

MAREK BIELIŃSKI, PAWEŁ BURZYŃSKI

Akademia Techniczno-Rolnicza
Wydział Mechaniczny
ul. Kaliskiego 7, 85-763 Bydgoszcz
biel@atr.bydgoszcz.pl

Dozowanie w przetwórstwie tworzyw polimerowych^{*)}

DOSAGE IN PLASTICS PROCESSING

Summary — A review concerning the basic conditions of constructional solutions of plastics and additives dosage processes as well as criteria of feeders' choice were presented. Own results concerning screw feeders were discussed. The subject of the study was the process of polypropylene filled with various amounts of either glass fiber or talc dosage (Table 1) with using of volume screw feeder (Fig. 5, Table 2). Dependences of dosage yield on rotational speed and diameter of a worm, its kind (torsional or turned), angle of feeder towards level setting (0° or 30°) and filler type and content (up to 40 wt. %) (Figs. 7—10) were determined. Effects of these factors on the values of standard deviation from dosage yield mean value were investigated (Figs. 11 and 12). Necessity of research works focused on the repeatability of dosage levels of various plastics in real processing conditions was stressed.

Key words: dosage in plastics processing, constructional solutions, screw feeder, filled polypropylene, dosage yield and repeatability.

Charakterystyka przetwórstwa tworzyw polimerowych najczęściej dotyczy produkcji tworzyw, ich zużycia, a także opisów przetwórstwa obejmujących metody, maszyny i narzędzia przetwórcze. W tym zakresie można przywołać szereg opracowań, m.in. [1—7], jednakże ze względu na brak danych często pomija się zagadnienia udziału poszczególnych urządzeń uzupełniających oraz oprzyrządowania technologicznego do przetwórstwa [5, 8]. Konsekwencją tego jest również brak dostępnej aparatury i urządzeń badawczych, m.in. do wyznaczenia ważnych charakterystyk granulometrycznych tworzyw polimerowych, np. gęstości nasypowej i utrzęsionej oraz kąta nasypu naturalnego.

Mieszaniny i kompozyty polimerowe stanowią wciąż rozwijającą się i ważną grupę tworzyw polimerowych uzyskiwanych w procesach przetwórstwa, a efektywność ich otrzymywania zależy w dużej mierze od skuteczności dozowania i mieszania (mieszanie zostało opisane dość szeroko w wielu pracach, m.in. w [3, 9—11]). Ważnym problemem w tej sytuacji jest wyznaczenie zależności cech konstrukcyjnych dozowników od charakterystyki stosowanych składników dodatkowych [2, 13—19]. Wynika to przede wszystkim ze specyficznych właściwości takich składników, które różnią się od

tworzyw polimerowych podatnością na transportowanie, magazynowanie, sortowanie, rozdrabnianie, klasyfikację, mieszanie i, przede wszystkim, dozowanie [13—17, 19, 20]. Według danych szacunkowych [21], dozowanie dotyczy głównie środków barwiących (kolor biały 33 %, kolor czarny 23 %, pozostałe kolory 29 %) oraz środków pomocniczych i napelniczy proszkowych (15 %). W niniejszej pracy analizę podstawowych relacji materiałowych i geometrycznych ograniczamy do wybranych tworzyw, a także dozowników ślimakowych o zmiennych elementach geometrycznych ślimaków, szybkości obrotowej i kącie ustawienia dozownika względem poziomu.

PODSTAWOWE UWARUNKOWANIA W PROCESACH DOZOWANIA

Problemy wiedzy z zakresu dozowania można po-
wiązać z jednej strony z mechaniką materiałów sypkich,
a z drugiej — z problematyką przetwórstwa tworzyw.
Współdziałanie to dotyczy m.in. mechaniki rozdrob-
nionych ciał stałych (granulatów, aglomeratów, proszków
polimerowych), mechaniki proszków (pigmenty i napel-
nicze proszkowe, jak np. talk lub kreda), operacji jed-
nostkowych (rozdrabnianie, dozowanie, mieszanie,
transportowanie itp.), teorii maszyn roboczych, a także
podstaw procesu uplastyczniania i przetwórstwa two-
rzyw [3—5, 7, 10, 11, 22, 23].

^{*)} Artykuł oparty na referacie wygłoszonym w ramach VIII Profesorskich Warsztatów Naukowych „Przetwórstwo tworzyw polimerowych”, Darłówko, 9—11 czerwca 2003 r.

Obecny wzrost zainteresowania w dziedzinie przetwórstwa tworzyw polimerowych dozowaniem i dozownikami wynika przede wszystkim z następujących powodów:

- stosowania centralnych układów doprowadzania tworzywa (silosy);
- wykorzystywania w przetwórstwie tworzyw o własnej barwie (zmniejsza się udział tworzyw barwionych w masie);
- możliwości barwienia, modyfikowania i napelniania tworzyw bezpośrednio u przetwórcy;
- znacznej podaży podatnych na przetwórstwo środków pomocniczych [monokoncentraty, przedmieszki — koncentraty (*masterbatch*), mikrogranulaty itp.];
- wzrostu wymagań użytkowników i konieczności zwiększenia elastyczności produkcji;
- dostępności na rynku objętościowych oraz masowych układów dozujących.

Konstruowanie maszyn przeznaczonych do dozowania i przechowywania materiałów sypkich w innych dziedzinach gospodarki (np. przemyśle spożywczym lub rolniczym bądź w przetwórstwie minerałów) osiągnęło dobre wyniki, zwłaszcza w odniesieniu do przechowywania materiałów sypkich w zbiornikach; mianowicie istnieje już wiele opisów charakteryzujących zachowanie się złóż materiałów sypkich, ich przepływu przez otwory, podczas ruchu w rurach i korytach otwartych, jak również pod naciskiem, jaki materiały sypkie wywierają na ściany zbiorników [5, 9—11, 21—24]. W przypadku tworzyw polimerowych problem ten wymaga jednak jeszcze kompleksowej analizy, próby adaptowania części opisów, a także uzupełnienia o specyficzne dla tych materiałów uwarunkowania.

Kształty i wymiary cząstek (granulatów) środków pomocniczych zależą przede wszystkim od technologii otrzymywania tych materiałów (granulacja na gorąco, na zimno albo inne sposoby granulowania). Należy zwłaszcza zaznaczyć duży rozrzut wymiarów granulatów otrzymywanych metodą na zimno. Znane opisy [3, 9—11, 22, 24, 25] umożliwiają — na podstawie znajomości wymiarów liniowych pojedynczych ziaren, krzywych rozkładu sitowego, różnych rozkładów frakcji i stopnia sferyczności cząstek — przybliżenie podatności na przetwórstwo i dozowanie.

Zdolność do przemieszczania się materiałów ziarnistych, określana m.in. współczynnikiem ruchliwości (tworzywa polimerowe nie wykazują najczęściej spójności pomiędzy poszczególnymi granulkami), zależy od wymiaru i kształtu materiałów, a wyznacza się ją np. na podstawie pomiaru gęstości nasypowej i kąta nasypu w warunkach statycznych i dynamicznych [16, 25]. W badaniach, ze względów praktycznych współczynnik tarcia wewnętrznego zastępuje się często tangensem kąta naturalnego nasypu [26].

Jak wynika z badań [14—16], charakterystyka wymiarowa materiałów (zwłaszcza rozdrobnionych) ma wyraźny związek z charakterystyką dozowania. Opór

związany z występującym w dozownikach tarcie zależy przede wszystkim od dwóch zasadniczych czynników, mianowicie od rodzaju i kształtu wzajemnie przemieszczających się powierzchni oraz od wartości siły ściskającej, działającej prostopadle do płaszczyzny ścinania [22, 23]. Ze względów technologicznych inne właściwości i wskaźniki charakteryzujące materiały sypkie, np. wilgotność lub ściśliwość, w mniejszym stopniu dotyczą tworzyw polimerowych.

Znane problemy składowania, transportowania i dozowania materiałów sypkich w warunkach przemysłowych są przyczyną powstawania szeregu wad procesowych, m.in. tworzenia się sklepień, kominów, nawisów, lejów i mostków w układach zasilających. Zmniejszanie tych niedoskonałości realizuje się m.in. na drodze modyfikacji materiałowej (mikrogranulaty). Właściwości takie jak podatność na zbrylanie się, charakterystyka ścierna, przyczepność albo zwięzłość uwzględnia się głównie podczas przetwórstwa materiałów proszkowych (np. produkcja monokoncentratów i koncentratów barwiących z pigmentów), a w przypadku granulatów występujących w przetwórstwie są one na ogół pomijane.

Ważną cechą tworzyw polimerowych, wywierającą wpływ na dozowanie, jest gęstość, która mieści się w przedziale od 920 kg/m^3 (PE-HD) do 2200 kg/m^3 (politetrafluoroetylen). W przypadku tworzyw napelniczonych np. talkiem (o gęstości 2700 kg/m^3) bądź też powszechnie stosowanym pigmentem białym — bielą tytanową o gęstości również ok. 2700 kg/m^3 — w zależności



Rys. 1. Wpływ sposobu otrzymywania tworzyw polimerowych na ich postać: 1 — metoda granulowania na gorąco, 2 i 3 — metoda granulowania na zimno, 4 — aglomeraty folii PE
Fig. 1. Effects of plastics' production ways on their forms: 1 — plastics obtained by hot granulation, 2 and 3 — plastics obtained by cold granulation, 4 — PE film agglomerates

od ich udziału gęstość kompozycji wyraźnie rośnie. Cecha ta w sposób wyraźny wpływa na wartość współczynnika wypełnienia.

Różne postacie tworzyw polimerowych stosowanych w przetwórstwie, w zależności od sposobu ich otrzymywania, ilustruje rys. 1.

DOBÓR URZĄDZEŃ DOZUJĄCYCH

W procesach przetwórczych dozowanie jest powiązane w sposób funkcjonalny z doprowadzaniem i mieszaniem materiałów podstawowych (polimerów i tworzyw polimerowych) oraz środków pomocniczych. Zwłaszcza ważne w tym obszarze przetwórstwa jest stosowanie centralnych układów doprowadzania i związana z tym potrzeba uniwersalnego zakresu właściwości tworzyw polimerowych. W związku z tym, przede wszystkim zabarwienie, ale także wiele innych właściwości użytkowych nadaje się w przetwórstwie w wyniku wprowadzania (dozowania) składników dodatkowych. Coraz rzadziej natomiast stosuje się wstępne mieszanie tworzyw ze składnikami dodatkowymi w mieszalnikach i następne wspólne doprowadzanie, poprzez zasobnik, do układów uplastyczniających, a to głównie ze względu na możliwą, spowodowaną różnicą gęstości, segregację składników kompozycji.

W przypadku dozowania w przetwórstwie tworzyw polimerowych ważne jest więc poznanie wzajemnych relacji w obrębie:

- tworzyw polimerowych i składników dodatkowych,
- zasobników i materiałów polimerowych,
- urządzeń dozujących (dozowników masowych i objętościowych),
- maszyn i narzędzi przetwórczych oraz wybranych technologii,
- skuteczności oraz jednorodności i dokładności dozowania.

Wskazania dotyczące doboru, a także podstawowe obliczenia relacji zasobnik/układ uplastyczniający, uwzględniające rozkład ciśnienia tworzywa w zasobniku i współczynnik tarcia między tworzywem a ścianką zasobnika, przedstawiono m.in. w monografii [5]. Na przykładzie PE-LD wynika z niej, że w zasobniku stożkowym wysokość wypełnienia tworzywem nie wywiera w zasadzie wpływu na ciśnienie w kierunku wysokości zasobnika występujące w otworze wysypowym. Wyraźną zmianę tego ciśnienia zaobserwowano natomiast w przypadku zasobnika walcowego. Zasobnik tworzywa jest tym elementem, który poprzez specjalną tuleję współpracuje bezpośrednio z dozownikami składników dodatkowych i z układem uplastyczniającym. Ogólnie biorąc, wyróżnia się dwa podstawowe sposoby dozowania: objętościowe (wolumetryczne) i masowe (grawimetryczne). Dodatkowy podział uwzględnia charakter pracy dozowników, a więc dozowniki o działaniu ciągłym i okresowym [11, 27]. Na-

częściej stosowane w przetwórstwie dozowniki objętościowe to dozowniki bębnowe, ślimakowe, taśmowe, wibracyjne i talerzowe.

Dozowniki powinny w trakcie procesu przetwórstwa spełniać następujące zadania: dozować powtarzalną ilość materiału, umożliwiać regulację dozowania bez potrzeby zatrzymywania dozownika, umożliwiać dozowanie kilku materiałów jednocześnie, a także wykazywać się względną uniwersalnością konstrukcji (szerokim zakresem dozowania), bądź też możliwością wymiany elementów konstrukcyjnych (np. ślimaków) zmieniających zakres dozowania i jego dokładność [11, 28].

Sposoby dozowania — masowy lub objętościowy — ze względu na specyfikę podawania materiałów pomocniczych do układów uplastyczniających charakteryzują się odmiennymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi, a także różną uzyskiwaną dokładnością dozowania.

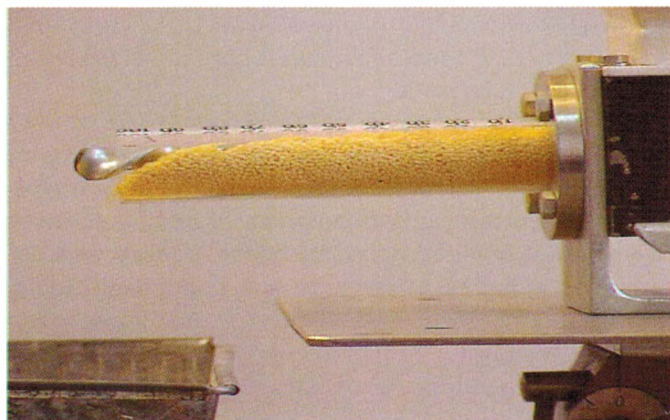
W przypadku dozowania masowego problem sprowadza się do ważenia (dokładności ważenia — dozowania), w tym częstości podawania odważonych porcji materiału. W złożonych procesach technologicznych stosuje się pojedyncze układy dozujące, a także zespoły dozujące kilka składników jednocześnie, często z równoczesnym ich mieszanym. Ważną rolą dozowania w przetwórstwie tworzyw polimerowych jest uzupełnianie lub zastępowanie operacji mieszania, a dobór właściwego sposobu dozowania zależy od wielu czynników materiałowych i procesowych, w tym przede wszystkim od wymaganej dokładności dozowania. W przetwórstwie tworzyw polimerowych, głównie ze względu na kompromis pomiędzy ceną a możliwymi do uzyskania dokładnościami dozowania (minimalnym błędem) i łatwością łączenia z układami doprowadzającymi maszyn przetwórczych, dość powszechnie stosuje się dozowniki ślimakowe.

Wraz z rozwojem przetwórstwa tworzyw polimerowych, dozowanie i ważenie występują również podczas ich pakowania i dystrybucji.

DOZOWNIKI ŚLIMAKOWE — WYZNACZANIE CHARAKTERYSTYK DOZOWANIA

Charakterystyka dozowania ślimakowego i dozowników ślimakowych powinna odnosić się do podstawowych cech konstrukcyjnych tego urządzenia. Opisują ją w sposób przybliżony relacje występujące pomiędzy wymiarami ślimaka (średnica, skok), tulei (średnica), szybkością obrotową ślimaka, współczynnikiem wypełnienia obszaru dozowania (rys. 2), gęstością nasypową materiału i kątem ustawienia do poziomu dozownika [11, 14—16, 24]. Celem opisanych w dalszym tekście badań własnych było poznanie i opis sygnalizowanych relacji w obrębie materiał/maszyna/proces.

Wybór rodzaju dozownika wiąże się z wymiarami pojedynczych cząstek materiału oraz ich rozkładem i ma ściśle powiązanie ze średnicą ślimaka, jego szybkością



Rys. 2. Wyznaczanie współczynnika wypełnienia obszaru dozowania w przypadku mikrogranulatu średnicy ok. 1 mm
Fig. 2. Determination of a factor of dosage area filling with micro granules of diameter about 1 mm

obrotową, a także oczekiwaną wydajnością. Poznanie zmienności współczynnika napelnienia w zależności od szybkości obrotowej ślimaków i rodzaju materiału będziemy weryfikować w dalszych badaniach, które powinny wskazać właściwe kierunki poszukiwania większej dokładności dozowania.

BADANIA WŁASNE

Część doświadczalna

Materiały

Badano tworzywa polimerowe o zbliżonym składzie granulometrycznym, lecz odmiennych właściwościach, określonych w wyniku pomiarów gęstości nasypowej, gęstości utrzęsionej i kąta nasypu [15, 16]. Były to two-

T a b e l a 1. Charakterystyka granulometryczna badanych tworzyw polimerowych oraz talku

T a b l e 1. Granulometric characteristic of investigated plastics and talc

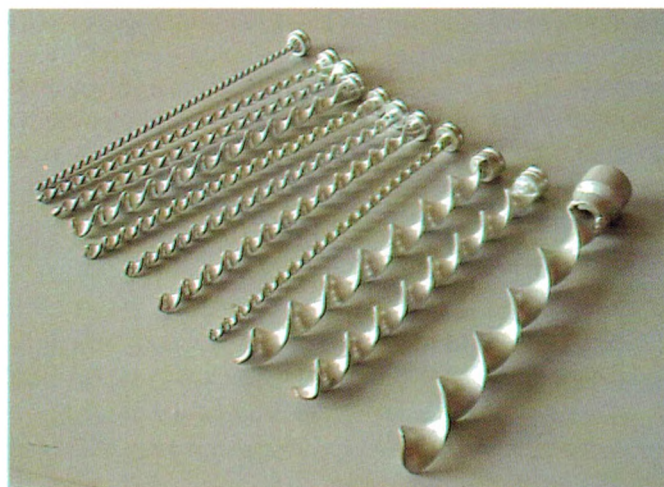
Lp.	Tworzywo ¹⁾	Gęstość normalna kg/m ³	Gęstość nasypowa kg/m ³	Kąt nasypu deg
1	PE-LD	920	560	3
2	PP15T („Reslen PPH 15T/9-AS”)	—	650	22
3	PP20T („Reslen PPH 20T/9-AS”)	—	660	19
4	PP30T („Reslen PPH 30T/9-AS”)	—	720	22
5	PP40T („Reslen PPH 40T/12”)	—	750	22
6	PP10WS	—	446	29
7	PP20WS	—	469	30
8	PP30WS	—	511	31
9	Talc — SE Micro	2750	670	37

¹⁾ Producent: Lp. 1 — PKN Orlen, Plock, Lp. 2—8 — Polymarky, Rzeszów, Lp. 9 — Luzenac Naintsch, Austria.

rzywa napelniane przeznaczone do przetwórstwa metodą wtryskiwania, mianowicie: polipropylen zawierający 10 % mas. (PP10WS), 20 % mas. (PP20WS) lub 30 % mas. (PP30WS) włókna szklanego, polipropylen zawierający 15 % mas. (PP15T), 20 % mas. (PP20T), 30 % mas. (PP30T) albo 40 % mas. (PP40T) talku oraz PE-LD. Charakterystykę materiałową tych tworzyw pod względem ich podatności na dozowanie zawiera tabela 1.

Urządzenia przetwórcze

Ogólną charakterystykę dozownika objętościowego w przypadku wybranych ślimaków taśmowych średnicy od 5 do 25 mm, skręconych (jak na rysunku 3) lub toczonych (rys. 4), przedstawiono na rys. 5. W tabeli 2 zamieszczono wymiary charakterystyczne ślimaków skręconych, stosowanych przez nas w pomiarach wydajności i dokładności dozowania. Rysunek 6 przedsta-

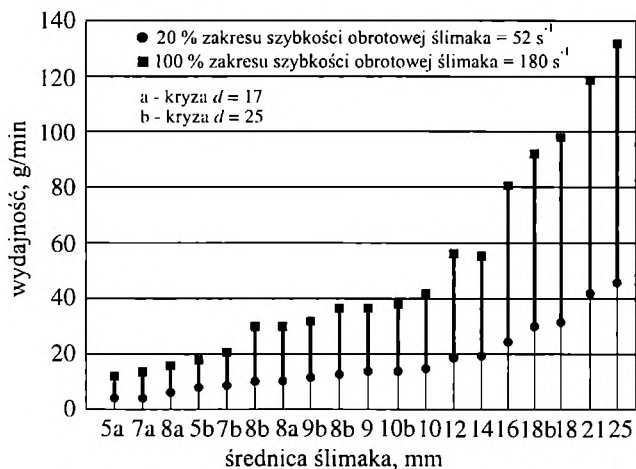


Rys. 3. Zbiór ślimaków skręconych od średnicy 5 mm do średnicy 25 mm i o różnym skoku

Fig. 3. Set of torsional screws of diameters from 5 mm to 25 mm and various pitches

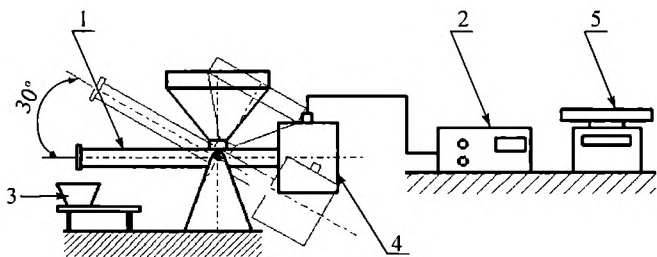


Rys. 4. Zbiór ślimaków toczonych o różnej średnicy i skoku
Fig. 4. Set of turned screws of various diameters and pitches



Rys. 5. Ogólna charakterystyka dozownika DSK 07p w odniesieniu do PE-LD w przypadku ślimaków średnicy od 5 do 25 mm

Fig. 5. General characteristic of DSK 07p feeder for PE-LD with screws of diameter from 5 to 25 mm



Rys. 6. Schemat stanowiska pomiarowego: 1 — dozujący układ ślimakowy z wymiennymi ślimakami (od $\varnothing 5$ mm do $\varnothing 25$ mm) oraz z możliwością zmiany kąta ustawienia względem poziomu, 2 — układ sterowania, 3 — zbiornik pomiarowy, 4 — układ napędowy z bezstopniową regulacją szybkości obrotowej ślimaka, 5 — waga laboratoryjna

Fig. 6. Scheme of measuring position: 1 — dosing screw set with replaceable screws ($\varnothing = 5$ —25 mm) and a possibility of angle of feeder towards level setting change, 2 — control system, 3 — measuring vessel, 4 — power transmission system with stepless variable adjustment of screw rotational speed, 5 — laboratory scales

wia ogólny schemat stanowiska do badań wydajności i dokładności dozowania objętościowego.

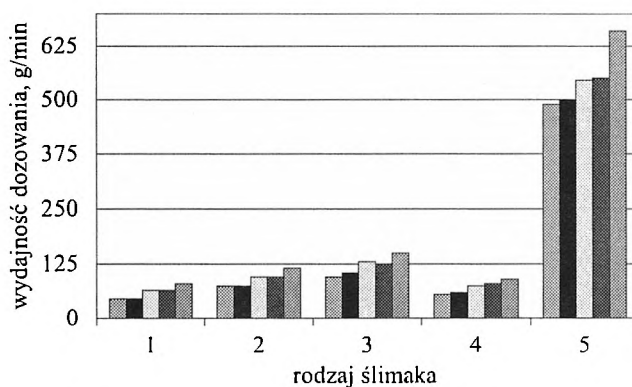
Podstawowe parametry stosowanego w pracy dozownika DSK 07p (producent Hydrapress) to: pojemność zasypowa zbiornika 16 dm³, minimalna i maksymalna wydajność, odpowiednio, 0,4 i 20 kg/h, średnice ślimaków 5—25 mm. Stanowisko umożliwia szybką wymianę ślimaków dozujących. Stosowany w pracy dozownik charakteryzuje się płynną regulacją szybkości obrotowej od 0 do 180 s⁻¹, możliwą do kontroli w cyklu automatycznym (wyskalowaną w procentach). Stanowisko pozwala na dozowanie w warunkach zarówno poziomego ustawienia osi ślimaka, jak i z osią ślimaka

Tabela 2. Wymiary charakterystyczne układów ślimak/cylinder stosowanych w dozowniku ślimakowym^{a)}

T a b e 2. Characteristic dimensions of the screws used in screw feeder

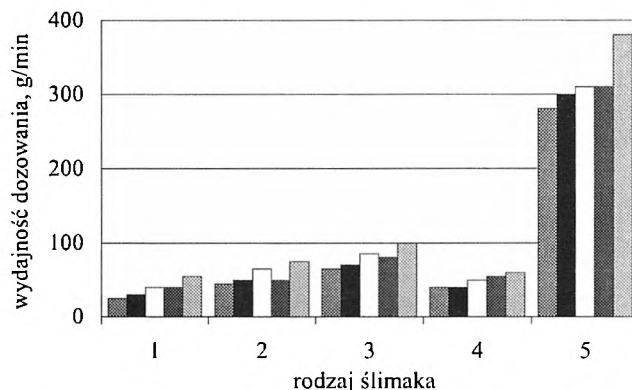
Lp.	D , mm	d , mm	λ , mm	λ^a , mm	λ^b , mm	S , mm	S/D
1	4,95	3,0	15,025	10,025	6,025	6,0	1,212
2	6,75	—	14,125	9,125	5,125	10,3	1,525
3	6,95	4,0	14,025	9,025	5,025	11,2	1,618
4	8,10	—	13,450	8,450	4,450	11,5	1,419
5	7,80	5,0	13,600	8,600	4,600	8,0	1,025
6	8,40	—	13,300	8,300	4,300	12,2	1,452
7	10,15	—	12,425	7,425	3,425	15,0	1,477
8	11,88	—	11,560	6,560	2,560	17,0	1,430
9	13,90	—	10,550	5,550	1,550	21,1	1,517

^{a)} D — średnica zewnętrzna ślimaka; d — średnica rdzenia ślimaka; λ , λ^a i λ^b — odpowiednio, luz promieniowy w odniesieniu do średnicy tulei wynoszącej 35 mm oraz do średnic kryzy wynoszących 25 mm i 17 mm; S — skok linii śrubowej ślimaka.



Rys. 7. Wydajność dozowania w przypadku ślimaków (1—5), szybkości obrotowej ślimaka 92 s⁻¹ i ustawienia poziomego (numery ślimaków — por. tekst)

Fig. 7. Dosage output in case of the screws (1—5), rotational speed of the screw 92 s⁻¹ and horizontal setting (screws numbers — see the text)



Rys. 8. Wydajność dozowania w przypadku ślimaków (1—5), szybkości obrotowej ślimaka 92 s⁻¹ i kąta 30° ustawienia względem poziomu (numery ślimaków — por. tekst)

Fig. 8. Dosage output in case of the screws (1—5), rotational speed of the screw 92 s⁻¹ and 30° towards the level setting (screws numbers — see the text)

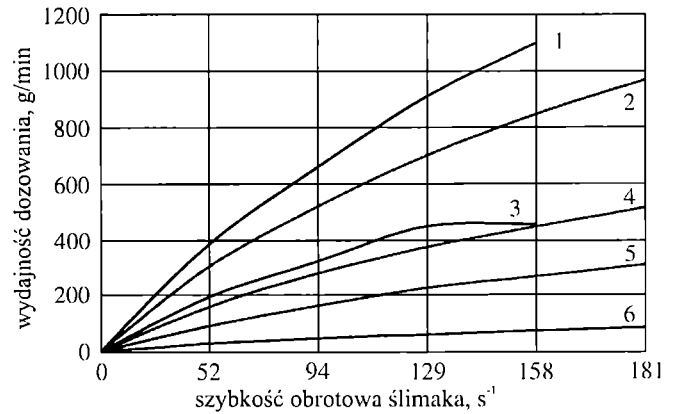
pochyloną pod kątem względem poziomu (w pracy stosowano kąt 30°). W badaniach zastosowano następujące ślimaki: taśmowe średnicy od 5 do 25 mm oraz ślimaki toczone oznaczone na rys. 7 i 8 numerami od 1 do 4 (ślimak toczone nr 1 — średnica zewnętrzna 14 mm, skok 4 mm, ślimak toczone nr 2 — średnica zewnętrzna 14 mm, skok 6 mm, ślimak toczone nr 3 — średnica zewnętrzna 14 mm, skok 7 mm, ślimak toczone nr 4 — średnica zewnętrzna 16 mm, skok 4 mm); numerem 5 oznaczono na tych rysunkach ślimak skracany, średnica 18 mm, skok 30 mm.

Wyniki

Doświadczalnie stwierdziliśmy istnienie wyraźnej zależności wydajności dozowania od stopnia napełnienia tworzywa talkiem lub włóknem szklanym. Ze zwiększającym się stężeniem napełniacza w tworzywie, rośnie w całym zakresie pomiarów wydajność dozowania — głównie ze względu na zwiększenie gęstości. Wzrost ten jest większy w przypadku stosowania talku, co jest spowodowane właściwościami tribologicznymi i gęstością tego napełniacza. Poza tym zaobserwowaliśmy istotny wpływ szybkości obrotowej i średnicy ślimaków na uzyskane wydajności dozowania. Również sposób konstrukcji ślimaka wpływa decydująco na wydajność. Tak więc w przypadku ślimaków skręcanych (nr 5) osiąga się zdecydowanie większą wydajność niż w razie zastosowania ślimaków toczonech, głównie ze względu na wartość współczynnika wypełnienia. Natomiast zmiany cech konstrukcyjnych (głównie skoku i średnicy) ślimaków toczonech w stosunku do wymiarów stosowanych granulatów nie spowodowały zdecydowanych zmian wydajności dozowania.

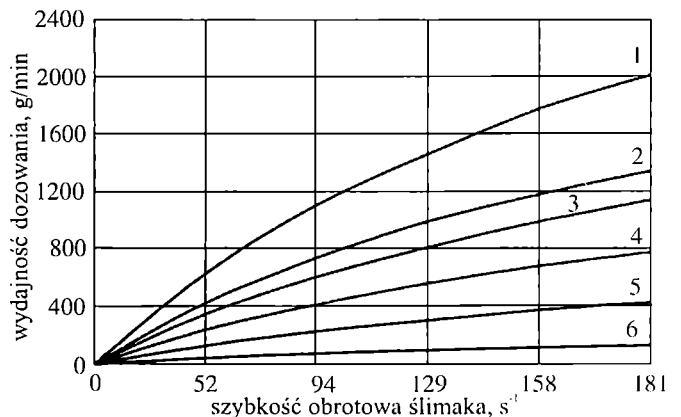
Z naszych badań wynika zatem potrzeba wyznaczenia podstawowych relacji między średnicą i skokiem ślimaka a wymiarami dozowanego granulatu. Wyniki pomiarów uzyskane w warunkach dwóch różnych kątów ustawienia układu dozującego wykazały zmniejszenie wydajności dozowania w przypadku kąta 30° (rys. 8), lecz również zmniejszenie wartości odchylenia standardowego i związany z tym wzrost dokładności procesu. Wiąże się to m.in. ze zmniejszonym udziałem grawitacyjnego wypadania pojedynczych granulek, zminimalizowanym wówczas, gdy układ dozujący charakteryzuje się ustawieniem kątowym.

Rysunki 7 i 8 przedstawiają wartości wydajności dozowania tworzyw polimerowych z zastosowaniem stałej szybkości obrotowej ślimaka (92 s^{-1}) i przyjętych pięciu rodzajów ślimaków (nr 1—5). Natomiast rys. 9 i 10 ilustrują wyniki pomiarów wydajności dozowania, odpowiednio, PP30WS i PP40T w funkcji szybkości obrotowej ślimaka, z zastosowaniem ślimaków różnej średnicy i rozmaitych kątów ustawienia dozownika. Wzrost wydajności jest jednoznacznie spowodowany wzrostem średnicy ślimaka i szybkości obrotowej ślimaka. Ze względu na pewną niejednorodność wymiarową granu-



Rys. 9. Wydajność dozowania PP30WS w zależności od szybkości obrotowej i średnicy ślimaka oraz kąta ustawienia dozownika: 1 — $\varnothing 25 \text{ mm}, 0^\circ$; 2 — $\varnothing 16 \text{ mm}, 0^\circ$; 3 — $\varnothing 25 \text{ mm}, 30^\circ$; 4 — $\varnothing 16 \text{ mm}, 30^\circ$; 5 — $\varnothing 8 \text{ mm}, 0^\circ$; 6 — $\varnothing 8 \text{ mm}, 30^\circ$

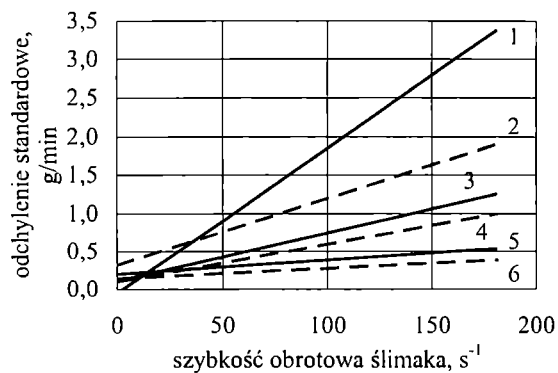
Fig. 9. Dosage output of PP30WS dependently on rotational speed and diameter of a screw as well as feeder setting angle: 1 — $\varnothing 25 \text{ mm}, 0^\circ$; 2 — $\varnothing 16 \text{ mm}, 0^\circ$; 3 — $\varnothing 25 \text{ mm}, 30^\circ$; 4 — $\varnothing 16 \text{ mm}, 30^\circ$; 5 — $\varnothing 8 \text{ mm}, 0^\circ$; 6 — $\varnothing 8 \text{ mm}, 30^\circ$



Rys. 10. Wydajność dozowania PP40T w zależności od szybkości obrotowej i średnicy ślimaka oraz kąta ustawienia dozownika: 1 — $\varnothing 25 \text{ mm}, 0^\circ$; 2 — $\varnothing 16 \text{ mm}, 0^\circ$; 3 — $\varnothing 25 \text{ mm}, 30^\circ$; 4 — $\varnothing 16 \text{ mm}, 30^\circ$; 5 — $\varnothing 8 \text{ mm}, 0^\circ$; 6 — $\varnothing 8 \text{ mm}, 30^\circ$

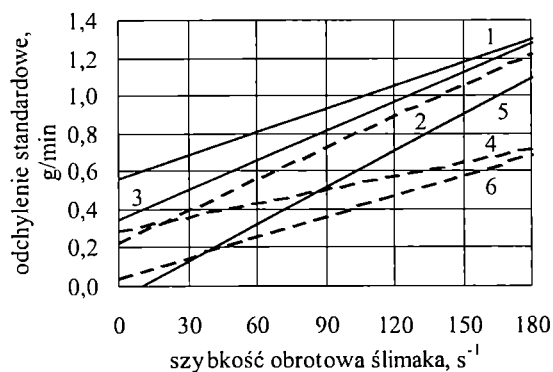
Fig. 10. Dosage output of PP40T dependently on rotational speed and diameter of a screw as well as feeder setting angle: 1 — $\varnothing 25 \text{ mm}, 0^\circ$; 2 — $\varnothing 16 \text{ mm}, 0^\circ$; 3 — $\varnothing 25 \text{ mm}, 30^\circ$; 4 — $\varnothing 16 \text{ mm}, 30^\circ$; 5 — $\varnothing 8 \text{ mm}, 0^\circ$; 6 — $\varnothing 8 \text{ mm}, 30^\circ$

latów, zwłaszcza w przypadku PPWS w warunkach szybkości obrotowej $>120 \text{ s}^{-1}$ i średnicy ślimaka 25 mm, wystąpiły utrudnienia w działaniu dozownika, związane z zakleszczaniem się granulek tworzywa pomiędzy ślimakiem a tuleją. Zaobserwowaliśmy ponadto zmniejszenie wydajności dozowania w przypadku kąta 30° ustawienia ślimaka względem poziomu. Z analizy rys. 11 i 12 wynika zmniejszenie odchylenia standardowego od średniej wartości wydajności dozowania pod kątem 30° w stosunku do poziomego ustawienia układu dozującego.



Rys. 11. Wartość odchylenia standardowego od średniej wartości wydajności dozowania PP30WS w zależności od szybkości obrotowej i średnicy ślimaka oraz kąta ustawienia dozownika: 1 — $\varnothing 25$ mm, 0° ; 2 — $\varnothing 25$ mm, 30° ; 3 — $\varnothing 16$ mm, 0° ; 4 — $\varnothing 16$ mm, 30° ; 5 — $\varnothing 8$ mm, 0° ; 6 — $\varnothing 8$ mm, 30°

Fig. 11. Values of standard deviation from mean value of PP30WS dosage output dependently on rotational speed and diameter of screw as well as feeder setting angle: 1 — $\varnothing 25$ mm, 0° ; 2 — $\varnothing 25$ mm, 30° ; 3 — $\varnothing 16$ mm, 0° ; 4 — $\varnothing 16$ mm, 30° ; 5 — $\varnothing 8$ mm, 0° ; 6 — $\varnothing 8$ mm, 30°



Rys. 12. Wartość odchylenia standardowego od średniej wartości wydajności dozowania PP40T w zależności od szybkości obrotowej i średnicy ślimaka oraz kąta ustawienia dozownika: 1 — $\varnothing 25$ mm, 0° ; 2 — $\varnothing 16$ mm, 0° ; 3 — $\varnothing 25$ mm, 30° ; 4 — $\varnothing 8$ mm, 0° ; 5 — $\varnothing 16$ mm, 30° ; 6 — $\varnothing 8$ mm, 30°

Fig. 12. Values of standard deviation from mean value of PP40T dosage output dependently on rotational speed and diameter of screw as well as feeder setting angle: 1 — $\varnothing 25$ mm, 0° ; 2 — $\varnothing 16$ mm, 0° ; 3 — $\varnothing 25$ mm, 30° ; 4 — $\varnothing 8$ mm, 0° ; 5 — $\varnothing 16$ mm, 30° ; 6 — $\varnothing 8$ mm, 30°

Wnioski

Uzyskanie powtarzalnego poziomu dozowania tworzyw polimerowych w rzeczywistych warunkach przetwórstwa, wobec dużej ich różnorodności charakteryzowanej wybranymi wskaźnikami materiałowymi i użytkowymi, wymaga prowadzenia badań doświadczalnych.

Charakterystyka dozownika ślimakowego, polegająca na analizie wydajności i dokładności dozowania

z wykorzystaniem zbioru ślimaków o różnych cechach konstrukcyjnych umożliwia wybór najlepszego rozwiązania, które uwzględni relacje między cechami granulometrycznymi tworzyw polimerowych a układem dozującym.

Stosowane w naszej pracy ślimaki o różnych cechach konstrukcyjnych, zweryfikowane w odniesieniu do wybranej grupy tworzyw polimerowych, nie wyczerpują wszystkich możliwych rozwiązań i celów stawianych podczas badań. Niemniej jednak na podstawie uzyskanych wyników można przyjąć, że ślimaki toczone są korzystniejsze w przypadku mikrogranulatów i proszków polimerowych, natomiast dużą wydajność i względnie dobrą dokładność dozowania granulatów uzyskuje się stosując ślimaki skręcane. W razie potrzeby wzrostu dokładności dozowania zaleca się kątowe ustawienie układu dozującego, czego potwierdzenie stanowią wartości odchylenia standardowego od średniej wartości dozowania. W szczególnych zastosowaniach może być uzasadnione używanie bardziej złożonych konstrukcyjnie i technologicznie ślimaków, o zmiennym skoku bądź średnicy.

Na podstawie naszych badań stwierdziliśmy potrzebę weryfikacji sposobu wyznaczania i interpretacji współczynnika wypełnienia układu dozującego, który, jak wynika z prób wstępnych, zależy od wielu zmiennych, a w literaturze przyjmowany jest najczęściej jako wartość stała.

Ustaliliśmy także, że podczas wytwarzania (na zimno) granulatów należy zwiększyć jednorodność wymiarową ziaren granulatów składników dodatkowych i sterowania parametrami procesu po to, aby uzyskać wymiary ziaren zbliżone do wymiarów granulatu tworzyw polimerowych.

LITERATURA

1. Flizikowski J.: „Rozdrabnianie tworzyw sztucznych”, ATR, Bydgoszcz 1998, str. 43—64.
2. Praca zbiorowa: „Mischen von Kunststoff und Kautschuk-produkten”, VDI Verlag, Düsseldorf 1993, str. 465—580.
3. Pahl M. H.: „Mischen bei der Herstellung und Verarbeitung von Kunststoffen”, VDI Verlag, Düsseldorf 1985, str. 66—78.
4. Saechtling: Poradnik „Tworzywa sztuczne”, WNT, Warszawa 2000, str. 581—595.
5. Sikora R.: „Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych”, Wydawnictwo Edukacyjne, Warszawa 1993, str. 32—35.
6. Sikora R.: „Leksykon Naukowo-Techniczny”; Wadim Plast Sp. J., Lublin 2002, str. 24, 72, 74.
7. Szlezyngier W.: „Tworzywa sztuczne”, OWPR, Rzeszów 1999, t. 2, str. 593—644.
8. Sikora R.: *Polimery* 2000, 45, 22.
9. Boss J.: „Mieszanie materiałów ziarnistych”, PWN, Warszawa 1987, str. 84—110.

10. Kłassien P. W., Griszajew I. G.: „Podstawy techniki granulacji”, WNT, Warszawa 1989, str. 11—30.
11. Koch R., Noworyta A.: „Procesy mechaniczne w inżynierii chemicznej”, WNT, Warszawa 1998, str. 166—188, 202—210, 235—248.
12. Stręk F.: „Inżynieria chemiczna. Mieszanie i mieszalniki”, WNT, Warszawa 1981, str. 361—398.
13. Praca zbiorowa: „Additive in der Praxis”, Masterbatch Verband, Verband der Mineralfarbenindustrie e.V, Frankfurt nad Menem 2002, str. 1—23.
14. Bieliński M., Burzyński P.: Materiały z konferencji „Postęp w przetwórstwie materiałów polimerowych”, Politechnika Częstochowska, Częstochowa 2002, str. 290—297.
15. Bieliński M., Burzyński P.: *Inż. Ap. Chem.* 2003, nr 3 specjalny, 15.
16. Bieliński M., Burzyński P.: VIII Profesorskie Warsztaty Naukowe „Przetwórstwo tworzyw polimerowych”, Politechnika Koszalińska 2003, str. 23—24.
17. Lapresa G.: „Industrielle Kunststoff Coloristik”, Carl Hanser Verlag, Monachium—Wiedeń 1998, str. 80—90.
18. Sadlak A.: *Polimery* 1988, **33**, 274.
19. Praca zbiorowa: „Masterbatches in der Praxis”, Masterbatch Verband, Verband der Mineralfarbenindustrie e.V, Frankfurt nad Menem 2001, str. 1—11.
20. Bieliński M.: Materiały II Międzynarodowej Konferencji Naukowej „Recykling tworzyw sztucznych”, Jesenik 2002, str. 125—132.
21. Masterbatch 2000. Applied Market Information Ltd. Genewa 2000, t. 2.
22. Malczewski J.: „Mechanika materiałów sypkich”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1994, str. 37—54.
23. Szczepiński W.: „Stany graniczne i kinematyka ośrodków sypkich”, PWN, Warszawa 1974, str. 166—178.
24. Błasiński H., Młodziński B.: „Aparatura przemysłu chemicznego”, WNT, Warszawa 1971, str. 24—28.
25. Bieliński M.: „Materiałowa i przetwórcza charakterystyka wybranych termoplastycznych tworzyw wtórnych”, Rozprawy nr 90, ATR, Bydgoszcz 1998, str. 30—41.
26. Heim A., Obraniak A.: *Inż. Ap. Chem.* 2003, nr 3 specjalny, 58.
27. Goździecki M., Świątkiewicz H.: „Przenośniki”, WNT, Warszawa 1979, str. 18—20, 250—251.
28. Materiały reklamowe firm: Hydrapress, Schenck, Morillon, Zeppelin, Luzenac Naintsch.