

Karol PEPLIŃSKI

e-mail: karolpep@utp.edu.pl

Zakład Inżynierii Materiałowej i Przetwórstwa Tworzyw, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz

## Użycie programu *Ansys-Polyflow* do wspomagania wytwarzania opakowań formowanych rozdmuchowo z preformy

### Wstęp

Formowanie rozdmuchowe jest sposobem obróbki tworzyw polimerowych, w której materiał wejściowy ma postać wytłaczanego węża tworzywa (wytłoczyny) bądź preformy (wytworzonej wcześniej metodą wtryskiwania). Sposób kształtowania wytworów z preformy polega na jego kształtowaniu powyżej temperatury mięknięcia (tworzywa bezpostaciowe) lub temperatury topnienia krystalitów (tworzywa częściowo krystaliczne), a następnie częściowo lub całkowicie dwuosiosemu rozciąganiu pod wpływem ciśnienia wewnętrznego, aż do momentu odwzorowania kształtu gniazda formującego [Rosato, 2004; Norman, 2008; Kutz, 2011].

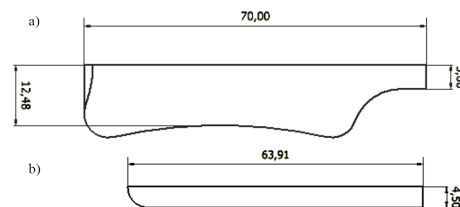
Europejskie dane dotyczące przetwórstwa 49 mln ton tworzyw w roku 2015 [Plastics, 2016] świadczą, iż branża przetwórstwa tworzyw sztucznych odgrywa istotną rolę z punktu widzenia wzrostu gospodarczego dzięki innowacjom w wielu sektorach europejskiej gospodarki, m.in. opakowaniach itp. Liczba przetwarzanych tworzyw ciągle rośnie (średnio 4,5% rocznie), a w Polsce zauważa się tendencje do szybkiego wzrostu zużycia tworzyw sztucznych, co oznacza w porównaniu do roku 2015 (3,1 mln ton) wzrost o 6,1%. Na produkcję opakowań w Europie zużyto ok. 39% przetwarzanych tworzyw sztucznych, w tym około 8% przypadało na technologie rozdmuchowe: wtrysk z rozdmuchem IBM (*Injection Blow Moulding*) i wtrysk z rozdmuchem przy współudziale rozciągania ISBM (*Injection Stretch Blow Molding*) [Euromap, 2017]. Udziały pozostałych technologii były następujące: wytłaczanie 48,1%, wtryskiwanie 27,6%, wytłaczanie z rozdmuchiowaniem EBM (*Extrusion Blow Moulding*) 6,3% i inne 9,7%. Zwłaszcza w obszarze produkcji cienkościennych butelek i opakowań coraz częściej wykorzystuje się technologie IBM i ISBM uznawane jako bezodpadowe.

Jedną z możliwości formowania rozdmuchowego jest kształtowanie opakowań o wybranych cechach geometrycznych rozkładu grubości ścianki poprzez zastosowanie zróżnicowanych danych wejściowych w tym grubości prepojemnika czy stosowanych parametrów technologicznych w trakcie procesu rozdmuchiwania (temperatury, ciśnienia). Możliwości te mogą zostać przedstawione, analizowane jak i ewaluowane poprzez zastosowanie inżynierskich narzędzi do komputerowego wspomaganie wytwarzania, takich jak oprogramowanie *ANSYS-Polyflow* [Kwiatkowski i in., 2015; Sykutera i Pepliński, 2011]. W literaturze naukowej można dostrzec obszary, w których wykorzystanie metod numerycznych spowodowało uzyskanie wytworów rozdmuchiwanych o podwyższonej jakości [Shubham, 2013; Biglione, 2016].

Z powyższych powodów uzasadnione było podjęcie próby numerycznego modelowania procesu formowania rozdmuchowego opakowania typu PET w programie *ANSYS-Polyflow* [Ansys, 2012] w celu uzyskania pożądanego efektu początkowego rozkładu grubości preformy dla osiągnięcia bardziej jednorodnego oraz często zakładanego rozkładu grubości ścianki finalnego opakowania. Stan takiego postępowania pozwala na minimalizowanie masy wyrobów rozdmuchiwanych (względy ekonomiczne, surowcowe i ekologiczne). Modelowanie procesu rozdmuchiwania pozwala na powstanie ulepszonych konstrukcji preform poddawanych rozdmuchiowaniu.

### Modelowanie procesu

**Modele geometryczne i dyskretyzacja.** Do badań numerycznych przyjęto opakowanie typu butelka, którego model przedstawia rys. 1. Dane charakterystyczne tworzywa politereftalanu etylenu (BL 8050), z którego jest wykonane opakowanie zawarto w tab. 1. Na podstawie przyjętego modelu geometrycznego wytworu, wykonano model geometryczny gniazda formy (Rys. 1a) i preformy (Rys. 1b)



Rys. 1. Zarys geometryczny 1/2 części (wymiary w mm):  
a) gniazda formy – opakowania, b) preformy

Następnie modele poddano procesowi dyskretyzacji MES w module *ANSYS Meshing*. W module *Polydata* wyodrębniono dwa podobszary: preforma (podobszar 1), ograniczony czterema granicami oraz formę (podobszar 2).

**Warunki brzegowe** obejmowały:

- powierzchnię swobodną określaną jako obszar modelu powłokowego dla preformy, z atrybutem grubości,
- powierzchnię kontaktu pomiędzy preformą a narzędziem (formą),
- granicę symetrii wytworów ustaloną na podstawie analizy przepływu względem tej granicy.

**Właściwości tworzywa** określono w dalszej części modelowania oraz zdefiniowano wartość ciśnienia podczas formowania rozdmuchowego (Tab. 1).

Tab. 1. Dane charakterystyczne tworzywa PET (BL8050) i założenia wykorzystane podczas symulacji

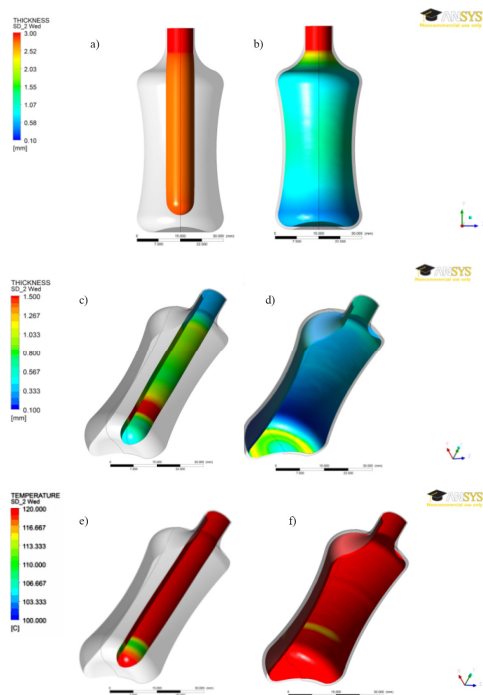
Parametr	Jednostka	Wartość
Gęstość (w temp. 190 °C)	kg/m <sup>3</sup>	1400
Przewodność cieplna	W/(m·K)	0,48
Lepkość pozorna (w temp. 100 °C)	Pa·s	48500
Wstępna grubość ścianki preformy w obszarze rozdmuchu	m	0,0027
Ciśnienie rozdmuchiwania preformy	MPa	1; 2; 4
Wstępna temperatura preformy	°C	100÷120
Zakładany rozkład grubości ścianki opakowania	m	0,0002÷0,0006
Czas trwania rozdmuchiwania preformy	s	0,4

**Metodyka.** Zdefiniowano także czynniki wyjściowe symulacji jako: rozkład grubości ścianki formowanej preformy oraz rozkład temperatury preformy dla zróżnicowanych warunków ciśnienia rozdmuchiwania. Pozwoliło to na skorelowanie zależności pomiędzy oczekiwanym zakresem grubości ścianki a temperaturą nagrzewania. W module *Polyflow* przeprowadzono obliczenia, których rezultatem było wygenerowanie plików tekstowych i graficznych niezbędnych do wizualizacji wyników badań.

Modelowanie procesu odbywało się w kilku etapach, w których informacja o rozkładzie grubości ścianki preformy była wejściową do realizacji kolejnej modyfikacji pola rozkładu grubości ścianki oraz temperaturowego podczas nagrzewania preformy. Jednym z rozważanych kryteriów był także czas rozdmuchiwania preformy do jej pełnego kontaktu z gniazdem formy w zależności od zastosowanych parametrów wejściowych. Przyjęto także w symulacji, iż w wyniku realizowanych kroków optymalizacyjnych, oczekiwanym rozkładem grubości ścianki wytworu rozdmuchanego (główne kryterium oceny) ma być przedział od 0,0002 do 0,0006 m. Szerzej ogólny algorytm zarysu symulacji przedstawiono w pracach [Pepliński i Moser, 2010; 2012; Kwiatkowski i in., 2015].

## Wyniki symulacji i dyskusja

Uwzględnienie założenia o jednakowej początkowej grubości ścianki preformy  $g = 0,0027$  m (rys. 2a) w obszarze rozdmuchiwania spowodowało znaczące zróżnicowanie rozkładu grubości opakowania, a największe pocienienia materiału występowały w narożnikach opakowania (Rys. 2b). Zrealizowane kolejne trzy symulacje ewaluacyjne (optymalizujące), w kierunku powstania zmodyfikowanego i zróżnicowanego pola rozkładu grubości ścianki preformy oraz temperatury dla nagrzanej preformy, znacząco zmniejszyły różnice w grubości ścianki. Umożliwiło to także osiągnięcie bardziej jednorodnych (założonych) rozkładów wartości grubości ścianki finalnego opakowania (Rys. 2 c, d). Największe pozytywne rezultaty w tym zakresie uzyskiwano już po drugiej optymalizacji dla przyjętych trzech zmiennych wartości ciśnienia rozdmuchiwania i zadanego pola temperatury, gdzie z reguły średnio 10% stanowiły obszary opakowania poniżej dolnej granicy grubości ścianki 0,0002 m i powyżej górnej granicy około 5%. W przypadku trzeciej optymalizacji wartości te średnio obniżono do 8% i 4%. Nie uwidoczniło natomiast znaczącego wpływu zadanych trzech wartości ciśnienia rozdmuchiwania (1; 2; 4 MPa) na początkowy rozkład grubości i temperatury ścianki preformy oraz finalnego rozkładu grubości i temperatury ścianki opakowania rozdmuchanego. Zauważono natomiast wyraźny wpływ ciśnienia rozdmuchiwania na czas niezbędny do momentu całkowitego kontaktu rozdmuchanej preformy z gniazdem formy (Tab. 2).



Rys 2. Przykładowe rozważane wartości grubości ścianki i temperatury preformy oraz opakowania (dla ciśnienia rozdmuchiwania 4 MPa): a-b) początkowa wartość grubości preformy oraz końcowy rozkład grubości ścianki opakowania, c-d) pole zmiennego rozkładu grubości dla preformy i finalnego wytworu (dla drugiego kroku optymalizacji), e-f) pole temperatury preformy oraz finalnego wytworu w momencie początkowego kontaktu z gniazdem formy (dla drugiego kroku optymalizacji)

Na podstawie analizy uzyskanych wyników numerycznych stwierdzono, że w przypadku stałej grubości preformy i zróżnicowanego geometrycznie kształtu opakowania uzyskuje się najmniej równomierny rozkład grubości ścianki. W przypadku podjęcia kroków optymalizacyjnych dla przyjętego kryterium wartości rozkładu grubości ścianki opakowania powoduje wygenerowanie geometrii preformy o zmiennej grubości ścianki, co przekłada się na osiągnięcie bardziej równomiernego rozkładu tworzywa w ściance opakowania, a tym samym mniejszego jednostkowego zużycia materiału na jego produkcję, z jednoczesnym zredukowaniem miejsc o nadmiernym pocienieniu, które mogą obniżać walory użytkowe opakowania.

Tab. 2. Wpływ ciśnienia rozdmuchiwania na czas do momentu całkowitego kontaktu rozdmuchanej preformy z gniazdem formy

Ciśnienie rozdmuchiwania, [MPa]	Krok optymalizacji	Czas niezbędny do pełnego kontaktu z formą, [s]
4	Brak optymalizacji	0,10
	1	0,08
	2	0,08
	3	0,06
2	Brak optymalizacji	0,20
	1	0,16
	2	0,15
	3	0,11
1	Brak optymalizacji	0,32
	1	0,30
	2	0,27
	3	0,22

## Wnioski

Oprogramowanie *ANSYS-Polyflow* umożliwia przeprowadzenie eksperymentu numerycznego w zakresie modelowania zjawisk zachodzących podczas procesu formowania rozdmuchowego.

Poprzez sterowanie rozkładem grubości ścianki preformy osiąganym na skutek zadanych kroków optymalizacyjnych dla spełnienia kryterium rozkładu końcowej grubości ścianki opakowania pozwala uzyskać korzystniejszy rozrzut grubości formowanych elementów, co zwłaszcza w przypadku obiektów o rosnącej złożoności geometrycznej stwarza nowe możliwości stosowania technologii formowania rozdmuchowego, także dla wytworów technicznych. Analizy numeryczne obniżają nakłady finansowe i skracają czas uruchamiania produkcji nowych wytworów formowanych rozdmuchowo. Skorelowanie wyników symulacyjnych z próbami rzeczywistymi może znacząco obniżyć koszty ich produkcji np. poprzez zminimalizowanie zużycia jednostkowego tworzywa na wytwór, a także skrócenia składowych czasu cyklu rozdmuchiwania.

Zastosowanie środowisk numerycznych może wspomagać realizację procesów formowania rozdmuchowego w zakresie uzyskiwania oczekiwanego rozkładu grubości ścianki opakowań, co przyczynia się do podwyższenia jakości wytworów przy oszczędności surowców i wzrostu przemysłowej wydajności ich produkcji.

## LITERATURA

- ANSYS-Polyflow. *User's Guide 2012*. (06.2013): <http://www.ansys.com>
- Biglione J., (2016). Numerical simulation and optimization of the injection blow molding of polypropylene bottles - a single stage process. *Int. J. Mat. Forming*, 9(4) 471-487. DOI: 10.1007/s12289-015-1234-y
- Euromap. *Energy Efficiency: Plastics and rubber machines well placed!* (07.2017): <http://www.euromap.org>
- Kutz M., (2011). *Applied plastics engineering handbook. Processing and materials*. Elsevier, USA
- Kwiatkowski D., Modławski M., Jaruga T., (2015). Symulacje komputerowe grubości ścianki butelki uzyskiwanej w procesie wytłaczania z rozdmuchiwaniem. *Przetw. Tworzyw*, 3(165) 256-262
- Norman C. L., (2008). *Blow molding design guide*. Carl Hanser Verlag, Munich
- Rosato D. V., (2004). *Blow Molding Handbook*. Hanser Publisher, Munich
- Pepliński K., Mozer A., (2010). Ansys-Polyflow software use to select the parison diameter and its thickness distribution in blowing extrusion. *J. Polish CIMAC*, 5(3) 143-148
- Pepliński K., Mozer A., (2012). Comparison of bottle wall thickness distribution obtain in real manufacturing conditions and in Ansys Polyflow simulation environment. *J. Polish CIMAC*, 7(3), 231-235
- Plastics – the Facts 2016. *An analysis of European plastics production, demand and waste data* (07.2017): <http://www.plasticseurope.org>
- Shubham G., (2013). Simulation of blow molding using Ansys Polyflow. *APCBEE Procedia*, 5, 468 – 473. DOI: 10.1016/j.apcb.2013.05.079
- Sykutera D., Pepliński K., (2011): Zastosowanie programu Ansys-Polyflow do wspomaganie wytwarzania opakowań formowanych próżniowo. *Inż. Ap. Chem.* 50(3) 73-74