

## **Stanowisko badawcze do optymalizacji procesu wytwarzania nawozów o spowolnionym działaniu**

***Tomasz Leszczuk***

*Politechnika Białostocka, Wydział Mechaniczny,  
Zakład Techniki Rolno-Spożywczej,  
ul. Wiejska 45 C, 15-351 Białystok  
e-mail: tomasz.leszczuk@wp.pl*

**Słowa kluczowe:** stanowisko badawcze, nawozy o spowolnionym uwalnianiu, granulacja talerzowa beciśnieniowa

### **Wstęp**

Nawożenie zlokalizowane jest podstawowym procesem wpływającym na szybkość wzrostu oraz jakość roślin. Powinno ono z jednej strony zapewniać optymalną dostępność składników mineralnych dla roślin w całym sezonie wegetacji, z drugiej – w jak najmniejszym stopniu wpływać negatywnie na środowisko.

Najczęściej w zlokalizowany sposób nawozi się rośliny ozdobne uprawiane w pojemnikach lub drzewa w szkółkach i sadach. W praktyce wykonanie zabiegu wiąże się na umieszczeniu kilku lub kilkudziesięciu gramów nawozu wolno działającego pod systemem korzeniowym w trakcie sadzenia roślin [1].

Obecnie na rynku handlowym dostępne są dwa rodzaje nawozów wolno działających:

- o niekontrolowanym uwalnianiu składników, ich działanie wynika z rodzaju związków i wiązań chemicznych w nich występujących;
- o kontrolowanym działaniu, szybkość i czas uwalniania zawartych w nich składników zależą od rodzaju otoczki, którą pokryty jest nawóz [15].

Ze względu na postać strukturalną nawozy wolno działające należą do grupy nawozów stałych, granulowanych. Nawozy te mają wiele zalet: nie zbrylają się trwale, mają zdolność przechodzenia w materiał mazisty lub gruzełkowaty pod wpływem działania mieszadeł, łatwo się je przechowuje, są odporne na uderzenia, łatwe w użyciu, kształt daje możliwość precyzyjnej aplikacji za pomocą aplikatora ogrodniczego [2, 9, 14].

Specjalnie dobrany skład oraz specyfika nawozów granulowanych gwarantują optymalny wzrost roślin ogrodniczych.

## Charakterystyka procesu

Stale nawozy ogrodnicze i rolnicze powstają najczęściej podczas procesu granulacji. Jest to proces aglomeracji małych cząstek w większe zespoły i prowadzony jest w obecności cieczy nawilżającej. Na podstawie danych można stwierdzić, że granulację bezciśnieniową prowadzi się przy zastosowaniu ciśnień mniejszych niż 0,1 MPa (przy aglomerowaniu materiałów wilgotnych) [13]. Granulacja materiałów sproszkowanych i towarzyszące jej procesy (mieszanie, rozdrabnianie, klasyfikacja) zależą w znacznym stopniu od właściwości fizycznych i reologicznych tych materiałów [11]. Materiały ziarniste stanowią obszerną grupę materiałów pochodzenia naturalnego lub sztucznego o złożonych własnościach fizycznych. Wiąże się to z równoczesnym występowaniem składnika będącego ciałem stałym – ziarna, oraz płynu wypełniającego przestrzeń między ziarnami. Cieczą granulacyjną jest najczęściej woda lub roztwór wodny w połączeniu z rozpuszczonymi mikrodotkami (roztwór gumy arabskiej, roztwór żelatyny, roztwór kleju itp.) [4, 10, 13, 16, 21, 26].

Skuteczność procesu aglomeracji zależy od wielu parametrów procesu, mających wpływ na częstotliwość kolizji międzycząsteczkowych, względne prędkości poszczególnych cząstek, sił międzycząsteczkowych powstających podczas kontaktu suchego ciała stałego z cieczą granulacyjną [8].

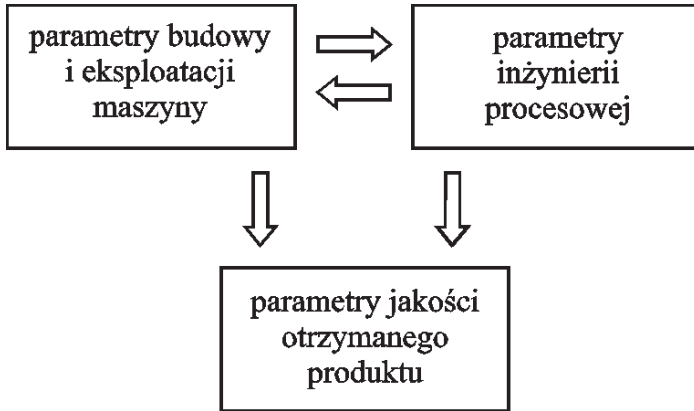
Po zakończonym procesie granulacji produkt można poddać jeszcze zabiegom otoczkowania. Polega to na powlekanii otrzymanego granulatu otoczką polimerową, nanoszoną na produkt za pomocą dysz ciśnieniowych [26].

Proces granulacji bezciśnieniowej i otoczkowania prowadzi się najczęściej w granulacjach, bębnowych i talerzowych, w których można otrzymywać wspomniane wcześniej dwie grupy nawozów. Każda metoda aglomeracji wyróżnia się szczególnymi mechanizmami wiążącymi dając aglomeraty o specyficznych cechach jakościowych [22].

## Parametry procesu

Przebieg procesu granulacji talerzowej, jego wydajność i energochłonność oraz jakość otrzymanego produktu są ściśle związane z parametrami aparaturowo-procesowymi procesu (rys. 1) [7]. Analizując literaturę [4, 6, 10, 13, 19, 24, 25, 26] można stwierdzić, że na proces granulowania bezciśnieniowego ma wpływ szereg czynników, które można podzielić na następujące grupy [17]:

- czynniki chemiczno-biologiczne: skład chemiczny granulowanego materiału, budowa biologiczna cząstek;
- czynniki materiałowe – związane z przygotowaniem materiału do procesu: skład granulometryczny, struktura materiału, powierzchnia ziarna, porowatość cząstek, wilgotność cząstek, zwilżalność, higroskopijność, gęstość usypowa, spójność ziaren, temperatura ziarna, kąt naturalnego usypu, współczynnik tarcia zewnętrzne-



**Rysunek 1.** Schemat interdyscyplinarnej zależności parametrów aparaturowo-procesowych [17]

go, współczynnik tarcia wewnętrzznego, plastyczność materiału, czynniki kształtu: współczynnik kształtu, sferyczność cząstek itp.;

- czynniki aparaturowe – konstrukcyjne: rodzaj materiału talerza, ilość wymiennych talerzy granulatora, średnica talerza granulacyjnego, wysokość obrzeża talerza, częstość obrotów talerza (prędkość obrotowa talerza), kąt pochylenia talerza względem poziomu, rodzaj cieczy granulacyjnej, miejsce dozowania cieczy granulacyjnej, rodzaj napędu granulatora, ustawienie zgarniaków;
- czynniki procesowe – związane z przebiegiem procesu granulacji: natężenie przepływu cieczy granulacyjnej, temperatura cieczy granulacyjnej, temperatura procesu, sposób dozowania cieczy granulacyjnej, sposób dozowania surowców sypkich, miejsce dozowania surowców sypkich, czas przebywania materiału w granulatorze.

Przedstawione czynniki procesowe wywierają bezpośredni wpływ na relacje wyników procesu granulowania. Skład i właściwości surowców poddanych granulowaniu bezciśnieniowemu, w którym o połączeniu cząstek decyduje skuteczność ich bezpośredniego kontaktu, stanowią bardzo ważne czynniki mające wpływ na przebieg aglomeracji [12, 15, 22]. Przy nieodpowiednim doborze składu i wynikających z niego właściwości podatności na ten rodzaj granulowania może być niska, czasem wręcz uniemożliwiająca proces tworzenia. Skład i właściwości materiałów stosowanych w procesie granulacji powinien być tak dobrany, by oprócz odpowiedniej wytrzymałości otoczka pozwalała na optymalny transport wody do nasion w zróżnicowanych warunkach glebowych. Dodatki sypkie dodawane do surowca podawanego granulacji wywierają wpływ na wytrzymałość mechaniczną otrzymanego produktu. Niewielki ich udział obniża lub powiększa jej wartość [6, 23].

Ważnym parametrem jest również zwilżalność i higroskopijność surowca. Określa on 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 [13, 25].

Na skład granulometryczny produktu wywiera również wpływ miejsce dozowania do talerza sypekich składników i cieczy granulometrycznej. Z badań wynika, że dla otrzymania większych granulek, materiał syпки 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 jego wcześniejszą ingerencję i poprawę jakości otrzymywanego surowca [10].

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 [13].

Ważnym parametrem granulacji bezciśnieniowej 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 [10, 13].

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 [13]. Zwiększenie kąta pochylenia talerza skutkuje wzrostem powierzchni właściwej złoża granul oraz spadkiem porowatości aglomeratu [21].

Bardzo ważnym współczynnikiem warunkującym tworzenie się i wzrost granulek jest ruch materiału w talerzu. W granulatorze talerzowym charakter tego ruchu zależy przede wszystkim od częstości obrotów i kąta pochylenia względem poziomu [10]. 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 przesy-powym ruchu materiału [4].

Na zmianę gęstości usypowej uzyskanego granulatu wpływ ma stopień wypełnienia talerza materiałem. Granulacja zachodzi szybciej dla większych wypełnień talerza surowcem [19]. Wzrost szybkości powstawania granulek, przyspiesza ich zagęszczanie, co skutkuje wzrostem gęstości nasypowej [18].

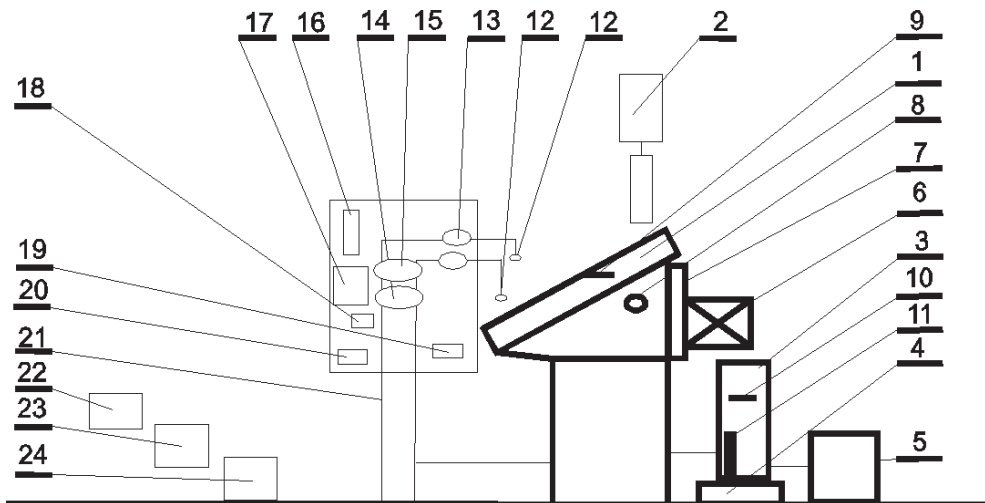
Przy doborze cieczy granulacyjnej dużą uwagę należy zwrócić na jej napięcie powierzchniowe oraz gęstość [13, 16]. Obniżenie napięcia powierzchniowego cieczy powoduje spadek szybkości wzrostu aglomeratów [5]. Rodzaj zastosowanej cieczy wiążącej wpływa na odporność granulek na ściskanie [25].

Istotnym parametrem granulacji jest wielkość strumienia dozowanego materiału sypkiego oraz cieczy nawilżającej. Wynika z tego stosunek ilości cieczy przypadającej na jednostkę masy granulowanego materiału [4]. Gęstość uzyskanego granulatu zależy od stopnia rozbicia strugi cieczy zwilżającej (średniej wielkości kropeł). Większe rozbicie strugi cieczy podawanej przez dyszę prowadzi do obniżenia szybkości tworzenia i wzrostu aglomeratów w etapie nawilżania, a także szybkości przyrostu ich rozmiarów w okresie granulacji po nawilżaniu [18, 19]. Wzrost średniego wymiaru kropeł podawanych przez dysze wpływa na szybszy przyrost gęstości nasypowej granulowanego wsadu [18]. Wzrost ilości cieczy wiążącej dodanej w czasie granulacji wpływa na zwiększenie odporności na ścieranie suchego produktu [6]. Surowiec przetwarzany przy większej wilgotności szybciej przekształca się w granulki i szybciej zachodzą w nim procesy zagęszczania ziaren w aglomeratach [20].

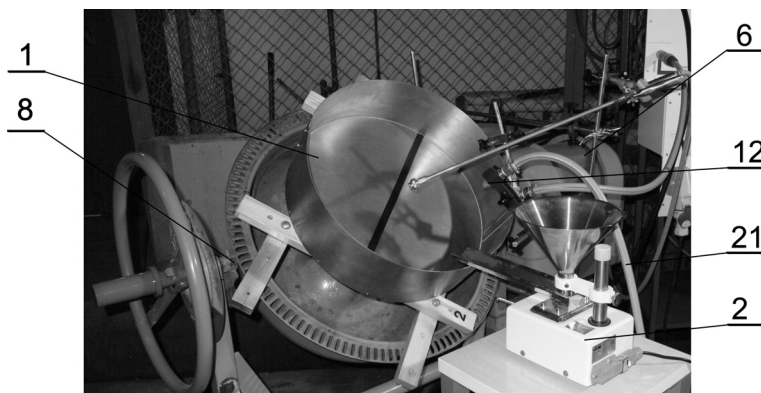
## Założenia projektowe stanowiska badawczego

Stanowisko badawcze umożliwia prowadzenie badań w sposób periodyczny. Schemat stanowiska badawczego przedstawiono na rysunku 2.

Podczas badań wykorzystywane surowce dostarczone są w formie sypkiej w postaci gruboziarnistej. Dla uzyskania właściwej podatności do tworzenia granulek



**Rysunek 2.** Schemat stanowiska badawczego do bezciśnieniowej 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 – termostat, 19 – zegar, 20 – obrotomierz z czujnikiem indukcyjnym, 21 – przewody gumowe, 22 – przesiewacz, 23 – suszarka, 24 – rozdrabniacz bijakowy



**Rysunek 3.** Widok ogólny granulatora talerzowego: 1 – wymienny talerz granulacyjny, 2 – dozownik rozdrobnionego surowca, 6 – silnik elektryczny, 8 – mechanizm śrubowy, 12 – dysze rozpyłowe, 21 – przewody gumowe

metodą, bezciśnieniową muszą być one rozdrobnione do postaci drobnoziarnistej, poniżej 0,1 mm. Do tego celu stosuje się rozdrabniacz bijakowy.

Mieszanek rozdrobnionego surowca doprowadza się do lejki zasypowego 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, którego praca sterowana jest za pomocą termostatu. Urządzenie to umożliwi sterowanie temperaturą cieczy w zakresie od 15 do 90°C. Na dnie zbiornika umieszczony jest zawór spustowy, umożliwiający opróżnienie.

Ciecz doprowadzana jest do dysz w wyniku nadciśnienia panującego nad lustrem cieczy w zbiorniku. Nadciśnienie wytwarzane jest za pomocą sprężarki umieszczonej obok zbiornika cieczy nawilżającej. Wartość ciśnienia regulowana jest za pomocą zaworu redukcyjnego, a jego wartość odczytywana za pomocą manometru. Strumień cieczy regulowany jest wydajnością zastosowanych dwóch dysz rozpyłowych i zaworów kulowych dławiących ich przepływ. Do granulatora doprowadzona jest ona w jednym lub w dwóch punktach. Zakres natężenia przepływu cieczy mieści się w granicach od  $0,025 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$  do  $0,3 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ .

Strumień dozowanego surowca z dozownika i strumień rozpylonej cieczy granulacyjnej spotykają się na obrotowym talerzu. Talerz w zależności od przeznaczenia ma charakterystyczne parametry: średnicę i wysokość obrzeża. Prędkością obrotową, z jaką obraca się talerz, steruje się za pomocą silnika jednofazowego, do którego podłączony jest falownik. Przekazanie napędu odbywa się poprzez przekładnię pasową. Mechanizm ten pozwala na zmianę częstości obrotów w przedziale od 0,1 do  $1,7 \text{ s}^{-1}$ .

Podczas kontaktu rozdrobnionego surowca z cieczą nawilżającą, oraz ruchu przepowego materiału powstaje granulka o charakterystycznym kulistym kształcie. Przy ustalonym parametrze pracy granulatora, kąta pochylenia talerza regulowany za pomocą mechanizmu śrubowego, granulki o oczekiwanej średnicy opuszczają talerz granulacyjny. Zakres wartości pochylenia talerzy granulacyjnych można osiągać w zakresie od 0°C do 9°C.

Do oczyszczenia materiału, który znajduje się na ściankach talerza służą zgarniaki. W celu hermetyzacji urządzenie może być wyposażone w osłonę chroniącą przed pyleniem. Poziom cieczy w zbiorniku wodny regulowany jest za pomocą czujnika sterowanego elektrycznie. Ilość pobranej cieczy granulacyjnej podczas doświadczenia odczytuje się z wyświetlacza wagi, na której umieszczony jest na stałe zbiornik cieczy nawilżającej. Natężenie cieczy nawilżającej odczytywane jest ze skali manometru umieszczonego na pulpicie sterującym. Obroty talerza granulacyjnego mierzone są za pomocą czujnika indukcyjnego i odczytywane na wyświetlaczu obrotomierza. Transport sprężonego powietrza oraz cieczy nawilżającej dokonuje się w przewodach gumowych.

Widok ogólny granulatora talerzowego przedstawiono na rysunku 3.

**Tabela 1.** Dane techniczne stanowiska badawczego

Lp.	Parametr	Wartość
1.	temperatura cieczy granulometrycznej	15–90°C
2.	natężenie przepływu cieczy granulometrycznej	0,025–0,3 l · min <sup>-1</sup>
3.	pojemność zbiornika cieczy granulometrycznej podgrzewanej	50 l
4.	pojemność zbiornika cieczy granulometrycznej nie podgrzewanej	4,8 l
5.	nadciśnienie nad powierzchnią swobodną cieczy podgrzewanej	max 12 bar
6.	nadciśnienie nad powierzchnią swobodną cieczy nie podgrzewanej	max 5 bar
7.	ciśnienie robocze dysz rozpyłowych	max 6 bar
8.	kąt rozpylania dysz ciśnieniowych	60°, 110°
9.	wydajność dysz ciśnieniowych (rozpyłowych)	od 3,72 do 7,44 [kg/h]
10.	średnica talerzy granulacyjnych	d <sub>1</sub> = 510 mm, d <sub>2</sub> = 700 mm
11.	wysokość obrzeża talerzy granulacyjnych	h <sub>1</sub> = 165 mm, h <sub>2</sub> = 200 mm
12.	grubość materiału talerzy granulacyjnych	g <sub>1</sub> = g <sub>2</sub> = 1,5 mm
13.	częstość obrotów talerzy granulacyjnych	0,1–1,7 · s <sup>-1</sup>
14.	kąt pochylenia talerzy granulacyjnych	0–90°
15.	ilość podawanego materiału sypkiego	1–2500 g · min <sup>-1</sup>

## Metodyka badań

Podstawowy zestaw pomiarowy będzie stanowił granulator talerzowy wraz z wyposażeniem. Schemat prowadzenia badań przedstawiono na rysunku 4.

Zasadniczym celem badań, przeprowadzanych na granulatorze będzie znalezienie zależności między parametrami określającymi własności otrzymanego produktu a parametrami procesowymi, zależnymi od rodzaju zastosowanej dyszy natryskującej.

<b>pomiar własności fizycznych surowca:</b>
wilgotność, kąt zsypu, gęstość usypowa, średni wymiar cząstek
<b>aglomeracja talerzowa:</b>
wymiary talerza: $D_1 = 510$ [mm], $h_1 = 165$ [mm] prędkość obrotowa talerza: $0,8$ [ $s^{-1}$ ]
<b>pomiar własności fizycznych nawozów:</b>
1) pomiar siły niszczącej: maszyna wytrzymałościowa Instron
2) pomiar trwałości kinetycznej: tester Holmena
3) pomiar średniego wymiaru cząstek: program komputerowy Analisys 5
4) pomiar grubości otoczki nawozu: mikroskop skaningowy
<b>pomiar własności chemicznych:</b>
5) oznaczenie ode pH
<b>obliczenia:</b>
6) współczynnik sypkości granul
<b>Inne:</b>
7) oszacowanie trwałości granul podczas długotrwałego przechowywania w różnych warunkach

**Rysunek 4.** Schemat prowadzenia eksperymentu

W publikacjach naukowych, mało uwagi poświęca się rodzajowi natryskiwaczy wykorzystywanych w procesie granulowania. Również sposób rozpylania, na który składa się kształt strumienia oraz kąt rozpylania cieczy może mieć wpływ na jakość otrzymywanych nawozów.

W celu ujednoczenia warunków i eliminacji zmienności wynikającej z wpływu niektórych czynników przyjęto pewne założenia, jak np. stała prędkość obrotowa talerza, stała wilgotność względna w pomieszczeniu, stała odległość dyszy od produktu, stałe rozdrobnienie surowca, niezmiennie natężenie przepływu cieczy granulacyjnej.

Zmiennymi parametrami procesu granulacji będą:

- kąt rozpylania cieczy granulacyjnej: 45, 60, 80°;
- model rozpylania cieczy: strumień skupiony oraz niepełny stożek;
- temperatura cieczy, zmieniająca się w zakresie 35–80°C;
- stopień wypełnienia talerza: 5%, 10% 15 %.

Przeprowadzone doświadczenie umożliwi uzyskanie nawozu otoczkowanego o odpowiednich parametrach, który dorównywać będzie nawozom produkowanym dotychczas wyłącznie poza granicami naszego kraju.



Surowiec poddawany granulowaniu, a następnie otoczkowaniu będzie miał klasę rozdrobnienia: 1,0–1,5 mm. Ciecz otoczkująca, która zostanie wykorzystana podczas badań to wodna dyspersja polimerowa [26].

## Podsumowanie

Na podstawie analizy literaturowej dotyczącej procesu beziśnieniowej aglomeracji opracowano koncepcję i założenia projektowe do budowy stanowiska badawczego, przewidzianego do granulacji i otoczkowania nawozów rolniczych i ogrodniczych. Przedstawiono wstępną metodykę badań oraz sposób pomiaru parametrów otrzymanego granulowanego nawozu, mających decydujący wpływ na jego praktyczne wykorzystanie.

## Literatura

- [1] Chohura P., Stepkowska A., 2010, Nawozy i środki wspomagające do uprawy w polu, Plantpress Sp. z o.o., Kraków, 14–34.
- [2] Domian E., Milczarski Ł., 2003, Właściwości płynięcia wybranych spożywczych materiałów sypkich. *Acta Sci. Pol. Technol. Alim.* 2(2): 37–46.
- [3] Domoradzki M., Holcman J. 2004. Zastosowanie i charakterystyka nasion otoczkowanych. W: B. Michalik, W. Weiner (red.), Wybrane zagadnienia z nasiennictwa roślin ogrodniczych, praca zbiorowa, Drukrol, Kraków: 176–180.
- [4] Domoradzki M. 1978. Rozprawa doktorska: Kinetyka granulacji pyłów w granulatorze talerzowym. Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy: 54–69, 85.
- [5] Gluba T., Obraniak A., Błaszczyk M., Gawot-Młynarczyk E. 2005. Wpływ parametrów nawilżania na wytrzymałość granulatu na ściskanie. VII Ogólnopolskie Sympozjum Granulacja 2005, Puławy: 8–14.
- [6] Gluba T., Obraniak A., Gawot-Młynarczyk E. 2005. Wpływ parametrów nawilżania na kinetykę procesu mokrej granulacji bębnowej. VII Ogólnopolskie Sympozjum Granulacja 2005, Puławy: 1–7.
- [7] Hejft R. 1991. Ciśnieniowa aglomeracja pasz i podstawy konstrukcji urządzeń granulująco-brykietujących. Rozprawy naukowe nr 11, Politechnika Białostocka, Białystok: 125–130.
- [8] Hogekamp S., Schubert H.S., Wolf S. 1996. Steam jet agglomeration of water soluble material. *Powder Technology* 86: 49–57.
- [9] Kanafojski Cz. 1977. Teoria i konstrukcja maszyn rolniczych. tom 1, część 3, PWRiL, Warszawa: 50–52.
- [10] Kaźmierczak R. 2005. Rozprawa doktorska: Nakłady energetyczne w procesie granulacji talerzowej, Politechnika Łódzka: 12–154.
- [11] Kłassien P.W., Griszajew I.G. 1989. Podstawy techniki granulacji. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa (tłumaczenie z rosyjskiego B. Koczański, E. Rzycki): 40–45, 55–87.
- [12] Kołaczkowski A., Soric B. 2003. Granulacja nawozów – teoria i praktyka. *Przem. Chem.* 82/8–9: 1212–1213.
- [13] Korpala W. 2005. Granulowanie materiałów rolnie spożywczych metodą beziśnieniową. Rozprawy naukowe Akademii Rolniczej w Lublinie, Lublin, Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Lublinie: 7–25, 105–125.
- [14] Kubiak J. 2007. Technika precyzyjnego nawożenia krzewów ozdobnych w uprawach kontenerowych. *Inż. Rol.* 9(97): 79–86.
- [15] Matysiak B. 2004. Nawożenie w szkółkach roślin ozdobnych. *Szkółkarstwo* 4: 1–2.
- [16] Nastaj S. 2008. Granulacja w cieczy – zalety i wady. *Chemik* 9: 391–392.
- [17] Obidziński S., Hejft R. 2005. Granulacja ciśnieniowa – parametry aparaturowo-procesowe. VII Ogólnopolskie Sympozjum Granulacja 2005, Puławy: 28–32.
- [18] Obraniak A., Gluba T. 2008. Granulacja nawozu mineralnego w aparacie bębnowym. *Chemik* 9: 409–413.

- [19] Obraniak A., Gluba T. 2009. Kinetyka aglomeracji materiału drobnoziarnistego w granulatorze talerzowym. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna* 4: 46–47.
- [20] Obraniak A., Gluba T., 2009, Ocena odporności na ścieranie granulowanego nawozu wieloskładnikowego. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna* 4: 48–49.
- [21] Peroń S., Surma M., Paślowska M. 2008. Granulacja talerzowa otrębów pszennych z wykorzystaniem gęstwy drożdżowej jako cieczy wiążącej. *Inż. Chem.* 5(103): 175–180.
- [22] Pietsch W. 2003. An interdisciplinary approach to size enlargement by agglomeration. *Powder Technology* 130: 8–13.
- [23] Robak J., Kopczyński M., Ocieka W. 2005. Wykorzystanie technik granulacji do waloryzacji lub utylizacji odpadów. VII Ogólnopolskie Sympozjum Granulacja 2005, Puławy: 89–95.
- [24] Zawiaślak K., Sobczak P., Panasiewicz M., Markowska A. 2010. Wpływ parametrów technologicznych na wytrzymałość kinetyczną granulatu. *Acta Scientiarum Polonorum Technica Agraria* 9(1–2): 3–10.
- [25] Zawiaślak K., Sobczak P. 2007. Zmiany wybranych własności fizycznych granulatu uzyskanego z dodatkiem różnych substancji wiążących. *Inż. Rol.* 5(93): 437–444.
- [26] Żywociński K., Gozdecka G., Korpal W. 2011. Zastosowanie wodnych polimerowych dyspersji do otoczkowania granulowanych nawozów sztucznych. *Chemik* 4: 347–349.

## Research station for optimizing the generation process of slow-released granular fertilizer

**Key words:** research station, slow-release fertilizers, pressureless disc granulation

### Summary

Paper discussed the advantages of slow-release fertilizer application in cultivation of ornamental plants grown in containers. Agricultural fertilizer granulation was presented as a process of non-pressure agglomeration. Scheme of developed test stand equipment for granulating fertilizers to be applied for agricultural and horticultural plants was described. An attention was paid to the process parameters affecting the efficiency of our experiment. The methodology of research was proposed .