

Roman HEJFT, Tomasz LESZCZUK

e-mail: rhj@pb.edu.pl

Zakład Techniki Rolno-Spożywczej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Białostocka, Białystok

## Dobór parametrów procesu beciśnieniowej aglomeracji (otoczkowania nasion). Część I: Stanowisko badawcze

### Wstęp

Granulacja jest procesem aglomeracji małych cząstek materiałów rozdzielonych w większe zespoły i prowadzona jest w obecności cieczy nawilżającej. Na podstawie danych literaturowych można stwierdzić, że granulację beciśnieniową przy aglomerowaniu materiałów wilgotnych prowadzi się przy zastosowaniu ciśnień mniejszych niż 0,1 MPa [1].

Do realizacji tego procesu wykorzystywane są następujące urządzenia [2]:

- bębny granulacyjne,
- granulatory stożkowe,
- talerze granulacyjne,
- granulatory łopatkowe,
- granulatory fluidyzacyjne.

### Proces granulacji

Mechanizm aglomeracji beciśnieniowej polega na formowaniu granulki z pylistego materiału wokół zarodka granulacji. W tym przypadku zarodkiem dla granulki jest nasiono, na którym powstaje warstwa zwilżonego materiału będącego w ruchu. Granulowanie przez otaczanie jest beciśnieniową metodą powiększania ziarna. Proces polega na przesypaniu materiału zmieszanego z dodatkiem spoiwa lub cieczy granulacyjnej. Cząstki materiału intensywnie mieszane w urządzeniu granulacyjnym ulegają aglomeracji. Obecność drugiej fazy między cząsteczkami ciała stałego powoduje, że nawet niewielka ilość cieczy może pokrywać cienką warstwą powierzchnię zetknięcia cząstek i wypełniać nierówności tej powierzchni. Powstałe luźne granulki o niskiej początkowo wytrzymałości są zagęszczane w wyniku zderzeń mechanicznych.

W procesie granulacji beciśnieniowej w przestrzeni swobodnej występuje intensywne mieszanie się cząstek materiału i pod wpływem sił zewnętrznych oraz sił wzajemnego oddziaływania na siebie następuje ich łączenie, stopniowe zagęszczanie i zwiększanie tworzących się aglomeratów. Mechanizm tworzenia się granulki w procesie otaczania polega na łączeniu się cząstek przy pomocy mostków cieczy.

Do łączenia cząstek przyczyniają się siły napięcia powierzchniowego cieczy granulacyjnej i siły kapilarne. W procesie granulowania następuje stopniowe zagęszczanie i zabudowywanie granulek pod wpływem sił zewnętrznych oraz wzajemnego oddziaływania granulek podczas toczenia. W czasie granulacji słabsze granulki ulegają rozpadowi lub wzmocnieniu. Rozpad powoduje powstawanie materiału drobnego w złożu granulowanego materiału, który należy odsiać od właściwego granulatu. Warunkiem koniecznym do tego, aby nastąpiło połączenie się drobnych cząstek w większy aglomerat jest zbliżenie się ich do takiego stopnia, by zaczęły działać siły wiążące. W wyniku działania tych sił może powstać granulka o pewnej spoiwości.

Granulacja materiałów sproszkowanych i towarzyszące jej procesy (mieszanie, rozdrabnianie, klasyfikacja) zależą w znacznym stopniu od właściwości fizycznych i reologicznych tych materiałów [3].

Materiały ziarniste stanowią obszerną grupę materiałów pochodzenia naturalnego lub sztucznego o złożonych właściwościach fizycznych. Wiąże się to z równoczesnym występowaniem składnika będącego ciałem stałym – ziarna oraz płynu wypełniającego przestrzeń między ziarnami.

Jako surowce w procesie granulacji można stosować między innymi: warzywa, produkty zbożowe, specjalistyczne pasze dla ryb, produkty

spożywcze, pyliste odpady technologiczne (komunalne i przemysłowe) itp.

Cieczą granulacyjną jest najczęściej woda z rozpuszczonymi mikro-dodatkami (roztwór gumy arabskiej, roztwór żelatyny); roztwór kleju lub zawiesiny [1].

### Parametry procesu

Po analizie literaturowej [1, 4, 5] można stwierdzić, że na proces granulowania beciśnieniowego decydujący wpływ mają parametry wymienione w tab. 1.

Tab. 1. Główne czynniki procesu granulacji beciśnieniowej

Własności fizykochemiczne materiału	Parametry konstrukcyjno-eksploatacyjne	Proces granulowania
<ul style="list-style-type: none"> <li>– skład granulometryczny</li> <li>– struktura materiału</li> <li>– powierzchnia ziarna</li> <li>– porowatość cząstek</li> <li>– wilgotność</li> <li>– zwilżalność</li> <li>– higroskopijność</li> <li>– gęstość usypowa</li> <li>– spójność ziaren</li> <li>– temperatura ziarna</li> <li>– ką naturalnego usypu</li> <li>– higroskopijność</li> <li>– współczynnik tarcia zewnętrznego</li> <li>– współczynnik tarcia wewnętrznego</li> <li>– plastyczność materiału</li> <li>– czynniki kształtu: współczynnik kształtu, sferyczność cząstek, itp.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– liczba wymiennych talerzy granulatora</li> <li>– rodzaj materiału talerza</li> <li>– średnica talerza granulacyjnego</li> <li>– wysokość obrzeża talerza</li> <li>– częstość obrotów talerza, prędkość obrotowa talerza</li> <li>– kąt pochylenia talerza względem poziomu</li> <li>– rodzaj cieczy granulacyjnej</li> <li>– miejsce dozowania cieczy granulacyjnej</li> <li>– natężenie przepływu cieczy granulacyjnej</li> <li>– temperatura cieczy granulacyjnej</li> <li>– sposób dozowania cieczy granulacyjnej</li> <li>– sposób dozowania surowców sypkich</li> <li>– miejsce dozowania surowców sypkich</li> <li>– rodzaj napędu granulatora</li> <li>– ustawienie zgarniaków</li> <li>– rodzaj rozdrabniacza</li> <li>– rodzaj dozownika</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– wydajność</li> <li>– rozkład granulometryczny</li> <li>– zapotrzebowanie mocy</li> <li>– stopień wypełnienia talerza</li> <li>– stopień pokrycia powierzchni talerza</li> <li>– stopień zagęszczenia granulek</li> <li>– samooczyszczanie powierzchni talerza</li> <li>– wytrzymałość mechaniczna granulek</li> <li>– zawartość wilgoci w granulacie</li> <li>– czas przebywania materiału w granulatorze</li> </ul>

Skład i właściwości surowców poddanych granulowaniu beciśnieniowemu, w którym o połączeniu się cząstek decyduje skuteczność ich bezpośredniego kontaktu, stanowią bardzo ważne czynniki mające wpływ na przebieg otoczkowania.

Na skład granulometryczny produktu wywiera również wpływ miejsce dozowania do talerza sypkich składników i cieczy granulometrycznej. Z badań wynika, że dla otrzymania większych granulek, materiał sypki powinno się dozować do dolnej części talerza, a rozpylony strumień cieczy w górną część unoszonej warstwy. Dokładna znajomość wpływu miejsca dozowania na jakość otrzymywanego produktu umożliwia wcześniejszą ingerencję i poprawę jakości otrzymywanego surowca.

Przy nieodpowiednim doborze składu i wynikających z niego właściwości podatność na ten rodzaj granulowania może być niska, czasem wręcz uniemożliwiająca proces tworzenia. Skład i właściwości materiałów stosowanych w procesie granulacji powinny być tak dobrane, by oprócz odpowiedniej wytrzymałości otoczka pozwalała na optymalny

transport wody do nasiona w zróżnicowanych warunkach glebowych. Ważnym parametrem jest również zwilżalność i higroskopijność. Parametry te określają efektywność oddziaływania fazy ciekłej i stałej. Zbyt duża higroskopijność surowca często uniemożliwia proces granulowania i konieczne jest wprowadzenie do składu surowcowego innego składnika, powodującego polepszenie tzw. podatności na granulowanie.

Średnica talerza granulacyjnego, a precyzyjnie – jego powierzchnia, ma bezpośredni wpływ na wydajność otrzymywanego granulatu i wytrzymałość mechaniczną granulek. Efektywność pracy granulatora jest tym większa, im większy jest stopień wykorzystania powierzchni talerza. Dłuższa droga staczających się po powierzchni talerza cząstek powoduje, że są one twardsze, o większym stopniu zagęszczenia.

Ważnym parametrem granulacji bezcisnieniowej jest wysokość obrzeża talerza. Parametr ten wywiera wpływ na stopień samoklasyfikacji granulek. W trakcie ruchu cząstek w obracającym się talerzu, ich rozkład jest ściśle określony. Bliżej dna talerza znajdują się cząstki najdrobniejsze, a nad nimi coraz większe. Obroty talerza powodują, że cząstki przebywają drogę po spirali, zwiększając swoją wielkość i oddalając się od dna [1].

O wielkości kąta pochylenia talerza decyduje kąt natarcia granulowanego materiału o powierzchnię talerza i kąt tarcia wewnętrznego. Kąt ten w praktyce mieści się w odpowiednich granicach, przy których proces granulacji przynosi najbardziej korzystny efekt. Bardziej płaskie ustawienie talerza wpływa na zwiększenie średnicy powstających granulek [1].

Bardzo ważnym współczynnikiem warunkującym tworzenie się i wzrost granulek jest ruch materiału w talerzu. W granulatorze telerzowym charakter tego ruchu zależy przede wszystkim od częstości obrotów i kąta pochylenia względem poziomu. Ruch, jakiemu podawany jest w granulatorze materiał wraz z doprowadzoną cieczą umożliwia wzajemny kontakt cząstek i stwarza warunki do powstania sił wiążących. Częstość obrotów talerza decyduje o właściwym dla tego procesu przesywowym ruchu materiału.

Zarówno właściwości surowców sypkich poddawanych granulowaniu, jak i właściwości cieczy granulacyjnej wywierają wpływ na współczynnik skuteczności zderzeń  $\lambda$ , którego wartość w procesie decyduje w dużym stopniu o właściwym przebiegu granulacji. Przy doborze cieczy granulacyjnej dużą uwagę należy zwrócić na jej napięcie powierzchniowe oraz gęstość [1].

Istotnym parametrem granulacji jest stosunek ilości cieczy przypadającej na jednostkę masy granulowanego materiału.

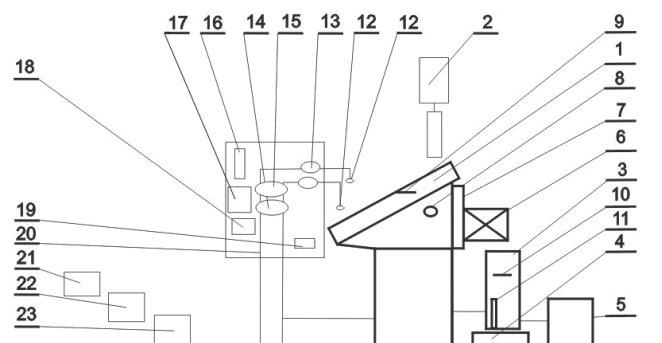
### Założenia projektowe stanowiska badawczego

Schemat stanowiska badawczego przedstawiono na rys. 1. Surowce wykorzystywane podczas badań dostarczane są w formie sypkiej w postaci gruboziarnistej. Dla uzyskania właściwej podatności do tworzenia granulek metodą bezcisnieniową muszą być one rozdrobnione do postaci drobnoziarnistej (poniżej 0,1 mm). Do tego celu stosuje się rozdrabniacz bijakowy. Surowce poddane rozdrobnieniu zostają również wstępnie mieszane na talerzu rozdrabniacza. Daje to pewność, że do dalszych procesów nie dopuści się surowców zbrylonych.

Mieszkankę rozdrobnionego surowca doprowadza się do lejka zasywowego umieszczonego nad dozownikiem, umożliwiającym regulację strumienia rozdrobnionych składników w odpowiednie miejsce talerza granulacyjnego.

Ciecz granulacyjna jest wodnym roztworem dwóch lub więcej faz. Przygotowanie cieczy odbywa się w pojemniku. Następnie jest ona przemieszczana z pojemnika do zbiornika ciśnieniowego wykonanego ze stali nierdzewnej. Na dnie zbiornika cieczy znajduje się element grzewczy sterowany termostatem. Urządzenie to umożliwia utrzymywanie temperatury cieczy w zakresie od 15 do 70°C. Na dnie zbiornika umieszczony jest zawór spustowy.

Ciecz nawilżająca doprowadzana jest do dysz w wyniku nadciśnienia panującego nad lustrem cieczy w zbiorniku. Nadciśnienie wytwarzane jest za pomocą sprężarki umieszczonej obok zbiornika. Wielkość ciśnienia regulowana jest za pomocą zaworu redukcyjnego i odczytywana na manometrze. Strumień cieczy, doprowadzony do granulatora w jed-



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego do bezcisnieniowej granulacji: 1 – wymienny talerz granulacyjny, 2 – dozownik rozdrobnionego surowca, 3 – zbiornik podgrzewanej cieczy nawilżającej, 4 – waga, 5 – sprężarka, 6 – silnik elektryczny, 7 – przekładnia pasowa, 8 – mechanizm śrubowy, 9 – zgarniaki, 10 – wskaźnik poziomu cieczy, 11 – element grzewczy, 12 – dysze rozpyłowe, 13 – zawór kulowy, 14 – zawór redukcyjny, 15 – manometr, 16 – rotometr, 17 – falownik, 18 – termostaat, 19 – zegar, 20 – przewody gumowe, 21 – przesiewacz, 22 – suszarka, 23 – rozdrabniacz bijakowy

nym lub w dwóch punktach, regulowany jest wydajnością zastosowanych dwóch dysz rozpyłowych i zaworów kulowych dławiących ich przepływ. Zakres natężenia przepływu cieczy mieści się w granicach 0,025–0,3 l/min.

Strumień surowca dozowanego z dozownika i strumień rozpylonej cieczy granulacyjnej spotykają się na obrotowym talerzu. Talerz, w zależności od przeznaczenia, charakteryzują cztery parametry: średnica, wysokość obrzeża, prędkość obrotowa oraz materiał, z którego jest wykonany. Odpowiednią prędkość obrotową uzyskuje się przez sterowanie pracą silnika jednofazowego, do którego podłączony jest falownik, a przekazanie napędu odbywa się poprzez przekładnię pasową. Mechanizm ten pozwala na zmianę częstości obrotów w przedziale od 0,1 do 1,7 s<sup>-1</sup>.

Podczas kontaktu rozdrobnionego surowca z cieczą nawilżającą oraz przesywowego ruchu materiału powstaje granulka o charakterystycznym kulistym kształcie

Granulat podawany jest przesiewaniu poprzez zestaw kilku sit na frakcję właściwą oraz produkt uboczny i zanieczyszczenia.

Do oczyszczenia materiału, który znajduje się na ściankach talerza służą zgarniaki. W celu hermetyzacji i ochrony przed pyleniem urządzenie może być wyposażone w osłonę. Poziomu cieczy w zbiorniku wodny regulowany jest za pomocą czujnika sterowanego elektrycznie. Ilość cieczy granulacyjnej pobranej podczas badania odczytuje się na wyświetlaczu wagi, na której umieszczony jest na stałe zbiornik cieczy nawilżającej. Naciśnienie cieczy nawilżającej odczytywane jest na manometrze umieszczonym na pulpicie sterującym

### Podsumowanie

Na podstawie analizy literaturowej dotyczącej procesu bezcisnieniowej aglomeracji opracowano koncepcję i założenia projektowe do budowy stanowiska badawczego, przewidzianego do otoczkowania nasion, a także granulowania innych materiałów np. nawozów, pyłów z elektrociepłowni. Obecnie stanowisko jest testowane w ramach badań wstępnych.

### LITERATURA

- [1] *W. Korpala*: Granulowanie materiałów rolni spożywczych metodą bezcisnieniową [w:] Rozprawy naukowe Akademii Rolniczej w Lublinie, Wyd. Akademii Rolniczej, Lublin 2005.
- [2] *M. Domaradzki, J. Holcman*: Zastosowanie i charakterystyka nasion otoczkowanych, [w:] B. Michalik, W. Weiner (red.) Wybrane zagadnienia z nasienictwa roślin ogrodniczych, praca zbiorowa, s. 176, Drukrol, Kraków 2004.
- [3] *P. W. Klassien, I. G. Griszajew*: Podstawy techniki granulacji, (tłum. z jęz. ros. B. Kochański, E. Rzycki), WNT, Warszawa 1989.
- [4] *M. Domaradzki*: Rozprawa doktorska: Kinetyka granulacji pyłów w granulatorze telerzowym, Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy, Bydgoszcz 1978.
- [5] *R. Kaźmierczak*: Rozprawa doktorska: Nakłady energetyczne w procesie granulacji talerzowej, Politechnika Łódzka, Łódź 2005.