

ELŻBIETA BOCIĄGA

Politechnika Częstochowska

Instytut Przetwórstwa Polimerów i Zarządzania Produkcją

Al. Armii Krajowej 19c, 42-200 Częstochowa

e-mail: bociaga@kpts.pcz.czyst.pl

## Wtryskiwanie tworzyw polimerowych wspomagane wodą oraz układem gaz + woda

**Streszczenie** — Dokonano przeglądu literatury dotyczącej niekonwencjonalnych metod wtryskiwania tworzyw polimerowych wspomaganego wodą bądź gazem i wodą. Metody te pozwalają na wytwarzanie wyprasek o właściwościach i cechach powierzchni trudnych lub niemożliwych do uzyskania w niekonwencjonalnym procesie wtryskiwania wspomaganego gazem. Omówiono je szczegółowo z podaniem schematów procesów przetwarzania a także z podkreśleniem ich wad i zalet oraz cech szczególnych. Przedstawiono możliwość zastosowania wspomnianych metod do produkcji różnorodnych przedmiotów służących w wielu dziedzinach gospodarki.

**Słowa kluczowe:** wtryskiwanie niekonwencjonalne, wspomaganie gazem, wspomaganie wodą, wspomaganie gazem i wodą, powierzchnia wyprasek, zastosowanie wyrobów.

### WATER AND GAS/WATER ASSISTED INJECTION MOLDING OF POLYMERS

**Summary** — The literature review concerning unconventional methods of injection molding of the polymers, assisted with water or gas and water, has been done. The methods discussed let produce the parts showing surface properties and features difficult or impossible to reach in the unconventional gas assisted injection molding process. The methods were discussed in detail, with schemes of the processes given (Fig. 1—3) and with their advantages and disadvantages as well as specific features marked. The possibility to use these techniques in the production of various goods, applied in many economy branches, has been presented (Fig. 4).

**Key words:** unconventional gas assisted injection molding, water assisted injection molding, gas/water assisted injection molding, parts surfaces, goods applications.

### WTRYSKIWANIE WSPOMAGANE GAZEM LUB CIECZĄ ŁATWO PARUJĄCĄ — STAN DOTYCHCZASOWY

Procesy wtryskiwania tworzyw polimerowych wspomaganego gazem lub cieczą znajdują coraz szersze zastosowanie. Obejmują one metody, w których czynnikiem wspomagającym jest gaz (zwykle azot), gaz ochłodzony kriogenicznie, łatwo parująca ciecz lub woda [1—15]. W procesach tych do gniazda formującego formy wtryskowej, częściowo lub całkowicie wypełnionego tworzywem ciekłym, wprowadza się gaz bądź ciecz pod dużym ciśnieniem umożliwiającym przemieszczenie tworzywa w kierunku ścianek formy. Bezpośrednio przed otwarciem formy i wyjęciem z niej wypraski usuwa się z gniazda czynnik wspomagający, dzięki czemu uzyskiwane wypraski są puste, dobrze odwzorowują kształt gniazda formującego i charakteryzują się korzystną strukturą geometryczną powierzchni. W niektórych przypadkach gaz wtryskuje się jednostronnie w obszar pomiędzy wypraskę i powierzchnię gniazda formującego; pełni on wówczas rolę czynnika dociskającego tworzywo do ścianki gniazda, umożliwiając tym sa-

my osiągnięcie podobnych korzystnych efektów, ale tylko na jednej stronie wypraski.

Proces wtryskiwania wspomaganego gazem jest znany i stosowany od kilkunastu lat. Różne jego odmiany zostały opisane m.in. w pracach M. Szostaka [6] oraz B. Zabrzewskiego [9]. Metodę tę można stosować do przetwarzania wszystkich tworzyw termoplastycznych [5] jak również w przetwórstwie termoutwardzalnych poliuretanów oraz we wtryskiwaniu proszków metalowych i ceramicznych.

Metoda wtryskiwania wspomaganego gazem ma wiele zalet, np. możliwe jest wytwarzanie lekkich, sztywnych wyprasek, bez pęcherzy i zapadnięć, niewykazujących skłonności do samoistnego odkształcania się, ze względu na mniejsze niż w wypraskach litych naprężenia własne. Ponadto, czas cyklu wtryskiwania jest krótszy niż w konwencjonalnym procesie dzięki temu, że w rdzeniu wypraski nie ma gorącego tworzywa. Siła użyta do zamykania podzespołów formy może być mniejsza, ponieważ ciśnienie gazu w gnieździe jest niższe niż ciśnienie docisku w procesie konwencjonalnego wtryskiwania.

Omawiany proces ma też jednak wady. Nie można tu bowiem dokładnie przewidzieć rozkładu grubości ścianek wypraski a wpływa się na nią tylko w ograniczonym stopniu sterując odpowiednio przebiegiem procesu. Trudno jest także uniknąć różnic w poszczególnych cyklach wtryskiwania. Do niekorzystnych cech procesu należy także zaliczyć możliwość występowania anomalii powierzchniowych wyprasek [16], spowodowanych zatrzymaniem przepływu tworzywa w chwili zakończenia jego wtrysku i rozpoczęcia wtrysku gazu. Ponadto rozpuszczanie się gazu w tworzywie powoduje, że uzyskane wypraski mają porowatą strukturę powierzchni wewnętrzną.

W metodzie wtryskiwania wspomaganego gazem można zastosować również gaz ochładzany kriogenicznie. Przed wprowadzeniem do formy, sprężony gaz oziębia się w kriogenicznym wymienniku ciepła do temp. ok.  $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$  [7] lub nawet  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$  [8]. Pozwala to na skrócenie czasu schładzania wypraski, umożliwia ponadto wytwarzanie wyprasek o mniejszej grubości ścianki i gładziej powierzchni wewnętrznej. W badaniach polipropylenu wykazano, że w przypadku zastosowania ochłodzonego gazu następuje 20-proc. zmniejszenie grubości ścianki wypraski w porównaniu z grubością ścianek uzyskiwanych w typowym procesie wtryskiwania wspomaganego gazem [7]. Ochłodzony gaz przyspiesza bowiem zestalanie wypraski na granicy faz gaz—tworzywo ciekłe, przeciwdziałając przenikaniu gazu do tworzywa i jego porowaceniu, co może przyczyniać się do zwiększenia grubości ścianki wypraski.

wprawdzie w pewnym stopniu pogarsza jakość jej powierzchni wewnętrznej, lecz eliminuje potrzebę odprowadzania gazu z formy.

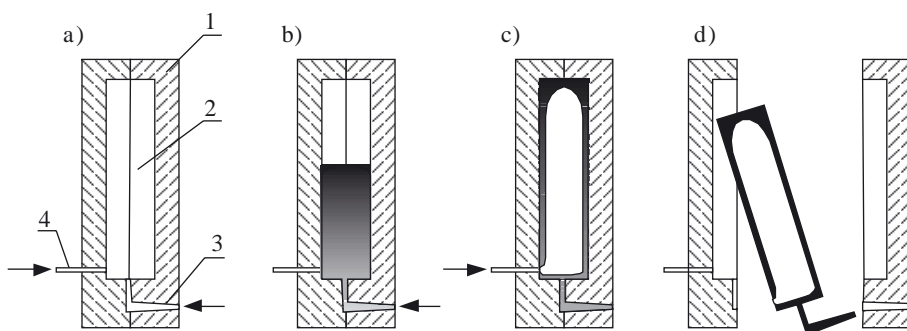
#### WTRYSKIWANIE WSPOMAGANE WODĄ

Nową, ciągle doskonaloną metodę wytwarzania wyprasek stanowi wtryskiwanie wspomaganie wodą. W procesie tym czynnik wspomagający wtryskuje się do wnętrza uplastycznionego tworzywa w gnieździe formującym formy wtryskowej. Dzięki znacznie lepszej niż gazu zdolności wody do odprowadzania ciepła uzyskuje się skrócenie czasu ochładzania wypraski [7, 17—24].

Rozróżnia się cztery odmiany wtryskiwania wspomaganego wodą charakteryzujące się jedną z następujących cech:

- częściowym wypełnieniem gniazda formującego tworzywem ciekłym,
- całkowitym wypełnieniem gniazda tworzywem ciekłym i przepływem powrotnym nadmiaru tworzywa do układu uplastyczniającego wtryskarki,
- całkowitym wypełnieniem gniazda tworzywem ciekłym i przepływem nadmiaru tworzywa do gniazda dodatkowego (gromadzenie nadmiaru),
- przepływem wody przez gniazdo formujące podczas całej fazy ochładzania wypraski.

W pierwszej wymienionej odmianie (rys. 1) do gniazda formującego wtryskuje się porcję tworzywa objętości mniejszej niż objętość gniazda (rys. 1b), po czym, jeszcze przed zakończeniem tej fazy wtrysku, do wnętrza uplastycznionego tworzywa wtryskuje się wodę (rys. 1c). Po-

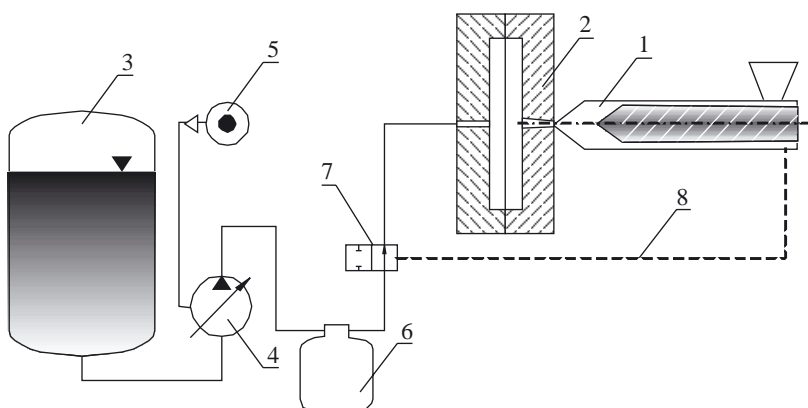


Rys. 1. Etapy procesu wtryskiwania wspomaganego wodą (b—d, por. tekst) z częściowym wypełnieniem gniazda tworzywem ciekłym: 1 — forma wtryskowa, 2 — gniazdo formujące, 3 — kanał doprowadzający ciekłe tworzywo, 4 — dysza wtrysku wody [19, 20]

Fig. 1. Stages of the process of water assisted injection molding (b — d, see text) with a cavity partially filled with polymer melt: 1 — mold, 2 — cavity, 3 — runner for polymer melt delivery, 4 — nozzle for water injection [19, 20]

Opracowano również technologię wtryskiwania wspomaganego cieczą łatwo parującą, stanowiącą modyfikację procesu wtryskiwania wspomaganego gazem. Mianowicie, zamiast gazu obojętnego (azotu) do wnętrza uplastycznionego tworzywa wtryskuje się łatwo parującą ciecz, która pod wpływem nagrzewania jej przez gorące tworzywo przechodzi w fazę gazową [5]. Po zakończeniu etapu wypełniania gniazda oraz docisku, jest ona absorbowana przez ochłodzoną wypraskę, co

woduje ona dalszy przepływ materiału wzdłuż osi gniazda formującego oraz w kierunku jego ścianek. W trakcie całej fazy ochładzania wewnątrz wypraski utrzymuje się stałe ciśnienie wody, faza docisku trwa więc do chwili otwarcia formy, a nie tylko do momentu zestalania tworzywa w przewężce, jak to ma miejsce w przypadku wtryskiwania konwencjonalnego. Po zakończonej fazie ochładzania a przed wypchnięciem z gniazda wypraski, z jej wnętrza usuwa się wodę — grawitacyjnie bądź za



Rys. 2. Schemat stanowiska do wtryskiwania wspomaganego wodą: 1 — wtryskarka, 2 — forma wtryskowa, 3 — zbiornik z wodą, 4 — pompa wodna, 5 — dopływ powietrza, 6 — akumulator hydrauliczny, 7 — rozdzielacz hydrauliczny, 8 — obwód sterujący [19, 20]

Fig. 2. Scheme of the stand for water assisted injection molding: 1 — injection molding machine, 2 — mold, 3 — water tank, 4 — water pump, 5 — air supply, 6 — hydraulic accumulator, 7 — hydraulic divider, 8 — controlling circuit [19, 20]

pomocą sprężonego powietrza. Następnie, po otwarciu formy, wyjmuje się wypraskę (rys. 1d). W omawianej metodzie wodę wtryskuje się do gniazda przez specjalną dyszę (por. rys. 1) umieszczoną w formie, podczas gdy w procesie wtryskiwania wspomaganego gazem można doprowadzać przez dyszę wtryskarki. Zastosowanie wody uniemożliwia takie rozwiązanie ze względu na jednoczesne zbyt intensywne chłodzenie dyszy.

Na rysunku 2 przedstawiono stanowiska laboratoryjne do wtryskiwania wspomaganego wodą.

Wadą tej metody jest powstawanie widocznych śladów na powierzchni wypraski tworzących się w chwili przełączenia fazy wtrysku tworzywa na fazę wtrysku wody. Efekty te można wyeliminować wypełniając całkowicie tworzywem gniazdo formujące w pierwszej fazie procesu; dopiero potem do wnętrza uplastycznionego tworzywa wtryskuje się wodę pod dużym ciśnieniem. Nadmiar tworzywa może być przetłaczany ponownie do układu uplastyczniającego wtryskarki, bądź też do dodatkowego gniazda w formie wtryskowej.

Zaletą odmiany wtryskiwania z wycofywaniem tworzywa do układu uplastyczniającego jest głównie brak dodatkowych odpadów wtryskowych oraz dobra jakość powierzchni wyprasek. W wariacie tym należy jednak regulować warunki wtryskiwania tak, aby nie doszło do przerwania warstwy tworzywa i przedostania się wody do układu uplastyczniającego. Ważne jest zatem dokładne ustalenie ciśnienia wody oraz ilości tworzywa zawracanego do układu uplastyczniającego. Ponadto, pewien problem mogą stwarzać różnice temperatury oraz ciśnienia tworzywa powracającego do układu i tworzywa już się w nim znajdującego; powoduje to niestabilność w kolejnym cyklu procesu wtryskiwania.

W procesie wykorzystującym formy z dodatkowym gniazdem (tj. z gromadzeniem nadmiaru tworzywa) uzyskuje się wypraski o dobrej jakości powierzchni, a ponadto ciśnienie wody jest mniejsze niż w poprzednio omówionej odmianie. Wadą natomiast jest większe zużycie tworzywa, wynikające z konieczności odcinania nadlewów od wypraski; nadlew stanowi odpad wtryskowy, który powinien być poddany recyklingowi.

W ostatniej z wymienionych odmian — wtryskiwaniu z przepływem wody przez gniazdo formujące podczas całej fazy ochładzania wypraski — na początko-

wym etapie gniazdo jest częściowo wypełniane tworzywem, po czym wtryskuje się wodę, która przepycha tworzywo do końca gniazda. Znajdujący się w tym miejscu specjalny zawór otwierany jest w chwili, gdy tworzywo wypełni całe gniazdo. Pod wpływem ciśnienia wody następuje przerwanie warstwy tworzywa i dalszy jej przepływ przez zawór do obwodu recyrkulacji. Zaletą tej odmiany jest intensywne, zatem krótkotrwałe, chłodzenie wypraski, a także brak dodatkowych odpadów. Niekorzystne są jednak widoczne ślady na powierzchni wypraski tworzące się w miejscu przerwania warstwy tworzywa przez strumień wody oraz — w warunkach małego ciśnienia — możliwość wycieknięcia wody do obszaru pomiędzy powierzchnią gniazda formującego a wypraską.

Wszystkie przedstawione odmiany wtryskiwania wspomaganego wodą umożliwiają wytwarzanie wyprasek o większych wymiarach i cieńszych ściankach niż w wypraskach otrzymywanych w procesie wtryskiwania wspomaganego gazem. Charakteryzują się one przy tym dobrą jakością powierzchni, małym skurczem i niewielkim samoistnym odkształcaniem powtryskowym. W efekcie lepszego odprowadzania ciepła przez wodę uzyskuje się ponadto skrócenie czasu cyklu wtryskiwania.

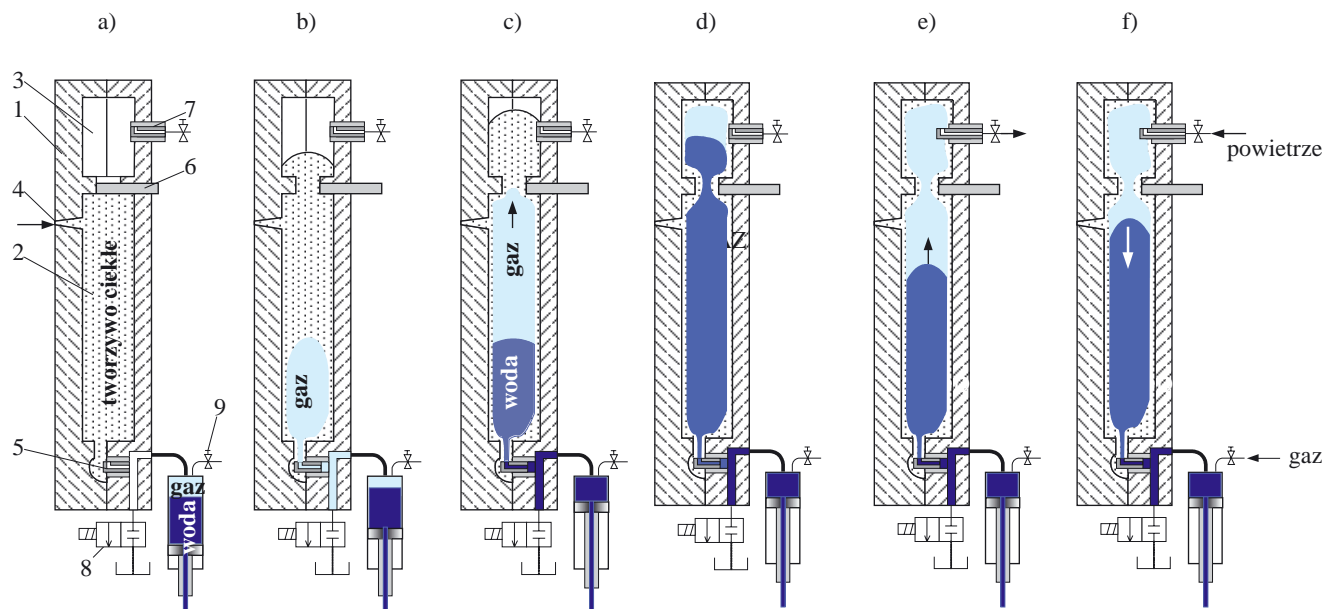
Woda, jak wiadomo, ma dużo mniejszą ściśliwość niż gaz, jest tańsza i łatwiejsza do ponownego wykorzystania. Dodatkowo, nie rozpuszcza ona tworzywa i nie dyfunduje w jego warstwę wierzchnią podczas procesu wtryskiwania, dzięki czemu można uniknąć sporowacenia wewnątrz wypraski, występującego zazwyczaj, jak już wspomniano, w przypadku wtryskiwania wspomaganego gazem.

Wadą wtryskiwania wspomaganego wodą jest natomiast wymagana, złożona budowa formy wtryskowej oraz trudniejszy dobór warunków wtryskiwania ze względu na znaczne różnice właściwości wtryskiwanego tworzywa i wody. Zwłaszcza istotne jest poprawne ustalenie ilości tworzywa wtryskiwanego do gniazda, ciśnienia i temperatury podawanej wody oraz czasu, po którym następuje przełączenie fazy wtrysku tworzywa na fazę wtrysku wody. Ponadto, woda stosowana w procesie musi być oczyszczana przed wprowadzeniem jej do kolejnego cyklu wtryskiwania.

### WTRYSKIWANIE WSPOMAGANE UKŁADEM GAZ + WODA

Wtryskiwanie z jednoczesnym wspomaganie gazem i wodą jest połączeniem metod wytwarzania pustych wyprasek grubościennych, z wykorzystaniem tylko gazu lub tylko wody, pozwalając przy tym na wyeli-

W omawianym procesie gaz stanowi izolację pomiędzy gorącym tworzywem i zimną wodą, co zabezpiecza warstwę tworzywa przed możliwością przerwania wskutek zbyt intensywnego chłodzenia wodą pod dużym ciśnieniem. Jak już wspomniano, zjawisko takie może występować podczas procesu wtryskiwania wspomaganego samą wodą.



Rys. 3. Schemat procesu wtryskiwania wspomaganego gazem i wodą: a–f — kolejne etapy procesu (por. tekst); 1 — forma wtryskowa, 2 — gniazdo formujące, 3 — dodatkowe gniazdo, 4 — kanał wtryskowy, 5 — dysza wtrysku gazu i wody, 6 — ruchoma przegroda, 7 — dysza odgazowująca/doprowadzająca powietrze, 8 — rozdzielacz hydrauliczny, 9 — zawór [24]  
Fig. 3. Scheme of the process of gas and water assisted injection molding; a–f — subsequent stages of the process (see text); 1 — mold, 2 — cavity, 3 — overflow cavity, 4 — runner, 5 — nozzle for gas or water injection, 6 — movable plate, 7 — degassing/air feeding nozzle, 8 — hydraulic divider, 9 — valve [24]

minowanie niektórych wad obydwu tych metod. Dodatkowo zastosowanie gazu w procesie wtryskiwania wspomaganego wodą prowadzi zwłaszcza do ograniczenia zbyt dużej szybkości zestalania warstwy wewnętrznej wypraski, powodującej niecałkowite wypełnienie gniazda formującego i powstawanie zapadnięć w wypraskach [23, 24]. Etapy procesu wtryskiwania wspomaganego gazem i wodą przedstawiono na rys. 3.

Na pierwszym etapie przez kanał wtryskowy (4) do gniazda formującego (2) doprowadza się ciekłe tworzywo (rys. 3a). Następnie niewielką ilość gazu wtryskuje się do wnętrza tworzywa przez dyszę (5) (rys. 3b), po czym, przez tę samą dyszę wtryskuje się wodę (rys. 3c). Gaz wraz z wodą powodują przepływ tworzywa w kierunku ścianek formy, a jego nadmiar po otwarciu zaworu (6) przepływa do dodatkowego gniazda (3). Gaz może być w tym dodatkowym gnieździe sprężany (rys. 3d), bądź odprowadzany z niego przez zawór (7) (rys. 3e). Na końcowym etapie wodę usuwa się z wnętrza wypraski za pomocą gazu sprężonego w dodatkowym gnieździe lub powietrza doprowadzanego przez zawór (7) (rys. 3f).

Otrzymywane wypraski charakteryzują się dobrą (lepszą niż wypraski wytwarzane metodą wtryskiwania wspomaganego gazem) jakością powierzchni wewnętrznych [23, 24]. Jako gaz wspomagający proces może być zastosowane nawet powietrze, ponieważ ze względu na małą objętość i małe ciśnienie wykorzystywanego gazu nie występuje tutaj możliwość przypalenia tworzywa.

### ZASTOSOWANIE METOD WSPOMAGANEGO WTRYSKIWANIA

Wtryskiwanie wspomaganie gazem lub cieczą łatwo parującą stosuje się zwłaszcza w procesie wytwarzania grubościennych wyprasek, które nie muszą odznaczać się dużą wytrzymałością mechaniczną. Przykładem mogą być elementy zbliżone kształtem do rur, takie jak wieszaki, uchwyty, poręcze lub podłokietniki a także wytwory płaskie o dużych wymiarach np. talerze satelitarne, obudowy maszyn biurowych, meble ogrodowe, panele samochodowe, części wyposażenia samochodów, obudowy telewizorów bądź drukarek.



Rys. 4. Przykłady wyprasek wytworzone metodą wtryskiwania wspomaganego wodą: a) różne wypraski z polipropylenu [12], b) przewody samochodowe [21, 22]  
 Fig. 4. Examples of moldings prepared by water assisted injection molding: a) various polypropylene parts [12], b) automotive pipes [21, 22]

Wtryskiwanie wspomagane wodą wykorzystuje się zaś do otrzymywania wyprasek w postaci tulei, prętów, dużych płaskich przedmiotów z kanałami wodnymi o złożonym przebiegu a także wyprasek o złożonym kształcie i zróżnicowanej grubości ścianek, zwłaszcza tych, które powinny charakteryzować się dobrą jakością powierzchni wewnętrznej. Metodą tą wytwarza się części dla przemysłu motoryzacyjnego, na przykład uchwyty montowane w drzwiach samochodów, przewody transportujące ciekłe media, tablice przyrządów lub pedały sprzęgieł, jak również łopaty, krzesła, meble biurowe, wsporniki, elementy rowerków dla dzieci, składane skrzynki. Przykłady takich wyprasek przedstawiono na rys. 4.

Wtryskiwanie wspomagane układem gaz + woda znalazło zastosowanie w produkcji przedmiotów o złożonym kształcie, takich jak na przykład przewody z długimi kanałami wewnętrznymi, do transportowania ciekłych mediów, kiedy to jest wymagana dobra jakość powierzchni wewnętrznej.

#### PODSUMOWANIE

Przedstawione w niniejszym artykule metody stanowią uzupełnienie wcześniej prezentowanych niekonwencjonalnych technik wtryskiwania [25]. Wtryskiwanie wspomagane wodą lub gazem i wodą pozwala na wytwarzanie wyprasek pustych o złożonej budowie, o właściwościach i cechach powierzchni trudnych, a niekiedy niemożliwych do uzyskania w bardziej rozpowszechnionym procesie wtryskiwania wspomaganego gazem. Ponadto, dzięki lepszym właściwościom chł-

dzącym wody, metodami tymi uzyskuje się skrócenie czasu trwania fazy ochładzania wyprasek, co umożliwia zwiększenie wydajności wytwarzania. Zastosowanie przedstawionych technik wtryskiwania pozwala na zmniejszenie zużycia tworzywa, dzięki czemu obniża się koszty produkcji a także koszty związane z zagospodarowaniem odpadów poużytkowych. Przytoczone przykłady zastosowania świadczą o dużych możliwościach wykorzystania przedstawionych metod wspomaganego wtryskiwania do otrzymywania przedmiotów użytecznych w różnych dziedzinach gospodarki.

#### LITERATURA

1. Pötsch G., Michaeli W.: „Injection Molding. An Introduction”, Hanser Publishers, Munich—Vienna—New York, Hanser/Gardner Publications, Inc., Cincinnati 1995, str. 178—179.
2. Praca zbiorowa: „Konstrukcje z tworzyw sztucznych. Praktyczny poradnik. Zasady doboru materiałów”, Wyd. Alfa-Weka Sp. z o.o., Warszawa 1997, część 14., rozdz. 2.6.
3. Johannaber F.: a) „Kunststoffe Maschiner Führer”, Carl Hanser Verlag, München—Wien 1992, b) „Wtryskarki — Poradnik użytkownika”, Plastech, Warszawa 2000, str. 206—212.
4. Zwierzyński A.: *Mechanik* 2000, nr 11, 787.
5. Osswald T. A., Turng L.-S., Gramann P. J.: „Injection Molding Handbook”, Hanser Publishers, Munich, Hanser Gardner Publications, Inc., Cincinnati 2001, str. 375—383.

6. Szostak M.: *Plast. Rev.* 2002, nr 8 (21), 62.
7. Mulvaney-Johnson L., Woodhead M., Rose M., Dawson A., Gough T. D., Coates P. D.: „A Comparative Study of Gas, Water, Cryogenically Cooled Gas and Supercritical Carbon Dioxide in Melt Injection Moulding”, The Polymer Processing Society, mat. konf. „Twentieth Annual Meeting”, Ohio, USA 2004.
8. „Cooled gas system speeds injection moulding”, Warwick Moulding Technology 2003, [www.engineeringtalk.com/news/wwi/wwi100.html](http://www.engineeringtalk.com/news/wwi/wwi100.html)
9. Zabrzewski B.: *TS Raport* 2002, nr 9—10, 10.
10. Johnson L., Olley P., Coates P. D.: „Modelling of Gas Assisted Injection Moulding and Effects of Processing on Product Mechanical Properties”, The Polymer Processing Society, mat. konf. „Fifteenth Annual Meeting”, s’Hertogenbosh, The Netherlands 1999, p. 2.7.
11. Čatić I., Johannaber F.: „Injekcijsko prešanje polimera i ostalih materijala”, Biblioteka Polimerstvo-Serija Crvena, Zagreb 2004, str. 248—259.
12. Materiały informacyjne firmy Battenfeld, [www.battenfeld.pl](http://www.battenfeld.pl)
13. Kertyński J.: *Tworzywa Sztuczne i Chemia* 2003, nr 3, 60.
14. Filarski R.: „Nowatorskie technologie wtryskiwania” w pracy zbiorowej „Technologie wtryskiwania, jakość i efektywność”, Plastech, Warszawa 2000, str. 53—57.
15. Kerouac K. A., Grelle P. F.: „Innovative Injection Molding Techniques for the Medical Industry”, <http://www.devicelink.com/mddi/archive/98/04/009.html>
16. Sikora R.: „Podstawy przetwórstwa tworzyw wielkocząsteczkowych”, Wyd. Uczelniane Politechniki Lubelskiej, Lublin 1992.
17. Liu S.-J., Lin S.-P.: „Fingerings in Water Assisted Injection Molded Parts”, w [7].
18. Chang R.-Y., Huang C.-T., Yang W.-H., Tsai M.-H., Lu K.-I., Liu S.-J.: „The Investigation of Flow Behavior of Polymeric Melts in the Water Assisted Injection Molding”, SPE ANTEC Tech. Papers 2004, 566.
19. Liu S.-J., Chen Y.-S.: „Water Assisted Injection Molding of Thermoplastic Materials” w [18].
20. Liu S.-J., Wu Y.-C., Lai P.-C.: *Int. Polym. Processing* 2005, 20, 352.
21. Knights M.: „Injection Molding: Water Injection Molding Makes Hollow Part Faster, Lighter. *Plastics Technology*”, <http://www.plasticstechnology.com/articles/200204fa1.html>
22. „Water Assisted Injection Moulding (WAIM)”, <http://www.polyeng.com/fluidassist/WAIM/waim.html>
23. Knights M.: „Water Injection: It’s All Coming Together. *Plastics Technology*”, <http://www.plasticstechnology.com/articles/200509fa1.html>
24. Technological Watch Report, 1: „Special Injection Technologies, Pôle Européen de Plasturgie”, Bellignat 2004 (<http://www.poleplasturgie.com>).
25. Bociąga E.: *Polimery* 2005, 50, 10.

Otrzymano 3 II 2006 r.