

# Metoda doboru elementów formujących prasy walcowej do kawałkowania materiału drobnoziarnistego

Michał BEMBENEK, Paweł GARA, Marek HRYNIEWICZ – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

Prosimy cytować jako: CHEMIK 2012, 66, 5, 485-488

## Wstęp

Aglomeracja ciśnieniowa materiałów drobnoziarnistych realizowana w prasie walcowej występuje w szeroko pojętych procesach produkcyjnych. Wynika to z korzyści, jakie daje nadanie surowcowi bądź odpadowi postaci scalonej. W przemyśle farmaceutycznym duży stopień rozdrobnienia wypełniaczy oraz nośników leków, a także ich mała gęstość usypowa decydują o tym, że nie nadają się one w stanie wyjściowym do tabletkowania [2, 4, 6, 8]. Z tego powodu poddaje się je dwustopniowej granulacji. Polega ona na kawałkowaniu materiału drobnoziarnistego, najczęściej w prasach walcowych, a następnie jego rozdrobnieniu oraz podziale na odpowiednie klasy ziarnowe. W ten sposób otrzymuje się półprodukt o większej gęstości usypowej i mniejszym wymaganym stopniu zagęszczenia. Zastosowanie tak przygotowanego komponentu pozwala na zmniejszenie skoku stempla roboczego tabletkarki. Ułatwia to także przepływ materiału, np. przy jego dozowaniu oraz w znacznym stopniu ogranicza jego pylenie [6]. Dodatkową zaletą, jaką daje kawałkowanie, a następnie rozdrabnianie produktów scalania, jest ujednoczenie struktury leków, szczególnie tych, które zawierają komponenty trudno rozpuszczalne w wodzie, np. naproksen, nifedipinę oraz karbamazepinę, bez potrzeby scalania ich na gorąco, bądź przy użyciu rozpuszczalnika [10].

Dwustopniowa granulacja jest nowym procesem, szczególnie w odniesieniu do innych materiałów aniżeli stosowane w przemyśle farmaceutycznym i dlatego podlega ona ciągłemu doskonaleniu. Stosuje się ją coraz częściej do wytwarzania produktu finalnego, np. niektórych nawozów sztucznych. Pylisty charakter komponentów, z których wytwarza się nawozy, często nie pozwala na ich bezpośrednie używanie w produkcji rolnej. Dlatego odpowiednio przygotowanym mieszanom nadaje się postać kawałkową, a następnie rozdrabnia dla uzyskania ściśle określonej frakcji ziarnowej [1, 7]. W zależności od zapotrzebowania tego typu granulatu może być wytwarzany w zintegrowanych urządzeniach scalająco-kruszących, bądź w przypadku konieczności uzyskania dużych wydajności, w liniach technologicznych. W ten sam sposób można także scalać niektóre pofiltrycyjne odpady przemysłu chemicznego, nadające się do nawożenia gleby [12].

Nowym produktem, który stanowi interesującą ofertę dla przemysłu energetycznego jest wysokopowierzchniowy sorbent wapniowy do palenisk fluidalnych [3, 9]. Materiałem wyjściowym do jego produkcji jest pylisty wodorotlenek wapnia. Po dodaniu do niego wody i starannym jej rozprowadzeniu doprowadza się go do postaci kawałkowej, a następnie rozdrabnia i poddaje klasyfikacji w celu uzyskania odpowiedniej klasy ziarnowej. Otrzymany metodą dwustopniowej granulacji drobnoziarnisty sorbent wapniowy charakteryzuje się rozbudowaną teksturą, co wiąże się ze znacznym zwiększeniem jego powierzchni właściwej w porównaniu z materiałem wyjściowym.

Koszty wytwarzania granulatu metodą dwustopniowej granulacji w znacznej mierze zależą od sposobu scalania surowca wyjściowego. W przypadku kawałkowania materiału w prasie walcowej istotne znaczenie ma dobór odpowiedniej konfiguracji układu zagęszczania, a co za tym idzie elementów formujących z odpowiednio ukształtowaną powierzchnią roboczą. Wykazano to w badaniach ekspery-

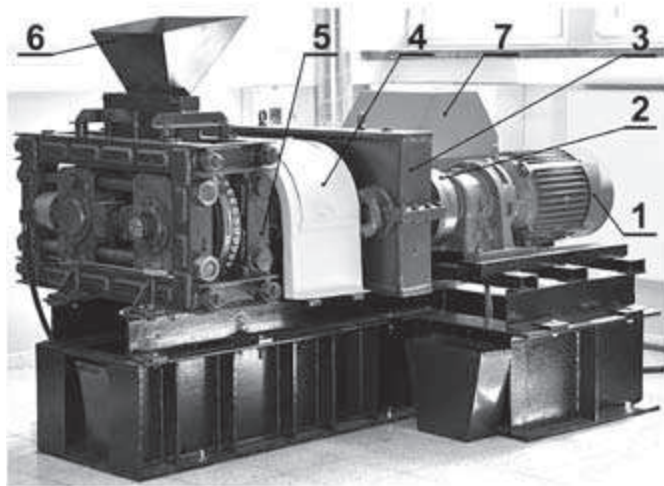
mentalnych, których metodykę oraz uzyskane wyniki przedstawiono w artykule. Doświadczenia wynikające z realizacji prac poznawczych oraz utylitarnych stanowiły inspirację do opracowania metody umożliwiającej dobór odpowiednich elementów formujących prasy przeznaczonych do kawałkowania materiałów drobnoziarnistych. Przewiduje się, że będzie ona odgrywała coraz większą rolę w związku z rozwojem konstrukcji niesymetrycznego układu zagęszczania prasy walcowej.

## Metodyka

Badania eksperymentalne procesu kawałkowania materiałów drobnoziarnistych przeprowadzono przy pomocy prasy walcowej LPW 450 (Rys. 1) o średnicy walców 450 mm, wchodzącej w skład instalacji laboratoryjnej do badań procesu scalania materiałów drobnoziarnistych znajdującej się w Katedrze Systemów Wytwarzania AGH. Materiałem modelowym użytym do eksperymentów był wodorotlenek wapnia. Został on wyprodukowany w Zakładach Przemysłu Wapienniczego Trzuskawica SA zgodnie z normą PN-EN 459-1:2003 i pochodził z jednej partii. Jego wilgotność wyjściowa wynosiła ok. 0,2%, gęstość nasypowa 0,47 g/cm<sup>3</sup>, natomiast średnia średnica ziarna 19,9 μm. Jako lepiszcze stosowano wodę destylowaną. Badania procesu kawałkowania wodorotlenku wapnia prowadzono w symetrycznym oraz niesymetrycznym układzie zagęszczania przy użyciu pierścieni formujących z powierzchnią roboczą umożliwiającą otrzymanie (Tab. 1):

- brykietów w kształcie kropli o wymiarach 40x30x20 mm i objętości ok. 13 cm<sup>3</sup>
- brykietów w kształcie siodła o wymiarach 31 x 30 x 13 mm i objętości ok. 6,5 cm<sup>3</sup>
- wyprasek z dwustronnymi poprzecznymi wypukłościami o wymiarach 52 x 18 x 4 mm i objętości wgłębienia ok. 4,3 cm<sup>3</sup>
- wyprasek z jednostronnymi poprzecznymi wypukłościami o wymiarach 52 x 18 x 4 mm i objętości wgłębienia ok. 2,2 cm<sup>3</sup>.
- Podczas badań szerokość szczeliny między walcami wynosiła odpowiednio:
  - dla brykietowania  $a \approx 1,5$  mm
  - dla kawałkowania w układzie umożliwiającym otrzymywanie wyprasek z dwustronnymi poprzecznymi wypukłościami  $a \approx 3$  mm
  - dla kawałkowania w układzie umożliwiającym otrzymywanie wyprasek z jednostronnymi poprzecznymi wypukłościami  $a \approx 5$  mm.

Wielkość szczeliny podczas wytwarzania wyprasek z wodorotlenku wapnia w prasie walcowej została dobrana tak, aby wydajność obydwu układów zagęszczania była taka sama. Eksperymenty prowadzono przy wartości prędkości obwodowej walców formujących wynoszącej odpowiednio 0,1, 0,2, oraz 0,3 m/s. Przygotowany do scalania wodorotlenek wapnia dozowano w strefę zagęszczania laboratoryjnej prasy walcowej LPW 450. Brykieciarkę wyposażono w zasyp grawitacyjny. Z uwagi na to, że scalany wodorotlenek wapnia wymaga dużego stopnia zagęszczenia, znacznie wyższego niż większość materiałów poddawanych zbrylaniu w prasach walcowych, oraz nie może być wstępnie zagęszczany przy pomocy zasilacza ślimakowego [3], zdecydowano się na dwukrotne jego podawanie w strefę zagęszczania prasy.



**Rys. 1. Laboratoryjna prasa walcowa LPW 450**

1 – motoreduktor z przekładnią typu „CYCLO”, 2 – sprzęgło podatne, 3 – kłatka walców zębatych, 4 – obudowa sprzęgieł Oldhama i sprzęgła ciernego, 5 – kłatka walców formujących, 6 – zasilacz grawitacyjny, 7 – źródło hydrauliczne podparcia walca przesuwne





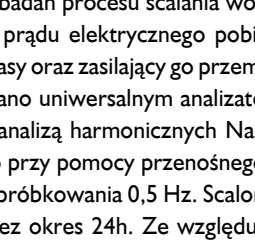
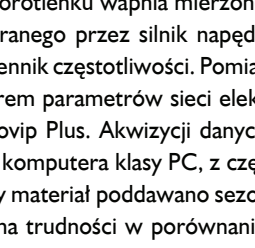
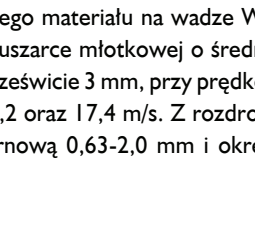
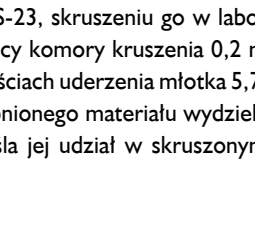
produkcje. Wybór frakcji ziarnowej został podyktowany rozmiarem ziarna, jakim powinien charakteryzować się wytworzony z wodorotlenku wapnia metodą granulacji dwustopniowej wysokopowierzchniowy sorbent wapniowy [3, 5, 9].

### Wyniki badań

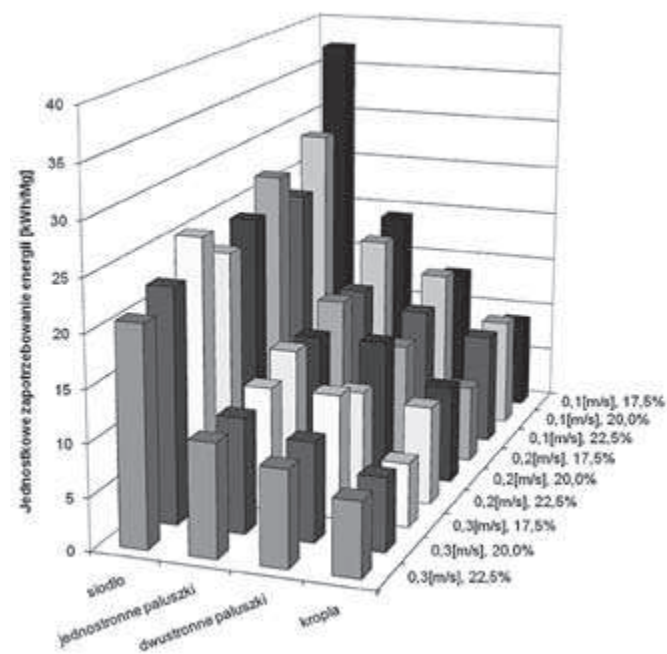
Na Rysunku 2 zobrazowano wyniki badań całkowitego jednostkowego zapotrzebowania energii na realizację procesu scalania wodorotlenku wapnia w różnych układach zagęszczania. Natomiast określoną w sposób eksperymentalny podatność scalonego materiału na rozdrabnianie zaprezentowano w Tabelcy 2. Najmniejszą wartość całkowitego jednostkowego zapotrzebowania energii równą 6,1 kWh/Mg uzyskano dla powierzchni roboczej elementów formujących stosowanej do wytwarzania brykietów z płaszczyzną podziału, scalając  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  z dodatkiem 17,5% wody przy prędkości obwodowej walców 0,3 m/s. Największą podatność wodorotlenku wapnia na dwustopniowe granulowanie, sięgającą 55,4% odnotowano w przypadku rozdrabniania brykietów w kształcie siódła. Otrzymano je scalając wodorotlenek wapnia z dodatkiem 20,0% wody przy wartości prędkości obwodowej walców 0,1 m/s z dużym całkowitym jednostkowym zapotrzebowaniem energii sięgającym 28,8 kWh/Mg.

Tablica I

Stosowane w badaniach pierścienie formujące

	Pierścienie formujące prasy walcowej	
	do brykietowania	do wytwarzania wyprasek
symetryczne	do wytwarzania brykietów w kształcie kropki 	do wytwarzania wyprasek z jednostronnymi wypukłościami 
	do wytwarzania brykietów w kształcie siódła 	do wytwarzania wyprasek z dwustronnymi wypukłościami 
niesymetryczne	do wytwarzania brykietów w kształcie siódła 	do wytwarzania wyprasek z jednostronnymi wypukłościami 
	do wytwarzania brykietów w kształcie kropki 	do wytwarzania wyprasek z dwustronnymi wypukłościami 

Podczas badań procesu scalania wodorotlenku wapnia mierzono moc czynną prądu elektrycznego pobieranego przez silnik napędu głównego prasy oraz zasilający go przemiennik częstotliwości. Pomiar wykonywano uniwersalnym analizatorem parametrów sieci elektrycznych z analizą harmoniczną Nanovip Plus. Akwizycji danych dokonywano przy pomocy przenośnego komputera klasy PC, z częstotliwością próbkowania 0,5 Hz. Scalony materiał poddawano sezonowaniu przez okres 24h. Ze względu na trudności w porównaniu właściwości mechanicznych brykietów i wyprasek zaproponowano nową metodę określania jakości scalonego produktu, tj. próbę podatności scalonego materiału na rozdrabnianie. Polega ona na odważeniu 500 g scalonego materiału na wadze WS-23, skruszeniu go w laboratoryjnej kruszarce młotkowej o średnicy komory kruszenia 0,2 m i ruszcie o prześwicie 3 mm, przy prędkościach uderzenia młotka 5,7, 8,5, 11,4, 14,2 oraz 17,4 m/s. Z rozdrobnionego materiału wydziela się klasę ziarnową 0,63-2,0 mm i określa jej udział w skruszonym



**Rys. 2. Zależność całkowitego jednostkowego zapotrzebowania energii od wartości prędkości obwodowej walców oraz ilości wody dodawanej do  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dla różnych układów zagęszczania**

Analizując wyniki badań stwierdzono, że w niektórych przypadkach uzyskiwano niewiele mniejszy wychód frakcji ziarnowej 0,63-2,0 mm w porównaniu z maksymalnym, przy znacznie mniejszym jednostkowym zapotrzebowaniu energii na scalanie  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Stanowiło to inspirację do określenia całkowitego zapotrzebowania energii w procesie scalania takiej ilości materiału, która umożliwi wytworzenie 1 Mg granulatu o założonej frakcji ziarnowej. Wyniki stosownych obliczeń zamieszczono w Tabelcy 2.

Na podstawie analizy wyników badań eksperymentalnych stwierdzono, że kształt powierzchni roboczej elementów formujących prasy walcowej, ma znaczący wpływ na pobór mocy jej układu napędowego oraz podatność otrzymanych wyprasek na wytwarzanie z nich granulatu w procesie rozdrabniania. Właściwie dobrana do cech materiału powierzchnia formująca zapewnia uzyskanie wysokiej wydajności prasy przy możliwie małym jednostkowym zapotrzebowaniu energii, z zachowaniem dobrej jakości produktu.

Tablica 2

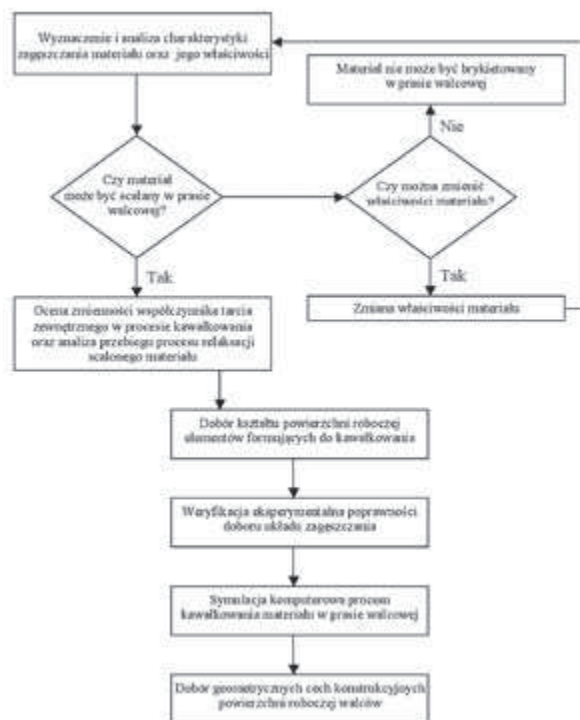
Wybrane wyniki badań podatności scalonego materiału na rozdrabnianie dla różnych układów zagęszczania

Prędkość obwodowa walców, m/s	0,1			0,2			0,3			
	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3	
Dodatek wody, %	17,5			20,0			22,5			
brykiety w kształcie kropki	Całkowite jednostkowe zapotrzebowanie energii na proces brykietowania, kWh/Mg	8,91	7,41	6,11	10,56	9,34	6,98	10,78	9,38	7,09
	Ilość energii na brykietowanie Ca(OH) <sub>2</sub> , z którego po skruszeniu powstanie 1 Mg granulatu o frakcji ziarnowej 0,63-2,0 mm, kWh/Mg	18,19	14,71	12,22	20,00	17,43	12,97	20,11	17,37	13,28
	Najwyższy uzyskany wychód frakcji ziarnowej po skruszeniu danej partii scalonego materiału 0,63-2,0 mm, %	49	50,4	50	52,8	53,6	53,8	53,6	54	53,4
	Prędkość uderzenia podczas procesu rozdrabniania, dla której uzyskano najwyższy wychód, m/s	5,7	5,7	5,7	5,7	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5
	Całkowite jednostkowe zapotrzebowanie energii na proces brykietowania, kWh/Mg	37,31	27,12	25,53	28,79	24,26	22,46	23,87	22,48	20,86
brykiety w kształcie siódła	Ilość energii na brykietowanie Ca(OH) <sub>2</sub> , z którego po skruszeniu powstanie 1 Mg granulatu o frakcji ziarnowej 0,63-2,0 mm, kWh/Mg	67,59	50,23	49,10	51,98	46,48	42,86	44,21	41,95	39,50
	Najwyższy uzyskany wychód frakcji ziarnowej po skruszeniu danej partii scalonego materiału 0,63-2,0 mm, %	55,2	54	52	55,4	52,2	52,4	54	53,6	52,8
	Prędkość uderzenia podczas procesu rozdrabniania, dla której uzyskano najwyższy wychód, m/s	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4
	Całkowite jednostkowe zapotrzebowanie energii na proces kawalkowania, kWh/Mg	13,55	10,99	11,84	14,97	13,18	9,48	12,76	10,14	9,17
wypraski z dwustronnymi wypukłościami	Ilość energii na kawalkowanie Ca(OH) <sub>2</sub> , z którego po skruszeniu powstanie 1 Mg granulatu o frakcji ziarnowej 0,63-2,0 mm, kWh/Mg	26,57	21,13	22,95	29,48	25,83	18,16	23,54	19,28	17,04
	Najwyższy uzyskany wychód frakcji ziarnowej po skruszeniu danej partii scalonego materiału 0,63-2,0 mm, %	51	52	51,6	50,8	51	52,2	54,2	52,6	53,8
	Prędkość uderzenia podczas procesu rozdrabniania, dla której uzyskano najwyższy wychód, m/s	14,2	14,2	14,2	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5
	Całkowite jednostkowe zapotrzebowanie energii na proces kawalkowania, kWh/Mg	19,24	14,97	11,81	18,04	13,05	10,97	14,41	13,54	10,77
wypraski z jednostronnymi wypukłościami	Ilość energii na kawalkowanie Ca(OH) <sub>2</sub> , z którego po skruszeniu powstanie 1 Mg granulatu o frakcji ziarnowej 0,63-2,0 mm, kWh/Mg	35,62	27,52	21,64	33,97	24,76	20,93	28,58	27,63	21,59
	Najwyższy uzyskany wychód frakcji ziarnowej po skruszeniu danej partii scalonego materiału 0,63-2,0 mm, %	54	54,4	54,6	53,1	52,7	52,4	50,4	49	49,9
	Prędkość uderzenia podczas procesu rozdrabniania, dla której uzyskano najwyższy wychód, m/s	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	5,7	5,7	5,7

Metoda doboru elementów formujących prasy walcowej do kawalkowania materiału

W metodzie, której procedurę przedstawiono na Rysunku 3, wyróżnia się pięć głównych etapów, w których dokonuje się:

- oceny podatności materiału drobnoziarnistego na scalanie
- wyboru konfiguracji układu zagęszczania prasy walcowej
- weryfikacji eksperymentalnej poprawności wyboru układu zagęszczania
- badań symulacyjnych procesu scalania materiału drobnoziarnistego w prasie z określoną konfiguracją układu zagęszczania
- doboru geometrycznych cech konstrukcyjnych elementów formujących prasy walcowej.



Rys. 3. Procedura doboru elementów formujących prasy walcowej

W pierwszym etapie przeprowadza się ocenę podatności materiału drobnoziarnistego na scalanie na podstawie wyznaczonej w sposób eksperymentalny charakterystyki jego zagęszczania. Pozwala ona na określenie:

- możliwości scalania danego materiału w prasie walcowej
- minimalnej wartości nacisku jednostkowego zapewniającej utworzenie trwałych kształtek

- stopnia zagęszczenia materiału
- przebiegu procesu relaksacji (rozprężenia) materiału po scaleniu. W prasie walcowej można scalać materiał drobnoziarnisty, który ma progresywną charakterystykę zagęszczania. W przypadku, gdy posiada ona charakter degresywny lub degresywno-progresywny, z reguły podejmuje się próbę dokonania zmiany właściwości materiału.

Drugim etapem jest dobór odpowiedniej konfiguracji układu zagęszczania prasy, którego dokonuje się na podstawie wymagań potencjalnego użytkownika brykietarki oraz analizy cech sprężysto-plastycznych materiału i jego relaksacji po scaleniu. Rozstrzyga się wtedy m.in. kwestię sposobu jego podawania w strefę zagęszczania oraz kształtu powierzchni roboczej walców. W przypadku, gdy scalenie materiału wymaga dużego stopnia zagęszczenia, bądź ma on tendencję do zawieszania się w zasobniku grawitacyjnym, wskazane jest zastosowanie zasilacza ślimakowego. Jeżeli materiał nie posiada cech ciała *quasi*-plastycznego lub nie charakteryzuje się dużym odkształceniem sprężystym po ustąpieniu działania nacisku, zgodnie z aktualnym stanem wiedzy powinno się stosować symetryczny układ zagęszczania. O doborze kształtu powierzchni roboczej walców decyduje współczynnik tarcia zewnętrznego, który często zależy od nacisku jednostkowego i zmienia swoją wartość w trakcie przebiegu procesu scalania. Duży współczynnik tarcia zewnętrznego powoduje intensywne zużywanie się powierzchni roboczej walców. W takim przypadku zasadne jest wykorzystanie elementów formujących z poprzecznymi rowkami, z uwagi na niższe koszty ich wytwarzania i łatwiejszą regenerację. Przy małym współczynniku tarcia zewnętrznego, korzystne jest wytwarzanie brykietów w kształcie kropli, gdyż odbywa się ono przy najmniejszym wydatku energii. Do kawałkowania materiałów drobnoziarnistych, posiadających cechy ciała *quasi*plastycznego lub charakteryzujących się dużym odkształceniem sprężystym po ustąpieniu działania nacisku powinno się stosować elementy formujące do wytwarzania brykietów w kształcie siodła.

Trzecim etapem jest weryfikacja eksperymentalna poprawności wyboru układu zagęszczania prasy. Wymaga to posiadania odpowiedniej bazy laboratoryjnej umożliwiającej przeprowadzenie eksperymentów w celu określenia możliwości uzyskania brykietów o zadowalającej wytrzymałości mechanicznej.

Czwarty etap stanowią badania symulacyjne procesu kawałkowania materiału drobnoziarnistego w prasie z określoną konfiguracją układu zagęszczania. Służą one przede wszystkim określeniu zależności między objętością wgłębień, a maksymalną wartością nacisku jednostkowego. Przeprowadzenie tego typu badań wymaga posiadania specjalistycznego oprogramowania.

W piątym etapie na podstawie wyników badań symulacyjnych dokonuje się doboru geometrycznych cech konstrukcyjnych powierzchni roboczej walców tak, aby scalony materiał spełniał założone wymagania wytrzymałościowe.

### Podsumowanie

Jak wykazano w badaniach eksperymentalnych, rodzaj elementów formujących prasy walcowej do kawałkowania materiału drobnoziarnistego ma istotny wpływ na właściwości mechaniczne produktu oraz nakłady energii. Z tego powodu należy przywiązywać dużą wagę do właściwego ich doboru. Przydatna jest w tym metoda, którą przedstawiono w artykule. Opracowano ją na podstawie dotychczasowych doświadczeń wynikających z realizacji prac o charakterze teoretycznym oraz badań prowadzonych na zlecenie przemysłu. W celu doskonalenia metody niezbędne jest rozszerzenie wiedzy na temat nowych konfiguracji niesymetrycznego układu zagęszczania [13, 14]. Wymaga to prowadzenia dalszych badań eksperymentalnych. Powinno również dążyć się do głębszego poznania mechanizmu zużywania się elementów formujących pras walcowych o różnym kształcie wgłębień, co może być przydatne także do prognozowania trwałości tych elementów.

### Literatura

1. Flore K., Schoenherr M., Feise H.: *Aspects of granulation in the chemical industry*. Powder Technology 2009, **189**, 327-331.
2. Freitag F., Kleinebudde P.: *How do roll compaction/dry granulation affect the tableting behavior of inorganic materials? Comparison of four magnesium carbonates*. European Journal of Pharmaceutical Sciences 2003, **19**, 281-289.
3. Gara P.: *Badania nad doбором parametrów scalania i rozdrabniania wodorotlenku wapnia w celu otrzymania specyficznego sorbentu*. Praca doktorska. AGH Kraków 2005.
4. Herting M.G., Kleinebudde P.: *Roll compaction/dry granulation: Effect of raw material particle size on granule and tablet properties*. International Journal of Pharmaceutics 2007, **338**, 110-118.
5. Hryniewicz M., Bembenek M., Gara P.: *Dobór układu zagęszczania prasy walcowej do scalania materiału w dwustopniowej granulacji*. Chemik nauka-technika-rynek 2008, **61**, 9, 425-428.
6. Inghelbrecht S., Remon J.P.: *Reducing dust and improving granule and tablet quality in the roller compaction process*. International Journal of Pharmaceutics 1998, **171**, 195-206.
7. Janewicz A., Kosturkiewicz B.: *Scalanie wieloskładnikowych nawozów sztucznych*. Monografie Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Robotyki AGH 2006, **32**, 261-267.
8. Kleinebudde P.: *Roll compaction/dry granulation: pharmaceutical applications*. European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics 2004, **58**, 317-326.
9. Lysek N. i inni: *Sposób otrzymywania sorbentu kawałkowego*. Opis patentowy, 1997.03.14, PL 185017.
10. Mitchell S., Reynolds T., Dasbach T.: *A compaction process to enhance dissolution of poorly water-soluble drugs using hydroxypropyl methylcellulose*. International Journal of Pharmaceutics 2003, **250**, 3-11.
11. Patel S., Kaushal A.M., Bansal A.K.: *Compaction behavior of roller compacted ibuprofen*. European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics 2008, **69**, 743-749.
12. Praca zbiorowa: *Analiza możliwości granulacji odpadów z prasy filtracyjnej*. Sprawozdanie z pracy badawczej realizowanej na zlecenie firmy „Zakłady Chemiczne Alwernia SA”, KUTiOŚ AGH, Kraków 2006 (materiały niepublikowane).
13. Zgłoszenie patentowe nr P-393 053.
14. Zgłoszenie patentowe nr P-393 054.

Dr inż. Michał BEMBENEK – absolwent, a obecnie pracownik Akademii Górniczo-Hutniczej im. St. Staszica w Krakowie. Adiunkt w Katedrze Systemów Wytwarzania. Współautor 1 monografii i 14 publikacji naukowych oraz 9 prac badawczych wykonanych na zlecenie przemysłu krajowego oraz zagranicznego. Jego zainteresowania naukowe związane są z konstrukcją i eksploatacją maszyn i urządzeń służących do scalania materiałów drobnoziarnistych. Z tego zakresu obronił pracę doktorską, której celem było określenie wpływu kształtu powierzchni roboczej walców na efekty pracy prasy walcowej.

Dr inż. Paweł GARA – absolwent, a obecnie pracownik Akademii Górniczo-Hutniczej im. St. Staszica w Krakowie. Adiunkt w Katedrze Systemów Wytwarzania. Autor 32 publikacji naukowych, a także 18 prac badawczych realizowanych w ramach projektu EUREKA, projektu badawczego KBN oraz na zlecenie przemysłu. W 2004 r. uzyskał wyróżnienie w postaci stypendium przyznanego ze środków Fundacji Kościuszkowskiej, za osiągnięcia badawcze związane z realizacją pracy doktorskiej. Swoje naukowe zainteresowania skupia głównie wokół zagadnień dotyczących konstrukcji i eksploatacji maszyn technologicznych, a w szczególności tych, które stosowane są do scalania oraz rozdrabniania materiałów ziarnistych.

Dr hab. inż. Marek HRYNIEWICZ, prof. AGH – Profesor nadzwyczajny Akademii Górniczo-Hutniczej im. St. Staszica w Krakowie. Kierownik w Katedrze Systemów Wytwarzania. Autor 3 monografii, 148 publikacji naukowych oraz 19 patentów, a także 113 prac badawczych, w tym 7 projektów KBN. Jego zainteresowania naukowe związane są głównie z konstrukcją i eksploatacją maszyn i urządzeń technologicznych, a w szczególności tych, które służą do scalania materiałów sypkich oraz zagospodarowania odpadów poprodukcyjnych. Prowadzi także prace z zakresu mechaniki ośrodka zagęszczanego związane z modelowaniem matematycznym procesów zagęszczania i scalania materiałów pylistych oraz drobnoziarnistych.