

Łódź, dn. 27.02.2019 r.

dr inż. Andrzej Obraniak
Katedra Inżynierii Chemicznej
Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Politechnika Łódzka
ul. Wólczańska 213, 90-924 Łódź
Tel.: 42 631 37 19
e-mail.: andrzej.obraniak@p.lodz.pl

ZALĄCZNIK 2
do wniosku o przeprowadzenie
postępowania habilitacyjnego z obszaru dziedziny
Nauk Technicznych w dyscyplinie naukowej **Inżynieria Chemiczna**

**„Analiza mechanizmów i kinetyki granulacji
przesypowej”**

Autoreferat w języku polskim

Autoreferat
przedstawiający dorobek i osiągnięcia naukowe,
określone w art. 16 ust. 2 Ustawy

dr inż. Andrzej Obraniak
Politechnika Łódzka
Wydział Inżynierii procesowej i Ochrony Środowiska
Katedra Inżynierii Chemicznej
ul. Wólczańska 213, 90-924 Łódź
andrzej.obraniak@p.lodz.pl

Łódź, Luty 2019

1. Imię i nazwisko:

Andrzej Obraniak

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/artystyczne - z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

Tytuł doktora nauk technicznych,

dyscyplina: **Inżynieria Chemiczna**

Styczeń 2002

Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Politechnika Łódzka

Tytuł rozprawy doktorskiej: "Dynamika złoża ziarnistego w bębnie obrotowym"

Magister inżynier,

Kierunek: **Mechanika**

Specjalność: **Systemy i Urządzenia Energetyczne**

Lipiec 1989

Wydział Mechaniczny, Politechnika Łódzka

Tytuł pracy: "Badanie stopnia wlotowego pompy OS -200AM/W"

Posiadane dyplomy:

- Dyplom Studium Pedagogicznego przy PŁ

3. Informacje dotyczące zatrudnienia w jednostkach naukowych

Aktualne miejsce zatrudnienia:

Politechnika Łódzka

Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska

Katedra Inżynierii Chemicznej

ul. Stefanowskiego 1

Historia zatrudnienia:

Od 2018r. - do chwili obecnej

Jednostka: Politechnika Łódzka, Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska

Katedra Inżynierii Chemicznej

Stanowisko: adiunkt

Od 2002r. – do 2018r.

Jednostka: Politechnika Łódzka, Wydział Inżynierii Chemicznej i Ochrony Środowiska, Katedra Aparatury Procesowej

Stanowisko: adiunkt

Od 2002r. – do 2014r.

Jednostka: PWSZ Kalisz, Katedra Inżynierii Środowiska

Stanowisko: starszy wykładowca

Od 1999r. - do 20002r.

Jednostka: Politechnika Łódzka, Wydział Inżynierii Chemicznej i Ochrony Środowiska, Katedra Aparatury Procesowej

Stanowisko: specjalista mechanik

Od 1991r. - do 1999.

Jednostka: Politechnika Łódzka, Wydział Inżynierii Chemicznej i Ochrony Środowiska, Katedra Aparatury Procesowej

Stanowisko: asystent

Od 1989r. - do 1991.

Jednostka: Politechnika Łódzka, Instytut Inżynierii Chemicznej, Zakład Aparatury Procesowej

Stanowisko: asystent stażysta

4. Działalność naukowo-badawcza i projektowa

4.1.Działalność naukowo-badawcza i projektowa przed uzyskaniem stopnia doktora nauk technicznych

- 1983r, ukończyłem XXI Liceum Ogólnokształcące im. Bolesława Prusa w Łodzi;
- 1989r. ukończyłem studia wyższe na Wydziale Mechanicznym Politechniki Łódzkiej, uzyskując tytuł magistra inżyniera o specjalności systemy i urządzenia energetyczne;
- W 1989r. podjąłem pracę jako pracownik naukowo-dydaktyczny w Katedrze Aparatury Procesowej Politechniki Łódzkiej, kolejno na stanowisku asystenta stażysty, asystenta i specjalisty mechanika;
- W 1998-2002 byłem studentem studiów doktoranckich
- **Artykuły z bazy JCR (przed uzyskaniem stopnia doktora n.t.)**
 1. Heim A., Gluba T., Kochański B., Obraniak A., Załuga T., "Kształt przekroju poprzecznego warstwy ziarnistej w bębnie obrotowym", Inż. Chem. Proc.,1, s. 95-116,1995
 2. Heim A., Gluba T., Obraniak A., "Prędkość ziaren wsadu w warstwie przyściennej bębna obrotowego", Inż. Chem. Proc.,**18**,1, s.133-141,1997
- **Patenty (przed uzyskaniem stopnia doktora n.t.)**

Gluba T., Antkowiak W., Obraniak A., Strobin W., "Sposób wytwarzania środka piorącego",P-290486,1991-05-29,Pat. RP nr 165161 B1,1994-05-31
- **Konferencje zagraniczne (przed uzyskaniem stopnia doktora n.t.)**
 1. Heim A., Gluba T., Kochański B., Obraniak A., Załuga T., 1993 "Investigation of pneumatic nozzle characteristics", 11th International Congress of Chemical and Process Engineering Congress CHISA, Praga.
 2. Heim A., Gluba T., Kochański B., Obraniak A., Załuga T., 1993 "Investigation of kinematics of granular material motion in a drum granulator", 11th International Congress of Chemical and Process Engineering Congress CHISA, Praga.
 3. Heim A., Gluba T., Obraniak A., 1996,"A model of granular bed movement in the drum granulator", 12 th International Congress of Chemical and Process Engineering CHISA'96, Praha.

4. Gluba T., Obraniak A., 2000, "Drum granulation of mineral raw materials with different particle size distributions", XXI International Mineral Processing Congress (23-27.07), Rome, Italy,
 5. Heim A., Gluba T., Obraniak A., "The effect of process and equipment parameters on material properties during drum granulation", The 3 rd Israeli Conference for conveying and handling of particulate solids (29.05-1.06), Grand Nirvana, Israel, 2000,
 6. Heim A., Gluba T., Obraniak A., "Driving torque in drum granulation" (summaries: Mechanical and Heat Transfer Processes and Equipment nr 3 s. 239, CD-ROM P1.180), 14th International Congress of Chemical and Process Engineering CHISA'2000 (27-31.08), Praha, Czech Republic, 2000,
 7. Heim A., Gluba T., Obraniak A., "Bed dynamics during granulation in rotating drums", 7th International Symposium on Agglomeration (29-31.05), Albi, Francja, 2001,
- **Konferencje polskie (przed uzyskaniem stopnia doktora n.t.)**
 1. Heim A., Gluba T., Kochański B., Obraniak A., Załuga T., "Oddziaływanie dynamiczne w złożu granulatora bębnowego", Konferencja Naukowa "Inżynieria chemiczna. Współczesne kierunki badawcze w aspektach praktycznych", Kraków, 1994,
 2. Heim A., Gluba T., Kochański B., Obraniak A., Załuga T., "Kinetyka aglomeracyjnej granulacji bentonitu", XI Gliwickie Sympozjum Teorii i Praktyki Procesów Przeróbczych nt. "Nowe rozwiązania techniczne i technologiczne w przeróbce kopalni stałych", Gliwice, 1994,
 3. Heim A., Gluba T., Kochański B., Obraniak A., Załuga T., "Warunki pracy bębna obrotowego z wypełnieniem ziarnistym", XIV Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Dydaktyczna Teorii Maszyn i Mechanizmów, Gdańsk/Gdynia, 1994,
 4. Gluba T., Obraniak A., "Sposób wytwarzania granulowanego środka piorącego", V Ogólnopolskie Sympozjum Granulacji-Stan Techniki i Perspektywy Rozwoju Procesów i Aparatury, Puławy, 1995,
 5. Heim A., Gluba T., Kochański B., Obraniak A., Załuga T., "Badania dynamiki wsadu ziarnistego w obrotowym bębnie", XV Ogólnopolska Konferencja Naukowa Inżynierii Chemicznej i Procesowej, Gdańsk, 1995,
 6. Heim A., Gluba T., Kochański B., Obraniak A., Załuga T., "Nawilżanie proszków w aspekcie granulacji", XV Ogólnopolska Konferencja Naukowa Inżynierii Chemicznej i Procesowej, Gdańsk, 1995,
 7. Heim A., Gluba T., Obraniak A., "Zapotrzebowanie mocy do napędu granulatora bębnowego", V Ogólnopolskie Sympozjum Granulacji-Stan Techniki i Perspektywy Rozwoju Procesów i Aparatury, Puławy, 1995,
 8. Gluba T., Obraniak A., "Badania niektórych warunków granulacji piasków szklarskich", XXXIII Konferencja Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii, Polanica Zdrój, 1996,
 9. Gluba T., Obraniak A., "Badania granulacji drobnoziarnistej kredy o różnym składzie ziarnowym", XXXIV Konferencja "Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii" (15-17.09), Polanica Zdrój, 1997,
 10. Gluba T., Obraniak A., "Badania granulacji nawozu ogrodniczego 'Azofoska' w granulatorach bębnowych", I Ogólnopolska Konferencja "Operacje mechaniczne inżynierii procesowej" (3-5 .09), Łódź-Spała, 1997,

11. Heim A., Gluba T., Obraniak A., "Ruch złoża ziarnistego w poziomym granulatorze bębnowym", I Ogólnopolska Konferencja "Operacje mechaniczne inżynierii procesowej" (3-5 .09), Łódź-Spała, 1997,
12. Heim A., Gluba T., Obraniak A., "Badania momentu obrotowego podczas granulacji bębnowej", XXXVI Seminarium "Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii" (6-8.09), Polanica Zdrój, 1999,
13. Gluba T., Obraniak A., "Wpływ składu ziarnowego surowca na właściwości wytrzymałościowe produktu granulacji bębnowej", II Ogólnopolska Konferencja "Operacje mechaniczne inżynierii procesowej" (14-16.06), Łódź-Spała, 2000,
14. Heim A., Gluba T., Obraniak A., " Wpływ parametrów aparaturowo-procesowych na wartość momentu obrotowego w procesie granulacji bębnowej", II Ogólnopolska Konferencja "Operacje mechaniczne inżynierii procesowej" (14-16.06), Łódź-Spała, 2000,
15. Heim A., Gluba T., Obraniak A., "The effect of process and equipment parameters on the drum granulation kinetics", XXXVII Seminarium Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii (18-20.09.), Szczyrk, 2000,
16. Gluba T., Heim A., Obraniak A., "Investigation of the drum granulation conditions for mineral raw material of different grain size compositions", XXXVIII Seminarium Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii (17-19.09), Szczyrk, 2001,
17. Heim A., Obraniak A., Gluba T., "Moc w procesie granulacji przesypowej bentonitu", VI Ogólnopolskie Sympozjum GRANULACJA 2001 "Stan techniki oraz nowe zastosowania procesów i aparatury do granulacji" (24-25.04), Puławy-Kazimierz Dolny, 2001,

- **Artykuły z listy B (przed uzyskaniem stopnia doktora n.t.)**

1. Gluba T., Obraniak A., "Produkcja przy użyciu dysz pneumatycznych granulowanego środka piorącego", Inż. Apar. Chem., **35**, 3, s. 15-18, 1996
2. Heim A., Gluba T., Obraniak A., "Badania charakterystyk dysz pneumatycznych przy granulacji przesypowej", Inż. Apar. Chem., **35**, 3, s. 19-22, 1996
3. Gluba T., Obraniak A., "Badania granulacji drobnoziarnistej kredy o różnym składzie ziarnowym", Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii, z. 31, s. 89, 1997
4. Gluba T., Obraniak A., "Badania niektórych warunków granulacji piasków szklarskich", Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii, 30, s. 157-165, 1996
5. Heim A., Gluba T., Obraniak A., "The effect of process and equipment parameters on the drum granulation kinetics", Physicochemical Problems of Mineral Processing, **34**, s. 67-76, 2000
6. Gluba T., Heim A., Obraniak A., "Investigation of the drum granulation conditions for mineral raw material of different grain size compositions", Physicochemical Problems of Mineral Processing, **35**, s. 103-112, 2001
7. Gluba T., Obraniak A., "Badania granulacji nawozu ogrodniczego 'Azofoska' w granulatorach bębnowych", Zesz. Nauk. P Łódź Inż. Chem., **779**, z. 21, s. 51, 1997

8. Heim A., Gluba T., Obraniak A., "Ruch złoża ziarnistego w poziomym granulatorze bębnowym", Zesz. Nauk. P. Łódź Inż. Chem., **779**, z. 21, s. 77, 1997
9. Heim A., Solecki M., Obraniak A., "Ocena procesu mielenia organicznej frakcji odpadów komunalnych w młynie bębnowym", Zesz. Nauk. P. Łódź Inż. Chem., nr **822**, z. 26, s. 221-228, 1999
10. Gluba T., Obraniak A., "Wpływ składu ziarnowego surowca na właściwości wytrzymałościowe produktu granulacji bębnowej", Zesz. Nauk. P. Łódź Inż. Chem. i Proc., **839**, z. 28, s. 83-90, 2000
11. Heim A., Gluba T., Obraniak A., "Wpływ parametrów aparaturowo-procesowych na wartość momentu obrotowego w procesie granulacji bębnowej", Zesz. Nauk. P. Łódź Inż. Chem. i Proc., **839**, z. 28, s. 91-98, 2000

Wartości IF, punktów MNiSW, cytowania oraz informacje o udziałach habilitanta w poszczególnych artykułach i patencie znajdują się w załączniku 4.

4.2 Wskazanie osiągnięć wynikających z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 65, poz. 595 ze zm.):

Tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego

Jako osiągnięcie naukowe, w rozumieniu art. 16 w/w ustawy, będące podstawą do wszczęcia i przeprowadzenia postępowania habilitacyjnego o uzyskanie stopnia doktora habilitowanego nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria chemiczna przedstawiam monotematyczny cykl następujących publikacji:

H1. Obraniak A., Gluba T., "A model of agglomerate formation during bed wetting in the process of disc granulation", Chem. Proc. Eng., **33**, 1, s. 153-165, 2012

IF = 0,337 Pkt. MNiSzW = 15 CI = 11

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji modelu oraz koncepcji pracy. Brałem aktywny udział w badaniach, obliczeniach i analizie wyników. Brałem udział w zredagowaniu całości opublikowanego materiału.

Mój udział procentowy szacuję na 70%.

H2. Gluba T., Obraniak A., "Nucleation and granule formation during disc granulation process", Physicochemical Problems of Mineral Processing, **48**, 1, s. 113-120, 2012

IF = 0,56 Pkt. MNiSzW = 20 CI = 4

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współudziale w opracowaniu koncepcji pracy. Brałem aktywny udział w badaniach obliczeniach i analizie uzyskanych wyników. Brałem udział w zredagowaniu całości opublikowanego materiału.

Mój udział procentowy szacuję na 50%.

H3. Andrzej Obraniak, Katarzyna Ławinska, Spectrophotometric analysis of disintegration mechanisms (abrasion and crushing) of agglomerates during the disc granulation of dolomite, Granular Matter (2018) 20:7, <https://doi.org/10.1007/s10035-017-0777-7>

IF = 1,658 Pkt. MNiSzW = 30 CI = 2

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji modelu. Brałem aktywny udział w badaniach, obliczeniach i analizie wyników. Brałem udział w zredagowaniu całości opublikowanego materiału.

Mój udział procentowy szacuję na 80%.

H4. Obraniak Andrzej, Analiza zjawiska przenoszenia masy zarodków podczas granulacji talerzowej, Przemysł Chemiczny 96/1(2017), 241-244

IF = 0,399 Pkt. MNiSzW = 15 CI = 3

Mój udział procentowy szacuję na 100%.

H5. Obraniak Andrzej, Gluba, Tadeusz, The effect of disaccharide concentration in a liquid binder on the mechanisms and kinetics of disc granulation, Chemical And Process Engineering-Inżynieria Chemiczna I Procesowa Volume: 38, Issue: 2, Pages: 295-306, DOI: 10.1515/cpe-2017-0023, Published: JUN 2017

IF = 0,892 Pkt. MNiSzW = 15 CI = 3

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji modelu. Brałem aktywny udział w badaniach, obliczeniach i analizie wyników. Brałem udział w zredagowaniu całości opublikowanego materiału.

Mój udział procentowy szacuję na 70%.

H6. Obraniak Andrzej, Effect of potato starch solution on the disc granulation mechanisms, Wpływ nawilżania roztworem skrobi ziemniaczanej na mechanizmy granulacji talerzowej, Przemysł Chemiczny 96/11 (2017), 2339-2343, DOI: 10.15199/62.2017.11.23

IF = 0,399 Pkt. MNiSzW = 15 CI = 1

Mój udział procentowy szacuję na 100%.

H7. Andrzej Obraniak, Magdalena Orczykowska, Tomasz P. Olejnik The effects of viscoelastic properties of the wetting liquid on the kinetics of the disc granulation process. Powder Technology 342 (2019) 328–334

IF = 3,23 Pkt. MNiSzW = 35 CI = 0

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji modelu. Brałem aktywny udział w badaniach, obliczeniach i analizie wyników. Brałem udział w zredagowaniu całości opublikowanego materiału.

Mój udział procentowy szacuję na 70%.

H8. Obraniak Andrzej, Gluba Tadeusz, A model of granule porosity changes during drum granulation", Physicochemical Problems of Mineral Processing, 46, (2011) 219-228

IF = 0,5 Pkt. MNiSzW = 20 CI = 10

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji modelu zmian gęstości nasypowej w czasie granulacji. Brałem aktywny udział w badaniach projektowaniu obliczeń i analizie ich wyników. Brałem udział w zredagowaniu całości opublikowanego materiału.

Mój udział procentowy szacuję na 70%.

H 9. Obraniak Andrzej, Gluba Tadeusz, Wpływ szybkości nawilżania na wielkość uzyskanego granulatu, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, 4, 121-122, 2006

IF = 0 Pkt. MNiSzW = 4

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji pracy Brałem aktywny udział w badaniach projektowaniu obliczeń i analizie ich wyników. Brałem udział w zredagowaniu całości opublikowanego materiału.

Mój udział procentowy szacuję na 70%.

H 10. Obraniak Andrzej, Gluba Tadeusz Wpływ parametrów strugi nawilżającej na kinetykę procesu bębnowej granulacji nawozu wieloskładnikowego, Inżynieria i Aparatura Chemiczna. 2010, 49, 1, 79-80

IF = 0 Pkt. MNiSzW = 4

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji pracy Brałem aktywny udział w badaniach projektowaniu obliczeń i analizie ich wyników. Brałem udział w zredagowaniu całości opublikowanego materiału.

Mój udział procentowy szacuję na 70%.

H 11. Obraniak A., Gluba T., "Model of energy consumption in the range of nucleation and granule growth in drum granulation bentonite", Physicochemical Problems of Mineral Processing, **48**,1, s.121-128,2012

IF = 0,56 Pkt. MNiSzW = 20 CI = 12

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji modelu. Brałem aktywny udział w badaniach, obliczeniach i analizie wyników. Brałem udział w zredagowaniu całości opublikowanego materiału.

Mój udział procentowy szacuję na 70%.

H 12. Obraniak A., "Model zmian momentu obrotowego podczas granulacji bębnowej", Chemik nauka-technika-rynek, **66**,5, s.376-387,2012

IF = 0 Pkt. MNiSzW = 8 CI = 0

Mój udział procentowy szacuję na 100%.

Kopie powyższych publikacji znajdują się w załączniku 5, natomiast deklaracje współautorów zawarto w załączniku 6.

Przedstawiona rozprawa habilitacyjna pt. :

„Analiza mechanizmów i kinetyki granulacji przesypowej”

stanowi cykl 12 publikacji [**H1-H12**] wybranych ze względu na spójną tematykę z 75 prac mojego autorstwa i współautorstwa. W cyklu prac **H1-H12** poza pracą **H2** zawsze jestem pierwszym lub jedynym autorem. Niniejszy komentarz do publikacji przedstawiony jako autoreferat nie zawiera pełnego omówienia uzyskanych wyników ale stanowi ich zwięzłą charakterystykę.

Omówienie celu naukowego/artystycznego ww. prac/pracy i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

Kinetyka granulacji przesypowej w dużej mierze zależy od dominujących w czasie trwania procesu mechanizmów tworzenia granul. Proces granulacji realizowany w aparatach talerzowych polega na tworzeniu z surowca o wielkości ziaren z zakresu do 100 μm aglomeratów o rozmiarach 10–100 razy większych. Powstawanie granul i zmiana ich właściwości jest konsekwencją dominacji na różnych etapach procesu różnych mechanizmów aglomeracji, które występują od siebie niezależnie lub równocześnie [1]. Sastry i Fuerstneau [2] wyodrębnili pięć mechanizmów, które decydują o zmianach liczby i rozmiarów granulek tworzonych w procesie (zarodkowanie, koalescencja, kruszenie, ścieranie i nawarstwianie). Litster i Ennis [3] zaobserwowali procesy dezintegracji aglomeratów i zaproponowali węższy podział mechanizmów powstawania granul. Wyróżnili oni trzy zasadnicze grupy mechanizmów procesu: nawilżanie i nukleacja, zagęszczanie i koalescencja oraz ścieranie i kruszenie. Równoczesne występowanie mechanizmów tworzących (zarodkowanie, otaczanie, koalescencja, konsolidacja) i niszczących (ścieranie, kruszenie) powstające aglomeraty podczas procesu granulacji przesypowej zaobserwował Mort [4]. Można przypuszczać, że na zjawiska dezintegracji występujące podczas granulacji bezciśnieniowej najbardziej narażone są nowopowstałe zarodki granulacji, których struktura nie zdążyła się jeszcze umocnić w wyniku oddziaływań dynamicznych wewnątrz złoża [5]. Mało wytrzymałe zarodki ulegają wówczas pokruszeniu lub ścieraniu w wyniku kontaktu ze ściankami aparatu oraz innymi aglomeratami. Zwiększają w ten sposób masę frakcji o mniejszych rozmiarach [6], która po określonym czasie nawilżania lub granulacji może być przyłączona wraz z niezgranulowanym surowcem do większych granul. Zaobserwowano również zjawisko powiększania rozmiarów utworzonych zarodków, które w wyniku otaczania [7] ziarnami surowca lub ścieru oraz zjawiska koalescencji [8] stają się granulami. W obu opisanych przypadkach materiał, który tworzył na początku procesu frakcję zarodków, został w wyniku działania mechanizmów granulacji przetransferowany do innych frakcji rozmiarowych.

Pomimo szerokiego zakresu dotychczasowych badań dotyczących mechanizmów granulacji oraz wpływu właściwości cieczy wiążącej na proces nadal brak jest uniwersalnego modelu dotyczącego omawianych zagadnień. Badania te dotyczą zwykle określonych układów ciecz – surowiec pylisty oraz są ograniczone zakresem stosowanych parametrów aparaturowo – procesowych. Brak jest także modeli, które poza analizą jakościową umożliwiałyby ilościowe oszacowanie występowania poszczególnych mechanizmów granulacji. W poniższym opracowaniu, w cyklu powiązanych tematycznie prac naukowych zaproponowano dwie metody powiązane z modelami umożliwiającymi ilościową analizę mechanizmów aglomeracji oraz określono wpływ właściwości cieczy wiążącej na kinetykę procesu bezciśnieniowej granulacji talerzowej.

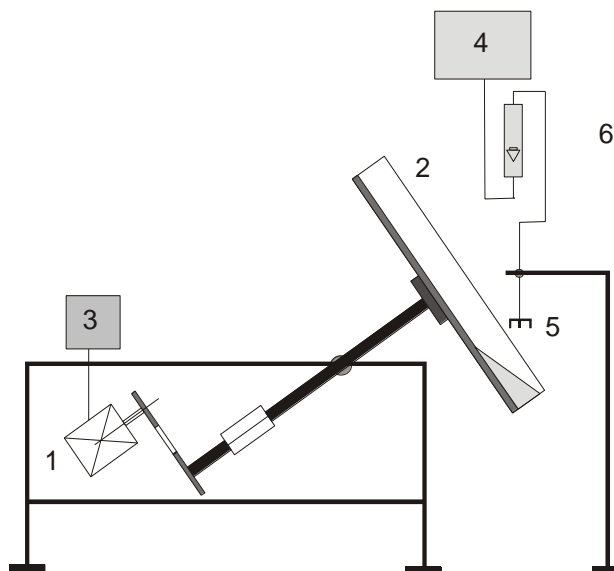
Problemy naukowe analizowane w tym opracowaniu przedstawiam jako osiągnięcie w postępowaniu habilitacyjnym pt. „**Analiza mechanizmów i kinetyki granulacji przesypowej**”. Zawiera ono opis następujących zagadnień:

1. Opracowanie ilościowej analizy mechanizmów granulacji (nukleacja, otaczanie, abrazja) [H1-H6].
2. Opis kinetyki granulacji realizowanej w granulacjach talerzowych i bębnowych podczas nawilżania kroplami o stałej wielkości [H1, H3-H11].

3. Badanie wpływu stężenia roztworu oraz właściwości sprężysto lepkiej cieczy nawilżającej na kinetykę procesu [H5-H7].
4. Zależność pomiędzy kinetyką i mechanizmami granulacji, a parametrami energetycznymi procesu [H 11-12].

Spektrofotometryczna analiza mechanizmów granulacji

Głównym celem pracy [H1] było opracowanie i weryfikacja metody wykorzystującej pomiar spektrofotometryczny uzyskanego aglomeratu do określenia poziomu migracji zarodków granulacji, a tym samym ustalenia proporcji pomiędzy masą zarodków utworzonych podczas etapu nukleacji oraz masą zarodków i granul powstałych podczas etapu wspólnej dominacji mechanizmów nukleacji i otaczania. Badania realizowano na etapie nawilżania aglomerowanego złoża. Przesypujący się w talerzu granulatora wsad nawilżano kroplowo w sposób grawitacyjny przy stałym natężeniu przepływu cieczy przez dyszę. Taki sposób podawania cieczy pozwalał na generowanie kropeł o stałej wielkości. Spadająca z wysokości 20 cm kropla wody penetrowała wówczas suchy bentonit i inicjowała nukleację, czyli powstanie suchego na swojej powierzchni zarodka granulacji. Skuteczność takiego sposobu dostarczania cieczy wiążącej oraz wpływ rozmiaru kilku milimetrowych kropeł cieczy nawilżającej na powstawanie zarodków granulacji omówiono w pracy [H2]. Wykazano w niej wpływ średnicy takich kropeł i wysokości z której się je dozuje na ilość powstających zarodków. Dla kropeł o rozmiarach ok. 3mm przy nawilżaniu bentonitu wykazano, że jedna kropla generuje powstanie jednego zarodka, a w wypadku większych kropeł zarodków może być ich nieznacznie więcej. Badania przeprowadzono na stanowisku, do granulacji talerzowej (rys. 1 [H1].)



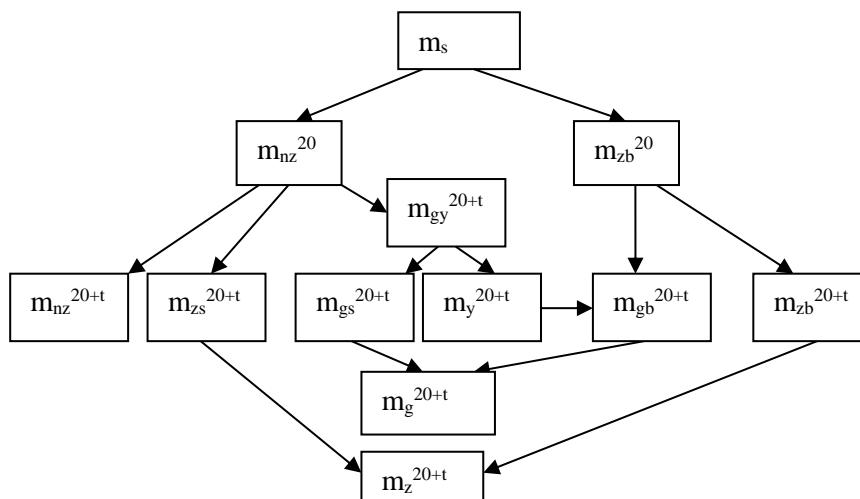
*Rys. 1[H1]. Schemat stanowiska do granulacji talerzowej
 1 – silnik, 2 – talerz granulatora, 3 – falownik, 4 – zbiornik z cieczą nawilżającą,
 5 – zraszacz hydrauliczny, 6 – rotametr*

Przeprowadzony eksperyment składał się z dwóch podetapów:

W pierwszym etapie - odpowiadającym czystej fazie zarodkowania - zastosowano jako ciekłe lepiszcze wodny roztwór barwnika, który był dostarczony przez okres $\tau = 20$ min. W następnym etapie - zarodkowanie i nawarstwiania - jako ciecz wiążąca

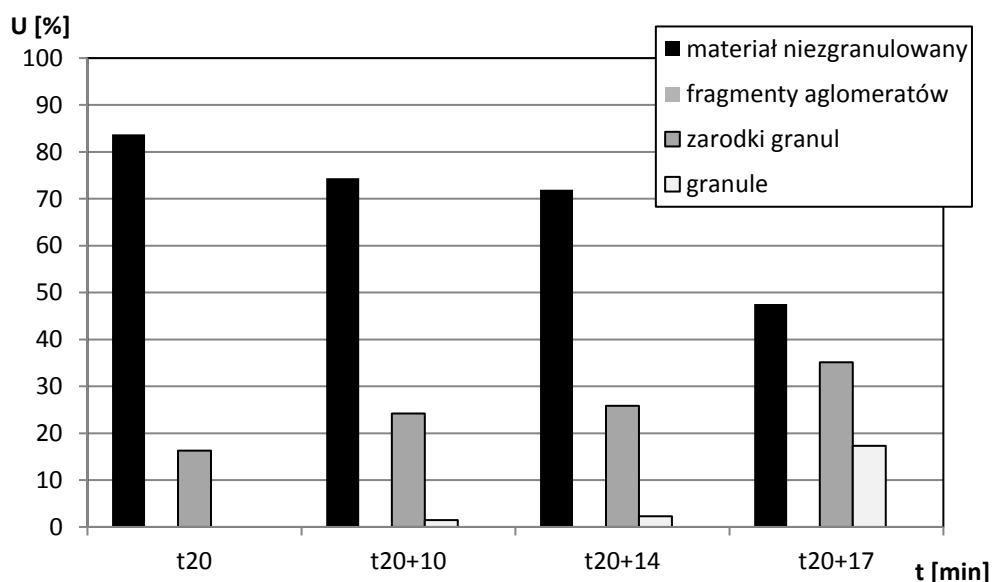
stosowana była woda destylowana. Po każdym etapie badań dokonywano analizy granulometrycznej oraz spektrofotometrycznej uzyskanych frakcji rozmiarowych. W celu określenia masy barwnika migrującego pomiędzy utworzonymi w trakcie nukleacji granulami, poddano je analizie spektrofotometrycznej w poszczególnych frakcjach utworzonego granulatu po uprzednim ich zmieleniu. Badania zostały przeprowadzone na spektrofotometrze UV – VIS JASCO V – 630. Punktem odniesienia do obliczeń dotyczących zawartości barwnika w danej frakcji była sporządzona wcześniej krzywa skalowania.

Dla każdej badanej próbki odczytywano wartość transmitancji, a następnie ustalano stężenie c barwnika w badanej próbce odniesione do znanego stężenia początkowego (maks.) c_0 .



Rys. 2. [H1]. Bilans masy przetworzonego złoża

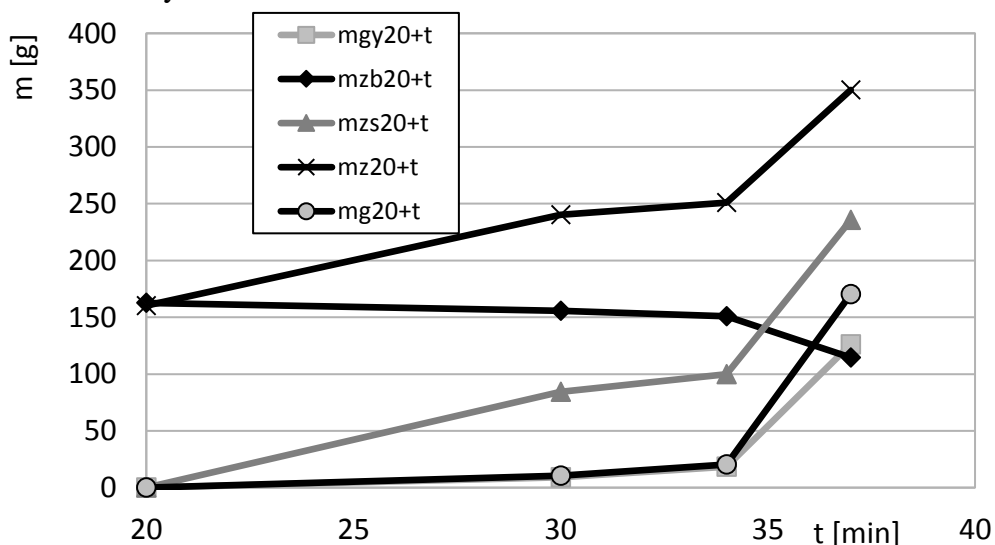
Na rysunku rys. 2 [H1] przedstawiono schemat bilansu mas przetworzonego złoża w obu badanych podetapach granulacji.



Rys. 3H1. Udziały masowe produktu po różnych czasach nawilżania

Dalsza granulacja powstałego w poprzednim etapie złoża, inicjowana nawilżaniem przesypanego się w talerzu materiału czystą wodą pozwoliła dokonać analizy migracji powstałych uprzednio zarodków (charakteryzują się posiadaniem barwnika) do innych klas wymiarowych, czyli stwierdzić, jaki ich udział zamieni się w kolejnym etapie procesu w granulki, a jaka część pozostanie zarodkami.

Wyznaczono zmiany stężenia barwnika w zarodkach i granulkach w czasie drugiego podetapu procesu a następnie masy zarodków z barwnikiem, i bez barwnika we wszystkich momentach czasowych analizowanego etapu procesu granulacji. Ponadto określono masę utworzonych granul oraz masę surowca, który po połączeniu z zarodkami „przeszedł” do frakcji granul. Uzyskane wyniki badań obrazują zależności przedstawione na rys. 4H1.



Rys. 4H1. Zmiany mas zarodków, granul i dołączanego do nich surowca na etapie nawilżania wodą

Przedstawia on zmiany mas zarodków (m_z , m_{zb}), granul (m_g , m_{gy}) oraz przyłączonego do nich materiału sypkiego (surowca - m_{zs}) w zależności od czasu oraz przy uwzględnieniu zawartości barwnika (indeks b). Przedstawione zależności uwidaczniają, że do od 20 do 34 minuty procesu dominuje w nim powstawanie (na skutek nukleacji) zarodków bez barwnika. Mało widoczne są zmiany wynikające z migracji zarodków (z barwnikiem) do klasy rozmiarowej granul, oraz wzrost ich masy na skutek otaczania. Natomiast ostatnie trzy minuty badanego procesu uwidaczniają nagły wzrost masy granul (utworzonych w wyniku otaczania). Związane jest to z coraz większym prawdopodobieństwem zwilżenia utworzonych zarodków (ich liczba także rośnie), co sprzyja dołączaniu do wilgotnej powierzchni zarodków suchych, mikroskopijnych ziaren surowca. Zauważyć można, że w tym czasie szybkość przyrostu masy granul jest nieznacznie większa od przyrostu masy zarodków oraz, że masa granul zwiększa się bardziej w wyniku dołączania do powstałych wcześniej zarodków ziaren surowca, niż z migracji tych zarodków.

Uzyskane w wyniku analizy spektrograficznej oraz granulometrycznej wyniki badań pozwalają określić poziom migracji utworzonych zarodków w kolejnych etapach procesu oraz ustalić proporcję pomiędzy dwoma mechanizmami aglomeracji.

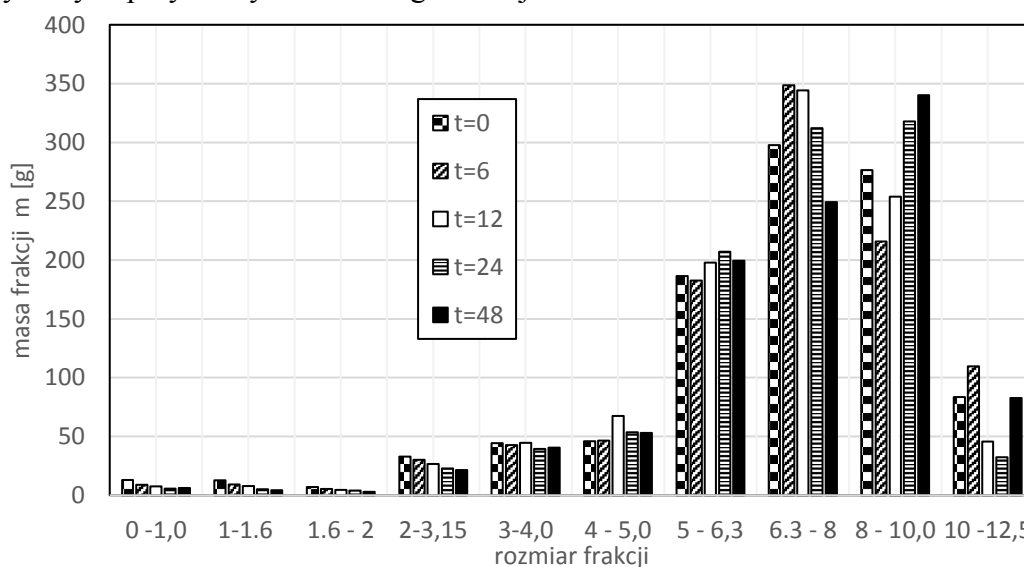
W pracach [H3] [H4] zmodyfikowano metodę opracowaną w pracy [H1] i podjęto próbę wykonania ilościowej analizy występowania kolejnych mechanizmów granulacji. Postawionym celem było ustalenie jaka część masy frakcji zarodków [H3] i największych granul [H4] utworzonych na etapie nawilżania złoża była w wyniku

zjawisk otaczania, ścierania i kruszenia transferowana do pozostałych frakcji rozmiarowych na etapie granulacji po nawilżaniu złoża. Wykorzystano stanowiska do badania procesu granulacji talerzowej oraz do badań spektrofotometrycznych zawartości barwnika w próbkach produktu. Jako modelowy materiał badawczy zastosowano mączkę dolomitową o wielkości ziaren $<0,250\text{mm}$ i średnim wymiarze ziarna równym $9,56\ \mu\text{m}$.

Dla każdego eksperymentu przeprowadzono dwie niezależne próby granulacji podczas nawilżania, przy tych samych parametrach procesowych. W pierwszej, jako ciecz zwilżająca stosowano wodę destylowaną, a w drugiej wodę destylowaną z domieszką znacznika. Po dostarczeniu do złoża ustalonej masy cieczy wiążącej, każdy z uzyskanych zgranulowanych materiałów rozdzielano niezależnie na frakcje rozmiarowe i ważono na wadze laboratoryjnej. Następnie dokonywano zamiany ustalonej frakcji ziarnowej wsadu otrzymanego przy nawilżaniu wodą na taką samą frakcję wsadu nawilżanego wodą z barwnikiem. Dokonywano zamiany frakcji, która po etapie nawilżania charakteryzowała się największą masą, czyli frakcję $6,3 - 8\ \text{mm}$ [H3] oraz frakcję o największym rozmiarze aglomeratów ($10 - 12,5\text{mm}$) [H4]. Tak uzyskany wsad zawracano do talerza i poddawano granulacji. Po granulacji, cały wsad rozdzielano ponownie na frakcje rozmiarowe, ważono i poddawano badaniom spektrofotometrycznym w celu ustalenia zawartości barwnika w poszczególnych frakcjach rozmiarowych produktu. Analizując zmiany składu ziarnowego frakcji oraz zmiany zawartości barwnika w poszczególnych frakcjach obliczono jaką część dowolnej frakcji rozmiarowej stanowił materiał zabarwiony, a tym samym ustalano jaka masa frakcji zabarwionych zarodków [H3] lub największych granul [H4] została „przeniesiona” w wyniku oddziaływania mechanizmów dezintegracji do pozostałych frakcji rozmiarowych.

Uzyskane w pracy [H3] zależności opisujące kinetykę granulacji związane są ze sposobem nawilżania złoża oraz wielkością dozowanych kropeł cieczy (ok. $5\ \text{mm}$). Generuje on powstawanie zarodków granulacji o rozmiarach, które dla prezentowanego w pracy zakresu zmian parametrów oraz zaproponowanego surowca tworzą aglomeraty o rozmiarach ok. $6 - 8\text{mm}$, czyli trochę większe niż rozmiary dostarczanych kropeł.

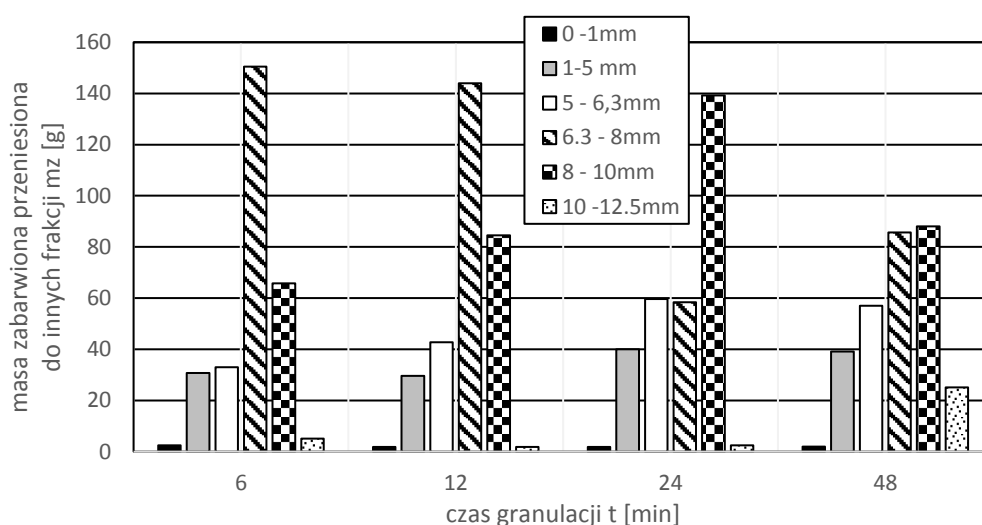
Na rys. 5.[H3] przedstawiono porównanie masy poszczególnych frakcji złoża otrzymanych przy różnych czasach granulacji.



Rys. 5.[H3]. Porównanie składów granulometrycznych złoża dla różnych czasów granulacji po nawilżaniu

Analiza otrzymanych zależności wykazała, że po etapie granulacji z nawilżaniem prawie całe złoże uległo zgranulowaniu. Udział frakcji 0 – 1mm wynosił ok. 2%. Widoczny był również niewielki (jak na tak szeroką klasę) ok.16% udział frakcji 1 – 5 mm, które są prawdopodobnie pokruszonymi fragmentami większych aglomeratów.

Niewielki udział w masie złoża (ok. 8%) po nawilżaniu miała również frakcja 10 – 12,5 mm, co można tłumaczyć utrudnionym wzrostem suchych powierzchniowo aglomeratów oraz brakiem warunków do koalescencji. Frakcję 10 – 12,5 mm, a także prawdopodobnie część frakcji 8 – 10 mm stanowią granule powstałe w wyniku otaczania materiałem z frakcji 0 – 1 mm powstałych wcześniej zarodków. Granule te w wyniku występowania mechanizmów konsolidacji (zagęszczenia) oraz abrazji mogły zmniejszać swój rozmiar i zasilać w ten sposób frakcje o mniejszych wymiarach.

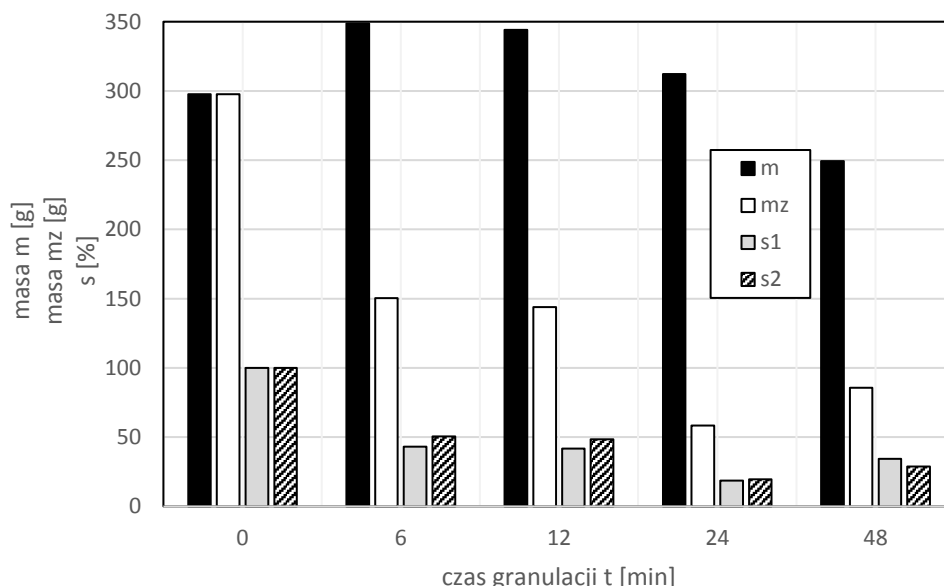


Rys. 6.[H3] Zmiany składu granulometrycznego zabarwionej masy przeniesionej z frakcji zarodków do pozostałych frakcji rozmiarowych wraz z czasem granulacji

Możliwe jest również to, że dla danego etapu procesu przeważały mechanizmy otaczania, które spowodują nawarstwianie i w konsekwencji wzrost średnicy granul oraz masy tej frakcji.

Na rys.6.[H3]. przedstawiono graficzne zależności, które obrazują masę zabarwionego materiału (frakcja zarodków po nawilżaniu), która zasiliła dla różnych czasów granulacji inne frakcje rozmiarowe. Uzyskane wyniki pokazują, że w czasie granulacji po nawilżaniu pomiędzy frakcjami złoża następuje w wyniku różnych mechanizmów ciągła wymiana masy. Po 6 minutach granulacji we frakcji zarodków (6,3 – 8 mm) pozostało 150 g materiału zabarwionego (ok. 50% pierwotnej masy). Pozostała część tego materiału zasiliła pozostałe frakcje. Interesujące jest to że w tym samym czasie masa frakcji zarodków wzrosła z 297g do 348g, czyli frakcja ta zdołała wówczas przyłączyć ok. 200g materiału niezabarwionego. Potwierdzają to wyniki zaprezentowane na rys. 7.[H3]. gdzie dla różnych czasów granulacji porównano masę frakcji 6,3 – 8 mm z masą materiału zabarwionego, który stanowi jej część. Parametry s_1 oraz s_2 definiują procentowy udział materiału zabarwionego we frakcji 6,3 – 8 mm w danym czasie (s_1) oraz procentowy udział materiału zabarwionego we tej frakcji w odniesieniu do początkowej masy zabarwionej (s_2). Należy zauważyć, że w efekcie zaproponowanego sposobu nawilżania należy spodziewać się, że najwięcej cieczy po

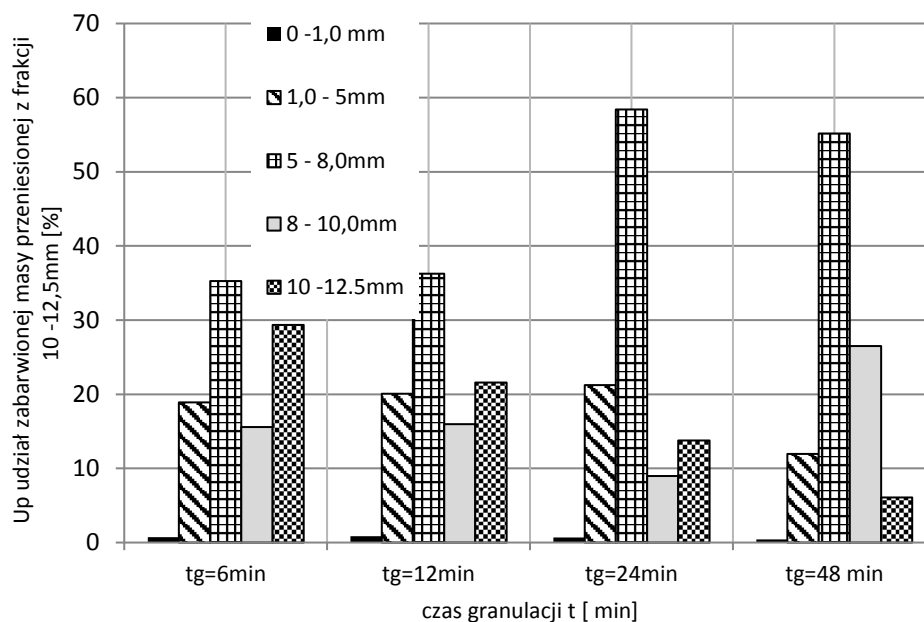
etapie nawilżania zakumulowanej jest we frakcjach zarodków, czyli z dużym prawdopodobieństwem w badanej frakcji 6,3 – 8 mm. Ciągła migracja materiału o większej wilgotności z zarodków do innych klas rozmiarowych może mieć pozytywne znaczenie ze względu na wymuszony w ten sposób transport cieczy do mniej wilgotnych frakcji granulometrycznych. Przeprowadzona w sposób analogiczny analiza pozwoliła wyznaczyć jaki udział każdej frakcji rozmiarowej stanowił starty lub pokruszony materiał zarodków (frakcji 6,3-8mm), który przyłączył się do nich w wyniku mechanizmu otaczania, kruszenia i ścierania. W wypadku frakcji granul 8 – 10 mm która powstała na zasadzie powiększenia się średnicy zarodków poprzez otaczanie udział masy przyłączonych do tych aglomeratów uprzednio startych zarodków wynosił ponad 40%. W wypadku innych frakcji udział ten wynosił od 20-35%. Frakcja 5 – 6,3 mm akumulowała prawie 30% ($t = 24$ min) materiału z barwnikiem. Natomiast frakcja 1 – 5 mm, którą tworzą okruchy większych frakcji rozmiarowych zawiera maksymalnie do 40 g ($t = 24$ i 48 min) materiału zabarwionego zarodków, co stanowi ponad 30% masy tej frakcji. Najmniej masy zarodków zasila frakcję 0 – 1 mm (ok. 2g). Wynika to ze zjawiska szybkiego przyłączania wilgotnego ścieru do większych frakcji rozmiarowych. Udział materiału zabarwionego w tej frakcji na etapie granulacji, od 6. minuty procesu zawiera się w przedziale 23 – 31% .



Rys.7.[H3]. Zmiany masy zabarwionych zarodków w frakcji 6,3 – 8 w porównaniu do zmian masy tej frakcji dla różnych czasów granulacji

Analiza zjawiska abrazji dotyczącego frakcji o największych granulach [H4] przedstawiono na rys. 8.[H4], który przedstawia zmiany udziału procentowego U_p masy zabarwionej w każdej frakcji wraz z czasem granulacji.

Analiza zmian udziałów masowych zabarwionego materiału, który został w wyniku mechanizmów dezintegracji przeniesiony do innych frakcji rozmiarowych pozwala zauważyć, że z 70 g zabarwionego materiału, który stanowił zamienianą, zabarwioną frakcję 10 – 12,5 mm, po 48 minutach procesu zostało jedynie ok. 6% materiału (4,3g), choć masa tej frakcji zmalała tylko do 17 g czyli o ok. 75%. Pozwala to stwierdzić, że ponad 90% największych granul uzyskanych na etapie nawilżania zostało startych lub pokruszonych i „wzbogaciły” one tym samym inne frakcje rozmiarowe. Można zauważyć także, że po 48 minutach granulacji w skład frakcji 10 – 12,5 mm (pierwotnie zabarwionej) aż 13g spośród 17g (ponad 76%) stanowi materiał nie zabarwiony.



Rys.8.[H4]. Porównanie wartości udziałów procentowych masy zabarwionego materiału U_p , która została przeniesiona w trakcie granulacji z frakcji 10 – 12,5 mm do innych frakcji

Analiza wyników pozwala także zauważyć, że największa masa zabarwionego materiału (ponad 55%) przyłączyła się do frakcji tzw. zarodków. Brak widocznej koalescencji aglomeratów (charakterystyczne niesferyczne kształty) pozwala przypuszczać, że prawdopodobnie starty zabarwiony materiał został od razu przyłączony poprzez otaczanie do frakcji 5 – 8 mm, a także do frakcji granul o rozmiarach 8 – 10 mm (ok. 20%). Stosunkowo najmniej (16 – 21%) zabarwionego materiału zasililo frakcję, która zawierała w sobie materiał pokruszony (1 – 5 mm). Udział materiału zabarwionego we frakcji 0 – 1 mm jest pomijalnie mały i dla czasu 48 min wynosi poniżej 0,5 % pierwotnej masy.

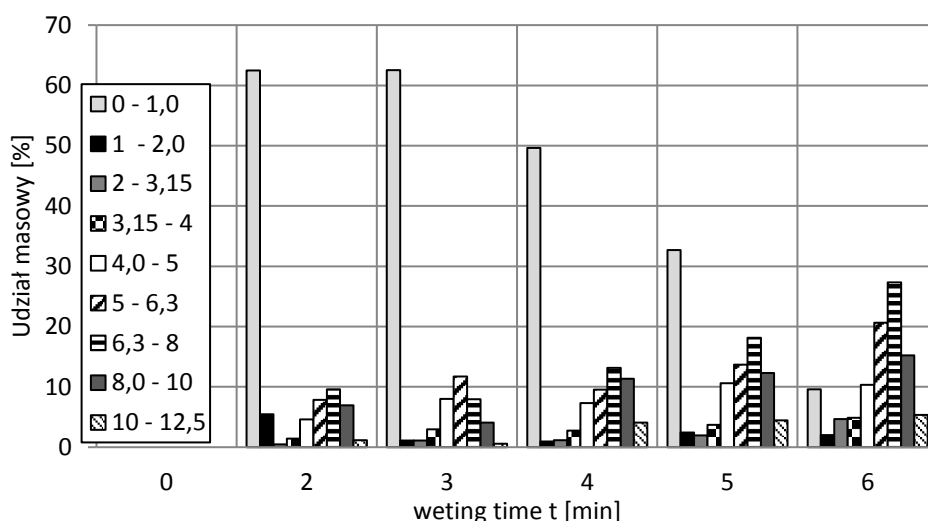
Analiza wyników potwierdza założenia przyjęte w modelu i pozwala wnioskować, że zmiany stężenia barwnika w poszczególnych frakcjach rozmiarowych oraz zmiany udziałów masowych tych frakcji świadczące o migracji wilgotnego materiału pomiędzy frakcjami mogą być wskaźnikiem do jakościowej i ilościowej oceny mechanizmów granulacji odpowiedzialnych za wymianę masy materiału pomiędzy poszczególnymi frakcjami tworzonego granulatu. Uzyskane wyniki pozwalają ocenić nie tylko charakter zmian udziałów frakcji, zarodków i granul, ale przede wszystkim porównać skalę dwóch zjawisk dezintegracji tzn. kruszenia i ścierania (abrazja). Uzyskane wyniki badań przedstawione w pracy umożliwiają więc jakościową i ilościową ocenę mechanizmów wzrostu aglomeratów na różnych etapach procesu mokrej granulacji, przy zmiennych wartościach wilgotności złoża uzyskanych na etapie nawilżania.

Ilościowa analiza mechanizmów granulacji – metoda bilansu masy dostarczonej cieczy

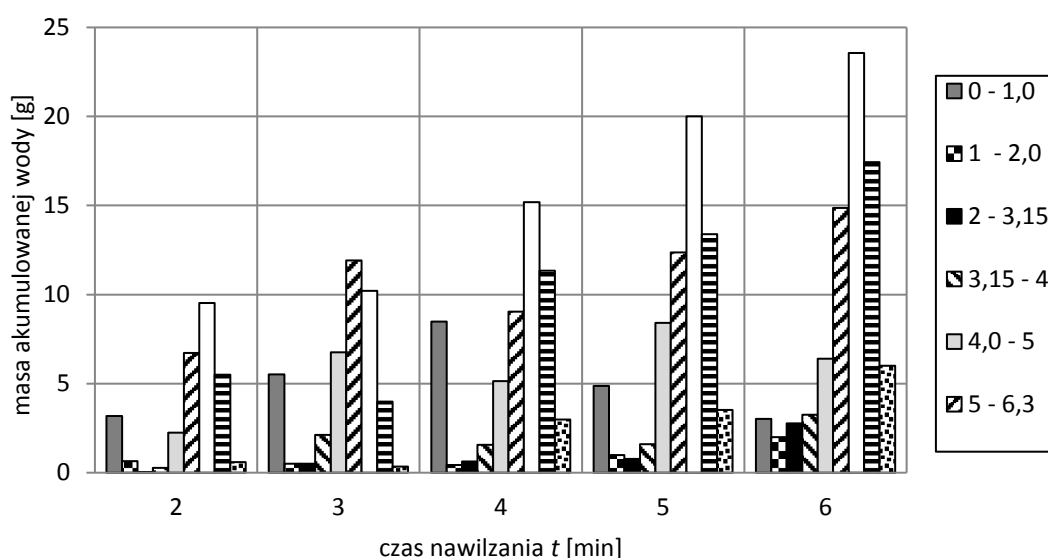
Uzyskane wnioski pozwoliły w celu porównawczym na zaproponowanie innej metody ilościowej analizy mechanizmów granulacji polegającej na bilansie masy dostarczonej do przetwarzanego złoża wody [H5], [H6].

W pracach tych badania kinetyki i mechanizmów granulacji przeprowadzono w laboratoryjnym granulatorze talerzowym dla etapu nawilżania. Ciecz wiążącą

dostarczano do przesypującego się złoża ze stałym natężeniem przepływu dyszą generującą krople o rozmiarach ok. 5 mm. Jako surowiec modelowy zastosowano kredę malarską, a jako ciecz nawilżającą stosowano wodę, wodny roztwór sacharozy o stężeniu 20 – 40% [H5] lub wodny roztwór skrobi ziemniaczanej [H6]. Na podstawie analizy bilansu masy oraz oceny skali migracji cieczy pomiędzy frakcjami ustalano masę materiału zgranulowanego, która przenosiła się z frakcji zarodków do innych frakcji rozmiarowych. Ustalono również wpływ stężenia sacharozy [H5] i skrobi [H6] w cieczy nawilżającej na w/w zjawiska.



Rys.9.[H5]. Przykładowa zmiana udziałów masowych frakcji granulowanego złoża w czasie nawilżania cieczą o stężeniu $c=40\%$



Rys.10.[H5]. Przykładowa zmiana masy wody zakumulowanej w poszczególnych frakcjach granulowanego złoża w czasie nawilżania cieczą o stężeniu $c=40\%$

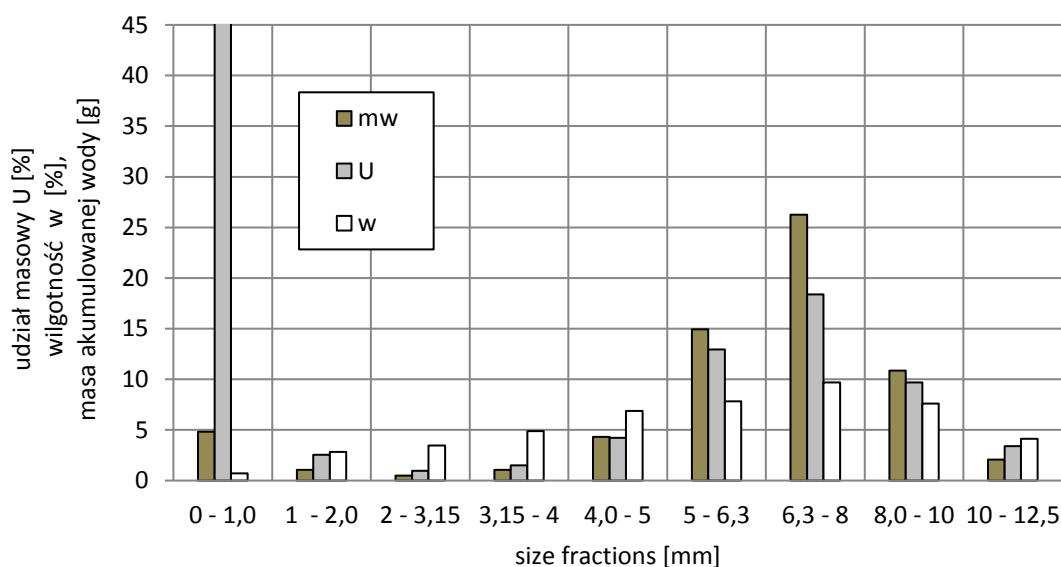
W pracach zaproponowano zależności opisujące:

1. Masę materiału suchego przeniesioną z frakcji zarodków do frakcji 0 – 1 mm

2. Masa materiału przeniesionego z frakcji zarodków do dowolnej frakcji „j” z przedziału (1 – 5 mm) w wyniku kruszenia:
3. Masę frakcji granuł, którą stanowi masa zarodków, które po przyłączeniu materiału sypkiego lub startego zwiększyły swoją średnicę w wyniku otaczania.

Na podstawie uzyskanych wyników badań sporządzono zależności obrazujące zmiany składu granulometrycznego przetwarzanego złoża po określonym czasie nawilżania, Rys.9.[H5].

Na Rys. 2H5 i 3H5 przedstawiono przykładowo zmianę masy zakumulowanej wody w poszczególnych frakcjach rozmiarowych dla różnych czasów nawilżania oraz porównanie tej masy z masą frakcji. Zaprezentowane wyniki pozwalają wnioskować jaką częścią danej frakcji rozmiarowej są starte wilgotne zarodki.

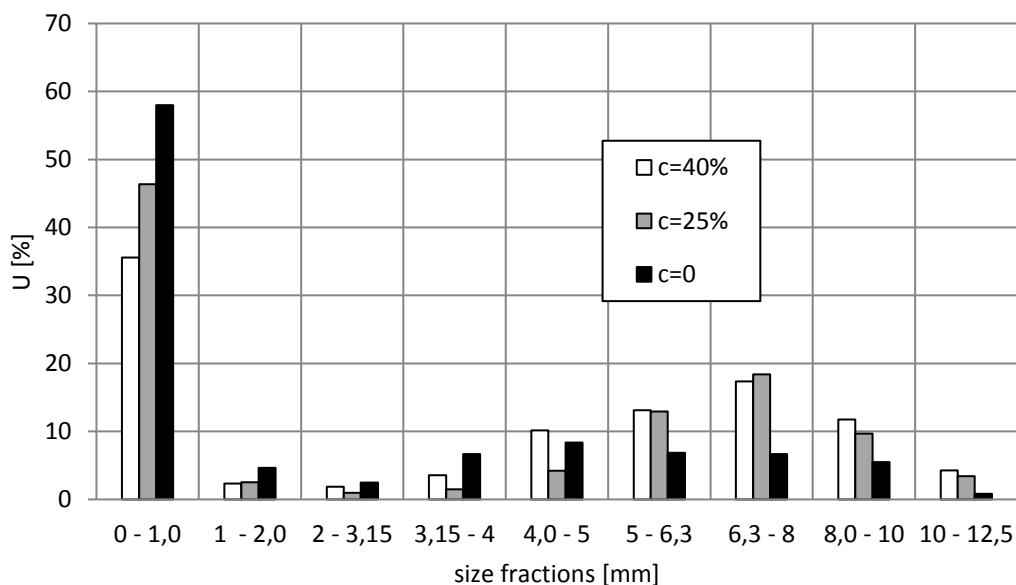


Rys.11.[H5]. Porównanie przykładowych zmian udziałów masowych, wilgotności i masy zakumulowanej wody w poszczególnych frakcjach granulowanego złoża w czasie nawilżania cieczą o stężeniu $c=25\%$, ($t = 4\text{min}$)

Analiza wyników pozwala wnioskować, że zmiany masy wody w poszczególnych frakcjach rozmiarowych oraz zmiany wilgotności tych frakcji mogą być wskaźnikiem do jakościowej i ilościowej oceny mechanizmów granulacji odpowiedzialnych za wymianę masy materiału pomiędzy poszczególnymi frakcjami tworzonego granulatu

Analizy wpływu stężenia cieczy nawilżającej na powstawanie i właściwości zarodków

W pracy dokonano również analizy wpływu stężenia cieczy nawilżającej na powstawanie i właściwości zarodków. Uzyskane wyniki wykazują, że wzrost zawartości cukru w roztworze korzystnie wpływa na proces granulacji.



Rys.12.[H5]. Wpływ stężenia roztworu cieczy nawilżającej na udział masowy frakcji ziarnowych (wilgotność złoża $w=4,4\%$)

Z rysunku Rys. 12.[H5] wynika, że dla ustalonej wilgotności ($w=4,4\%$) wraz ze wzrostem stężenia cieczy nawilżającej maleje udział frakcji najdrobniejszej, którą stanowi materiał niezgranulowany i powstały ścier. Świadczy to z jednej strony o pozytywnym wpływie zawartości disacharydu w roztworze na szybkość tworzenia się granul (zgranulowanych zostało ok. 2/3 masy złoża), jak i na wzrost odporności powstałych aglomeratów na zjawisko ścierania. Uzyskane wyniki wykazują, również, że zastosowanie roztworu disacharydu nie tylko przyspiesza proces granulacji, ale także powoduje powstawanie aglomeratów bardziej odpornych na ścieranie. Wniosek ten potwierdza dużo mniejsza masa ścieru, która zasiliła frakcję (0 – 1), dla prób realizowanych przy nawilżaniu roztworem disacharydu, w porównaniu do prób z zastosowaniem wody.

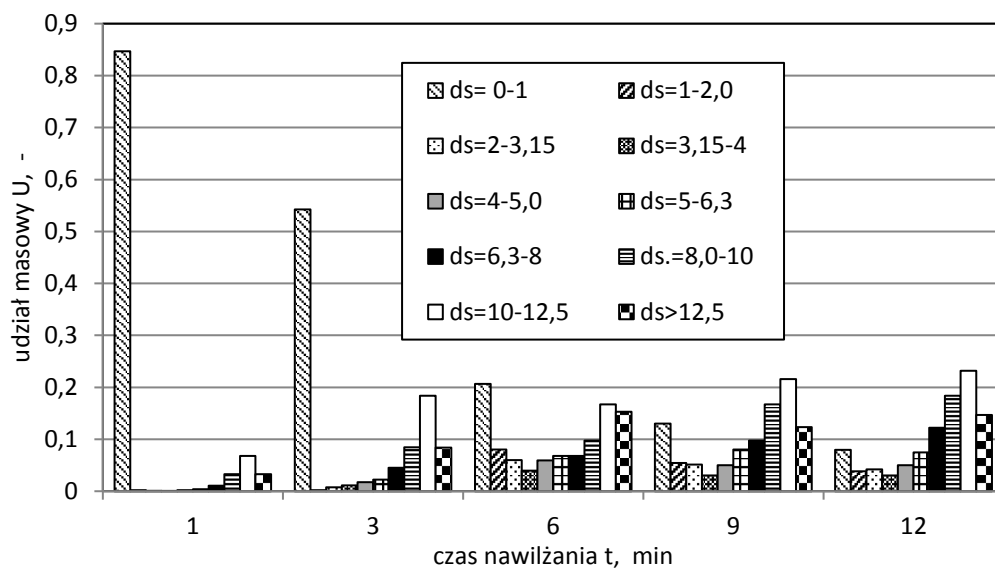
Dodatkowym, użytecznym atutem stosowania do nawilżania roztworu disacharydu jest uzyskanie zadowalającego rezultatu granulacji dla dużo niższych wilgotności złoża niż przy stosowaniu wody. Pozwala to na duże oszczędności podczas suszenia produktu, który dodatkowo wzbogacony jest o składniki organiczne.

Analizę wpływu dostarczania jako cieczy wiążącej roztworów o różnym stężeniu kontynuowano również w pracy [H6]. Badania aglomeracji mączki wapiennej przeprowadzono w granulatorze talerzowym. Każda próba granulacji była realizowana podczas nawilżania złoża. Jako ciecz nawilżającą stosowano wodę lub wodny roztwór skrobi ziemniaczanej, który podawano przez czas wynoszący $t_z=1-12$ min. Stężenie roztworu zmieniano w zakresie 3 – 6%. Na podstawie analizy bilansu masy oraz oceny skali migracji cieczy pomiędzy frakcjami ustalano masę materiału zgranulowanego, która w danym okresie czasu przenosiła się z frakcji zarodków do innych frakcji rozmiarowych, co pozwoliło określić, które mechanizmy granulacji dominowały w kolejnych etapach procesu. Ustalono również wpływ stężenia cieczy nawilżającej na w/w zjawiska.

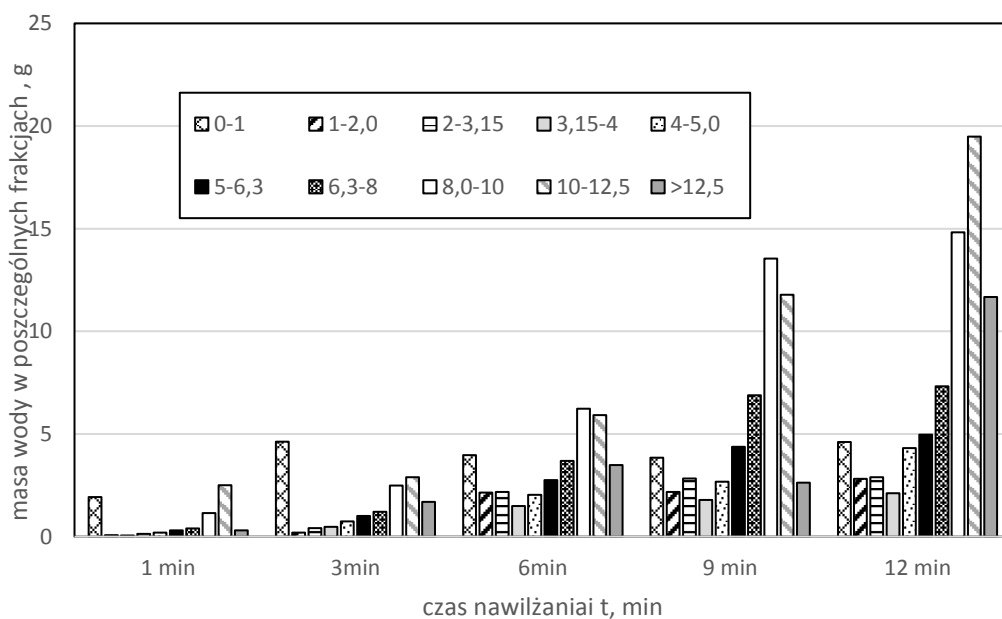
Przyjęte założenia były analogiczne jak w pracy H5.

Na podstawie uzyskanych wyników badań sporządzono zależności obrazujące zmiany składu granulometrycznego przetwarzanego złoża po określonym czasie nawilżania

Przykładowe rezultaty granulacji przy użyciu roztworów skrobi ziemniaczanej zamieszczono na Rys. 13.[H6].



Rys.13.[H6]. Zmiany składu granulometrycznego masy przeniesionej z frakcji zarodków do pozostałych frakcji rozmiarowych wraz z czasem granulacji ($c=3\%$)
 Przedstawiono na nim zmiany udziałów masowych poszczególnych frakcji wymiarowych granulatu otrzymanych dla różnych czasów granulacji podczas nawilżania 3% i 6% roztworami skrobi.



Rys.14.[H6]. Zmiany masy wody akumulowanej we frakcjach granulowanego złoża podczas nawilżania złoża roztworem o stężeniu 6%

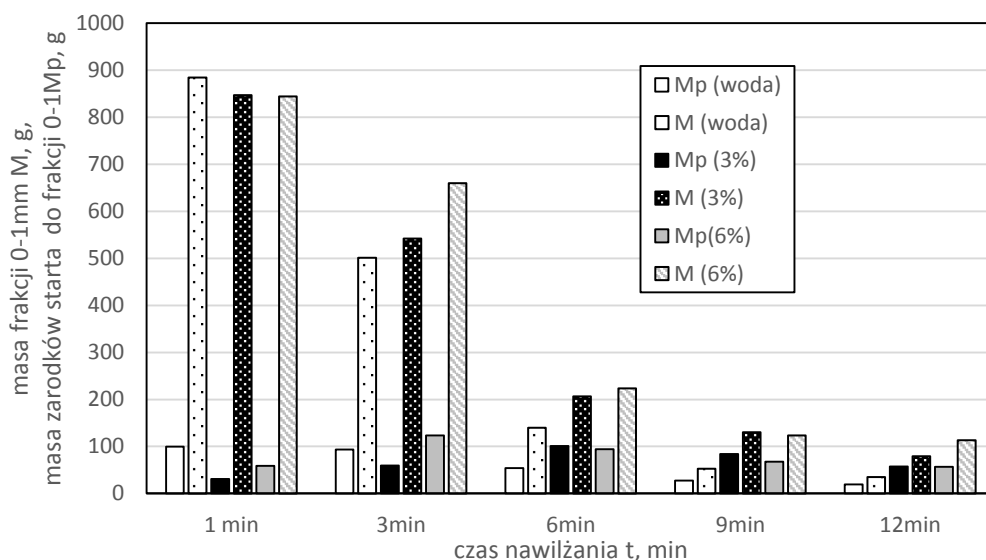
Porównując uzyskane składy granulometryczne można zauważyć inny niż w przypadku nawilżania woda przebieg procesu. Krople roztworu generują zarodki o większej średnicy. a frakcja 5 -6,3mm i mniejsze to raczej zniszczone w wyniku zderzeń wcześniej utworzone aglomeraty. Frakcje te powstają więc na skutek kruszenia się zarodków. Niewielki na początku procesu udział w masie złoża ma frakcja o rozmiarze większym od 12,5, ale z upływem czasu granulacji masa takich granul się zwiększa. Brak jest natomiast gwałtownego przyrostu udziału tej frakcji, co

należy tłumaczyć brakiem warunków do koalescencji. Frakcja ta, a także prawdopodobnie część frakcji 10 – 12,5 mm to granule powstałe z zarodków, które powiększyły swój rozmiar w wyniku otaczania.

Na Rys. 14.[H6] przedstawiono przykładowo zmianę masy zakumulowanej wody w poszczególnych frakcjach rozmiarowych dla różnych czasów nawilżania.

Charakter uzyskanych zależności potwierdza założenie, że ciecz nawilżająca (roztwór) akumulowana jest w chwili kontaktu ze złożem we frakcjach 8 - 12,5 mm (zarodki), by później przenieść się wraz z wilgotnym materiałem do innych frakcji rozmiarowych w wyniku ścierania, kruszenia i otaczania. Masa wody zmierzona we frakcji 0 - 1 mm wskazuje na to, że mechanizmy ścierania przeważają nad mechanizmami kruszenia materiału.

Analiza wyników badań potwierdza założenia przyjęte w modelu i pozwala wnioskować, że zmiany masy wody w poszczególnych frakcjach rozmiarowych oraz zmiany wilgotności tych frakcji mogą być wskaźnikiem do jakościowej i ilościowej oceny mechanizmów granulacji odpowiedzialnych za wymianę masy materiału pomiędzy poszczególnymi frakcjami tworzonego granulatu. Uzyskane wyniki pozwalają ocenić nie tylko charakter zmian udziałów frakcji, zarodków i granul, ale również porównać skalę dwóch zjawisk dezintegracji tzn. kruszenia i ścierania.

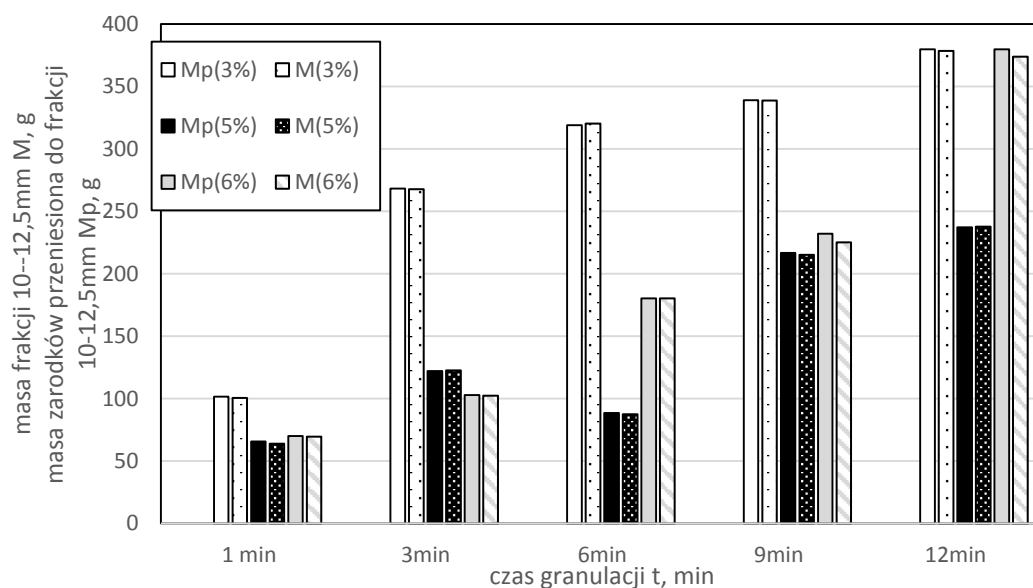


Rys.15.[H6]. Porównanie masy frakcji 0 – 1 mm z masą która w czasie granulacji została „przeniesiona” do tej frakcji podczas nawilżania

Analizując zaprezentowane wyniki na Rys. 13-15.[H6] można stwierdzić, że skala ścierania wilgotnego materiału z powierzchni zarodków i granul jest większa niż podczas mechanizmu ich kruszenia. Świadczy o tym większa sumaryczna masa wody zakumulowanej we frakcjach (0 – 1) niż we frakcji (1 – 4).

Na Rys. 15.[H6] przedstawiono porównanie zmian mas frakcji 0 - 1mm dla różnych stężeń cieczy nawilżającej z masami zarodków, które zasiliły tą frakcję w wyniku ścierania zarodków. Można zauważyć, że już w po 1 minucie trwania procesu materiał starty z zarodków stanowi ponad 10% frakcji 0 - 1 mm natomiast dla czasu t=6min ponad 50%. Wiąże się to z jednej strony ubywaniami tej frakcji w wyniku postępu procesu, ciągłym ścieraniem aglomeratów oraz ze zjawiskiem ponownego przyłączania wilgotnego ścieru do większych frakcji rozmiarowych (otaczanie).

Można zauważyć, że materiał nawilżany roztworem ściera się wolniej, co świadczy o większej wytrzymałości granul uzyskanych taką metodą. Zmiany masy frakcji 0 - 1 mm wraz z czasem nawilżania wskazują, że proces granulacji zachodzi nieznacznie szybciej dla prób realizowanych z nawilżaniem wodą niż z nawilżaniem roztworem.



Rys.16.[H6]. Porównanie masy frakcji >10 mm z masą zarodków, które w czasie nawilżania została „przeniesione” do tej frakcji podczas nawilżania

Analiza zjawiska otaczania granul zarodków przez materiał drobnoziarnisty została zaprezentowana w sposób graficzny na Rys.16.[H6], na którym przedstawiono zmiany w czasie masy frakcji większych od 10 mm w porównaniu do zmian masy startych zarodków, które dołączyły się do dużych aglomeratów w wyniku otaczania. Uzyskane równości pomierzonych mas frakcji > 10mm i obliczonych z zależności modelowych prezentowanych w pracy [H6] pozwalały stwierdzić, że do zarodków dołącza się jedynie wilgotny materiał starty z innych aglomeratów.

Analiza wpływu właściwości reologicznych cieczy zwilżającej na kinetykę procesu granulacji talerzowej

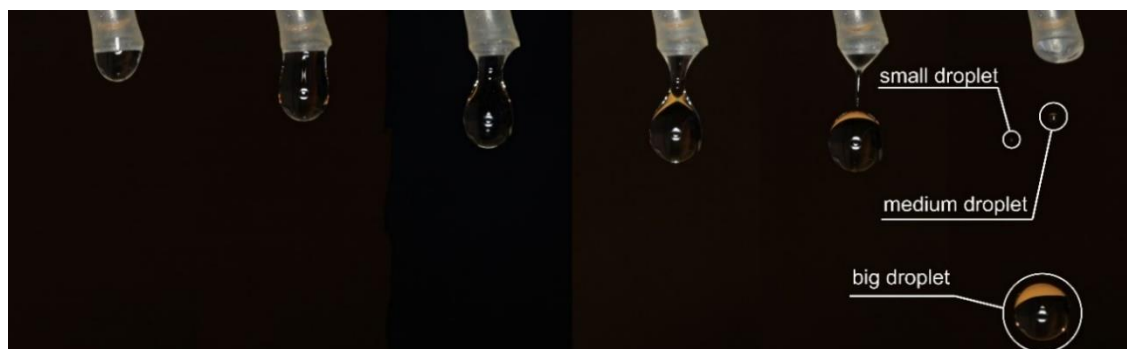
Kontynuację badań podjętych w pracach [H5 i H6] dotyczących wpływu stężenia roztworu cieczy nawilżającej na kinetykę granulacji podjęto w pracy [H7]. Celem pracy była analiza wpływu właściwości reologicznych cieczy zwilżającej na kinetykę procesu granulacji talerzowej. W pracy [H7] zbadane właściwości reologiczne cieczy nawilżającej (roztworów skrobi ziemniaczanej) skorelowano z efektem granulacji maczki wapiennej. Określono wpływ parametrów reologicznych cieczy nawilżającej na kinetykę granulacji oraz zaproponowano model uzależniający stałą procesu od parametrów lepkościowych stosowanych cieczy.

Badania właściwości sprężysto – lepkich cieczy nawilżających przeprowadzono za pomocą reometru rotacyjnego Physica MCR 301 firmy Anton Paar z układem pomiarowym typu stożek- płytkę o średnicy stożka równej 50 mm, kącie nachylenia 1° i szczelinie pomiarowej między stożkiem a płytką równej 0,048 μm.

Granulowane złoże nawilżano podczas ruchu przesypowego wykorzystując wodę oraz dwa wodne roztwory skrobi o różnych stężeniach. Proces granulacji prowadzono w czasie nawilżania złoża.

Podczas badań granulowano mączkę wapienną. Jako cieczy wiążących użyto wodę oraz koloidu skrobi ziemniaczanej o stężeniach 3% i 6%.

Ustalono średnią średnice dostarczanych do granulowanego złoża kropeł cieczy metodą objętościową i analizy wykonanych zdjęć (Rys.17.[H7], 18.[H7]).



Rys. 17.H[7]. Etapy tworzenia kropli wody



Rys. 18.[H7]. Etapy powstawania kropli 6% roztworu skrobi

Przeprowadzone badania zasadnicze podzielono na kilka etapów:

- badania właściwości cieczy lepkosprężystych stosowanych nawilżających,
- badania kinetyki talerzowej granulacji mączki wapiennej, przy zastosowaniu w/w cieczy nawilżających,
- podstawowe badania wykonywane w warunkach dynamicznych w trybie kontrolowanego odkształcenia, wyznaczając spektra mechaniczne poprzez dokonanie pomiaru wartości modułu zachowawczego G' i modułu stratności G'' charakterystyczne dla płynów o właściwościach lepkosprężystych.

Na podstawie określonych parametrów ułamkowego modelu reologicznego Maxwella-Wiecherta wg Ma [9] – wyznaczono charakterystyczne parametry opisujące właściwości płynów lepkosprężystych:

- podatność struktury przy usieciowaniu J_N^0 :

$$J_N^0 = G_N^0 \tau_0^{-1} \quad (1H7)$$

- gęstość usieciowania ω_0 :

$$\omega_0 = \tau_0^{-1} \quad (2H7)$$

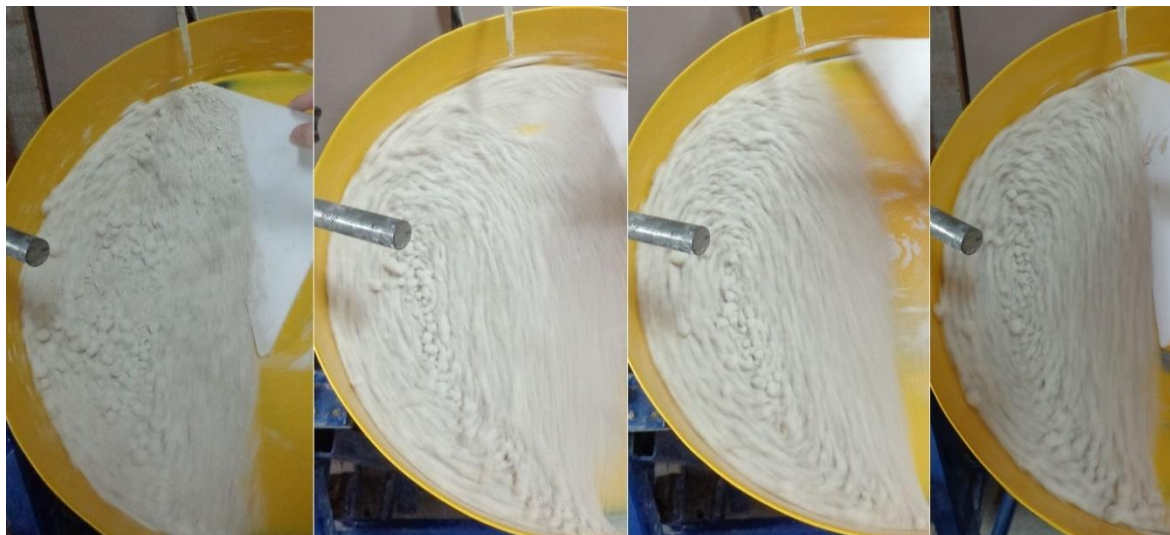
- sztywność żelu S :

$$S = G_N^0 \tau_0^{\frac{2\alpha\beta}{\alpha+\beta}} \quad (3H7)$$

W tabeli 1H7 przedstawiono wartości parametrów reologicznych modelu Maxwella-Wiecherta wg Ma dla kleików skrobiowych o stężeniu 3% i 6%.

Tabela 1H7. Parametry reologiczne modelu Maxwella-Wiecherta wg Ma dla kleików skrobiowych o stężeniu 3% i 6%.

Starch paste concentr. [%]	G_e [Pa]	G_N^0 [Pa]	τ_0 [s]	α [-]	β [-]	J_N^0 [Pa]	ω_0 [s ⁻¹]	S [Pas]	R^2 [-]
3	20.67	45.94	0.420	0.483	0.196	0.022	2.379	36.067	0,994
6	87.25	91.17	13.602	0.625	0.177	0.011	0.074	187.332	0,998



Rys. 19.[H7]. Proces granulacji czasów nawilżania 4, 8, 12 min.

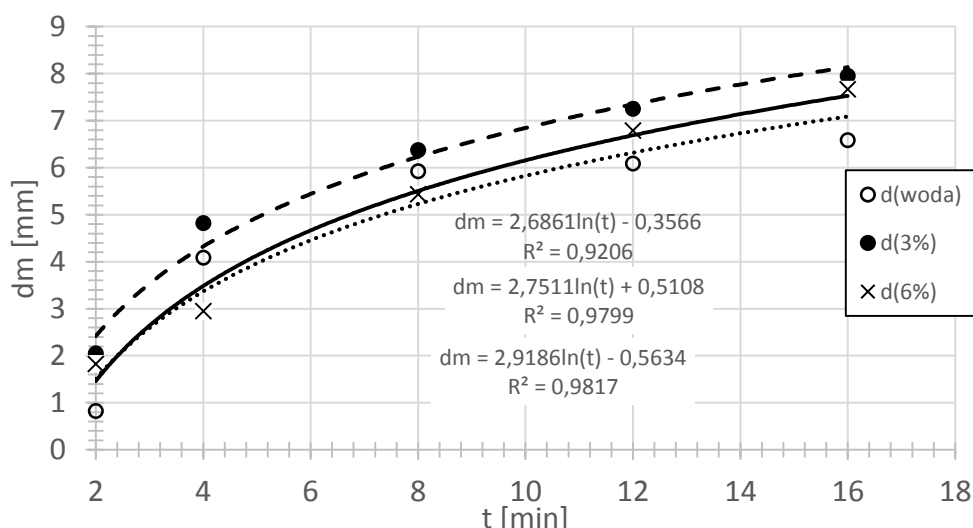
Analiza danych doświadczalnych - tabela 1.[H7] - pozwala stwierdzić, że we wszystkich analizowanych przypadkach, czyli w przypadku kleików skrobi ziemniaczanej o stężeniu odpowiednio 3% jak i 6% powstaje medium o strukturze przedstawiającej zachowanie się typowe dla lepkosprężystych ciał quasi-stałych. Świadczą o tym chociażby dość wysokie wartości modułu lepkosprężystego plateau G_N^0 , ale również wartości współczynników relaksacji α i β oraz wartości modułu równowagowego G_e odpowiadajacemu całkowitej sprężystości sieci. Podatność

struktury przy usieciowaniu J_N^0 wyrażona matematycznie jako odwrotność modułu lepkościowego plateau G_N^0 wskazuje, że kleik skrobiowy o stężeniu 3% posiada większe zdolności do tworzenia zwartej struktury o większej gęstości usieciowania ω_0 niż kleik o stężeniu 6%. Kleik skrobi ziemniaczanej o stężeniu 6% charakteryzuje się o połowę mniejszą podatnością przy usieciowaniu ze względu na wysoką moc sieci wyrażoną poprzez parametr G_N^0 , wysoką wartością czasu relaksacji τ_0 , który w znaczeniu fizycznym reprezentował makroskopowy czas relaksacji naprężeń żelu oraz wysoką wartością sztywności tego żelu, w związku z tym jego zdolności wiążące materiał granulowany wydają się być mniejsze.

Zmiany obrazu granulowanej mączki wapiennej dla różnych czasów nawilżania przedstawiono na Rys. 3H7.

W celu porównania kinetyki procesu granulacji dla prób realizowanych przy zastosowaniu różnych cieczy nawilżających sporządzono zależności zmian średniej średnicy granulowanego złoża wraz z czasem granulacji (rys.4H7.) dla dwóch wodnych roztworów skrobi oraz porównawczo dla wody. Można zauważyć, że średnia średnica granulowanego złoża najszybciej rośnie dla prób realizowanych przy nawilżaniu roztworem 3%, a najwolniej dla nawilżania wodą. Pozwala to wnioskować, że na proces granulacji wpływ mają właściwości reologiczne cieczy zarówno związane z jej cechami lepkiymi, jak i sprężystymi.

Zależność zmian średniej średnicy w czasie dla wszystkich stosowanych cieczy przybliżono funkcją logarymiczną która opisuje kinetykę procesu w badanym przedziale czasowym. Wnioski dotyczące wpływu stężenia roztworu cieczy nawilżającej na kinetykę procesu potwierdzają zależności dotyczące zmian udziału masowego frakcji surowca (frakcja 0 – 1 mm) z czasem nawilżania (rys. 20.[H7]). Zmniejszanie się udziału masowego surowca w całej masie złoża wynika z postępu procesu i tworzenia się granul o różnej średnicy. Można zauważyć, że masa frakcji surowca szybciej ubywa dla nawilżania roztworem 3% niż dla nawilżania roztworem 6%, co związane jest z szybszym realizowaniem procesu. Związane jest to z różnymi własnościami reologicznymi stosowanych cieczy.



Rys.20.[H7]. Porównanie zmian średniej średnicy d_m granulatu dla różnych cieczy nawilżających

Przeprowadzona analiza uzyskanych wyników badań wykazała, że zmianę masowych udziałów frakcji (0 – 1), którą zdefiniowano w pracy jako materiał niezgranulowany $U_m(t)$ w czasie można przybliżyć funkcją eksponentialną.

$$U_m(t) = A \cdot \exp(-k \cdot t) \quad (4H7)$$

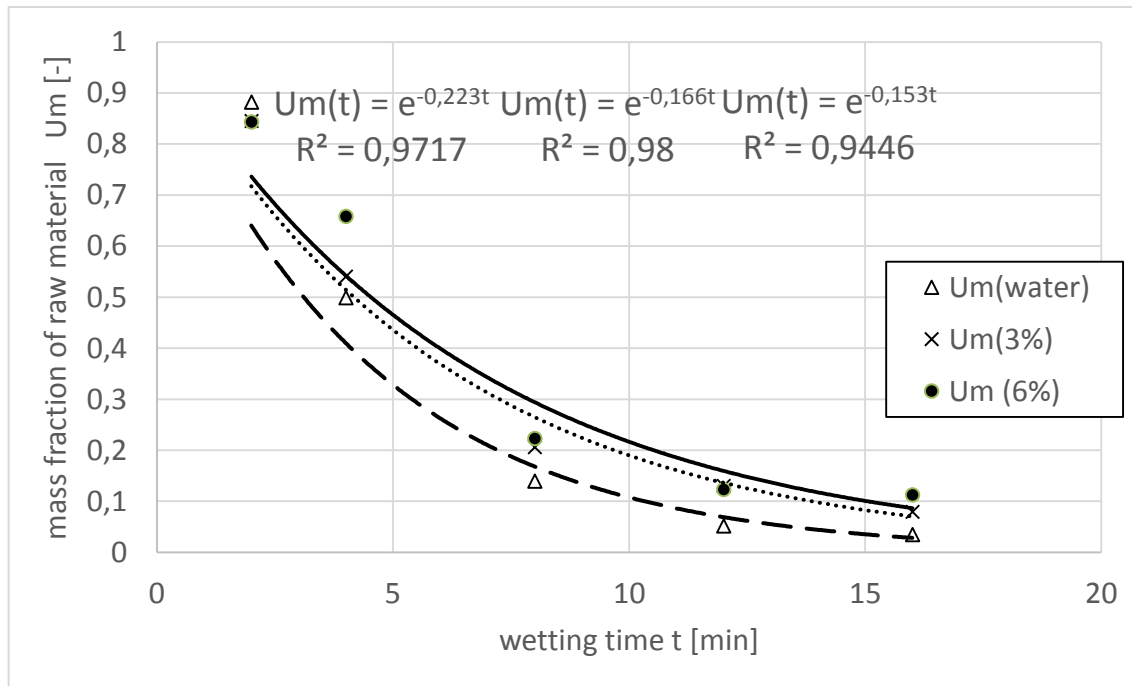
gdzie dla omawianego przypadku, ze względu na to, że w chwili rozpoczęcia procesu cały materiał w talerzu był niezgranulowanym surowcem $A = 1$, a k [1/s] jest stałą szybkości zależną od następujących parametrów wpływających na szybkość ubytku materiału wsadowego.:

- parametrów aparaturowych i procesowych – (np.: średnica D , długość L , kąt pochylenia α średnica rozpylacza d_r , częstość obrotowa n , współczynnik wypełnienia φ) – funkcja f , [H8]
- parametrów nawilżania – (np.: średnica kropli, wilgotność końcowa, natężenie lub intensywność nawilżania) – funkcja „g” [H9,H10]
- parametrów opisujących właściwości surowca – (np.: średnia średnica ziaren d_s) – funkcja „j”
- parametrów charakteryzujących ciecz nawilżającą (np.: stężenie) – [H4, H5]
- parametrów sprężysto – lepkich cieczy (np.) – funkcja „l” [H7]

Wpływ w/w parametrów na kinetykę procesu granulacji przesypowej potwierdzono w pracach [H7-H10]. Stałą procesu „k” zdefiniowano jako iloczyn następujących funkcji zależnych od różnych parametrów:

$$k = B \cdot f(D, L, tg\alpha) \cdot g(w_k, d_r, d_k) \cdot h(\varphi, \omega_d) \cdot j(d_s) \cdot k(c) \cdot l(J_n, \omega_0, S) \quad (5H7)$$

W tabeli 4. Podano zaproponowaną w pracy definicję, każdej z wymienionych zależności i jej wartość dla zmienianych podczas badań parametrów aparaturowo – procesowych oraz parametrów nawilżania;



Rys.21.[H7]. Porównanie zmian udziału frakcji (0 – 1) U_m materiału niezgranulowanego dla różnych cieczy nawilżających

Tabela 4. Parametry wpływające na stałą szybkości k [1/s]

Funkcja	Postać funkcji	Stężenie roztworu skrobi ziemn.	
		3%	6%
$f(D, L, tg\alpha)$	$(D/L) \cdot tg\alpha$	6,25	6,25
$g(w, d_r, d_k)$	$w_k \cdot d_k/d_r$	0,979	0,103
$h(\varphi, \omega_d)$	$\varphi \cdot \omega_d$	0,11	0,11
$j(d_s)$	d_k/d_s	66,30	69,80
$k(c)$	c	0,03	0,06
$l(J_N^0, \omega_0, S)$	$(J_N^0 \cdot \omega_0 \cdot S)^{1/3}$	1,231	0,533
k_1	Modelowa, (r-nie 6H7)	0,165	0,159
k_2	doświadczalna (wykres)	0,166	0,155

Gdzie k_1 obliczano z następującej zależności modelowej (rów. 6H7)

$$k_1 = \frac{D}{L} \cdot w_k \cdot \frac{d_k}{d_r} \cdot \varphi \cdot \omega_d \cdot \frac{d_k}{d_s} \cdot c \cdot (J_N^0 \cdot \omega_0 \cdot S)^{1/3} \quad (6H7)$$

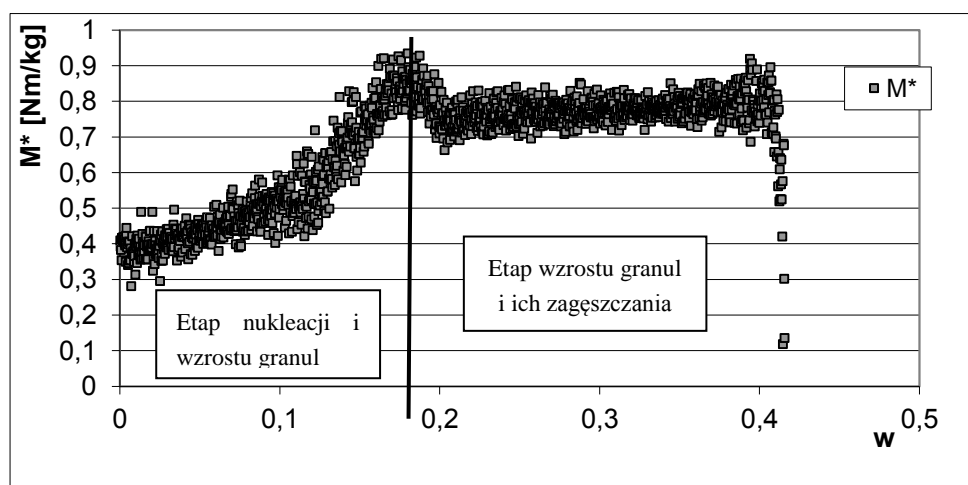
Analiza wyników przeprowadzonych badań dotyczących właściwości reologicznych cieczy nawilżających podczas granulacji talerzowej przy stosowaniu w/w cieczy udowadnia wpływ właściwości lepkosprężystych cieczy nawilżającej na kinetykę procesu granulacji talerzowej mączki wapiennej (znacznie różniące się wartości funkcji "l" w tabeli 4).

Wpływ dominujących mechanizmów granulacji na energetyczne parametry procesu

W pracach [H11 i H12] uzależniono zmiany parametrów energetycznych od parametrów procesowych i mechanizmów nukleacji otaczania i zagęszczania granul. Określono wpływ średnicy granulatora, współczynnika wypełnienia materiałem, oraz prędkości kątowej aparatu granulatora na energię zużytą na przetworzenie złoża ziarnistego w granulata dla tych etapów procesów, w których występują różne mechanizmy granulacji.

W czasie badań stosowano bębny o średnicach $D=0.25; 0.3; 0.35$ i 0.40 m wypełnionych złożem ziarnistym w zakresie $\varphi=5\%-20\%$, przy prędkości kątowej bębna $\omega=1.05 - 3,35$ rad/s.

Analiza uzyskanych wyników pozwoliła powiązać występujące wraz z postępem procesu różne charaktery zależności momentu obrotowego z dominującymi w różnych etapach granulacji mechanizmami.



Rys.22.[H11]. Przykładowa zależność zmian momentu obrotowego

Zauważyć można, że dla zakresu obejmującego nukleację oraz wspólną nukleację i otaczanie (wzrost granul) widoczny jest wzrost wartości jednostkowego (przeliczonego na jednostkę masy złoża) momentu obrotowego. Zmiany te można przybliżyć wielomianem drugiego stopnia. W kolejnym etapie, gdy nie ma już nukleacji, a jedynie otaczanie i ewentualna konsolidacja granulatu wartość M^* ustala się na stałym dla danych parametrów aparaturowo-procesowych poziomie.

W pracy **H12** dokonano porównania zaproponowanych modeli zmian momentu obrotowego, natomiast w **H11**, dla każdej przeprowadzonej próby (w sumie wykonano 75) obliczono wartości energii przeliczonej na jednostkę masy E^* , a następnie uzależniono je od parametrów aparaturowych i procesowych stosowanych w czasie badań.

Dla etapu zarodkowania i tworzenia granul uzyskano równanie potęgowe postaci:

$$E^* = A * (D)^{2,92} * (\varphi)^{0,72} * (\omega)^{0,87} \quad (7 \text{ H12})$$

Gdzie:

E^* - energia jednostkowa [J/kg]

D średnica aparatu

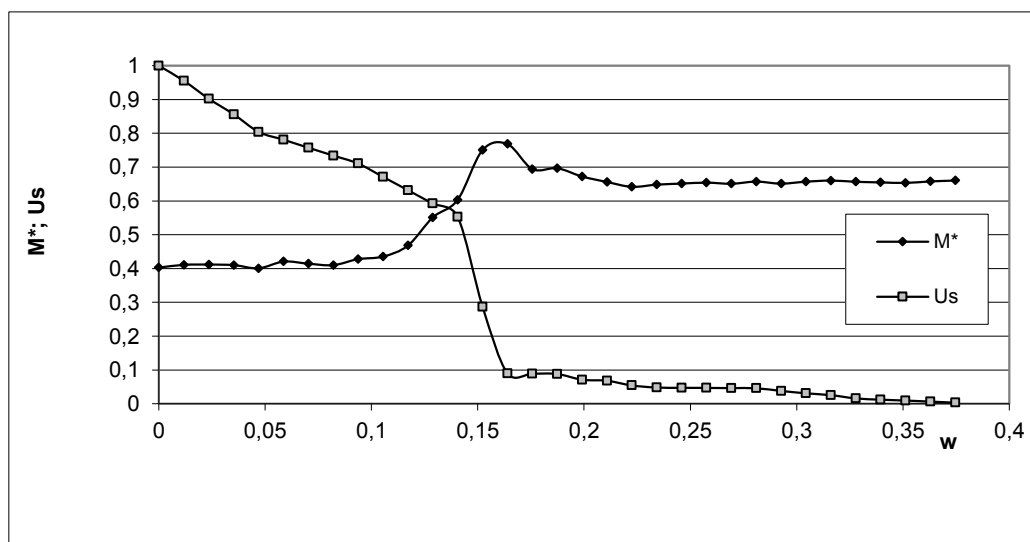
φ – współczynnik wypełnienia talerza [-]

ω - częstość obrotowa [1/s]

A, B - stałe

Dla drugiego etapu granulacji kojarzonego z wzrostem utworzonych uprzednia aglomeratów na drodze nawarstwiania i koalescencji równanie potęgowe ma postać

$$E^* = B * (D)^{3,12} * (\varphi)^{0,82} * (\omega)^{1,15} \quad (8 \text{ H12})$$



Rys.23.[H12]. Porównanie zmian wartości momentu zredukowanego i udziału masowego materiału nie zgranulowanego w funkcji wilgotności ($D=400\text{mm}$; $\varphi=15\%$; $n_w=0.15$)

W pracy [H12] udowodniono również zależność pomiędzy zmianami momentu obrotowego przeliczonego na jednostkę masy granulatu M^* i kinetyką procesu. Aby ustalić, w jakim zakresie zmiany momentu, a tym samym mocy mogą być wskaźnikiem informującym o przebiegu procesu granulacji. W tym celu dokonano porównania zmian momentu zredukowanego M^* ze zmianą udziału masowego frakcji

o najmniejszych ziarnach, uznanych jako materiał niezgranulowany U_s . Powyższą zależność przedstawiono na Rys. 23.[H12].

Zestawienie zmian momentu obrotowego i udziału sumarycznego niezgranulowanej masy U_s pozwala określić przedział czasowy, w którym cały surowiec został przetworzony w granulację. Można zauważyć, że masa niezgranulowanego materiału gwałtownie spada dla wilgotności (a tym samym czasu), przy której moment zredukowany osiąga maksimum. Udział niezgranulowanego surowca odpowiadający tej maksymalnej wartości wynosi ok. 10% i spada do ok. 5% po ustaleniu się momentu zredukowanego M^ .*

Za główne oryginalne osiągnięcie przeprowadzonych badań uznaje;

1. Opracowanie metod ilościowej analizy mechanizmów granulacji przesypanej

Analiza wyników potwierdza założenia przyjęte w modelu i pozwala wnioskować, że zmiany stężenia barwnika w poszczególnych frakcjach rozmiarowych oraz zmiany udziałów masowych tych frakcji świadczące o migracji wilgotnego materiału pomiędzy frakcjami mogą być wskaźnikiem do jakościowej i ilościowej oceny mechanizmów granulacji odpowiedzialnych za wymianę masy materiału pomiędzy poszczególnymi frakcjami tworzonego granulatu. Uzyskane wyniki pozwalają ocenić nie tylko charakter zmian udziałów frakcji, zarodków i granul, ale przede wszystkim porównać skalę dwóch zjawisk dezintegracji tzn. kruszenia i ścierania (abrazja). Uzyskane wyniki badań przedstawione w pracy umożliwiają więc jakościową i ilościową ocenę mechanizmów wzrostu aglomeratów na różnych etapach procesu mokrej granulacji, przy zmiennych wartościach wilgotności złoża uzyskanych na etapie nawilżania

2. Opis kinetyki procesu granulacji podczas nawilżania kroplami o stałym rozmiarze

Powiązano zmiany udziałów masowych w czasie granulacji z dominującymi mechanizmami. Kinetyka procesu zdeterminowana jest nawilżaniem kilkumilimetroowymi kroplami, co wpływa na powstawanie odpowiednio większych od nich zarodków granulacji. Postęp procesu wynika z ścierania się i kruszenia zarodków i przyłączania drobnoziarnistych frakcji do innych aglomeratów. W tym wypadku dominującym mechanizmem jest otaczanie wilgotnym ściernem innych zarodków. Powoduje to wzrost rozmiaru zarodków, które przyłączyły ścier i utworzenie w ten sposób granulek.

3. opis wpływu właściwości roztworów cieczy nawilżającej na kinetykę procesu

Analiza wyników przeprowadzonych badań dotyczących właściwości reologicznych cieczy nawilżających podczas granulacji talerzowej przy stosowaniu w/w cieczy udowadnia wpływ właściwości lepkością cieczy nawilżającej na kinetykę procesu granulacji talerzowej mączki wapiennej.

4. zaproponowanie zależności opisujących zmianę parametrów energetycznych dla etapów procesu, w których dominują określone mechanizmy granulacji.

Zaproponowano równania, które uzależniają parametry energetyczne od parametrów aparaturowo-procesowych dla dwóch etapów, które wynikają z dominacji różnych mechanizmów granulacji.

Analiza mechanizmów powstawania granulatu, badania kinetyki granulacji materiałów pylistych o różnych właściwościach, a także określenie wpływu parametrów aparaturowo-procesowych na właściwości uzyskanego produktu mają duże znaczenie użytkowe i pozwalają na opracowanie w skali przemysłowej technologii granulacji w trybie okresowym oraz ciągłym. Badania zmian parametrów energetycznych procesu pozwalają na oszacowanie wydatków energetycznych i pozwoliły na zaproponowanie metody, która umożliwi sterowanie procesem.

Literatura

1. C.E. Capes, P.V. Danckwerts, *Trans. Inst. Chem. Eng.* 1965, **43**, 116.
2. K.V.S. Sastry, D.W. Fuerstenau, *Powder Technol.* 1973, **7**, 97.
3. J.D. Litster, B.J. Ennis, [w:] *The science and engineering of granulation processes*, Particle Technology Series. (red. B. Scarlett), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht 2004.
4. P.R. Mort, *Powder Technol.* 2009, **189**, 313.
5. A. Heim, R. Kaźmierczak, A. Obraniak, *Inż. Chem. Proc.* 2004, **25**, 993.
6. J.M.K. Pearson, M.J. Hounslow, T. Instone, P.C. Knight, Mat. World Congress on Particle Technology, Brighton 1998, I. Chem. E, paper #86.
7. J.S. Ramaker, M.A. Jelgersma, P. Vonk, N.W.F. Kossen, *Int. J. Pharm.* 1998, **166**, 89.
8. D.M. Newitt, J.M. Conway-Jones, *Trans. Inst. Chem. Eng.* 1958, **36**, 422.
9. H. Ma, Z. Xiong, F. Lv, C. Li, Y. Yang, Rheological behavior and morphologies of reactively compatibilized PVDF/TPU blends, *Macromol. Chem. Phys.* 212 (2011), 252–258.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Wybrane pozostałe osiągnięcia naukowo-badawcze na które składają się prace publikowane w czasopismach znajdujących się w bazie JCR, na liście B oraz patenty przedstawiono poniżej.

- A) Publikacje naukowe w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JRC)
- A1. Heim A., Gluba T., Kochański B., Obraniak A., Załuga T., "Kształt przekroju poprzecznego warstwy ziarnistej w bębnie obrotowym", *Inż. Chem. Proc.*, 1, s. 95-116, 1995
- A2. Heim A., Gluba T., Obraniak A., "Prędkość ziaren wsadu w warstwie przyściennej bębna obrotowego", *Inż. Chem. Proc.*, 18, 1, s. 133-141, 1997
- A3. Heim A., Gluba T., Obraniak A., "The effect of the wetting droplets size on power consumption during drum granulation", *Granular Matter*, 6, s. 137-143, 2004
- A4. Heim A., Kaźmierczak R., Obraniak A., "Model dynamiki złoża ziarnistego w granulatorze talerzowym", *Inż. Chem. Proc.*, 25, 3/2, s. 993-998, 2004
- A5. Gluba T., Obraniak A., "Ocena jednorodności produktu mokrej granulacji bębnowej", *Przemysł Chemiczny*, 87(2), 125-128, 2008
- A6. Heim A., Gluba T., Obraniak A., Błaszczuk M., Gawot-Młynarczyk E., "Wpływ napięcia powierzchniowego cieczy zwilżającej na jakość produktu granulacji bębnowej", *Przemysł Chemiczny*, 87(2), 146-149, 2008
- A7. Heim A., Gluba T., Obraniak A., Błaszczuk M., Gawot-Młynarczyk E., "Wpływ wielkości kropeł cieczy zwilżającej na właściwości produktu granulacji bębnowej", *Przemysł Chemiczny*, 87(2), 150-153, 2008
- A8. Heim A., Obraniak A., Gluba T., "Wpływ szybkości nawilżania złoża na gęstość nasypową uzyskanego granulatu", *Przemysł Chemiczny*, 87(2), 154-157, 2008
- A9. Heim A., Obraniak A., Gluba T., "Change in the properties of beads granulates in disc granulators", *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 44, s. 53-62, 2010
- A10. Sobiecka E., Obraniak A., Antizar-Ladislao B., 2014, Solidification/stabilization of hospital solid waste incineration ash in Portland cement: influence of mixture ratio, solidification and pH, *Chemosphere*, 111, 18-23, IF 2012 = 3,137 (35 pkt MNiSW)
- A11. Gluba Tadeusz, Olejnik Tomasz Piotr, Obraniak Andrzej: Technologia wytwarzania środka piorącego w układzie ciągłym. *Przemysł Chemiczny* 94/8(2015), 1370-1374
- A12. Elżbieta Sobiecka, Tomasz P. Olejnika, Andrzej Obraniaka, Wioletta Bajdurb, *Process of solidification/stabilization of selected industrial wastes*, Proces zastalania i stabilizacji wybranych odpadów przemysłowych, *Przemysł Chemiczny* 96/12(2017), 2532-2534, DOI: 10.15199/62.2017.12.28
- A13. Katarzyna Ławińska^a, Dorota Gendaszewska^a, Edyta Grzesiak, Jolanta Jagiełło, Andrzej Obraniak. *Use of tanning waste in seed production*, Zagospodarowanie odpadów garbarskich w nasiennictwie, *Przemysł Chemiczny* 96/11 (2017), 2344-2347, DOI: 10.15199/62.2017.11.24
- A14. Katarzyna Ławińska, Dorota Gendaszewska, Edyta Grzesiaka, Magdalena Lasoń-Rydel, Andrzej Obraniak, *Coating of leguminosarum seeds with collagen hydrolyzates from tanning waste*, Otoczkowanie nasion strączkowych hydrolyzatom kolagenu z odpadów garbarskich, *Przemysł Chemiczny* 96/9, (2017), DOI: 10.15199/62.2017.9.11

- A15. Analysis of droplet formation in nozzles used in granulation processes Obraniak, Andrzej, Stelmach, Jacek, Olejnik, Tomasz P., Glogowski, Michal, PRZEMYSŁ CHEMICZNY 2018 Volume: 97 Issue: 2 Pages: 258-262 DOI: 10.15199/62.2018.2.14
- A16. Robert Siuda, Jerzy Kwiatek, Andrzej Obraniak, Tadeusz Gluba, Tomasz P. Olejnik, Agnieszka Marszałek-Gubiec, Tomasz Pietrasik, *Comparison of granulation methods of lime-gypsum fertilizer*, Porównanie metod granulacji nawozu wapienno-gipsowego, Przemysł Chemiczny, 2018, 97/9, 1550-1553
- A17. Jerzy Kwiatek, Robert Siuda Tadeusz Gluba, Tomasz P. Olejnik, Andrzej Obraniak, Agnieszka Marszałek-Gubiec, Tomasz Pietrasik, *Granulation of limestone powder with selected binding liquids*, Granulacja mączki wapiennej przy użyciu wybranych cieczy wiążących, Przemysł Chemiczny, 2018, 97/9, 1542-1548
- A18. Andrzej Obraniak, Tadeusz Gluba, Katarzyna Ławińska, Bogdan Derbiszewski, Minimisation of environmental effects related with storing fly ash from combustion of hard coal environment, Environment Protection Engineering, 2018, 4, 177-189, DOI: 10.5277/epe180412
- A19. Katarzyna Ławińska, Andrzej Obraniak, Remigiusz Modrzewski, Granulation Process of Waste Tanning Savings, FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe 2019, Vol. 27, 2 (134).
- A20. Andrzej Obraniak, Jacek Sawicki, Granulacja odpadowego pyłu perlitowego, Przemysł Chemiczny, 2019, 98/1, 64-69.

B) Udzielone patenty międzynarodowe i krajowe

- B1. Gluba T., Antkowiak W., Obraniak A., Strobin W., "Sposób wytwarzania środka piorącego", P-290486, 1991-05-29, Pat. RP nr 165161 B1, Patent udzielono 1994-05-31
- B2. Gluba T., Obraniak A., "Sposób wytwarzania środka piorącego", P-376205, 2005-07-15, patent udzielono 2009-12-23, Pat. RP nr 205946
- B3. Obraniak A., Gluba T. Olejnik T., „Bęben obrotowy o pracy ciągłej zwłaszcza granulatorów i suszarek”, zgłoszenie P – 399 979, 2012-07-16. Pat. RP nr 220195, data udzielenia patentu 30.09.2015
- B4. Obraniak A., Gluba T. Olejnik T., "Sposób wytwarzania środka piorącego", zgłoszenie P – 399 981, 2012-07-16, Pat. RP nr 221171, data udzielenia patentu: 31.03.2016
- B5. Gluba T., Obraniak A. Olejnik T., "Sposób ciągły wytwarzania środka piorącego", zgłoszenie P – 401 065, 2012-10-05. , Pat. RP nr 220859, data udzielenia patentu 29.01.2016
- B6. Gluba T., Obraniak A., Siuda R., Kwiatek J. Sposób wytwarzania granulowanego nawozu wapniowego, zgłoszenie P- 415359, 2015.12.17., Pat. RP nr 231025, data udzielenia patentu: 14.09.2018
- B7. Gluba T., Obraniak A., Siuda R., Kwiatek J. Sposób wytwarzania granulowanego nawozu wapniowego, zgłoszenie P- 415360, 2015.12.17., Pat. RP nr 231026, data udzielenia patentu: 14.09.2018
- B8. Gluba T., Obraniak A., Siuda R., Kwiatek J. Sposób wytwarzania granulowanego nawozu wapniowego i/lub wapniowo-magnezowego pojedynczego lub wieloskładnikowego, P- 415361, 2015.12.17., Pat. RP nr 231027, data udzielenia patentu: 14.09.2018

- B9. Gluba T., Obraniak A., Siuda R., Kwiatek J. Sposób wytwarzania granulowanego nawozu wapniowego i/lub wapniowo-magnezowego pojedynczego lub wieloskładnikowego, zgłoszenie P- 415362, 2015.12.17., Pat. RP nr 231028, data udzielenia patentu: 14.09.2018
- B10. Gluba T., Obraniak, Sposób ciągły wytwarzania granulowanego środka piorącego, zgłoszenie P- 412133, 2015.04.27., Pat. RP nr (brak na razie numeru w bazie), data udzielenia patentu: 06.11.2018

C) Monografie, publikacje naukowe w czasopiśmie międzynarodowych lub krajowych innych niż znajdujące się w bazie, o której mowa w pkt II A:

- C1. Gluba T., Obraniak A., "Produkcja przy użyciu dysz pneumatycznych granulowanego środka piorącego", Inż. Apar. Chem.,**35**,3, s. 15-18,1996
- C2. Heim A., Gluba T., Obraniak A., "Badania charakterystyk dysz pneumatycznych przy granulacji przesypowej", Inż. Apar. Chem.,**35**,3, s.19-22,1996
- C3. Heim A., Obraniak A., "Zmiany kąta naturalnego usypu podczas granulacji bębnowej bentonitu", Inż. Apar. Chem.,**42(34)**,z.spec.3, s.58-59,2003
- C4. Heim A., Obraniak A., Gluba T., "Moment obrotowy jako wskaźnik realizacji procesu granulacji bębnowej", Inż. Apar. Chem.,**42(34)**,z.spec.3, s.60-61,2003
- C5. Gluba T., Obraniak A., Błaszczuk M., "Kinetyka procesu mokrej granulacji bębnowej na przykładzie granulacji mączki kwarcowej", Inż. Apar. Chem.,**43(35)**,3s., s.45-46,2004
- C6. Gluba T., Obraniak A., Gawot-Młynarczyk E., Błaszczuk M., "Analiza warunków pracy pneumatycznych dysz rozpyłowych", Inż. Apar. Chem.,**43(35)**,3s., s. 47-48,2004
- C7. Heim A., Kaźmierczak R., Obraniak A., "Wpływ średnicy talerza na wartość momentu obrotowego podczas granulacji talerzowej", Inż. Apar. Chem.,**43(35)**,3, s. 9-12,2004
- C8. Gluba T., Obraniak A., Gawot-Młynarczyk E., Błaszczuk M., Kuberski S., "Kinetyka rozpyłu cieczy wiążącej w granulowanym złożu", Inż. Apar. Chem.,**45 (37)**,4s., s.53-55, 2006
- C9. Heim A., Gluba T., Obraniak A., Gawot-Młynarczyk E., Błaszczuk E., "Wpływ zmiany napięcia powierzchniowego cieczy na zwilżalność mączki kwarcowej", Inż. Apar. Chem., **45 (37)**,4s., s.60-61, 2006
- C10. Heim A., Gluba T., Obraniak A., Gawot-Młynarczyk E., Błaszczuk E., "Wpływ warunków granulacji na wytrzymałość granulatu na ściskanie", Inż. Apar. Chem.,**45(37)**,4 s, s. 58-59, 2006
- C11. Gluba T., Obraniak A., "Badania granulacji nawozu ogrodniczego 'Azofoska' w granulatorach bębnowych", Zesz. Nauk. P Łódź Inż. Chem.,**779**,z. 21, s. 51,1997
- C12. Gluba T., Obraniak A., "Kinetyka aglomeracji materiału drobnoziarnistego w granulatorze talerzowym", Inż. Apar. Chem., **48(40)**, 4, s. 46-47, 2009
- C13. Gluba T., Obraniak A., "Ocena odporności na ścieranie granulowanego nawozu wieloskładnikowego Lubofoska", Inż. Apar. Chem., **48(40)**, 4, s.48-49, 2009
- C14. Gluba T., Obraniak A., "Ocena właściwości produktu mokrej granulacji talerzowej", Inż. Apar. Chem., **48(40)**, 4, s.50-51, 2009
- C15. Obraniak A., Gluba T., "Granulacja jako sposób ograniczenia zanieczyszczenia wód powierzchniowych przez nawozy sztuczne", Inż. Apar. Chem., **48(40)**, 4, s.87-88, 2009

- C16.Obraniak A., Gluba T., Olejnik T.P., "Badanie wpływu sposobu dozowania cieczy nawilżającej na zmiany gęstości nasypowej granulatu", Inż. Apar. Chem.,**48(40)**,4, s.89-90, 2009
- C17.Olejnik T.P., Gluba T., Obraniak A., "Kinetyka mielenia kwarcytu przy kaskadowym ruchu złoża nadawy", Inż. Apar. Chem., **48(40)**, 4, s.100-101, 2009
- C18.Obraniak A., Gluba T., "Wpływ parametrów procesowych na efekt okresowej granulacji nawozu Lubofoska", Inż. Apar. Chem.,**49(41)**,1, s. 77-78,2010
- C19.Heim A., Obraniak A., Gluba T., "Wpływ parametrów procesowo-aparaturowych na właściwości złoża podczas granulacji bębnowej" ,Zesz. Nauk. P Łódź Inż. Chem. Proc. Nr 972.,z.29, s.71-79,2006
- C20.Obraniak A., "Granulacja popiołów lotnych uzyskanych ze spalania węgla brunatnego", Inżynieria i Aparatura Chemiczna, **52, (44)**, s. 213-215, 2013
- C21.Gluba T., Obraniak A., "Badania granulacji drobnoziarnistej kredy o różnym składzie ziarnowym", Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii, z. 31, s. 89,1997
- C22.Gluba T., Obraniak A., "Badania niektórych warunków granulacji piasków szklarskich", Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii,,30, s. 157-165,1996
- C23.Heim A., Gluba T., Obraniak A., "The effect of process and equipment parameters on the drum granulation kinetics", Physicochemical Problems of Mineral Processing,,34, s.67-76,2000
- C24.Gluba T., Heim A., Obraniak A., "Investigation of the drum granulation conditions for mineral raw material of different grain size compositions", Physicochemical Problems of Mineral Processing,**35**,s.103-112,2001
- C25.Gluba T., Obraniak A., Gawot-Młynarczyk E., "The effect of granulation conditions on bulk density of a product", Physicochemical Problems of Mineral Processing,**38**,s. 177-186,2004
- C26.Heim A., Gluba T., Obraniak A., "Bed dynamics during drum granulation", Physicochemical Problems of Mineral Processing,**38**,s.167-176,2004
- C27.Heim A., Kaźmierczak R., Obraniak A., "The effect of equipment and process parameters on torque during disk granulation of bentonite", Physicochemical Problems of Mineral Processing,**38**,s.157-166,2004
- C28.Heim A., Obraniak A., Gluba T., "Changes of feed bulk density during drum granulation of bentonite", Physicochemical Problems of Mineral Processing",**39**,s. 219-228,2005
- C29.Heim A., Gluba T., Obraniak A., Gawot-Młynarczyk E., Błaszczuk M., "The effect of wetting on silica flour granulation", Physicochemical Problems of Mineral Processing, **40**, s.307-315, 2006
- C30.Heim A., Gluba T., Obraniak A., Gawot-Młynarczyk E., Błaszczuk M., "The effect of wetting parameters on mechanical strength of granulated materials", Physicochemical Problems of Mineral Processing, **40**,s.237-245, 2006
- C31.Heim A., Gluba T., Obraniak A., Gawot-Młynarczyk E., Błaszczuk M., "A change in the properties of the bed during drum granulation", Polish Journal of Chemical Technology, **8**, z.4, s.11-13, 2006
- C32.Heim A., Gluba T., Obraniak A., Gawot-Młynarczyk E., Błaszczuk M., "Drum granulation of silica flour", Polish Journal of Chemical Technology, **8**,z. 4, s.8-10, 2006
- C33.Obraniak A., Gluba T., "Granulacja nawozu mineralnego w aparacie bębnowym",Chemik,**LXI**,9, s.409-413,2008
- C34.GlubaT., Obraniak A., "Ocena właściwości produktu granulacji przesypowej", Chemik,**LXI**,9, s. 414-417,2008

- C35. Obraniak A., Heim A., Gluba T., "Porównanie zapotrzebowania mocy w procesach granulacji przesypowej", Rozdział (s. 183-194) w *Innowacyjne i przyjazne dla środowiska systemy przerobcze surowców mineralnych w aspekcie zrównoważonego rozwoju* (ss. 247), Wyd: Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice, 2009
- C36. Obraniak A., Gluba T., "Doświadczalna instalacja do ciągłej granulacji bębnowej", *Chemik nauka-technika-rynek*, **66**,5, s.501-508,2012
- C37. Heim A., Gluba T., Obraniak A., "Wpływ parametrów nawilżania na wartość mocy podczas granulacji", *Pr. Nauk. Inst. Górn. PW nr 101, seria: konferencje 35*,s.27-36,2002
- C38. Heim A., Gluba T., Obraniak A., "Ruch złoża ziarnistego w poziomym granulatorze bębnowym", *Zesz. Nauk. P. Łódź Inż. Chem.*, **779**,z. 21, s. 77,1997
- C39. Heim A., Solecki M., Obraniak A., "Ocena procesu mielenia organicznej frakcji odpadów komunalnych w młynie bębnowym", *Zesz. Nauk. P Łódź Inż. Chem.*, **nr 822**,z. 26, s.221-228,1999
- C40. Gluba T., Obraniak A., "Wpływ składu ziarnowego surowca na właściwości wytrzymałościowe produktu granulacji bębnowej", *Zesz. Nauk. P Łódź Inż. Chem. i Proc.*, **839**,z. 28, s.83-90,2000
- C41. Heim A., Gluba T., Obraniak A., "Wpływ parametrów aparaturowo-procesowych na wartość momentu obrotowego w procesie granulacji bębnowej", *Zesz. Nauk. P Łódź Inż. Chem. i Proc.*, **839**,z. 28, s. 91-98,2000
- C42. Gluba T., Obraniak A., Gawot-Młynarczyk E., Błaszczuk M., "Wpływ parametrów nawilżania na wytrzymałość granulatu na ściskanie", *Zesz. Nauk. P Łódź Inż. Chem. Proc. Nr 972*,z. 29, s.51-60,2006

Wartości IF, punktów MNiSW, ilości cytowań i udziałów zamieszczono w załączniku 4

Poza obszarem głównego osiągnięcia, większość realizowanych badań i publikowanych prace dotyczyły następujących zagadnień:

1. Wpływ parametrów aparaturowo-procesowych na proces granulacji bębnowej i talerzowej

Badania wpływu parametrów aparaturowo-procesowych na proces granulacji i jego kinetykę realizowano w aparatach talerzowych (A9,A16,A17,C12, i bębnowych (C5, C43, C45). Jako surowiec podlegający granulacji stosowano materiały modelowe takie jak bentonit (C24,C25,C28) i mączka kwarcowa (C5,C9,C29, C31,C32)) oraz materiały, które mają zastosowanie w nawożeniu gleb tj.: kreda (C21), mączka wapienna (A16,A17), dolomit (A16,A17), nawozy wieloskładnikowe (C18,C19, C33, C38), gips (A16, A17). Uzyskiwane wyniki były charakterystyczne dla danego surowca. Udowodniono wpływ wielkości aparatu, jego częstości obrotowej, stopnia wypełnienia, kąta pochylenia talerza oraz właściwości surowca na kinetykę granulacji i uzyskany produkt końcowy. Odrębną grupą parametrów wpływającą na granulację zbadaną w pracach; (A5-A8,C43,) były parametry nawilżania tzn: czas nawilżania, wilgotność, intensywność nawilżania, wielkość kropeł (C16), napięcie powierzchniowe (A6) Ustalono wpływ tych parametrów na kinetykę granulacji

2. Wpływ parametrów aparaturowo-procesowych na wytrzymałość i właściwości uzyskanego granulatu

W przedstawionych pracach, badano wpływ warunków granulacji (czasu granulacji, czasu nawilżania, wymiarów aparatu, parametrów surowca, wilgotności,

rodzaju nawilżania, stopnia wypełnienia, prędkości obrotowej) na jakość uzyskanego granulatu (produktu). Prace realizowano w granulacjach talerzowych, bębnowych i mieszalnikowych o różnych wielkościach. Materiałem który podlegał granulacji był bentonit, mączka wapienna, kwarcowa, dolomitowa, kreda, gips, popioły oraz mieszaniny w/w surowców. Jako ciecz nawilżająca stosowano wodę i wodne roztwory melasy, szkła wodnego, cukru i alkoholu poliwinylowego). Określono właściwości charakteryzujące otrzymane w wyniku aglomeracji złoża tzn.: jednorodność produktu (A5), gęstość nasypowa (A8, 16C, C25, C28, C31), kąt naturalnego usypu (C3, C34) udziały masowe (A6, A7, A16, A17, C22, C23, C31, C34), średnie średnice złoża (C5, C14, C23, C32) jak i parametry określające właściwości granul. Analizowano wytrzymałość uzyskanego granulatu na ścieranie (C13, C41), na zrzut (A16, A17, C20, oraz na ściskanie (A16, A17, C10, C30, C43). Analizie podlegał zmienianych wpływ parametrów aparaturowo-procesowych na w/w właściwości granulatu.

3. Granulacja nawozów rolniczych

Zagadnienie dotyczące doboru optymalnych parametrów dla produkcji nawozów mineralnych podjęto w pracach (A16, A17, B6 – B10, C18, C19, C21, C33, C38). Prace A16, 17 A, 21 C oraz patenty 6 B -10B dotyczyły granulacji nawozów wapiennych z dodatkiem gipsu, kredy i dolomitu. Jako ciecz nawilżającą stosowano wodę i wodne roztwory melasy, szkła wodnego i alkoholu poliwinylowego. W wyniku przeprowadzonych badań opracowano technologię granulacji mączki wapiennej z różnymi dodatkami. Opatentowano sposób wytwarzania nawozu w trybie okresowym, ciągłym w technologii jedno i dwuetapowej.

W pracach C18, C19, C33, C38 analizowano granulację nawozów wieloskładnikowych azotowych. Ustalono wpływ parametrów procesowych oraz nawilżania na wielkość i wytrzymałość uzyskanego produktu. Praca 15C dotyczyła ograniczenia zanieczyszczenia wód powierzchniowych przez związki azotu pochodzące z nawozów rolniczych.

4. Granulacja proszku do prania

Badania dotyczyły opracowania nowej technologii produkcji środka piorącego. Główną zaletą opracowanej technologii było wyeliminowanie etapu suszenia powstałych aglomeratów, co w zamyśle miało wpływać na obniżenie kosztów produkcji. Sposób wytwarzania omawianego środka piorącego był tematem uzyskanych patentów. Technologia granulacji okresowej środka piorącego została opisana w pracach B 1, B2, a technologia granulacji ciągłej w pracach B4, B5, A11. Uzyskany patent 3B dotyczy konstrukcji bębna granulatora użytego do procesu ciągłego, natomiast w pracy 1C przedstawiono badanie dyszy, która służyła do dostarczania roztopionego detergentu. W pracy C 36 przedstawiono prototypową instalację do granulacji ciągłej środka piorącego.

5. Badanie dysz zasilających

Nawilżanie granulowanego złoża ma decydujący wpływ na granulację w granulacjach bębnowych i talerzowych. W zależności od oczekiwanych parametrów produktu złoża należy nawilżać z różną intensywnością, ciecz podawać w ściśle określone miejsce strugą rozproszoną, lub kroplami o stałej wielkości. W celu określenia optymalnych parametrów dysz przeznaczonych do nawilżania granulowanego złoża przeprowadzono badania pracy dysz zasilających. Badania dysz zasilających i nawilżających granulowane złoża opisano w pracach A7, A15, C2, C6. Badania dotyczyły analizy warunków pracy dysz zaprojektowanych w Katedrze Aparatury procesowej PŁ oraz zakupionych w firmie Spraying System. Badano dysze

pneumatyczne i hydrauliczne. Analizowano wielkość kropeł, i równomierność nawilżania dla różnych konstrukcji dysz oraz różnych natężeń przepływu cieczy i powietrza.

6. *Otoczkowanie nasion*

Zagadnienie otoczkowania nasion podjęto w pracach (A13,A14). Celem badań było wytworzenie zabezpieczonych przed wpływem grzybów nasion, które w wyniku otoczkowania materiałem ciekłym i mineralnym uzyskały by jednocześnie warstwę ochronną oraz warstwę mikronawozu, którą stanowiłaby otoczka z materiału mineralnego. Jako ciecz stosowano odpadowy hydrolizat kolagenowy uzyskany podczas procesów. Jako otoczki z materiałów sypkich wybrano kredę, mączkę wapienną, dolomit, sadzę oraz torf. Analiza długości siewek wykazała pozytywny wpływ zaproponowanej metody otoczkowania.

7. *Granulacja i przetwarzanie odpadów*

Granulacja jest procesem, który można wykorzystać, przy przetwarzaniu lub zabezpieczaniu odpadów pylistych oraz cieczy odpadowych. Szczególnie trudnym zagadnieniem jest zagospodarowanie odpadów, które mają formę pylistą, gdyż utrudnione jest ich składowanie. Odpady takie najczęściej składuje się na hałdach, co sprzyja ich pyleniu i emisji szkodliwych składników do środowiska. Granulacja jest technologia, która może ograniczać niekorzystny wpływ pyłów na środowisko. Już samo przekształcenie kilku mikronowych cząstek pyłów w kilku milimetrowe granule w dużej mierze rozwiązuje najbardziej uciążliwe problemy. W pracach A10, A12, A18 oraz C20 granulowano popioły z węgla brunatnego, kamiennego oraz popioły ze spalarni szpitalnej. Celem tych badań było uzyskanie bardziej korzystnej środowiskowo postaci takich odpadów. W pracach A 16, A17, B7-B10 oraz C22 granulowano odpad (sulfogips, piasek szklarski) w celu późniejszego wykorzystania jako nawóz rolniczy lub w wypadku piasków szklarskich w celu ponownego przetopienia w hucie szkła. Wykorzystanie odpadów ciekłych w procesach granulacji (A16, A17) dotyczyło stosowania cieczy odpadowych na bazie melasy (odpad przy produkcji cukru) natomiast dla procesu otoczkowania wykorzystano (A13, A14, B7-B10) hydrolizatu kolagenowego (odpad w procesach przetwarzania skór). Zaproponowane rozwiązania pozwoliły na zagospodarowanie w/w odpadów i polepszenie właściwości użytkowych uzyskanego produktu.

8. *Analiza ruchu i dynamiki granulowanego złoża*

Analiza ruchu drobnoziarnistego złoża w granulatorze oraz analiza jego dynamiki pozwala na dobranie właściwych parametrów aparaturowo-procesowych w celu optymalizacji procesu. Najkorzystniejszy w wypadku granulacji bębnowej i talerzowej jest przesypany (kaskadowy) charakter ruchu złoża, w którym ziarna surowca, bądź aglomeraty zsuwają się i staczają po innych ziarnach. Zapewnienie najlepszych warunków dla granulacji jest utrudnione ze względu na postępowanie procesu, który powoduje przyrost rozmiaru granul, co w efekcie zmienia parametry złoża (gęstość nasypową, kąt tarcia i naturalnego usypu). Zmiany te powodują zmiany kinematyki i dynamiki układu. Badania ruchu złoża zostały opisane w pracach A1, A2 i C39. Kontynuacją tych badań były prace w których opisano zależność momentu obrotowego mierzzonego na wale granulatora od udziałów masowych frakcji (C4), średnicy aparatu (A4, C4, C26, C42) kąta jego pochylenia (A4, C4, C26,C42), stopnia wypełnienia aparatu (A4, C4, C26, C42), parametrów nawilżania (A3). W pracach C37 i C35 analizowano zapotrzebowanie mocy w procesach granulacji przesypanych.

W kolejnych opracowaniach zaproponowano modele dynamiki dla granulacji talerzowej (C4) i bębnowej (C26). Analiza wpływu parametrów pracy na zapotrzebowanie energii do realizacji procesu granulacji ma znaczenie użytkowe i pozwala na najbardziej efektywny ich dobór pod względem ekonomicznym.

Zestawienie dorobku naukowego

L.p.	Rodzaj prac	Po doktoracie	Przed doktoratem	Razem	Suma punktów MNiSW
1	Indeks Hirscha	7			
2	Cytowania	118			
3	Sumaryczny IF	20,615			
4	Artykuły z listy JCR	27	2	29	535
5	Artykuły na liście MNiSW, lista B	34	11	45	212
6	Rozdziały w monografiach	1	0		6
7	Uzyskane patenty	9	1	10	240
8	Zgłoszenia patentowe rozpatrywane przez UPRP	53	0	53	0
9	Konferencje indeksowane w bazie Web of Science	1	1	2	25
10	Referaty na konferencjach	15	7	22	0
11	Czynny udział w konferencjach zagranicznych	11	7	18	0
12	Czynny udział w konferencjach krajowych	53	17	70	0
	Razem	204	45	249	1018

Uwzględniając mój udział (zamieszczony w załączniku 4) w publikacjach, sumaryczne punkty MNiSW wynoszą 438,72.

Andrzej Obraniak
Podpis

Łódź 27.02.2019