

ROBERT SIKORA, TOMASZ GARBACZ

Politechnika Lubelska, Katedra Procesów Polimerowych
ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin
e-mail: kptw@archimedes.pol.lublin.pl

Ocena jakości wytworów otrzymywanych metodą wytłaczania z rozdmuchiwaniem

THE ASSESSMENT OF BLOW-EXTRUDED PRODUCT QUALITY

Summary — The correctness of manufacturing of Lublin II delivery truck's main fuel tanks (Daewoo Motor Poland) was studied in relation to blowing extrusion operating parameters. The tanks were blow-extruded from Solvay's Eltex RSB 714 MDPE on a Uniloy's M 100S processing line (Fig. 5). The weight of the tank was adopted as the criterion for tank quality. The temperatures in the individual heating zones of the plasticating system were 100, 205, 208 and 210°C; the temperatures in the extruder head zones were 212°C and 210°C; the time of the complete blow extrusion cycle was 164 s. The empirical distribution of fuel tank weights (Table 3, Fig. 7) allowed to ascertain the theoretical probability distribution (Gaussian curve) (Fig. 8); the distribution pattern was disperse and shifted. This fact required the tank weight mean value to be displaced with respect to the center of the tolerance range and therefore the processing parameters to be modified. The piston stroke length in the extruder die's surge chamber had to be modified so as to increase the weight of the polymer charge to be blow-extruded in a single cycle. Fuel tank weight offers a very useful criterion for product quality.

Key words: criterion for blow-extruded product quality, blowing extrusion in mold, engine fuel tanks, fuel tank weight as tank quality criterion.

OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA ZAGADNIENIA

Wytwór determinuje głównie rodzaj tworzywa, metoda i warunki przetwórstwa oraz możliwości przetwórcze maszyny i narzędzia przetwórczego. Wszystkie te czynniki wpływają bezpośrednio lub pośrednio na końcowe wymiary i kształt wytworu, zgodność z polami tolerancji wymiaru i kształtu przyjętymi w procesie konstruowania oraz na anomalie przetwórcze, materiałowe i powierzchniowe, istotne z punktu widzenia użytkownika wytworu.

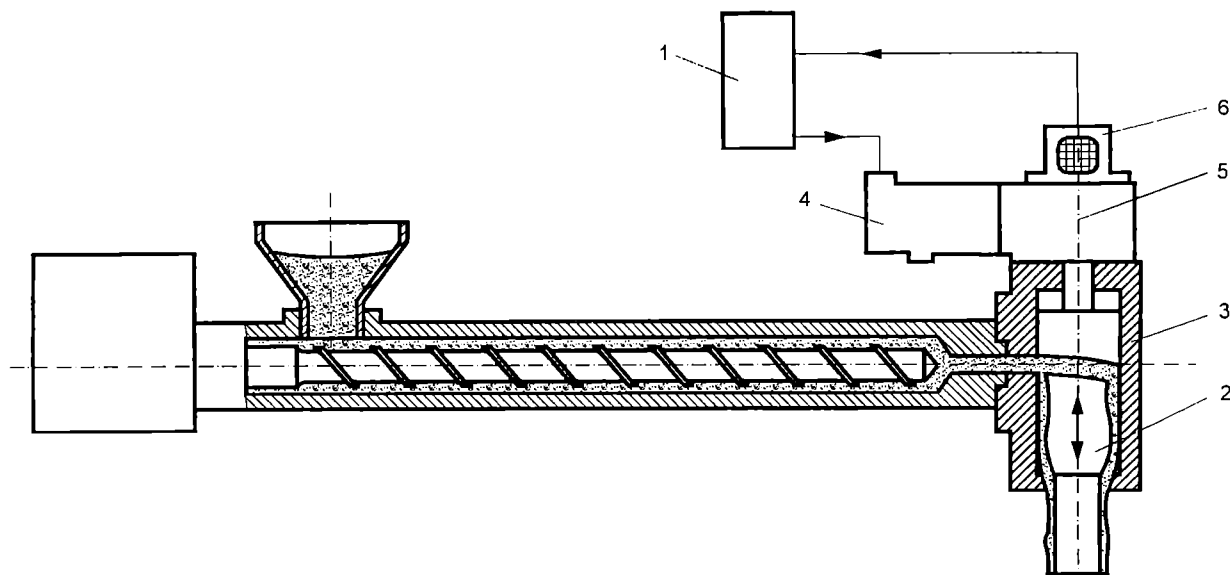
Oceny jakości wytworu z tworzyw dokonuje się na podstawie umownie przyjętych kryteriów jakości, będących miernikami wymagań stawianych wytworom; zwłaszcza ważne są kryteria użytkowe, wśród których istotne znaczenie ma kryterium materiałowe obejmujące m.in. strukturę i wymiary poszczególnych stref przekroju poprzecznego wytworów, stopień krystaliczności oraz ciężar wytworów [1–6].

Występujące w tworzywach zależności pomiędzy strukturą, właściwościami i warunkami przetwórstwa są tematem wielu badań i publikacji. Możliwość stosowania masowego kryterium jakości wyprasek wtryskowych badali m.in. H. Patzschke i P. Jung [7]. Stwierdzili

oni, że wypraski z tego samego gniazda formującego formy wtryskowej mające największą masę i równomierny jej rozkład charakteryzują się największą wytrzymałością i udarnością. Występowanie zależności pomiędzy masą wyprasek wtryskowych a właściwościami mechanicznymi wykazały także badania V. A. Braginskiego [8]. W Polsce stosowania strukturalnego kryterium oceny jakości dotyczą opracowania M. Kommosy i współautorów [3] oraz Z. Jacewicza [4]. Interesujące są także prace U. Hawryleckiej i R. Sikory [1, 2, 5] wykorzystujące masowe kryterium jakości do oceny wyprasek z polipropylenu i poprawności przebiegu procesu technologicznego wtryskiwania.

Liczne wymagania stawiane wytworom otrzymanym metodą wytłaczania z rozdmuchiwaniem w formie określają normy jakościowe, a jednym z najistotniejszych elementów oceny jakości jest tu kryterium wytrzymałościowe. Narzuca ono konieczność właściwego doboru tworzywa do metody i warunków przetwórstwa, konstrukcji narzędzia, możliwości przetwórczych maszyny oraz innych czynników.

Wielkości istotne z punktu widzenia poprawności wykonania wytworu oraz bezpośrednio związane z procesem późniejszego montażu to grubość ścianek wy-



Rys. 1. Schemat układu sterowania grubości ścianki wytłoczyny: 1 — sterownik z oprogramowaniem, 2 — rdzeń dyszy głowicy, 3 — głowica z ruchomym rdzeniem, 4 — czujnik położenia, 5 — serwowzawór hydrauliczny, 6 — siłownik hydrauliczny [14]

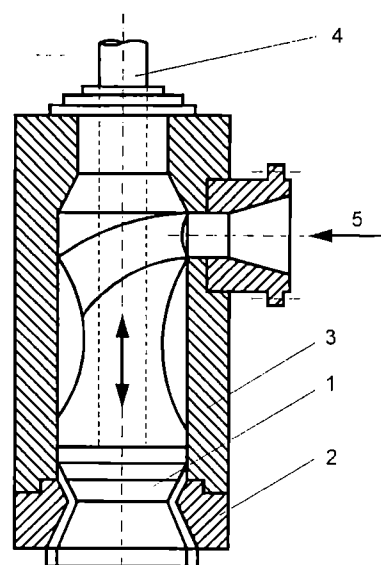
Fig. 1. The extrudate's wall thickness control system: 1 — programmable logic controller, 2 — orifice core of extruder die, 3 — extruder die with movable core, 4 — position sensor, 5 — hydraulic servovalve, 6 — hydraulic servomotor [14]

tworu i jego ciężar. Problemom związanym ze sterowaniem tymi dwoma wielkościami zostały np. poświęcone prace D. Heßa [9], I. Menes-Malinowskiej [10], W. Asta [11], M. Żenkiewicza [12, 13], S. Lutomirskiego, M. Ładysza [14], R. Colwina [15].

Sterowanie ciężarem wytworu odbywa się poprzez regulację grubości jego ścianek już w głowicy wyltaczarskiej wskutek kształtowania odpowiedniego rozkładu grubości ścianki wytłoczyny. Typowy układ do sterowania rozkładem grubości przedstawia rys. 1. Głównym elementem tego układu jest sterownik (1) umożliwiający zadawanie kolejnych położenia ruchomego rdzenia (2) głowicy (3), a w efekcie wymaganego — rozkładu grubości wytłoczyny. Zadane położenie rdzenia (2) jest realizowana za pomocą zmiennej, wyskalowanej w jednostce czasu; kolejne położenia rdzenia (2) wyznacza tu czujnik położenia (4). Sygnał wyjściowy ze sterownika (1) jest podawany do układu wykonawczego, który na ogół stanowi serwowzawór i siłownik hydrauliczny (5, 6).

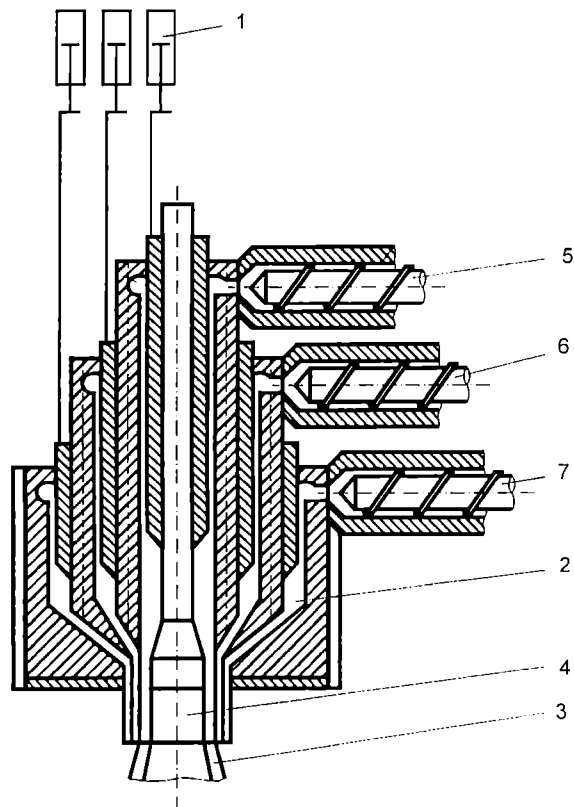
W celu zapewnienia jednakowej grubości ścianki wytworu, wytłoczyna opuszczająca głowicę wyltaczarską powinna mieć grubszą ściankę tam, gdzie następuje późniejsze większe rozciąganie w kierunku poprzecznym, z uwzględnieniem rozciągania w kierunku wzdłużnym, głównie pod wpływem ciężaru własnego. Regulację tę przeprowadza się automatycznie poprzez odpowiedni ruch postępowo-zwrotny rdzenia głowicy wyltaczarskiej. Głowica taka, której schemat przedstawia rys. 2, jest wyposażona w ruchomy rdzeń (1) zmieniający pole przekroju poprzecznego kanałów przepływowych. W rezultacie następuje zmiana prędkości wypływu tworzywa z głowicy, co w warunkach

stałej szybkości podawania tworzywa z wyltaczarki powoduje zmianę grubości wytłoczyny opuszczającej dysze wyltaczarki, a poprzez to zmianę grubości ścianek oraz ciężaru wytwarzanego wytworu [6, 12—14].



Rys. 2. Schemat głowicy wyltaczarskiej z regulacją grubości wytłoczyny: 1 — ruchomy rdzeń, 2 — dysza, 3 — korpus głowicy, 4 — trzpień łączący rdzeń z siłownikiem hydraulicznym, 5 — kierunek przepływu tworzywa z wyltaczarki [14]

Fig. 2. The extruder die with extrudate wall thickness control system: 1 — movable core, 2 — orifice, 3 — extruder die body, 4 — mandrel which connects core with hydraulic servomotor, 5 — direction of flow of polymer stream leaving extruder [14]



Rys. 3. Schemat głowicy do współwytłaczania z komorą wyrównawczą: 1 — układ hydrauliczny, 2 — komora wyrównawcza, 3 — wytłoczyna, 4 — rdzeń formujący, 5—7 — fragmenty układów uplastyczniających [22]

Fig. 3. The extruder die equipped with surge chamber for co-extrusion: 1 — hydraulic system, 2 — surge chamber, 3 — extrudate, 4 — forming core, 5—7 — plasticating system parts [22]

Nowoczesne głowice z komorą wyrównawczą (rys. 3) i współdziałające z nimi układy sterowania umożliwiają uzyskiwanie różnej grubości ścianki w kilkudziesięciu punktach wytłoczyny. Układ sterownika głowicy reguluje kolejne położenia tłoka siłownika hydraulicznego (1) opróżniającego komorę wyrównawczą (2) głowicy, powodując zmienną grubość ścianki wytłoczyny (3).

Stosowanie w głowicach układów sterowania grubością wytłoczyny uzasadniają przede wszystkim aspekty ekonomiczne. Są to m.in. oszczędności materiałowe wynikające z jednolitego bądź zróżnicowanego ukształtowania grubości ścianki wytworu, zwiększenie wydajności dzięki skróceniu cyklu procesu technologicznego (co wynika z szybszego ochładzania wytworów) oraz poprawienie jakości wytworów na drodze uzyskiwania większej dokładności ich wymiarów geometrycznych oraz ciężaru [13—22].

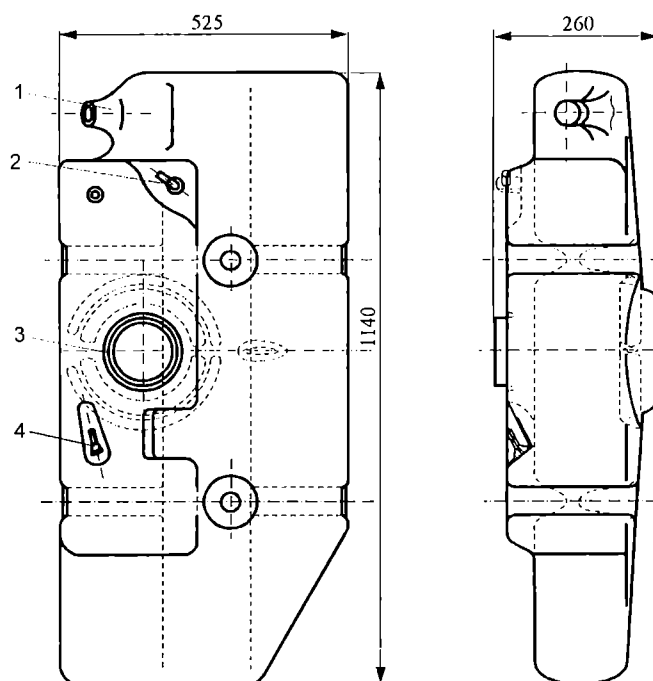
Na podstawie analizy cytowanej literatury można wnioskować, że ciężar jest wielkością istotną z punktu widzenia poprawności wykonania wytworu. Oznaczenie ciężaru może być miernikiem jakości i poprawności procesu przetwórstwa, gdyż w odpowiednio dobranych warunkach przetwórstwa uzyskuje się wytwory o określonym ciężarze, charakteryzujące się dobrymi

właściami mechanicznymi i użytkowymi w założonym przez konstruktora polu tolerancji [1—6, 13, 14].

PROGRAM BADAŃ WŁASNYCH

Celem pracy stanowiącej przedmiot niniejszego artykułu jest weryfikacja możliwości przyjęcia ciężaru wytworu za istotne kryterium oceny jego jakości.

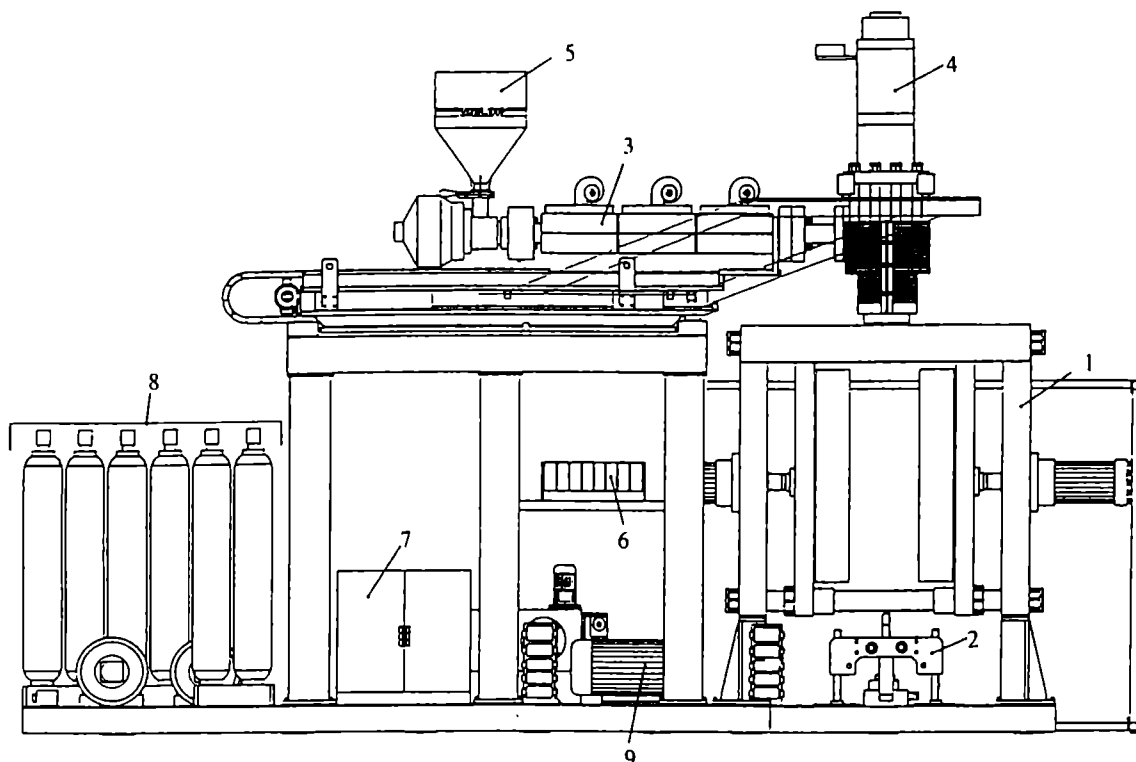
Jako kryterium oceny jakości wytworów z tworzyw przyjęliśmy ciężar zbiorników paliwowych samochodu dostawczego „Lublin II”, produkowanego przez Dae-woo Motor Polska. Zbiornik taki, przedstawiony na rys. 4, jest wytwarzany w Spółdzielni Elremet w Białej Podlaskiej [23, 24].



Rys. 4. Zbiornik paliwowy samochodu „Lublin II”: 1 — króciec wlewu paliwa, 2 — króciec odpowietrzający, 3 — króciec czujnika paliwa, 4 — króciec przelewowy [23]

Fig. 4. The Lublin II delivery truck fuel tank: 1 — fuel filler pipe, 2 — vent pipe, 3 — tank contents sensor pipe, 4 — overflow pipe [23]

Zasadniczą zaletę zbiornika paliwowego z tworzyw stanowi stosunkowo niewielki ciężar. Przeciętna grubość ścianki omawianego zbiornika wytworzonego z polietylenu wynosi ok. 4 mm, jednakże jego ciężar jest średnio o 30% mniejszy od ciężaru odpowiadającego mu wymiarami zbiornika metalowego ze ścianką grubości 0,8 mm. Zbiorniki z tworzyw charakteryzują się także dużą udarnością, również w niskiej temperaturze, dużą wytrzymałością na rozciąganie, odpornością na korozję, elastycznością i stabilnością cieplną oraz możliwością recykulacji materiałowej [6, 12—14].



Rys. 5. Schemat linii technologicznej wytłaczania z rozdmuchiwaniem „Uniloy M 100 S”: 1 — układ zamykania formy, 2 — układ formy rozdmuchowej, 3 — wytłaczarka, 4 — głowica z komorą wyrównawczą, 5 — zbiornik zasypowy, 6 — zespół zaworów pneumatycznych, 7 — układ sterowania, 8 — zespół zbiorników wyrównawczych (akumulatorów), 9 — motopompa układu zamykania formy [23]

Fig. 5. The Uniloy M 100S blowing extrusion process line: 1 — mold closing system, 2 — blow mold system, 3 — extruder, 4 — extruder die and surge chamber, 5 — feeding vessel, 6 — air-operated valve assembly, 7 — control system, 8 — system of equalizing tanks (accumulators), 9 — mold closing system's pump [23]

T a b e l a 1. Podstawowe właściwości polietylenu „Eltex RSB 714” (dane producenta — firmy Solvay)

T a b e l e 1. Manufacturer's property data for Solvay's Eltex RSB 714 medium density polyethylene

Wielkość charakterystyczna	Wartość
Gęstość w temp. 23°C	946 kg/m ³
Masowy wskaźnik szybkości płynięcia MFR	0,15 g/10 min
Naprężenie rozciągające przy granicy plastyczności	40 MPa
Współczynnik sprężystości wzdłużnej przy rozciąganiu	1200 MPa

Zbiorniki zostały wykonane z polietylenu średniej gęstości o nazwie handlowej „Eltex RSB 714” (firmy Solvay) metodą wytłaczania z rozdmuchiwaniem w formie. Podstawowe właściwości tworzywa (wg danych producenta) zawiera tabela 1. Zbiorniki wytworzono w linii technologicznej wytłaczania z rozdmuchiwaniem firmy Uniloy, typ M 100 S (rys. 5), składającej się z dwóch wytłaczarek jednoślakowych, głowicy wytłaczarskiej z komorą wyrównawczą, układu odcinająco-podającego, układu formy rozdmuchowej oraz układu odbierającego. Podstawowe dane techniczne linii technologicznej podano w tabeli 2.

Zbiorniki zostały wytworzone w typowych dla tego procesu technologicznego warunkach. Temperatura w

poszczególnych strefach układu uplastyczniającego wynosiła 100, 205, 200 i 190°C, a temperatura w strefach

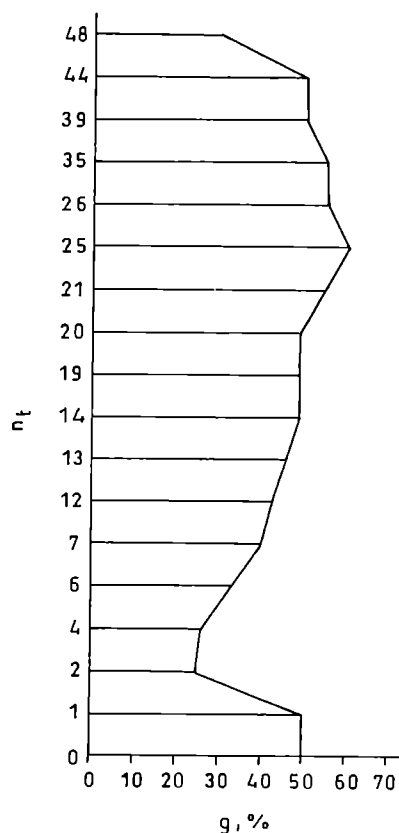
T a b e l a 2. Podstawowe dane techniczne linii technologicznej do wytłaczania z rozdmuchiwaniem „Uniloy M 100 S” [23]

T a b e l e 2. Principal technical data on the Uniloy M 100 blowing extrusion process line [23]

Wielkość charakterystyczna	Wartość
Układ uplastyczniający	
Średnica ślimaka	80 mm
Stosunek długości ślimaka do jego średnicy	24
Częstotliwość obrotów ślimaka	0—1,33 s ⁻¹
Moc silników napędowych	55 kW
Wydajność uplastyczniania	320 kg/h
Moc grzejników	60 kW
Maksymalna średnica wytłoczyny	450 mm
Minimalna średnica wytłoczyny	100 mm
Układ zamykania formy przetwórczej	
Maksymalna siła zamykania formy	900 kN
Wymiary użytkowe płyt nośnych	1500 × 1000 mm
Maksymalna grubość formy	305 mm
Maksymalny odstęp między częściami formy	1300 mm
Napęd	hydrauliczny

głowicy wyltaczarskiej była równa 212 i 210°C. Całkowity czas cyklu procesu wytłaczania z rozdmuchiwanym wynosił 164 s [23].

Oddziaływanie na ciężar zbiornika oraz na grubość jego ścianek odbywało się przede wszystkim w głowicy wyltaczarskiej poprzez odpowiedni rozkład grubości ścianki wytłoczyny opuszczającej głowicę. Układ sterowania głowicy z komorą wyrównawczą zadawał 48 przedziałów czasowych procesu wytłaczania powodujących zmianę grubości ścianki wytłoczyny. Schemat programowania rozkładu grubości ścianki wytłoczyny przedstawia rys. 6.



Rys. 6. Schemat programowania rozkładu grubości ścianki wytłoczyny podczas wytwarzania zbiorników paliwowych [23]; g — zadana grubość ścianki wytłoczyny w %, n_1 — numer przedziału czasu wytłaczania

Fig. 6. The extrudate wall thickness distribution programming system in the process of blowing extrusion of fuel tanks [23]; g — extrudate wall thickness, %; n_1 — number of extrusion time interval

Do badań wykorzystano 500 sztuk zbiorników wytworzonych kolejno w przedstawionych powyżej warunkach procesu technologicznego. Pomiar ciężaru każdego zbiornika przeprowadzono niezwłocznie po opuszczeniu przez niego gniazda formy, za pomocą wagi elektronicznej TP — 15/11, o zakresie ważenia 0—15 kg z dokładnością ± 5 g. Przyjęta dokładność pomiaru odpowiadała obowiązującym normom [23].

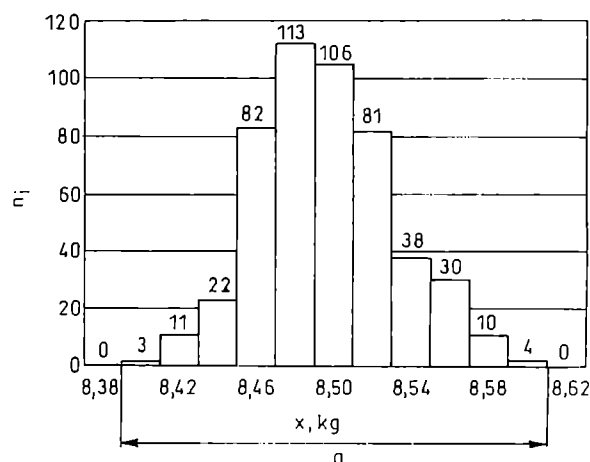
WYNIKI BADAŃ I ICH OMÓWIENIE

Po zważeniu zbiorników wyznaczano m.in. średnią arytmetyczną \bar{x} , odchylenie standardowe S oraz współczynnik wariancji V [25]. Wybrane wyniki pomiarów zawierające granice klas, liczebność oraz częstość prób zestawiono w tabeli 3.

T a b e l a 3. Wyniki badań rozkładu wartości ciężaru (w kg) zbiorników

T a b l e 3. Distribution of fuel tank weights (kg)

Numer	Granica klas		Liczebność próby n_i	Częstość próby n_i/n	Środek przedziału
	a_i	b_i			
1	0,00	8,38	0	0	—
2	8,36	8,40	3	0,01	8,39
3	8,40	8,42	11	0,02	8,41
4	8,42	8,44	22	0,04	8,43
5	8,44	8,46	82	0,16	8,45
6	8,46	8,48	113	0,23	8,47
7	8,48	8,50	106	0,21	8,49
8	8,50	8,52	81	0,16	8,51
9	8,52	8,54	38	0,08	8,53
10	8,54	8,56	30	0,06	8,55
11	8,56	8,58	10	0,02	8,57
12	8,58	8,60	4	0,01	8,59
13	8,60	8,62	0	0	—
Suma			500	1,00	



Rys. 7. Wykres (w postaci histogramu) rozkładu wartości ciężaru zbiorników paliwowych: a — przyjęty przedział ciężaru zbiorników, n_i — liczebność próby

Fig. 7. Histogram of fuel tank weights: a — fuel tank weight range adopted, n_i — sampling frequency

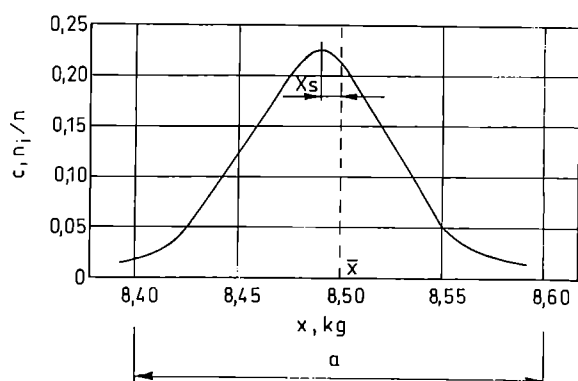
Rysunek 7 przedstawia dla przykładu zależność (w postaci histogramu) rozkładu wartości ciężaru zbiorników od liczebności próby oraz przyjęty przedział ciężaru zbiorników.

Zbiornik paliwowy jest elementem wywierającym bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo pojazdu podczas jego eksploatacji, w związku z czym proces jego

wytwarzania powinien dokładnie spełniać wymagania odpowiednich norm oraz cechować się dużą dokładnością. Podstawową wielkością globalnie charakteryzującą w warunkach produkcyjnych wytwarzane zbiorniki jest ich ciężar. Jego zmiany w sposób bezpośredni wpływają na nominalną grubość ścianki zbiornika, co warunkuje zmianę wymiarów i właściwości użytkowych zbiorników. Utrzymywanie ciężaru zbiorników w ściśle określonym przedziale wartości jest zatem niezbędnie konieczne. Wytwórca wyznaczył doświadczalnie przedział wartości ciężaru zbiorników otrzymywanych w przedstawionym procesie przetwórstwa; wynosi on 8,4—8,6 kg (rys. 7). Przedział ten został wyznaczony z uwzględnieniem m.in. kryteriów konstrukcyjnych, technologicznych i ekonomicznych.

Wobec ograniczeń narzuconych przez konstrukcję formy oraz określonego przedziału zmian warunków przetwórstwa jest konieczny wybór jednego z wyników możliwych do regulowania najmniejszym kosztem. W warunkach zakładu przemysłowego, w przypadku określonej maszyny i narzędzia, warunki ekonomiczne nakazują bowiem jak najszybsze przeprowadzenie korekty parametrów przetwórstwa w celu zapewnienia uzyskiwania wytworów o wymaganych właściwościach.

Biorąc więc pod uwagę ustalenia statystyczne, sporządziliśmy na podstawie uzyskanych wyników teoretyczny rozkład ich prawdopodobieństwa według krzywej Gaussa (rys. 8). Rozkład ten jest rozproszony i przesunięty [25]. Konieczne jest zatem przeprowadzenie korekty przesunięcia średniej wartości ciężaru zbiorników względem środka pola tolerancji [26]. Dlatego też wydaje się potrzebne skorygowanie stosowanych w tym konkretnym przypadku warunków technologicz-



Rys. 8. Teoretyczny rozkład prawdopodobieństwa wartości ciężaru zbiorników według krzywej Gaussa: \bar{x} — środek przedziału wartości ciężaru zbiorników, x_s — przesunięcie średniej wartości ciężaru względem środka pola tolerancji, a — przyjęty przedział ciężaru zbiorników, c — częstość próby
Fig. 8. The theoretical probability distribution pattern for fuel tank weights (Gaussian curve); \bar{x} — center of fuel tank weight interval, x_s — shift of mean tank weight with respect to center of tolerance range, a — fuel tank weight range adopted, c — sampling frequency

nych procesu wytłaczania z rozdmuchiwaniami na drodze zmiany wartości skoku tłoka komory wyrównawczej głowicy w celu zwiększenia masy tworzywa wytłaczanego podczas jednego cyklu procesu technologicznego.

Z przeprowadzonych przez nas badań wynika więc, że pomiar i analiza ciężaru wytworu to bardzo przydatne kryterium oceny jego jakości podczas kontroli w warunkach produkcyjnych, które powinno być szerzej wykorzystywane w zakładach przemysłowych.

LITERATURA

- Hawrylecka H.: *Polimery* 1988, **33**, 340.
- Hawrylecka U., Sikora R.: *Polimery* 1994, **39**, 34.
- Komosa M., Poleć K., Smorawiński A.: *Polimery* 1975, **20**, 226.
- Jacewicz Z.: „Wagowa metoda kontroli jakości kształtek wtryskowych z termoplastów”; materiały konferencji: „Problemy konstrukcyjno-technologiczne stosowania tworzyw sztucznych w przemyśle”, Częstochowa 1979, str. 158.
- Sikora R., Hawrylecka U.: „Możliwości i kryteria oceny jakości wyprasek z tworzyw termoplastycznych”; Prace Instytutu Technologii i Eksploatacji Maszyn Politechniki Lubelskiej, seria C, nr 2., Lublin 1982, str. 161.
- Sikora R.: „Przetwórstwo tworzyw wielkokształczkowych”, Wydawnictwo Edukacyjne, Warszawa 1993.
- Patzschke H., Jung P.: *Plaste Kautsch.* 1987, **34**, 37.
- Braginskii V. A.: „Tochnoe litie izdielii iz plastmass”, Wydawnictwo Khimiya, Leningrad 1977.
- Heß D.: *Kunststoffe* 1985, **75**, 802.
- Menes-Malinowska I., Żenkiewicz M.: *Polimery* 1989, **34**, 539.
- Ast W.: *Kunststoffe* 1992, **82**, 1229.
- Żenkiewicz M.: *Polimery* 1994, **39**, 74.
- Żenkiewicz M.: *Polimery* 1994, **39**, 215.
- Lutomirski S., Ładysz M.: *Polimery* 1994, **39**, 38.
- Colwin R.: *Mod. Plast. Intern.* 1998, **28**, nr 6, 60.
- Daubenbüchel W.: *Kunststoffe* 1992, **82**, 201.
- Esser K., Franke M., Wortberg J.: *Kunststoffe* 1996, **86**, 1120.
- Gabriele M.: *Mod. Plast. Intern.* 1998, **28**, nr 6, 65.
- Grande J.: *Mod. Plast. Intern.* 1996, **26**, nr 4, 74.
- Siewert H., Thielen M.: *Kunststoffe* 1998, **88**, 1218.
- O'Neill M.: *Mod. Plast. Intern.* 1997, **27**, nr 10, 62.
- Rosato D. V.: „Blow Molding Handbook”, Hanser Publishers, Monachium, Wiedeń, Nowy Jork 1989.
- Spółdzielnia „Elremet”: „Dokumentacja techniczno-ruchowa. Wytłaczarka z rozdmuchiwaniami Uniloy M 100 S”, Biała Podlaska 1995.
- Pat. polski* 173 593 (1994).
- Polański Z.: „Planowanie doświadczalne w technice”, PWN, Warszawa 1984.
- Sikora R., Garbacz T.: „Ciężar jako kryterium oceny wytworów otrzymanych metodą wytłaczania z rozdmuchiwaniami”; materiały konferencji: „IX Seminarium. Tworzywa sztuczne w budowie maszyn”, Kraków 2000, str. 301.

Otrzymano 13 VII 2000 r.