

Karol PEPLIŃSKI

Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy,
Wydział Inżynierii Mechanicznej, Instytut Technik Wytwarzania, Zakład Inżynierii Materiałowej
i Przetwórstwa Tworzyw

Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz

e-mail: karolpep@utp.edu.pl

Ocena wpływu charakterystyki geometrycznej dyszy głowicy wylączarskiej i zawartości recyklatu na jakość rozdmuchiwaných wytworów technicznych

Streszczenie: Wylączanie z rozdmuchiowaniem w formie jest procesem technologicznym przetwórstwa tworzyw polimerowych o rosnącej popularności rynkowej wynikającej z wzrostu zapotrzebowania na opakowania wytwarzane tą techniką dla kosmetyków jak i również wytworów stricte technicznych wykorzystywanych m.in. w motoryzacji. Realizacja procesu wylączania z rozdmuchiowaniem w układzie roboczym maszyny jest składową wielu czynników między innymi przetwórczych, narzędziowych i materiałowych, które wpływają na jakość wytworu wewnątrz pustego. W pracy przedstawiono ocenę wpływu wymiarów geometrycznych dyszy głowicy wylączarskiej akumulacyjnej oraz zmiennej zawartości recyklatu PE-HD we wsadzie pierwotnym, na jakość wykonywanego wytworu rozdmuchiwanego w odniesieniu do masy oraz grubości ścianki wytworu w przyjętych punktach. Dokonano także oceny wybranych wskaźników jakości i wydajności zrealizowanego procesu.

Słowa kluczowe: wylączanie z rozdmuchiowaniem, dysza głowicy, grubość ścianki, masa wytworu, wskaźniki oceny procesu

ASSESS OF THE EXTRUSION DIE GAP GEOMETRIC CHARACTERISTICS AND RECYCLAT CONTENT IMPACT ON THE TECHNICAL BLOWING PRODUCT QUALITY

Abstract: Extrusion blow molding is a technological process for the processing of polymeric materials with increasing market popularity resulting from increased demand for packaging made with this technique for cosmetics and technical product used in the car industry. Implementation of the extrusion blow molding process in the work polymer processing system is determined by many factors: processing, tooling and materials, which influence on the final hollow product quality. In research work describe assessments of the extrusion die gap geometrical characteristics and different PE-HD recycilat content impact on the technical blowing product quality, in relation to mass and wall thickness. Moreover, evaluation was performed for chosen quality and efficiency indicators in the realizing process.

Keywords: extrusion blow molding, die gap, wall thickness, blowing product mass, assessment process indicators.

1. WPROWADZENIE

Wylączanie z rozdmuchiowaniem w formie (EBM, extrusion blow molding) jest jednym z głównych procesów technologicznych wykorzystywanych w przemyśle rozdmuchiwania tworzyw. Obok niego znaczenie posiada wtryskiwanie z rozdmuchiowaniem (IBM, injection

blow molding) i wtryskiwanie z rozdmuchiowaniem przy współdziałaniu rozciągania mechanicznego (ISBM, injection stretch blow molding). Wylączanie z rozdmuchiowaniem zajmuje największy udział wśród trzech tych technologii. Ocenia się, iż przetwórstwo wylączania z rozdmuchiowaniem wzrasta ilościowo rok rocznie od 3 do 5% [1].

Wyłaczanie z rodmuchiwaniem w zdecydowanej przewadze jako materiał podstawowy wykorzystuje polietylen dużej gęstości (PE-HD). Europejskie zapotrzebowanie na PE-HD dla szeroko rozumianych technologii przetwórstwa tworzyw polimerowych w roku 2015 stanowiło 12,1% ogólnej produkcji tworzyw [2]. Tenże rodzaj tworzywa jest wykorzystywany do produkcji opakowań rodmuchowych na kosmetyki i do wszelkiego rodzaju wytworów technicznych. Także coraz częściej prowadzi się badania nad możliwością zastosowania zupełnie nowych tworzyw polimerowych w tym pochodzenia naturalnego [3], czy możliwości stosowania zupełnie nowych możliwości chłodzenia gniazd narzędziowych [4]. Obecnie w przypadku realizacji procesów technologicznych przetwórstwa tworzyw mówi się o efektywności w tym efektywności energetycznej z uwagi na rosnące koszty energii, a także bycia wyraźnie konkurencyjnym na rynku. Ocenę wpływu wybranych procesów przetwórstwa tworzy na środowisko naturalne przeprowadza się także w ujęciu kryteriów uwzględnianych w metodzie LCA (ang. life cycle assessment) [5].

2. PROCES WYTŁACZANIA Z ROZDMUCHIWANIEM WYTWORÓW

W procesie wytłaczania z rodmuchiwaniem w formie wytworów technicznych, w wytłaczarce następuje uplastycznienie tworzywa z granulatu lub mieszaniny recyklat-granulat. Tworzywo kierowane jest do kątowej głowicy wytłaczarskiej z akumulatorem stopionego tworzywa, skąd wytłoczyna w kształcie grubościennej rury (tzw. wąż tworzywa) o określonym przekroju poprzecznym i długości jest umieszczany w formie rodmuchowej, zgrzewany w strefie zgniotu i odcinany. Głowica wytłaczarska z akumulatorem stopionego tworzywa ma zastosowanie dla masy wytłaczanego węża tworzywa powyżej 2 kg. Także w przypadku średnic wytłaczanego węża tworzywa przewyższających 130 mm stosuje się głowice o charakterystyce rozbieżnej ustnika dyszy wytłaczarskiej [6]. W tych

wypadkach cykl wytłaczania węża tworzywa odbywa się w sposób nieciągły. Szybkie wytłaczanie redukuje tendencję do rozciągania węża tworzywa pod własnym ciężarem. Zgrzewanie i przygotowanie do odcinania węża tworzywa następuje wskutek specjalnie ukształtowanych elementów na powierzchni podziału formy lub dodatkowych listew zgrzewających. Rozdmuchiwanie sprężonym powietrzem za pośrednictwem trzpienia rodmuchowego następuje aż do momentu zetknięcia się tworzywa ze ściankami gniazda formującego i odwzorowania struktury jego powierzchni [7]. Ostatecznie rodmuchany wytwór, po uprzednim ochłodzeniu w gnieździe formującym, opuszcza formę, po czym usuwa się odpady rodmuchowe w stacji wykańczającej (bądź częściowo ręcznie w przypadku wytworów technicznych o złożonej konstrukcji), skąd wytwór trafia do stacji kontroli jakości i do magazynu wyrobów gotowych. W przypadku wytworów technicznych o złożonej geometrii niejednokrotnie powstają znaczące wartości odpadów technologicznych (od 60 do 85%), które z punktu racjonalnego gospodarowania materiałami polimerowymi muszą zostać poddane jak najszybciej procesowi recyklingu bezpośrednio w linii. Odpady technologiczne zazwyczaj po bezpośrednim oddzieleniu od części docelowej posiadają nadal pewien zasób energii cieplnej, która pozostaje w przygotowanym recyklocie (np. szacowana temperatura recyklatu to ok. 30÷40°C) i jest spożytkowana na obniżenie energochłonności procesu uplastycznienia tworzywa polimerowego. Pomocnym narzędziem umożliwiającym uzyskanie określonego początkowego rozkładu grubości wytłaczanego węża tworzywa w celu uzyskania równomiernego lub zamierzonego rozkładu grubości ścinki wytworu końcowego może być oprogramowanie Ansys-Polyflow [8, 9, 10].

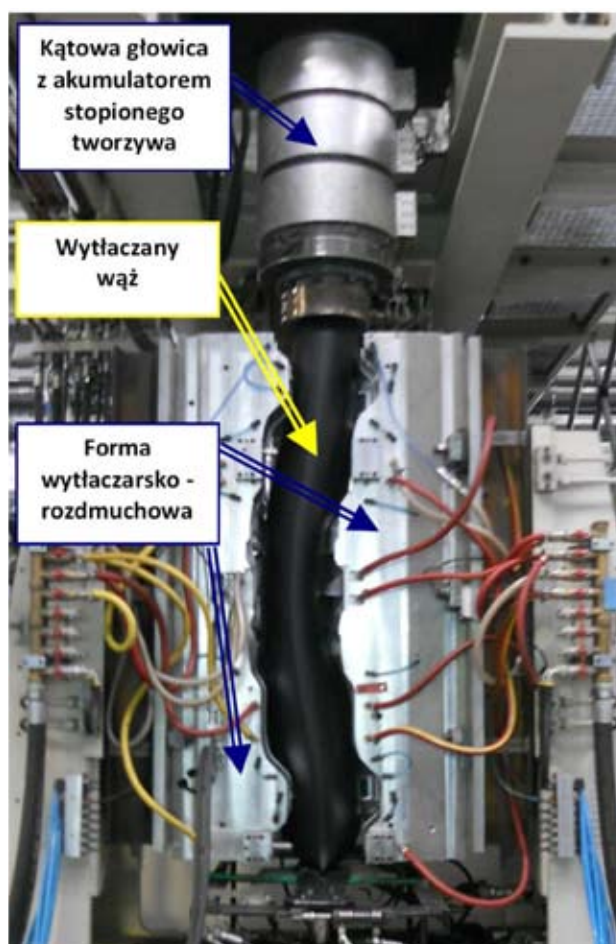
Efektywność wytłaczania z rodmuchiwaniem może być determinowana przez różnego typu czynniki, np. konstrukcje ślimaka, modyfikację tworzywa polimerowego, stan techniczny maszyny (wytłaczarki), konstrukcję formy, stan techniczny urządzeń peryferyjnych itp. Analizu-

jąć efektywność procesu wylączania bierze się pod uwagę określone kryteria i metody oceny tej efektywności oraz wpływ cech konstrukcyjnych poszczególnych maszyn i narzędzi biorących udział w procesie przetwórczym. Wśród kryteriów pozwalających dokonać oceny efektywności procesu wylączania wyróżnia się kryteria jakościowe, ilościowe i eksploatacyjne [7,11]. Oznaczenie masy wytworu rozdmuchiwanego może być miernikiem jakości i poprawności procesu przetwórstwa, bowiem we właściwie ustalonych warunkach przetwórstwa uzyskuje się wytwory o określonym ciężarze wyróżniające się dobrymi właściwościami mechanicznymi i użytkowymi w założonym przez konstruktora przyjętym polu tolerancji [11].

Celem opisanych w pracy badań jest ustalenie wpływu wartości bazowej szczeliny wyjściowej ustnika dyszy głowicy wylączarskiej w_i oraz zawartości recyklatu U_r na masę odpadu technologicznego i wytworu oraz grubość ścianki. Celem dodatkowym jest także dokonanie oceny wybranych wskaźników do oceny jakości i wydajności procesu wylączania z rozdmuchiwaniem zaproponowanych w [8], a szerzej scharakteryzowanych w punkcie 3 niniejszej pracy.

3. CHARAKTERYSTYKA BADAŃ

Do realizacji zadania badawczego oceny wpływu wartości szerokości szczeliny wyjścio-



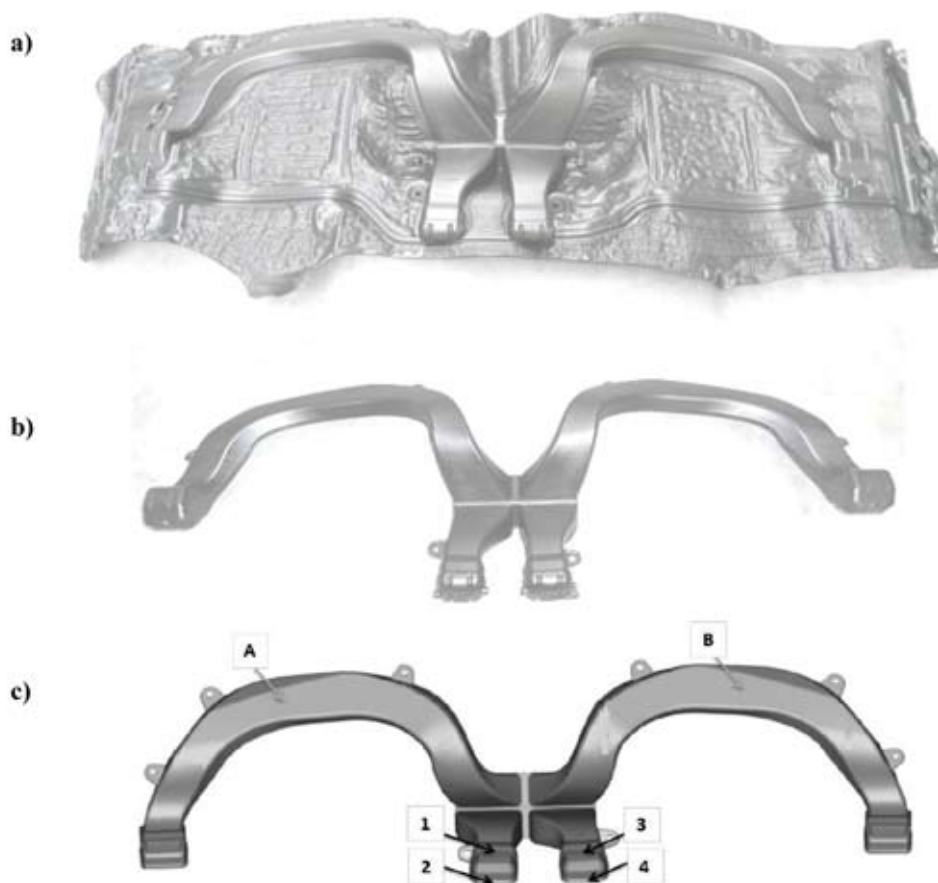
Rys. 1. Układ roboczy wylączania z rozdmuchiwaniem – wylączony wąż tworzywa w momencie umiejscawiania w formie rozdmuchowej [9]

Fig. 1. Extrusion blow molding work plastic processing system – extruded parison during closing in the mold

wej ustnika głowicy akumulacyjnej oraz stopnia zawartości recyklatu na jakość wykonywanej części w odniesieniu do jej wartości masy oraz grubości ścianki w miejscach ustalonych, wykorzystano maszynę do wytłaczania z rozdmuchiwaniem typu Battenfeld VK3-200 wraz formą rozdmuchową (rys. 1). Próby technologiczne realizowano w warunkach przemysłowych (Zakład Produkcji Form, Narzędzi Specjalnych i Przetwórstwa Tworzyw Sztucznych „GRAFORM”). Stanowisko miało częściowo zautomatyzowaną stację usuwania odpadów technologicznych. Omawianą wytwarzaną częścią jest kolektor dolotowy nadmuchu powietrza pojazdu osobowego (rys. 2). Badania są rozszerzeniem wyników przedstawionych w publikacjach [12, 13].

Materiałem, z którego wykonywano wytwór techniczny jest polietylen dużej gęstości o nazwie handlowej Marlex HHM 5502 BN o masowym wskaźniku szybkości płynięcia wynoszącym 0,35g/10min. Zalecane temperatury przetwórstwa dla tego rodzaju materiału mieszczą się w granicach 171÷204 °C. W realizowanym procesie temperatura wytłaczanego węża tworzywa wynosiła około 195 °C, ciśnienie rozdmuchiwania 0,8 MPa, czas cyklu 68 s, temperatura chłodzenia formy 16 °C ± 2°C.

Do realizacji procesu rozdmuchiwania wykorzystywano również to samo tworzywo w postaci recyklatu wytworzonego w linii z odpadów technologicznych, w postaci odpowiedniej mieszanki recyklat-tworzywo.



Rys. 2. Rozważane postacie wytworu końcowego; a) wraz z odpadem technologicznym, b) z usuniętym odpadem technologicznym c) model CAD3D wraz punktami pomiarowymi w których powinny być zachowane określona tolerancja grubości ścianki [9]

Fig. 2. Final blowing parts: a) parts with technological scrap, b) without blowing scrap, c) CAD3D model with measure points in which should be behave thickness tolerance [9]

Stosowano następujące zmienne udziały recyklatu U_r (10, 40, 70, 100 %). Każdorazowo homogeniczny wsad materiałowy był przygotowywany za pośrednictwem grawimetrycznego mieszalnika Maguire 400 Series.

Badania realizowano także w zakresie zmiennych podstawowych wartości nastaw ustnika dyszy głowicy wylączarskiej przy zastosowaniu wartości bazowej szczeliny wyjściowej ustnika dyszy w zakresie czterech przyjętych zmiennych wartości $w_i = 4$ (9; 9,5; 10; 10,5 mm). Każdorazowo wytwarzano po 12 próbek badawczych. Zgodnie z wcześniej zrealizo-

wanymi badaniami [12] obecny eksperyment zawężono do górnej wartości szczeliny ustnika dyszy wylączarskiej w_d z uwagi na dalsze znaczące przekraczanie dopuszczalnej górnej granicy masy wytworu finalnego niemieszczącej się w specyfikacji odbiorczej produktu. Plan badawczy zdefiniowano w tabeli 1.

W wyniku przyjętych w badaniach zmiennych ustalono wpływ wartości szczeliny ustnika dyszy głowicy wylączarskiej w_i oraz zawartości recyklatu U_r na masę wytworu i odpadu technologicznego oraz grubość ścianki w ustalonych punktach pomiarowych (rys. 2c). Na

Tab. 1. Rozpatrywany plan badawczy

Tab. 1. Research plan

Oznaczenie badań (w_i ; U_r)	Zmienne	
	w_i , mm	U_r , %
9-10	9	10
9-40	9	40
9-70	9	70
9-100	9	100
9,5-10	9,5	10
9,5-40	9,5	40
9,5-70	9,5	70
9,5-100	9,5	100
10-10	10	10
10-40	10	40
10-70	10	70
10-100	10	100
10,5-10	10,5	10
10,5-40	10,5	40
10,5-70	10,5	70
10,5-100	10,5	100

podstawie zrealizowanych badań wyznaczono kompleksowy wskaźnik oceny procesu wytłaczania z rozdmuchiwaniami Q zapisany w następującej postaci:

$$Q = \sqrt{K_{re} \cdot K_{wt} \cdot K_{Rg}} \quad (1)$$

$$[Q \in (0 \div 1 >)]$$

gdzie:

K_{re} - wskaźnik wykorzystania recyklatu (przyjęto: tworzywo z 10% zawartością recyklatu);

$K_{re10\%} = 0,1; K_{re40\%} = 0,4; K_{re70\%} = 0,7; K_{re100\%} = 1$; [$K_{re} \in (0 \div 1 >)$],

$K_{wt} = \frac{m_c}{m_w}$ - wskaźnik wykorzystania tworzywa,

m_c - masa tworzywa zużytego na jeden wytwór w procesie wytłaczania z rozdmuchiwaniami, m_w - masa wytworu; [$K_{wt} \in (0 \div 1 >)$],

$K_{Rg} = \frac{g_{min} - g_{max}}{g_{max}}$ - wskaźnik rozrzutu grubości ścianki wytworu, g_{max} - maksymalna grubość ścianki, g_{min} - minimalna grubość ścianki; [$K_{Rg} \in (0 \div 1 >)$].

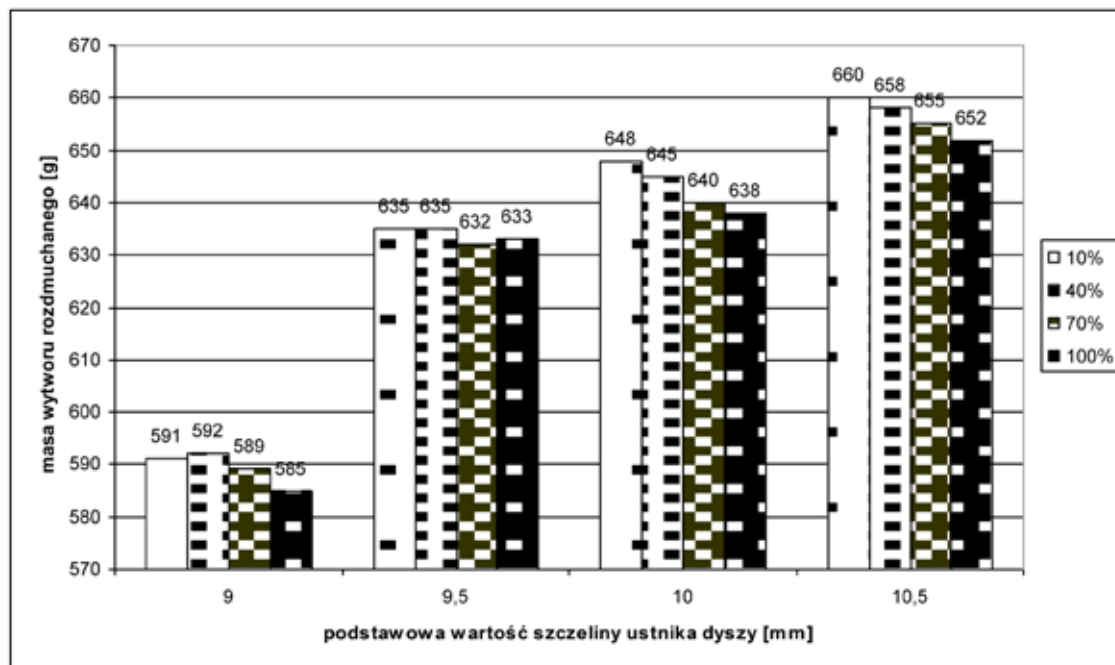
Wedle przyjętego kryterium wartości masy, masa wytworu powinna wynosić 620 g \pm 31 g (część zgodna wagowo) przy zachowaniu kryterium wartości grubości ścianki obszarów mon-

tażowych (1, 2, 3, 4) wynoszącym 1,0 $^{+0,2}_{-0,2}$ mm oraz grubość ścianki wytworu w obszarze A i B w granicach grubości 1,4 $^{+0,4}_{-0,3}$ mm (część zgodna wymiarowo). Punkty te wskazano na rysunku 2c.

W wyniku realizacji procesu wytłaczania z rozdmuchiwaniami otrzymano wytwory techniczne z nadładkiem technologicznym, który przy wykorzystaniu stacji wykańczającej został usuwany i kierowany na stanowisko recyklingu. Przy wykorzystaniu wagi laboratoryjnej w zakresie pomiaru do 5 kg i dokładności 0,01 g dokonywano oceny masy wytworów. Następnie przy zastosowaniu urządzenia pomiarowego Magna Mike 8500 GE Panametric przeprowadzono pomiary grubości ścianki w oznaczonych miejscach.

4. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

W wyniku przeprowadzonych pomiarów grubości ścianki jak i masy wytworów otrzy-



Rys. 3. Zmiana masy wytworu rozdmuchanego w zależności od nastaw wartości wielkości szczeliny ustnika dyszy w głowicy akumulacyjnej oraz zawartości recyklatu

Fig. 3. Blowing part mass changing in depending on the extruded die gap value and recycle content

Tab. 2. Zakres wartości grubości ścianki wytworu technicznego w wyznaczonych miejscach pomiarowych oraz wartości wskaźników

Tab. 2. Range of wall thickness values in technical product at designated measurement location and indicators value

Oznaczenie badań ($w_i; U_r$)	Masa m [g]			Grubość ścianki w określonych punktach pomiarowych g [mm]						Wskaźnik				
	m_{wot}	m_{ot}	m_w	1	2	3	4	A	B	K_{re}	K_{wt}	K_{Kg}	Q	Q_{br}
9-10	3439	2848	591	0,97	0,76	0,94	1	1,43	1,57	0,1	0,17	0,48	0,09	0,29
9-40	3441	2849	592	0,97	0,77	0,96	1,1	1,44	1,59	0,4	0,17	0,48	0,18	0,29
9-70	3441	2852	589	0,95	0,75	0,95	1	1,39	1,67	0,7	0,17	0,45	0,23	0,28
9-100	3454	2869	585	0,92	0,78	0,98	1,1	1,3	1,7	1	0,17	0,46	0,28	0,28
9,5-10	3683	3048	635	1	0,8	1	0,98	1,46	1,66	0,1	0,17	0,48	0,09	0,29
9,5-40	3687	3052	635	0,98	0,78	0,99	1	1,46	1,65	0,4	0,17	0,47	0,18	0,29
9,5-70	3696	3064	632	0,95	0,75	1	1	1,42	1,72	0,7	0,17	0,44	0,23	0,27
9,5-100	3703	3070	633	0,93	0,76	1,1	1,15	1,36	1,81	1	0,17	0,42	0,27	0,27
10-10	4000	3352	648	1,12	0,84	0,94	1,08	1,52	1,71	0,1	0,16	0,49	0,09	0,28
10-40	4001	3356	645	1,1	0,84	0,93	1,05	1,5	1,7	0,4	0,16	0,49	0,18	0,28
10-70	4004	3364	640	1	0,8	0,95	1,1	1,48	1,77	0,7	0,16	0,45	0,22	0,27
10-100	4010	3372	638	0,95	0,76	0,99	1,2	1,32	1,89	1	0,16	0,40	0,25	0,25
10,5-10	4122	3462	660	1,11	0,87	1,02	1	1,59	1,72	0,1	0,16	0,51	0,09	0,28
10,5-40	4126	3468	658	1,12	0,88	1,02	1	1,58	1,72	0,4	0,16	0,51	0,18	0,29
10,5-70	4131	3476	655	1,05	0,83	1,05	1,1	1,42	1,78	0,7	0,16	0,47	0,23	0,27
10,5-100	4137	3485	652	0,98	0,86	1,12	1,25	1,38	1,94	1	0,16	0,44	0,26	0,26

m_{wot} – średnia masa wytworu wraz odpadem technologicznym

m_{ot} – średnia masa odpadu technologicznego

m_w – średnia masa rozdmuchanego wytworu końcowego

Q_{br} - kompleksowy wskaźnik oceny wytłaczania z rozdmuchiwaniem bez uwzględniania wskaźnika K_{re}

mano wyniki, których średnie (masa wytworu z odpadem technologicznym, masa odpadu technologicznego, masa wytworu, grubości ścianki w określonych punktach) zamieszczono w tabeli 2.

Spełnienie kryterium wartości masy wytworu jest dla przypadku w którym bazowa wartość szczeliny ustnika głowicy wytłaczarskiej mieści się w zakresie 9,5 i 10 mm oraz dowolnej zawartości recyklatu U_r . Kryterium to jest również spełnione dla $w_1 = 9$ mm oraz $U_r = 10; 40; 70$ %. W przypadku $U_r = 100$ % wartość masy wytworu jest zaniżona o 4 g. W przypadku $w_4 = 10,5$ mm górne wartości masy są przekroczone odpowiednio o: 9; 7; 4 i 1 g. Na rys. 3 i w tab. 2 zobrazowano te wartości. Zauważa się także praktycznie każdorazowo, iż w ustalonych warunkach przetwórstwa zwiększanie udziału recyklatu przyczynia się do obniżania masy wytworu końcowego, przy rosnącej masie całkowitego wytłoczonego węża tworzywa (od 2,5 do 5,4 %). Spełnienie kryterium wartości grubości ścianki wytworu, w punktach 1, 2, 3, 4 jest spełnione w zakresie zrealizowanego planu badawczego. Jedynie dla przypadku szczeliny ustnika dyszy $w_1 = 9$ mm i $w_2 = 9,5$ mm w punkcie 2 jest nieznacznie przekroczone poniżej dolnej granicy tolerancji – maksymalnie o wartość 0,05 mm. W odniesieniu do punktów A i B wartość grubości ścianki mieści się w zakładanym polu tolerancji, jedynie w trzech przypadkach przekracza górną granicę tolerancji maksymalnie o 0,19 mm. Rozbieżności grubości ścianki w punktach A, B wahają się od 8 do 29 %, a średnio w zakresie badawczym o ok. 16 %.

Analizy wyników badań zostały także opisane za pośrednictwem wyznaczonych wskaźników do oceny jakości i wydajności procesu wytłaczania z rozdmuchiwanym Q. Przyjęto kryterium wyznaczenia wskaźnika Q z uwzględnieniem stopnia wykorzystania recyklatu K_{re} jak i wskaźnika Q_{br} nie uwzględniającego K_{re} . W przypadku rosnącej zawartości recyklatu każdorazowo wskaźnik Q przybiera

wartości wyższe tj. maksymalnie w zakresie $0,25 \div 0,28$. W przypadku niskiej zawartości recyklatu (10%) w objętości wsadu materiałowego wskaźnik przybiera wartości w granicy 0,09. Głównym determinantem wpływającym na wartość wskaźnika Q jest wskaźnik elementarny K_{re} . Brak uwzględnienia tego wskaźnika w ocenie procesu powoduje, że wskaźnik Q_{br} we wszystkich przypadkach mieści się w zakresie wartości $0,25 \div 0,29$. Pozostałym determinantem wpływającym na stosunkowo niską wartość wyznaczanych wskaźników Q i Q_{br} jest wskaźnik elementarny $K_{wt} = 0,16; 0,17$. Niska wartość tego wskaźnika wynika z geometrii samego wytworu końcowego i specyfiki realizacji procesu wytłaczania z rozdmuchiwanym. Złożona geometria wytworu rozdmuchiwanego determinuje konieczność wytłaczania węża tworzywa o stosunkowo dużej średnicy a jednocześnie przyczynia się do powstawania znacznych ilości odpadu technologicznego nawet w granicach 84 %. Dodatkowo na wartości wskaźników Q i Q_{br} wpływają stosunkowo duże rozbieżności w rozkładzie grubości ścianki wytworu finalnego w punktach A, B i 1-4 wynoszące od 40 do 51 %. W obecnie realizowanej technologii wytłaczania z rozdmuchiwanym i specyfiki geometrii wytworu nie ma znaczącej możliwości podwyższenia elementarnych wartości wskaźnika K_{wt} i K_{Rg} . Jedynym możliwym działaniem w tym kierunku była by próba zaprogramowania takiego profilu geometrycznego wytłaczanego węża tworzywa, który niwelowałby nadmierną wartość materiału w miejscu powstawania odpadów technologicznych, a jednocześnie przyczyniałby się do bardziej równomiernego rozkładu tworzywa polimerowego w gnieździe formującym w trakcie jego rozdmuchiwania.

Z punktu widzenia oceny jakościowej, ekonomicznej i środowiskowej realizacji procesu wskazane było by zastosowanie stosunkowo dużego udziału recyklatu na poziomie od 70 do 100% i jak najmniejszej bazowej nastawy ustnika dyszy

wylączarskiej w_i . Uwzględniając także kryteria spełnienia tolerancji rozkładu grubości ścianki wyróżnić można cztery priorytetowe przypadki dla realizowania rozpatrywanego procesu wylączania z rozdmuchiwaniem, do których zaliczono wybrane zrealizowane poziomy badawcze przedstawione i oznaczone w tabeli 1 jako: 10-70; 9,5-100; 9,5-70, 9-100. Z punktu widzenia całościowego spełnienia wszystkich kryteriów (masy, grubości ścianki) jest to przypadek 10-70, a w odniesieniu do minimalnego zużycia wsadu polimerowego i maksymalnego wykorzystania recyklatu to: 9-100; 9,5-100; 9,5-70; 9-100.

5. PODSUMOWANIE

Proces wylączania z rozdmuchiwaniem w formie umożliwia formowanie wytworów wewnątrz pustych, w tym technicznych, o różnym stopniu złożoności geometrycznej, na skutek wylączania węża tworzywa i jego rozdmuchiwania w gnieździe formującym.

Zrealizowane badania miały na celu ocenę wpływu wybranych cech konstrukcyjnych tj. wpływu charakterystyki geometrycznej dyszy głowicy wylączarskiej (szerokości szczeliny ustnika dyszy) i cech materiałowych tj. udziału recyklatu we wsadzie pierwotnym tworzywa, na wybrane cechy jakościowe wytworów, głównie masę i grubość ścianki. Stwierdza się, że zarówno rozważane cechy konstrukcyjne jak i materiałowe wpływają na jakość rozdmuchiwanych wytworów technicznych i wartości analizowanych w pracy wskaźników oceny procesu wylączania z rozdmuchiwaniem.

Dla spełnienia określonych założeń związanych z kryterium zachowania masy wytworu rozdmuchanego i rozkładu grubości ścianki, niezmiernie istotnym jest dobór odpowiednich cech konstrukcyjnych i materiałowych, co w analizowanym przypadku oznacza określoną szerokość szczeliny dyszy głowicy wylączarskiej, a także odpowiedniej zawartości recyklatu.

Spełnienie kryterium wartości masy wytworu jest dla przypadku w którym bazowa wartość szczeliny ustnika głowicy wylączarskiej mieści się w zakresie 9,5 i 10 mm i stosowana jest dowolna zawartość recyklatu, z kolei spełnienie kryterium wartości grubości ścianki wytworu jest zachowane w większości przypadków, poza elementarnymi wskazanymi w analizie wyników badań.

Zwiększenie wartości szczeliny ustnika głowicy wylączarskiej każdorazowo wpływa na wzrost masy wytworu rozdmuchwanego. Także w analizowanych przypadkach istotny jest wpływ zawartości recyklatu na wartość masy wytworu. Zwiększanie udziału recyklatu we wsadzie pierwotnym tworzywa powoduje spadek masy wytworu rozdmuchanego przy rosnącej masie całkowitego wytłoczonego węża tworzywa.

Z punktu widzenia energetycznego realizacji procesu winno się wylaczać profil węża tworzywa przy zachowaniu wartości szczeliny wyjściowej dyszy o wartości 9 mm lub 9,5 mm. W rozważanym przypadku produkcyjnym zastosowanie szczeliny dyszy o wartości 9 mm umożliwia zaoszczędzenie tworzywa o masie około 250 g na każdy wytwór w stosunku do nastawy 9,5 mm. Każdorazowo prawie całkowita masa tworzywa jest zawarta w odpadzie technologicznym, a współczynnik wykorzystania tworzywa K_{wt} przybiera stosunkowo niskie wartości w zakresie 0,16÷0,17. Na kompleksowy wskaźnik Q_i oceny procesu wylączania z rozdmuchiwaniem mają wpływ wybrane wskaźniki K_i , przy czym największy wpływ ma wskaźnik wykorzystania recyklatu K_{re} .

Z punktu widzenia podania nowych wytycznych do realizacji rozważanego procesu wylączania z rozdmuchiwaniem powinno się uwzględnić koniczność przeprowadzenia procedury optymalizacji rozkładu grubości wytłaczanego węża tworzywa. Mając na uwadze, iż w trakcie wylączania węża tworzywa następuje jego rozciąganie pod własnym ciężarem,

a grubość wytworu w punkcie A jest głównie w środkowym polu tolerancji (ok. 1,44 mm), z kolei w punkcie B, w wyniku braku znaczącego rozciągania grawitacyjnego wytłaczanego węża tworzywa, znacząco zbliża się do górnej granicy pola tolerancji (ok. 1,73 mm). Wskazówką mogłoby być podjęcie próby obniżenia zakresu wartości grubości wytłaczanego węża tworzywa w jego dolnej części (pkt. B).

BIBLIOGRAFIA

1. Kutz M.: *Applied plastics engineering handbook. Processing and materials*. Elsevier, USA 2011.
2. *Plastics – the Facts 2016. An analysis of European plastics production, demand and waste data*. www.plasticseurope.org (04-07-2017).
3. Rodríguez-Castellanos W., Martínez-Bustos F., Rodrigue D. i inni: *Extrusion blow molding of a starch–gelatin polymer matrix reinforced with cellulose*. *European Polymer Journal* 2015, 73, 335–343.
4. Pepliński K., Bieliński M.: *Prototype modular inserts to boost the cooling of mold cavities in polymer processing*. *Polimery* 2015, 11–12, 747–750.
5. Elduque A., Elduque D., Javierre C., i inni: *Environmental impact analysis of the injection molding process: analysis of the processing of high-density polyethylene parts*. *Journal of Cleaner Production* 2015, 108, 80–89.
6. Norman, C. L.: *Blow molding design guide*. Carl hanser Verlag, Munich 2008.
7. Pepliński, K., Bieliński, M.: *Właściwości przetwórcze i użytkowe pojemników wytwarzanych w procesie wytłaczania z rozdmuchiwaniem w zmiennych warunkach przetwórstwa – ocena wydajności i jakości procesu*. *Polimery* 2009, 6, 448–456
8. Pepliński K., Mozer A.: *Comparison of bottle wall thickness distribution obtain in real manufacturing conditions and in Ansys Polyflow simulation environment*. *Journal of Polish CIMAC*, Vol. 7, no 3, s.231-235, Gdańsk 2012.
9. Pepliński K., Mozer A.: *Ansys-Polyflow software use to select the parison diameter and its thickness distribution in blowing extrusion*. *Journal of Polish CIMAC*, 5, Gdańsk 2010.
10. Pepliński, K., Bieliński, M.: *Polyflow software use to optimize the parison thickness in blowing extrusion*. *Journal of Polish CIMAC*, 4, Gdańsk 2009.
11. Sikora R., Garbacz T.: *Ocena jakości wytworów otrzymanych metodą wytłaczania z rozdmuchiwaniem*. *Polimery* 2001, 7–8, 540–545. Pepliński K.: *Assessments of the impact extrusion die gap on the quality in technical blowing*. *Journal of Polish CIMAC* 2015, 8, 3, 63–67.
12. Pepliński K.: *Assessments of the impact extrusion die gap on the quality in technical blowing*. *Journal of Polish CIMAC* 2015, 8, 3, 63–67.
13. Pepliński K.: *Impact assessment of the uniformity mixing recycled and virgin polymers on the technical extrusion blow molding efficiency*. *Journal of Polish CIMEEAC* 2015, 10, 1, 127–132.

Data wpłynięcia artykułu do redakcji: 09-06-2017

Data akceptacji publikacji do druku: 05-07-2017