warunki wtryskiwania.

#### SZCZEGÓŁOWE KRYTERIA WYBORU METODY WTRYSKIWANIA

##### Cechy geometryczne wyprasek

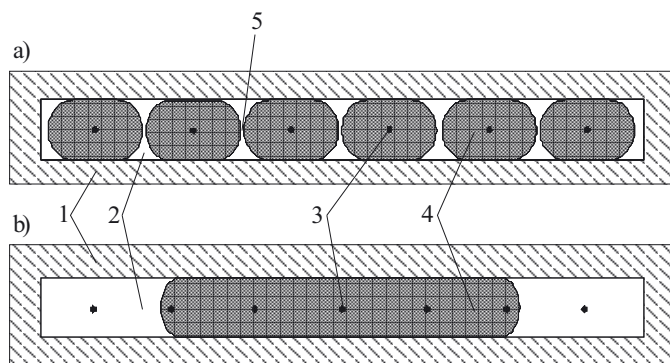
Poniżej zostaną rozpatrzone następujące cechy geometryczne wyprasek stanowiące pod tym względem kryteria wyboru metody ich wtryskiwania:

- rozmiary,
- grubość ścianek i jej zróżnicowanie,
- prosty bądź złożony kształt.

##### Rozmiary

Wypraski o dużych i średnich rozmiarach wytwarza się wieloma metodami wtryskiwania, takimi jak np.

wtryskiwanie wieloskładnikowe, otryskiwanie wstawek i rdzeni, wtryskiwanie wspomagane gazem lub wodą, porujące lub pulsacyjne. W przypadku wyprasek dużych, płaskich, o dużej grubości ścianek, które wymagają powolnego ochładzania, odpowiednia jest metoda zespolonego wtryskiwania tandemowego. Wskazane są też metody wtryskiwania niskociśnieniowego oraz odlewania wtryskowego. Wypraski długie, o dobrej jakości powierzchni, można uzyskiwać w procesie wtryskiwania kaskadowego, sekwencyjnego lub wtryskiwania wspomaganego gazem albo wodą. Wtryskiwanie kaskadowe pozwala na wytwarzanie wyprasek długich, bez widocznych na powierzchni obszarów łączenia strumieni tworzywa, pomimo wielopunktowego doprowadzania tworzywa do gniazda formującego. Gniazda formy wtryskowej z kanałami grzanymi są wypełniane poprzez kolejno otwierane dysze wtryskowe, usytuowane wzdłuż gniazda formującego w określonej odległości od siebie, w taki sposób, że tworzy się jedna powierzchnia frontu strumienia tworzywa przepływającego. Rysunek 2 ilustruje przebieg procesu wtryskiwania konwencjo-



Rys. 2. Wtryskiwanie z wielopunktowym doprowadzaniem tworzywa do gniazda formującego: a) konwencjonalne, b) kaskadowe (z wtryskiwaniem tworzywa do gniazda rozpoczynanym od dyszy środkowej): 1 — elementy podzespołów formy wtryskowej, 2 — gniazda formujące, 3 — miejsca doprowadzania tworzywa do gniazda (położenie dysz wtryskowych), 4 — tworzywo wtryskiwane, 5 — obszar łączenia strumieni tworzywa (opracowanie na podstawie [23])

Fig. 2. Injection moulding with a multipoint cavity feeding: a) conventional, b) cascade (with polymer feeding commencing from the middle nozzle): 1 — parts of injection mould, 2 — forming cavities, 3 — points of cavity feeding (injection nozzle positions), 4 — polymer melt, 5 — weld line — based on [23]

nalnego oraz kaskadowego z wielopunktowym doprowadzaniem tworzywa do gniazda.

Do wytwarzania małych wyprasek w formach wielogniazdowych może znaleźć zastosowanie wtryskiwanie pośrednie, w którym wypełnianie gniazd formujących odbywa się nie bezpośrednio z układu uplastyczniającego, lecz z dodatkowej komory pośredniej znajdującej się w formie. Wypraski o bardzo małych rozmiarach uzyskuje się w procesie mikrowtryskiwania.

#### Grubość ścianek i jej zróżnicowanie

W procesie wytwarzania wyprasek o grubych ściankach przepływ tworzywa w formie jest łatwiejszy niż w przypadku wyprasek cienkościennych, jednak problemem w procesie wtryskiwania konwencjonalnego jest przy tym długi czas i nierównomierne ochładzanie tworzywa w przekroju ścianki, większy skurcz oraz możliwość powstawania zapadnięć na powierzchni. Odpowiednią metodą wytwarzania wyprasek grubościennych może okazać się natomiast wtryskiwanie porujące lub mikroporujące oraz wtryskiwanie wspomagane gazem albo wodą. Należy jednak pamiętać o tym, że tak otrzymane kształtki charakteryzują się gorszymi właściwościami wytrzymałościowymi niż wypraski lite, a jedynie w procesie wtryskiwania mikroporującego pogorszenie tych właściwości jest względnie niewielkie. Spośród innych metod właściwych do wytwarzania wyprasek grubościennych można wymienić odlewanie wtryskowe oraz zespolone wtryskiwanie tandemowe. W przypadku wyrobów z obszarami łączenia strumieni tworzywa, w celu polepszenia ich właściwości mechanicznych wskazane jest stosowanie wtryskiwania pulsacyjnego.

Wypraski o małej grubości ścianek (do 1,2 mm) bądź o dużym stosunku długości drogi przepływu tworzywa w formie do grubości ścianki (od 100:1 do 150:1 lub większym) uzyskuje się w procesie wtryskiwania cienkościennego. Aby zapobiec przy tym przedwczesnemu zestalaniu się tworzywa w cienkich ściankach wypraski podwyższa się temperaturę lub stosuje dużą prędkość wtryskiwania, co wiąże się z bardzo wysokim ciśnieniem tego procesu (240—300 MPa) [4, 14]. Wypraski cienkościenne można również wytwarzać metodą wtryskiwania z doprasowaniem oraz wtryskiwania mikroporującego (MuCell, ErgoCell, Optifoam) [4, 14, 24].

Wypraski o jednakowej grubości ścianek można uzyskiwać wszystkimi metodami wtryskiwania pod warunkiem zachowania równomiernego przebiegu ochładzania. W przypadku wyprasek o zróżnicowanej grubości ścianek mogą natomiast powstawać wady spowodowane niejednakową intensywnością przepływu tworzywa w formie oraz nierównomiernym jego ochładzaniem w poszczególnych obszarach wypraski, czego skutkiem jest zróżnicowany skurcz a także możliwość samoistnego powtryskowego odkształcania wytworu.

Do metod, które pozwalają na wyeliminowanie tych wad zalicza się wtryskiwanie sekwencyjne oraz wspomagane gazem lub wodą. W procesie wtryskiwania sekwencyjnego jest możliwa kontrola zarówno przepływu tworzywa w formie, jak i kolejność oraz szybkość wypełniania poszczególnych obszarów gniazda formującego, a to dzięki zastosowaniu form z kanałami grzanymi wyposażonych w dysze wtryskowe niezależnie od siebie otwierane i zamykane. W obszarach o większej grubości ścianki dysze mogą być otwierane wcześniej. Zastosowanie wtryskiwania wspomaganego gazem lub

wodą, ograniczonego do części wypraski o grubszej ściance, również umożliwia wyeliminowanie niepożądanego odkształcenia powtryskowego, wynikającego z nierównomiernego skurczu.

#### Kształt

Wytwarzanie wyprasek o prostym kształcie nie wymaga stosowania specjalnych metod wtryskiwania pod warunkiem braku szczególnych żądań odbiorców, na przykład dotyczących stanu powierzchni wypraski, masy bądź właściwości mechanicznych, optycznych, estetycznych, itp. Znaczenie ma tutaj dokładność wytwarzanych elementów. Jeżeli mają to być montowane w układach wypraski precyzyjne, to należy zachować warunki wtryskiwania precyzyjnego [25, 26].

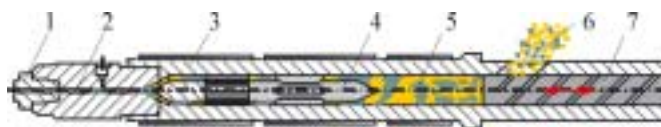
W przypadku wyprasek o złożonym kształcie można zastosować wtryskiwanie wspomagane gazem lub wodą, porujące i mikroporujące. W metodach tych wykorzystanie gazu bądź wody wspomaga proces wypełniania gniazda formującego i pozwala na dokładne odwzorowanie powierzchni gniazda, bez zapadnięć. Wypraski o złożonym kształcie są również wytwarzane wtryskiwaniem sekwencyjnym oraz kaskadowym, z wielopunktowym doprowadzaniem tworzywa do gniazda formującego.

#### Estetyka

Wypraski o szczególnych walorach estetycznych otrzymuje się w procesie wieloskładnikowego wtryskiwania otwartego, umożliwiającego wytwarzanie wyprasek z tego samego tworzywa w dwóch lub więcej barwach bądź z różnych tworzyw. Celem wtryskiwania tworzyw o różnej barwie jest nadanie wypraskom określonych cech estetycznych, natomiast zastosowanie różnych tworzyw pozwala na wytwarzanie przedmiotów, w których elementy z poszczególnych tworzyw spełniają odmienną rolę. Przykładem może być wypraska składająca się z rdzenia z tworzywa o dobrych właściwościach mechanicznych oraz warstwy zewnętrznej z elastomeru, czyli przedmiot o dużej wytrzymałości i równocześnie miękki w dotyku.

Do metod pozwalających na wytwarzanie wyrobów charakteryzujących się efektowną powierzchnią zalicza się również wtryskiwanie dekoracyjne, podczas którego uzyskuje się wypraski o powierzchni podobnej do powierzchni marmuru. Proces polega na równoczesnym wtryskiwaniu dwóch, niecałkowicie wymieszanych tworzyw o różnej barwie. Niejednorodność takiej mieszaniny, znajdującej się w stanie ciekłym w końcowej części układu uplastyczniającego wtryskarki, pozwala na uzyskiwanie wyprasek o przypadkowym rozłożeniu kolorów na powierzchni. Schemat procesu wtryskiwania dekoracyjnego pokazano na rys. 3.

Inną metodą jest wtryskiwanie z dekorowaniem w formie, które stanowi połączenie dwóch procesów: wtryskiwania konwencjonalnego oraz dekorowania wy-



Rys. 3. Schemat procesu wtryskiwania dekoracyjnego: 1 — dysza wtryskowa, 2 — mieszanina dwóch różnobarwnych tworzyw w stanie ciekłym, 3 — cylinder układu uplastyczniającego wtryskarki, 4 — torpeda, 5 — mieszanina z miejsca 2 (w postaci granulatu z częściowo uplastycznionym tworzywem), 6 — granulki wstępnie wymieszanych tworzyw, 7 — tłok wtryskowy [14, 27]

Fig. 3. Scheme of marble moulding process: 1 — injection nozzle, 2 — mixture of two differently colored melted polymers, 3 — barrel of injection moulding machine, 4 — insert, 5 — mixture of two differently colored melted polymers (in form of granules and partially plasticized polymer), 6 — pre-mixed polymer granules, 7 — injection piston [14, 27]



Rys. 4. Przykłady elementów wytworzonych metodą wtryskiwania z: a) dekorowaniem w formie, b) laminowaniem w formie [4, 28—30]

Fig. 4. Samples produced in the injection mould method with in-mould decoration (a) and lamination (b) [4, 28—30]

prasek. Stosowane tu elementy dekoracyjne mogą mieć postać folii drukowanych, lakierowanych lub pojedynczych prefabrykatów. Efektowny wygląd wyprasek można również uzyskać w procesie wtryskiwania z laminowaniem w formie. Przykłady wyprasek wytworzonych tymi dwiema metodami przedstawiono na rys. 4.

#### Ciężar

Wypraski o zmniejszonym ciężarze (masie) dzieli się na: puste, porowate oraz cienkościennie. Przy podejmowaniu decyzji o wytwarzaniu wyprasek pustych oraz porowatych bierze się pod uwagę nie tylko to, że podczas użytkowania charakteryzują się one mniejszym ciężarem niż wypraski lite i niższymi kosztami zagospodarowania odpadów poużytkowych, ale również korzyściami takimi jak skrócenie czasu cyklu wtryskiwania, ograniczenie kosztów tworzywa oraz zwiększona dokładność wymiarowa.

Wypraski puste uzyskuje się w wyniku otryskiwania rdzeni traconych (wytapianych na drodze nagrzewania indukcyjnego albo rozpuszczania chemicznego), w pro-

cesie wtryskiwania wspomaganego gazem lub wodą, wtryskiwania z rozdmuchiwaniami oraz wtryskiwania dwu lub większej liczby części skorupowych w konwencjonalnym procesie i następnego łączenia ich w jeden przedmiot metodą zgrzewania tarcowego, klejenia, nitowania bądź otryskiwania tworzywem części uzyskanych we wcześniejszym cyklu wtryskiwania. Przy wyborze jednej z wymienionych metod wtryskiwania należy uwzględnić zarówno jakość powierzchni zewnętrznej wypraski, jak i stan warstwy wierzchniej kanału utworzonego wewnątrz wypraski, gdyż, na przykład, wypraski służące do transportu ciekłych lub gazowych mediów muszą charakteryzować się gładką powierzchnią tego kanału. Metodą otryskiwania rdzeni traconych można uzyskać przedmioty o bardzo złożonej budowie, dobrym odwzorowaniu kształtu zewnętrznego i wewnętrznego, dobrej jakości powierzchni i większej wytrzymałości w porównaniu z elementami łączonymi w wyniku zgrzewania, klejenia albo nitowania. Jest to jednak metoda wieloetapowa, na którą składają się operacje odlewania rdzenia, jego otryskiwania w formie a następnie wytapiania lub rozpuszczania, zatem jest to proces długotrwały i kosztowny. Z tych względów często zastępuje się go innymi wymienionymi uprzednio metodami wytwarzania wyprasek pustych. W tabeli 1 przedstawiono zalety i wady a także zalecenia odnośnie do zastosowania każdej z tych metod.

Wypraski porowate najczęściej mają porowaty rdzeń i lity naskórek. Mogą być uzyskiwane metodą wtryskiwania porującego nisko- i wysokociśnieniowego oraz wtryskiwania mikroporującego. Produkty wytworzone w procesie wtryskiwania porującego charakteryzują się mniejszą masą, dużą sztywnością i małymi naprężeniami własnymi, lecz gorszymi właściwościami wytrzymałościowymi niż wypraski lite z takiego samego tworzywa, natomiast właściwości wyprasek mikroporowatych są niewiele gorsze od właściwości wyprasek litych, jednak zmniejszenie ich masy jest nieduże (do 5 %).

Masę wyprasek można zmniejszyć również dzięki pocienieniu ich ścianek. Dobrą jakość wyprasek o cienkich ściankach można uzyskać zachowując warunki opisanego powyżej wtryskiwania cienkościennego [14], a także w procesie wspomnianego już wtryskiwania z doprasowaniem oraz mikroporującego.

### Właściwości mechaniczne

Polepszenie właściwości mechanicznych, a zwłaszcza wytrzymałości oraz sztywności wyprasek, można uzyskać metodami wtryskiwania, w których do procesu wprowadza się dodatkowe materiały lub elementy. Do metod takich zalicza się wieloskładnikowe wtryskiwanie zamknięte, otryskiwanie wstawek oraz otryskiwanie mat.

**T a b e l a 1.** Porównanie metod wytwarzania wyprasek pustych  
**T a b l e 1.** Comparison of methods of manufacturing hollow moulded parts

Cecha charakterystyczna	Rodzaj metody wtryskiwania			
	wspomagane gazem	wspomagane wodą	z rozdmuchiwaniami	wtryskiwanie części skorupowych i ich łączenie
Rozkład grubości ścianki	niezbyt duże możliwości regulowania, zależy od rodzaju tworzywa i odmiany procesu		łatwo zmieniany w wyniku regulacji grubości ścianki	bardzo dokładny, może być zmieniany na drodze zmiany budowy formy
Możliwość zmiany grubości ścianki	brak		w wyniku zmiany parametrów procesu nastawianych w maszynie	w wyniku modyfikacji budowy formy
Największa masa	bez ograniczeń			
Największy wymiar	ok. 30–40 mm		bez ograniczeń	
Dowolność kształtu geometrycznego	bardzo duża			ograniczona
Jakość powierzchni wewnętrznej	porowata, zależy od rodzaju tworzywa	dobra	zależy od rodzaju tworzywa	bardzo wysoka
Jakość powierzchni zewnętrznej	bardzo wysoka		wysoka	bardzo wysoka
Obróbka wykańczająca	usuwanie wlewka i nadmiaru tworzywa		usuwanie odpadów kształtki wstępnej, obcinanie nadlewu	usuwanie wlewka, operacje łączenia
Tworzywo	tworzywa do wtryskiwania, bez specjalnych ograniczeń		tworzywa o dużej stabilności w stanie ciekłym, o dobrej zgrzewalności	tworzywa do wtryskiwania, o dobrej zgrzewalności
Stosunek grubości ścianki do wymiaru zewnętrznego wypraski	grubość ścianki ok. 1/8–1/6 wymiaru zewnętrznego wypraski, zależy od rodzaju tworzywa		dowolny	

W procesie wieloskładnikowego wtryskiwania zamkniętego wytwarza się produkty warstwowe, nazywane w literaturze angielskiej wypraskami typu „sandwich”, gdzie tworzywo stanowiące rdzeń jest otoczone warstwą zewnętrzną innego tworzywa o odmiennych właściwościach. Rdzeń wypraski wykonuje się z tworzywa o dobrej wytrzymałości, np. wzmocnionego włóknami, a naskórek z materiału nienapełnionego, zapewniającego odpowiednią gładkość powierzchni, bądź z elastomeru umożliwiającego otrzymywanie wytworów miękkich w dotyku.

W wariacie otryskiwania wstawek wytwarza się przedmioty będące połączeniem tworzyw polimerowych z elementami (wstawkami, zapraskami) metalowymi lub z innych tworzyw polimerowych. Zapraski, umieszczone w formie przed wtryskiwaniem, otryskuje się i trwale łączy z tworzywem. W wytworach uzyskiwanych tą metodą osiąga się połączenie zalet różnych materiałów. Charakteryzują się one korzystniejszymi właściwościami użytkowymi, m.in. większą wytrzymałością, stabilnością wymiarów, estetycznym wyglądem oraz lepszą przewodnością cieplną i elektryczną niż wypraski wytwarzane konwencjonalną metodą wtryskiwania. Metoda otryskiwania wstawek znajduje zastosowanie w procesach wytwarzania przedmiotów technicznych o polepszonych właściwościach wytrzymałościowych, na przykład kierownic samochodowych, części z zapraskami gwintowanymi, gałek sterowniczych, kół wózków, dźwigni. Przykłady przedmiotów otrzymanych tą metodą pokazano na rys. 5.



Rys. 5. Przykłady wyprasek uzyskanych metodą otryskiwania wstawek wewnętrznych [28, 31]

Fig 5. Examples of moulded parts obtained by insert moulding method [28, 31]

Metodą otryskiwania mat z włókien wzmocniających wytwarza się wypraski duże o złożonym kształcie, małym ciężarze oraz dobrych właściwościach mechanicznych.

Polepszenie właściwości wytrzymałościowych wyprasek, zwłaszcza takich, w których mogą występować obszary łączenia strumieni tworzywa, uzyskuje się metodami ze sterowanym przepływem tworzywa w kanałach formy wtryskowej. Zalicza się do nich wtryskiwanie pulsacyjne, kaskadowe, sekwencyjne oraz drganiowe [4, 14]. Wielokrotny przepływ tworzywa w dwóch kierunkach w obszarze łączenia jego strumieni (wtryskiwanie pulsacyjne), wtryskiwanie tworzywa za front strumienia (kaskadowe), wtryskiwanie w sposób umożliwiający przesunięcie obszaru łączenia strumieni two-

rzywa w wyprasce w określone położenie, na przykład w miejsce niewidoczne lub nieobciążone podczas użytkowania wypraski (sekwencyjne), bądź zastosowanie drgań w celu polepszenia właściwości tworzywa umożliwia wyeliminowanie obszarów łączenia strumieni tworzywa albo co najmniej zwiększenie wytrzymałości wyprasek z takimi obszarami.

### Właściwości użytkowe

Szczególne, pożądane cechy użytkowe wyprasek można uzyskać poprzez zastosowanie w jednej wyprasce różnych tworzyw bądź tworzywa i metalu lub materiału ceramicznego, albo prowadzenie procesu wtryskiwania jedną z metod niekonwencjonalnych, na przykład wtryskiwania z doprasowaniem wspomaganym wodą lub wtryskiwania z montażem w formie. Wypraski z dwóch lub większej liczby tworzyw, w których poszczególne tworzywa spełniają określoną rolę, mogą być wytwarzane wspomnianą już metodą wtryskiwania wieloskładnikowego (otwartego i zamkniętego) oraz mikrowarstwowego. W procesie wieloskładnikowego wtryskiwania otwartego poszczególne części wyprasek z różnych tworzyw łączą się ze sobą tak, że każda z nich jest widoczna [2, 4, 14]. Często stosuje się połączenie tworzywa sztywnego z termoplastycznym elastomerem w celu otrzymania przedmiotów o dostatecznej wytrzymałości i sztywności a jednocześnie z zewnętrznym elementem miękkim w dotyku, ułatwiającym utrzymanie przedmiotu w ręku. Przykładami takich wytworów są szczoteczki do zębów, nożyczki, narzędzia ręczne itp. (rys. 6). Przedmioty o podobnych cechach użytkowych wytwarza się w procesie wieloskładnikowego wtryskiwania zamkniętego, w którym uzyskuje się wypraski warstwowe z rdzeniem z jednego tworzywa otoczonego warstwą zewnętrzną drugiego tworzywa, o innych właściwościach. Wieloskładnikowe wtryskiwanie otwarte wykorzystuje się również do otrzymywania przedmiotów z wyraźnymi znakami w innym kolorze na ich powierzchni, np. klawiszy komputerów, pilotów, obudów telefonów komórkowych.

Metodą wtryskiwania mikrowarstwowego wytwarza się wypraski składające się z wielu warstw o bardzo



Rys. 6. Wypraski wytworzone metodą wieloskładnikowego wtryskiwania otwartego

Fig. 6. Parts obtained by multicomponent injection moulding

małej grubości (mikrowarstw) z co najmniej dwóch tworzyw, z których jedno ma na przykład dobre właściwości barierowe [4, 14]. Metodę tę można wykorzystać do otrzymywania opakowań żywności i chemikaliów.

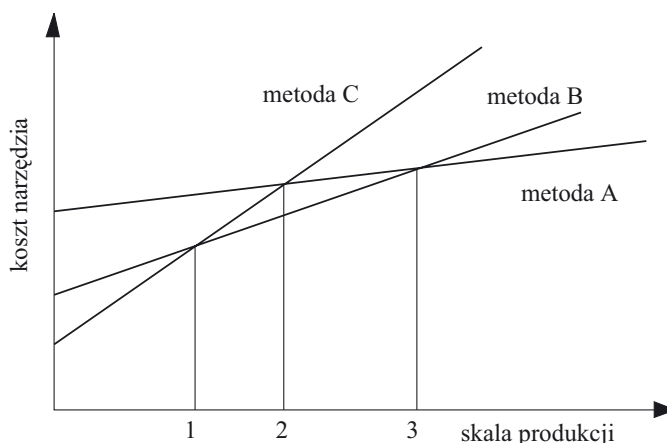
Przedmioty o dobrych właściwościach izolacyjnych (cieplnych, elektrycznych) otrzymuje się w procesie wtryskiwania tworzyw utwardzalnych, natomiast wypraski o dobrych właściwościach optycznych (soczewki, pryzmaty), bez naprężeń własnych, są wytwarzane metodą wtryskiwania z doprasowaniem. Wtryskiwanie proszków metali i materiałów ceramicznych umożliwia uzyskanie przedmiotów o złożonym kształcie oraz dużej twardości i odporności na ścieranie, np. narzędzi skrawających. Przedmioty takie jak koła wózków, które powinny charakteryzować się dużą wytrzymałością i równocześnie dobrymi właściwościami tłumiącymi, można otrzymywać metodą wtryskiwania elastomerem termoplastycznym wstawek metalowych.

W przypadku wyprasek w postaci tulei i przewodów, służących do transportu ciekłych mediów, można stosować metodę wtryskiwania wspomaganego wodą. Metoda ta zapewnia dobrą jakość powierzchni wewnątrz wypraski (kanałów transportujących ciecz podczas użytkowania wyrobu), gdyż woda nie rozpuszcza tworzywa i nie dyfunduje do jego warstwy wierzchniej podczas wtryskiwania. Przedmioty składające się z dwóch lub większej liczby elementów z takiego samego albo różnych tworzyw można uzyskać w jednym cyklu wtryskiwania z montażem w formie, z zastosowaniem form z obrotowymi płytami formującymi.

### Koszty wytwarzania, wielkość serii produkcyjnej oraz termin wytworzenia

Wybrana metoda wtryskiwania powinna zapewniać uzyskiwanie wyprasek optymalnej jakości w połączeniu z jak największą wydajnością i jak najmniejszymi kosztami. Należy uwzględnić przy tym skalę produkcji (jednostkowa, seryjna, masowa), termin realizacji zamówienia, warunki kooperacji, jak również zagadnienia o charakterze organizacyjnym i handlowym. Ważnym czynnikiem jest wyposażenie w maszyny i narzędzia przetwórcze zakładu produkcyjnego, a także kwalifikacje i doświadczenie jego pracowników. Na koszty wytwarzania wyprasek wtryskowych składają się nakłady bezpośrednie, obejmujące koszty tworzywa, związane z tzw. ruchem, robocizną bezpośrednią, przygotowaniem produkcji bądź różnymi opłatami oraz nakłady pośrednie, to jest koszty wydziałowe i ogólnozakładowe. Szczegółowe wyjaśnienie zagadnienia kosztów wytwarzania przedmiotów z tworzyw polimerowych można znaleźć w książce R. Sikory [2].

Duży udział w tych kosztach stanowi koszt zaprojektowania i wykonania formy wtryskowej. W przypadku złożonego konstrukcyjnie narzędzia o wysokiej cenie, niezbędnego do uzyskania np. wyprasek precyzyjnych o skomplikowanej budowie, spełniających szczególne

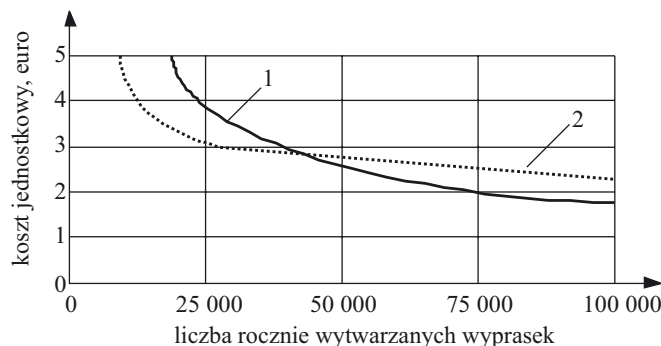


Rys. 7. Skala produkcji jako kryterium wyboru metody wtryskiwania [32]

Fig. 7. Production scale as a criterion for the choice of injection moulding method [32]

wymagania odnośnie do stanu powierzchni itp., o celowości jego stosowania decyduje skala produkcji. Z rysunku 7, przedstawiającego schematycznie ogólną zasadę wyboru metody wytwarzania w zależności od kosztu narzędzia oraz skali produkcji, widać, że wybór optymalnej metody wtryskiwania zmienia się w zależności od wielkości serii wytwarzanych wyprasek — w przypadku mniejszej serii produkcyjnej będzie opłacalna metoda C, natomiast przy większej — metoda A.

Na rysunku 8 porównano koszty wytwarzania osłon świateł tylnych samochodu dwiema metodami wtryskiwania, a mianowicie wtryskiwania wieloskładnikowego oraz wtryskiwania z dekorowaniem w formie. W przypadku rocznej produkcji wyprasek nieprzekraczającej ok. 40 000 sztuk koszty te są niższe w procesie wtryskiwania z dekorowaniem w formie (krzywa 2), natomiast w razie większej — wtryskiwania wieloskładnikowego



Rys. 8. Wpływ wielkości produkcji na jednostkowe koszty wytwarzania osłon świateł tylnych samochodów metodą wtryskiwania wieloskładnikowego (1) oraz wtryskiwania z dekorowaniem w formie (2) [23]

Fig. 8. Influence of production volume on the cost per unit production of car rear light covers by the multicomponent injection moulding (1), and in-mould decoration (2) [23]

(krzywa 1). Wtryskiwanie z dekorowaniem w formie realizuje się z zastosowaniem stosunkowo prostej formy i konwencjonalnej wtryskarki, podczas gdy w drugiej z wymienionych metod zarówno forma, jak i wtryskarka muszą mieć specjalną budowę, a to wiąże się z wysokimi kosztami inwestycyjnymi i jest opłacalne dopiero w skali produkcji masowej.

Niekiedy kryterium wyboru metody wtryskiwania może być termin wytworzenia danego wyrobu. Przyjmuje się często, że im krótszy jest czas od chwili podjęcia decyzji o jego wytwarzaniu do wprowadzenia go na rynek, tym wyrób jest bardziej konkurencyjny w stosunku do innych. Warunek ten jednak może prowadzić do zastosowania metody wtryskiwania pozwalającej wprawdzie na szybkie uzyskanie wyprasek, lecz nie spełniającej w pełni wymagań użytkowników.

Niskie koszty wytwarzania wyprasek mogą wynikać z możliwości użycia tworzywa wtórnego, na przykład w procesach wtryskiwania wieloskładnikowego zamkniętego, mikrowarstwowego, dwuskładnikowego mikroporującego, drganiowego. Związane z tym zagadnienie recyklingu tworzyw jest przedstawione w kolejnym punkcie niniejszego artykułu.

Do metod wtryskiwania, w których niskie koszty wytwarzania wynikają z prostej technologii oraz mało skomplikowanych narzędzi i maszyn, zalicza się otryskiwanie wstawek wewnętrznych i zewnętrznych, otryskiwanie mat, folii, tkaniny lub laminatu, wtryskiwanie porujące z użyciem porofoforów chemicznych, wtryskiwanie niskociśnieniowe, odlewanie wtryskowe. Metody pozwalające na uzyskiwanie wyprasek odpowiadających wysokim wymaganiom — na przykład dotyczących stanu powierzchni, struktury, bądź właściwości mechanicznych — wykorzystuje się natomiast w przypadku ich opłacalności w produkcji wielkoseryjnej lub masowej; zalicza się do nich np. wtryskiwanie wieloskładnikowe, mikrowarstwowo, mikroporujące, wspomagane gazem lub wodą, pulsacyjne, drganiowe, sekwencyjne bądź kaskadowe. Złożone formy wtryskowe, stosowane w procesach wtryskiwania z doprasowaniem, zespolonego podwójnego i tandemowego z montażem w formie, umożliwiają otrzymywanie wyprasek o szczególnych cechach lub skomplikowanej budowie, są to jednak procesy zalecane w razie dużych serii produkcyjnych. W procesie mikrowtryskiwania i wtryskiwania cienkościennego wytwarza się wypraski o szczególnych cechach geometrycznych, niemożliwych do uzyskania innymi metodami, ale koszt wykonania narzędzi i urządzeń pomocniczych, na przykład robotów, manipulatorów lub dodatkowych urządzeń grzewczych, jest tu wysoki.

### Możliwości recyklingu

Według tego kryterium, procesy wtryskiwania dzieli się na sposoby bądź umożliwiające wykorzystanie tworzyw wtórnych do wytwarzania wyprasek, bądź też za-

planowanie recyklingu materiału produkowanych wyprasek.

Termoplastyczne tworzywa wtórne, pochodzące z recyklingu technologicznego lub użytkowego, mogą być wykorzystane do wytwarzania wyprasek niemal wszystkimi metodami wtryskiwania. Jakość takich wyprasek jest jednak gorsza niż wyprasek z tworzywa pierwotnego, przede wszystkim ze względu na możliwość degradacji tworzyw podczas ich wielokrotnego przetwarzania. Do procesów, w których skutecznie wykorzystuje się tworzywa wtórne do uzyskiwania dobrych jakościowo wyprasek można zaliczyć wtryskiwanie wieloskładnikowe zamknięte, dwuskładnikowe mikroporujące, mikrowarstwowo oraz drganiowe. W metodach wtryskiwania wieloskładnikowego zamkniętego oraz dwuskładnikowego mikroporującego istnieje możliwość obniżenia kosztów wytwarzania wyprasek dzięki wprowadzeniu rdzenia z tańszego tworzywa z recyklingu, oraz warstwy zewnętrznej z tworzywa wysokiej jakości. Tworzywa wtórne znajdują również zastosowanie w procesie wtryskiwania mikrowarstwowego, w którym uzyskuje się wypraski składające się z wielu warstw o bardzo małej grubości (mikrowarstw), z co najmniej dwóch tworzyw. Jedno z tych tworzyw może pochodzić z recyklingu, co nie wywiera istotnego ujemnego wpływu na właściwości i wygląd wyprasek. W procesie wtryskiwania drganiowego zastosowanie drgań polepsza właściwości przetwórcze tworzyw i zwiększa ich zdolność do wielokrotnego przetwórstwa.

Rozpatrując możliwości ponownego wykorzystania tworzywa wyprasek wtryskowych należy uwzględnić rodzaj materiału oraz liczbę tworzyw użytych do wytworzenia danej wypraski. Wypraski z jednego tworzywa termoplastycznego mogą być poddawane recyklingowi, przy czym w tym przypadku ograniczeniem są jedynie właściwości tworzywa, a zwłaszcza jego skłonność do degradacji w warunkach przetwórstwa, oraz koszty recyklingu związane głównie z operacjami zbierania, czyszczenia i rozdrabniania odpadów. Znacznie trudniejsze, a często nawet niemożliwe, jest natomiast ponowne przetwórstwo tworzywa pochodzącego z wyprasek wieloskładnikowych, wytworzonych w procesach wtryskiwania wieloskładnikowego, mikrowarstwowego oraz dekoracyjnego. Można wówczas wykorzystywać jedynie materiał będący mieszaniną składającą się z różnych tworzyw, zwykle o właściwościach trudnych do kontrolowania. Tworzywo wyprasek uzyskanych w procesach takich jak wtryskiwanie z dekorowaniem lub laminowaniem w formie, otryskiwanie mat z włókien długich i krótkich, folii, tkaniny lub laminatu również jest trudne do ponownego wykorzystania, ze względu na brak możliwości oddzielenia go od dodatkowych składników (tj. folii, maty, tkaniny itd.). Pewne problemy mogą ponadto wystąpić w procesie recyklingu tworzyw z kształtek z zapraskami metalowymi lub tworzywowymi. Dochodzi tutaj dodatkowa operacja mechanicznego oddzielenia tworzywa od zaprasek.



## PODSUMOWANIE

Liczba znanych metod procesu wtryskiwania jest obecnie tak duża (i stale wzrastająca), że trudno o ustalenie kryterium pozwalającego na jednoznaczne stwierdzenie poprawności wyboru określonej spośród nich w przypadku rozpatrywanej wypraski. Zastosowanie danej metody ma ścisły związek z kosztami wytwarzania oraz jakością wyrobu. Wiele rodzajów wyprasek o bardzo zbliżonej jakości można bowiem uzyskiwać różnymi metodami wtryskiwania, a wówczas na jej wybór wywierają wpływ dodatkowe czynniki, takie jak wielkość serii produkcyjnej, termin wykonania zamówienia, dostępne narzędzia, maszyny i urządzenia oraz ogólne koszty wytwarzania. Otrzymywanie wyprasek spełniających wysokie wymagania jakościowe lub o złożonej budowie wiąże się zazwyczaj z koniecznością zastosowania kosztownych form, specjalnego oprzyrządowania i sposobu sterowania wtryskarką, a więc staje się opłacalne dopiero w produkcji wielkoseryjnej i masowej. W przypadku małych serii produkcyjnych wskazane jest natomiast rozważenie możliwości wytwarzania wyprasek z wykorzystaniem prostych form wtryskowych i zastosowaniem dodatkowych operacji, na przykład montażu elementów uzyskanych z oddzielnych form w jeden złożony przedmiot. W produkcji masowej taki przedmiot można wytwarzać w jednym cyklu wtryskiwania z montażem w formie. Przystępując zatem do wyboru metody wtryskiwania należy przede wszystkim mieć dostateczną wiedzę na temat różnych wariantów takich procesów, ich przebiegu, niezbędnego wyposażenia a także zalet i wad każdego z nich.

## LITERATURA

- Smorawiński A.: „Technologia wtrysku”, WNT, Warszawa 1989.
- Sikora R.: „Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych”, Wydawnictwo Edukacyjne, Warszawa 1993.
- Bociąga E.: „Procesy determinujące przepływ tworzywa w formie wtryskowej i jego efektywność”, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2001.
- Osswald T. A., Turng L.-S., Gramann P. J.: „Injection Molding Handbook”, Hanser Publishers, Munich, Hanser Gardner Publications, Inc., Cincinnati 2001.
- Beaumont J. P., Nagel R., Sherman R.: „Successful Injection Molding”, Hanser Publishers, Munich 2002.
- Zawistowski H., Zięba S.: „Ustawianie procesu wtrysku”. Wyd. Plastech, Warszawa 1999.
- Bociąga E.: *Polimery* 2000, 45, 830.
- Postawa P.: *Polimery* 2005, 50, 201.
- Bociąga E., Jaruga T.: „Wpływ warunków wtryskiwania na masę wyprasek wytwarzanych w formie wtryskowej wielogniazdowej” w pracy zbiorowej „Materiały polimerowe i ich przetwórstwo” (red. Koszkuł J., Bociąga E.), Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2004, str. 220—228.
- Zawistowski H., Frenkler D.: „Konstrukcja form wtryskowych do tworzyw termoplastycznych”, WNT, Warszawa 1984.
- Sikora R., Bociąga E.: *Polimery* 2003, 48, 100.
- Bociąga E., Jaruga T.: *Polimery* 2006, 51, 843.
- Bociąga E.: *Polimery* 2007, 52, 170.
- Bociąga E.: „Specjalne metody wtryskiwania tworzyw polimerowych”. WNT, Warszawa 2008.
- Čatič I., Johannaber F.: „Injekcijsko Prešanje Polimera i Ostalih Materijala”, Biblioteka Polimerstvo — Serija Crvena, Zagreb 2004.
- Zwierzyński A.: *Mechanik* 2000, nr 11, 787.
- Filarski R.: „Nowatorskie technologie wtryskiwania” w „Technologie wtryskiwania, jakość i efektywność”, Wyd. Plastech, Warszawa 2000, str. 53.
- Szostak M.: *Plast. Rev.* 2002, nr 8 (21), 62.
- Brzostek A., Kaczmar J.: *Polimery* 2007, 52, 179.
- Błędzki A. K., Faruk O., Kirschling H., Kühn J., Jaskiewicz A.: *Polimery* 2006, 51, 697.
- Bociąga E.: „Wtryskiwanie mikroporujące (MuCell)” w pracy zbiorowej „Postęp w przetwórstwie materiałów polimerowych” (red. Koszkuł J., Bociąga E.), Częstochowskie Wydawnictwo Archidiec. Regina Poloniae, Częstochowa 2006, str. 36.
- Koster R., Ogink J.: „Injection Molding Variants: a Designer’s Review”, ANTEC 2005, 3399.
- „The Injection Molding of Quality Parts. Process Engineering Alternatives and Process Selections”, materiały firmy Bayer: <http://plastics.bayer.com>
- „Injection Moulding: Autobar’s Thin-wall Rigid Packaging is Produced More Efficiently than any Other Kind of Thin-wall Packaging. MuCell® Process News”, materiały firmy Trexel Inc.
- Bociąga E., Jaruga T.: *Polimery* 2009, 54, 342.
- Bociąga E., Jaruga T., Sikora R.: *Polimery* 2009, 54, 522.
- „Marbling Injection Moulding. Interval Injection Moulding”: <http://www.arburg.com>
- Materiały firmy Yomura: <http://www.yomura.com>
- Materiały firmy MacDermid Autotypie Ltd: <http://www.macdermidautotypie.com>
- Materiały firmy Battenfeld Polska Injection Moulding Technology Sp. z o.o.: [www.battenfeld.pl](http://www.battenfeld.pl)
- Materiały firmy Toolcraft Plastics (Swindon) Ltd: <http://www.toolcraft.co.uk>
- Yu J.-Ch., Krizan S., Ishii K.: *J. Intelligent Manuf.* 1993, 4, nr 3, 199.