

Krzysztof MIASTKOWSKI, Tomasz LESZCZUK, Sławomir BAKIER

e-mail: tomasz.leszczuk@wp.pl

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

## Zastosowanie zawiesin wodnych bentonitu i gliny do granulacji bezciśnieniowej nawozów rolniczych

### Wprowadzenie

Stałe nawozy ogrodnicze i rolnicze powstają najczęściej podczas procesu granulacji. Jest to proces aglomeracji małych cząstek w większe zespoły i prowadzony jest w obecności cieczy nawilżającej [Obraniak i Gluba, 2009]. Granulacja bezciśnieniowa jest procesem wytwarzania cząstek ciała stałego o określonym wymiarze czy kształcie z materiału drobnocząsteczkowego [Domaradzki, 1978; Gluba i Obraniak, 2009a,b; Kaźmierczak, 2005; Korpala 2005; Zawisłak i Sobczak, 2007]. Proces może przebiegać według dwóch mechanizmów tj.: gdy cząsteczki łączą się ze sobą bez udziału innego materiału lub gdy siły wiążące są przenoszone przez mostki materiałowe utworzone z substancją wiążącą [Heim, 2005; Korpala, 2005; Obraniak i Gluba, 2008]. Cząsteczki łączą się między sobą (aglomerują) w przesypującej się lub mieszającej warstwie materiału samoczynnie lub przy zastosowaniu cieczy wiążącej [Heim, 2005; Schab i in., 2012]. Zastosowanie czynnika wiążącego ułatwia łączenie się cząstek materiału aglomerowanego w wyniku działania sił ciśnienia kapilarnego spowodowanego istnieniem międzyfazowego napięcia powierzchniowego [Heim, 2005]. Jako czynniki wiążące stosuje się głównie wodę w połączeniu z rozpuszczonymi mikrodotadkami (roztwór gumy arabskiej, roztwór żelatyny, roztwór kleju itp.) ze względu na ogólną dostępność i niski koszt [Domaradzki i in., 2007; Obraniak i Gluba, 2010].

Skuteczność procesu aglomeracji zależy od wielu parametrów procesu, mających wpływ na częstotliwość kolizji międzycząsteczkowych, względne prędkości poszczególnych cząstek, sił międzycząsteczkowych powstających podczas kontaktu suchego ciała stałego z cieczą granulacyjną. Proces granulacji bezciśnieniowej przeprowadza się najczęściej w granulacjach, bębnowych i talerzowych, w których można otrzymywać wspomniane wcześniej dwie grupy nawozów. Każda metoda aglomeracji wyróżnia się szczególnymi mechanizmami wiążącymi dając aglomeraty o specyficznych cechach jakościowych [Obraniak i Gluba, 2009b]. Jednak granulacja materiałów sproszkowanych i towarzyszące jej procesy (mieszanie, rozdrabnianie, klasyfikacja) zależą w znacznym stopniu od właściwości fizycznych i reologicznych tych materiałów. [Biskupski i in., 2008; Domaradzki i in., 2007; Gluba i Obraniak, 2008; Heim, 2005].

Przy produkcji nawozów sztucznych do sypkiego materiału wsadowego granulatora dodaje się substancje wiążące w postaci stałej takie jak torf, glina, bentonit, kaolin, wapno hydratyzowane [Domaradzki i in., 2007; Pelczarski i in., 2006]. Substancje te w kontakcie z cieczą wiążącą ulegają dyspersji tworząc zawiesiny tiksotropowe, mają zdolność absorbowania kationów i substancji organicznych oraz pęcznienia, dzięki czemu sprawdzają się jako stabilizatory nawozów stałych i zawiesinowych [Pelczarski i in., 2006; Wyszomirski i Lewicka, 2005].

Duże zastosowanie przy wytwarzaniu nawozów sztucznych znajduje bentonit jako środek pęczniący w kontakcie z wodą z gleby i rozsadzający granule nawozu, co ułatwia szybkie przyswajanie składników mineralnych przez rośliny. Rozdrobniony bentonit wraz ze składnikami nawozu jest dodawany w postaci stałej do granulatora talerzowego gdzie następuje proces granulacji bezciśnieniowej z zastosowaniem jako środka wiążącego wodnego roztworu lignosulfonianu lub skrobi [Pelczarski i in., 2006].

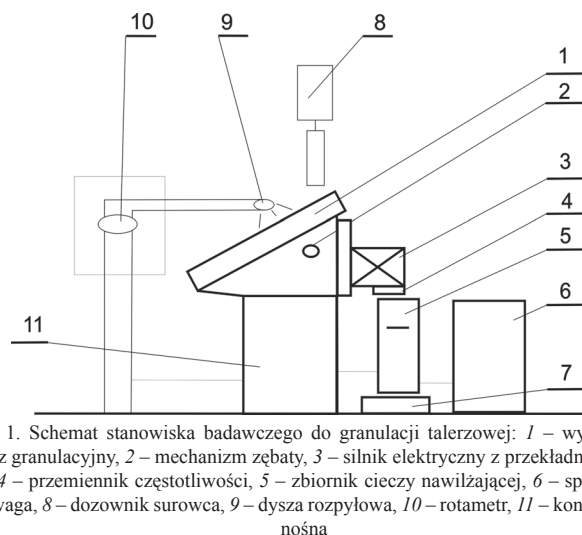
Istnieją też doniesienia na temat zastosowania roztworu bentonitu w płynnej siarce do wytwarzania siarkowych nawozów granulowanych, a także do otoczkowania innych nawozów [Pelczarski i in., 2006; Semeniuk i in., 2000]. Brak jest natomiast publikacji na temat możliwości zastosowania wodnych zawiesin bentonitu i innych materiałów

ilastych i hydrokoloidalnych, jako cieczy wiążącej przy granulacji nawozów sztucznych.

Celem pracy było określenie przydatności wodnych roztworów bentonitu i gliny do granulacji bezciśnieniowej nawozów sztucznych przy wykorzystaniu granulatora talerzowego.

### Metodyka badań

Badania granulacji przeprowadzono w granulatorze talerzowym, o działaniu okresowym. Schemat stanowiska przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego do granulacji talerzowej: 1 – wymienny talerz granulacyjny, 2 – mechanizm zębaty, 3 – silnik elektryczny z przekładnią pasową, 4 – przemiennik częstotliwości, 5 – zbiornik cieczy nawilżającej, 6 – sprężarka, 7 – waga, 8 – dozownik surowca, 9 – dysza rozpyłowa, 10 – rotametr, 11 – konstrukcja nośna

Mieszkankę rozdrobnionego surowca doprowadzono do leja zasypowego umieszczonego nad dozownikiem, umożliwiającym regulację strumienia rozdrobnionych składników w odpowiednie miejsce talerza granulacyjnego. Talerz granulacyjny – 1 napędzany za pomocą silnika elektrycznego poprzez przekładnię pasową – 3. Przekazanie napędu z przekładni pasowej na talerz granulacyjny realizowano za pomocą mechanizmu zębatego – 2. Do ustalenia stałej prędkości obrotowej talerza służył przemiennik częstotliwości – 4. Przygotowanie cieczy granulometrycznej odbywało się w pojemniku. Następnie była ona przemieszczana z pojemnika do zbiornika ciśnieniowego wykonanego ze stali nierdzewnej. Ilość pobranej cieczy wskazywał wyświetlacz wagi – 7, na której znajdował się zbiornik cieczy nawilżającej – 5. Poziomu cieczy w zbiorniku wodny regulowano za pomocą czujnika sterowanego elektrycznie. Na dnie zbiornika umieszczono zawór spustowy, umożliwiający jego opróżnienie. Ciecz nawilżającą podawano w przewodach gumowych przy naciśnięciu wytwarzanym przez sprężarkę – 6. Ciśnienie korygowano za pomocą zaworu redukcyjnego a jego wartość odczytywano na manometrze. Obroty talerza granulacyjnego mierzono za pomocą czujnika indukcyjnego i odczytywano na wyświetlaczu obrotomierza. Surowiec dozowano w dolnej części talerza za pomocą dozownika – 8, a wstępnie nawilżano za pomocą dyszy rozpyłowej pneumatycznej – 9 w górnej jego części. Obrotowy ruch talerza zapewniał dostarczenie cieczy na powierzchnię, przesypującą się w nim złoża materiału sypkiego. Stałe natężenie dopływu cieczy ustalono za pomocą rotametrów – 10. Talerz granulacyjny wraz z oprzyrządowaniem, mocowany był na konstrukcji nośnej – 11. Do oczyszczenia materiału,

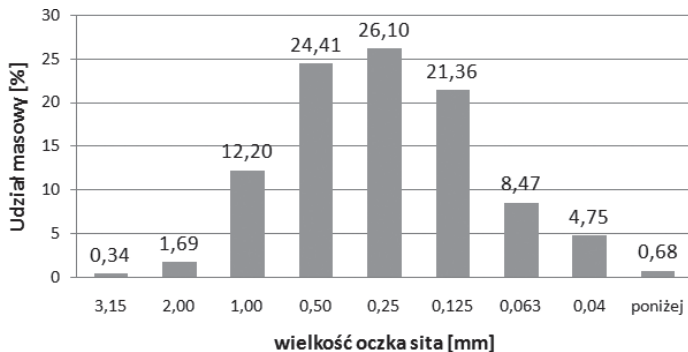
który gromadził się podczas procesu na ściankach talerza służyły zgarzniaki. W celu hermetyzacji urządzenie, wyposażono w osłonę chroniącą przed pyleniem.

Podczas prowadzenia procesu granulacji zastosowano stałe parametry: prędkość obrotowa i stopień wypełnienia talerza, temperatura i objętość roztworu wiążącego, rodzaj granulowanego surowca oraz czas granulacji. Zmiennymi czynnikami były rodzaj roztworu wiążącego i stężenie substancji hydrokoloidalnej (Tab. 1, Tab. 2).

Do badań wykorzystano mieszanek nawozową: *Ureaform*, 2-amonowy fosforan, siarczan potasu, bentonit, siarczan magnezu, magnezyt surowy, oraz jako lepiszcze – bentonit: *Bentolizer S* oraz glinę: utwór pyłowy zwykły mocny, pochodzenia wytopiskowego. Skład granulometryczny materiału poddawanego granulacji określono za pomocą analizy sitowej analizatorem sitowym LPZe-2e w oparciu o normę *PN-ISO 2591-1*. Do oceny składu ziarnowego granulowanego złoża pobierano próbkę na koniec przeprowadzonego procesu. Gęstość nasypowa: luźną i utrzęsioną wyznaczono zgodnie z normami: *PN-EN 12047:1999*, *PN-EN 1236:1999*. Uzyskane w procesie granulacji granule nawozu suszono przez 24 h w temperaturze 80°C w suszarce komorowej. Następnie dokonano analizy sitowej zgodnie z normą analizatorem sitowym: LPZe-2e. W celu określenia właściwości mechanicznych otrzymanych granul przeprowadzono badania wytrzymałości kinetycznej za pomocą testera *Holmena NHP100* zgodnie z normą *PN-R64834:1998*. Badano również siłę rozkruszającą granule metodą brazylijską, polegającą na umieszczeniu otrzymanego granulatu pomiędzy powierzchniami głowicy ściskającej. Dokonywano pomiaru przyrostu siły nacisku do wystąpienia jej spadku, co świadczyło o zniszczeniu struktury granul. Każdorazowo do pomiaru używano po 20–30 granul.

## Wyniki badań

Skład granulometryczny materiału poddawanego granulacji przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Histogram składu granulometrycznego proszku nawozu rolniczego

Można przybliżyć go rozkładem normalnym, ponad 70% cząstek analizowanej próbki zawierały frakcje o wymiarach od 0,125 do 0,5 mm. Średni wymiar cząstki dochodził do 0,6 mm.

Gęstość nasypowa luźna analizowanego proszku nawozu wynosiła 0,922 g/cm<sup>3</sup>, zaś gęstość nasypowa utrzęsiona 1,008 g/cm<sup>3</sup>, współczynnik *Hausnera*  $I_{Hr} = 1,094$ , uzyskane wyniki pozwalają zakwalifikować badany materiał do proszków polidispersyjnych o dobrej sypkości.

W trakcie procesu skład granulometryczny surowca zmieniał się w wyniku dynamicznych oddziaływań pomiędzy ziarnami surowca, powstałymi wcześniej zarodkami i kroplami cieczy zwilżającej. Początkowo tworzyły się duże aglomeraty, lecz zauważono również chwilowe zmniejszanie rozmiarów powstających granulek. Związane to było z powstawaniem na początku procesu aglomeratów o słabych wiązaniach i małym zagęszczeniu. Końcowy etap granulacji dominował w procesie wzrostu rozmiarów granul wskutek przyłączania do zarodków, ziaren surowca.

W tab. 1 i 2 przedstawiono wyniki analiz sitowych otrzymanych w procesie granulacji becznienniowej granul nawozów. Wielkość nadziarna oraz podziarna wybrano arbitralnie na podstawie analiz granulacji handlowych nawozów rolniczych. Największą ilość odpadu

w postaci nadziarna i podziarna uzyskano przy granulacji 15 i 20% zawiesiną wodną bentonitu, odpad stanowił od 40 do ponad 50% wsadu granuladora.

Tab. 1. Wyniki pomiarów granulacji i własności mechanicznych nawozów granulowanych beczniennio z wykorzystaniem wody destylowanej i zawiesiny wodnej bentonitu

Wielkość oczek sita [mm]		Rodzaj cieczy wiążącej				
		Woda destylowana	Zawiesina wodna bentonitu, stężenie [%]			
			5	10	15	20
		Udział masowy ziaren frakcji [%]				
nadziarno >8		13,73	21,16	0	0	0
Frakcja właściwa	6,3	6,53	22,49	1,92	0,90	0
	5	13,87	10,45	0,79	1,06	0,26
	4	15,00	11,77	2,78	5,29	0,73
	3,15	6,60	5,29	3,04	3,90	1,46
	2	18,87	13,76	21,96	13,89	9,79
1		21,27	10,58	54,76	29,10	34,13
podziarno <1		4,13	4,50	11,38	41,34	52,84
średnica zastępcza cząstki [mm]		3,04	2,45	1,96	2,28	1,86
Właściwości mechaniczne	wytrzymałość kinetyczna [%]	87,38	86,49	X	X	X
	siła rozkruszająca [N]	43,50	46,15	8,43	5,25	8,28

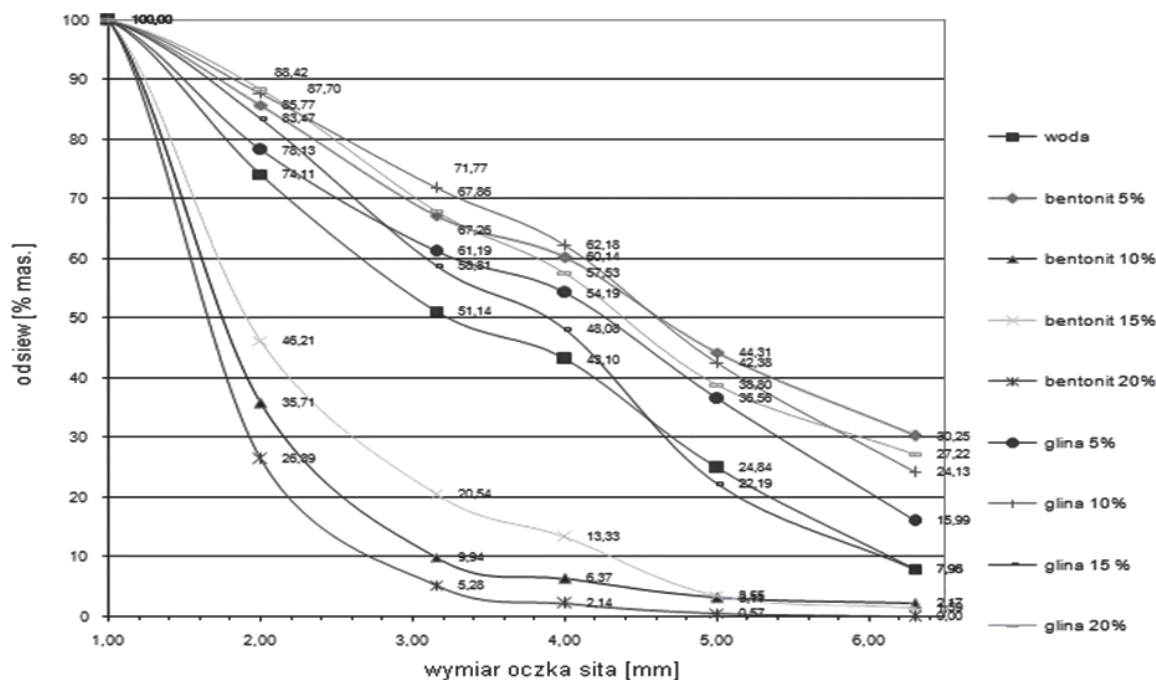
Tab. 2. Wyniki pomiarów granulacji i własności mechanicznych nawozów granulowanych beczniennio z wykorzystaniem zawiesiny wodnej gliny

Wielkość oczek sita [mm]		Rodzaj cieczy wiążącej			
		Zawiesina wodna gliny, stężenie [%]			
		5	10	15	20
		Udział masowy ziaren frakcji [%]			
nadziarno >8		17,6	15,56	8,978	19,9
Frakcja właściwa	6,3	11,41	19,26	6,858	20,8
	5	14,67	15,61	12,22	8,86
	4	12,58	16,93	22,26	14,3
	3,15	4,99	8,20	9,227	7,9
	2	12,08	13,62	21,2	15,7
1		15,60	10,52	14,21	8,86
podziarno <1		11,10	4,96	5,05	3,55
średnica zastępcza cząstki [mm]		2,97	2,86	3,23	2,57
Właściwości mechaniczne	wytrzymałość kinetyczna [%]	91,39	89,50	76,65	92,1
	siła rozkruszająca [N]	70,89	47,36	44,38	33,78

Najwięcej frakcji właściwej – granule o wymiarze od 1 do 8 mm uzyskano przy granulacji 15% zawiesiną wodną gliny i 10% zawiesiną wodną bentonitu. Przyjmując granulaty uzyskane przy granulacji wodą destylowaną jako materiał odniesienia można stwierdzić, iż zastosowanie do granulacji zawiesin wodnych bentonitu i gliny o stężeniu do 10% pozwala na uzyskanie większej ilości frakcji właściwej od 4 do prawie 6,5%.

Najwyższą średnicę zastępczą uzyskano przy granulacji 15% zawiesiną wodną gliny, była ona wyższa o 5,9% w stosunku do materiału odniesienia. Stosowanie do granulacji zawiesin wodnych bentonitu powoduje otrzymanie granul o niższej średnicy zastępczej w porównaniu do cząstek materiału odniesienia o 19,5 do ponad 35%.

Wytrzymałość kinetyczna nawozów granulowanych z użyciem 15% zawiesiny wodnej bentonitu jest najwyższa i o ponad 4,7% wyższa w stosunku do wytrzymałości materiału odniesienia. Najwyższą odpornością na ściskanie charakteryzuje się granulaty otrzymane przy użyciu 5% zawiesiny wodnej gliny i jest ona o ponad 37% większa w porównaniu do materiału odniesienia. Zastosowanie zawiesiny wodnej bentonitu o stężeniu powyżej 5% spowodowało znaczne zmniejszenie wytrzyma-



Rys. 3. Analiza porównawcza wielkości odsiewu

łości kinetycznej granul oraz obniżyło o rząd wielkości odporność na ściskanie.

Prowadząc analizę składu granulometrycznego (Rys. 3) przyjęto krzywą odsiewu nawozu granulowanego wodą destylowaną jako krzywą porównawczą.

Nawozy granulowane 10%, 15%, 20% zawiesiną wodną bentonitu wyraźnie odróżniają się od pozostałych dużą liczbą małych cząstek, odsiew na sicie 3,15 mm wynosi odpowiednio: 9,9%; 20,5%; 5,3%; zaś dla granulacji przeprowadzonej przy użyciu wody destylowanej: 51,1%. Dla granulacji 5% zawiesiną wodną bentonitu i 5%, 10%, 15%, 20% zawiesiną wodną gliny krzywe są przesunięte w kierunku większej liczby dużych cząstek. Odsiewy przy wielkości oczka 3,15 mm wynoszą dla tych nawozów odpowiednio: 67,3%; 61,2%; 71,8%; 58,8%; 67,9%.

### Wnioski

- Zastosowanie środka wiążącego w postaci zawiesin wodnych hydrokoloidów poprawia warunki granulacji beczciśnieniowej nawozów.
- Zastosowanie zawiesiny wodnej bentonitu do granulacji sprawdza się tylko do stężenia 5%, przy wyższym uzyskuje się pogorszenie warunków granulacji, otrzymany produkt ma gorsze właściwości w porównaniu z granulacją wodą destylowaną.
- Granulacja zawiesinami 5%, 10%, 15% gliny wpływa korzystnie na przebieg procesu i jakość uzyskiwanego granulatu w porównaniu do granulacji wodą destylowaną.
- Granulacja 20% zawiesiną wodną bentonitu wpływa niekorzystnie na ilość otrzymanego podczas eksperymentu granulatu. Wielkość podziarna wyniosła ponad 50% i jest dyskwalifikująca z racji wydajności procesu. Z oceny wymagań stawianym nawozom rolniczym wynika, że najkorzystniejszy produkt to taki, w którym występuje najwięcej ziaren z przedziału od 2 do 5 mm.
- Najwyższe własności mechaniczne: wytrzymałość kinetyczną i odporność na ściskanie uzyskuje się przy granulacji z użyciem 5% zawiesiny wodnej gliny. Również w tym przypadku średnica zastępcza granul jest jedynie o ok. 2,3% niższa niż przy granulacji wodą destylowaną.

### LITERATURA

- Biskupski A., Schab S., Kowalski Z., Borowik M., 2008. Badania granulacji nawozów mineralnych NPKMgS do nawożenia lasów, *Chemik*, nr 9, 383-386.
- Domoradzki M., 1978. *Kinetyka granulacji pyłów w granulatorze talerzowym*. Praca doktorska, Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy, Bydgoszcz.

- Domoradzki M., Korpala W., Weiner W., 2007. Badania procesu ługowania szlifowanych nasion buraka ćwikłowego *Inżynieria Rolnicza*, 93, nr 5, 115-121
- Gluba T., Obraniak A., 2009a. Kinetyka aglomeracji materiału drobnoziarnistego w granulatorze talerzowym, *Inż. Ap. Chem.*, 48, nr 4s, 46-47
- Gluba T., Obraniak A., 2009b. Ocena właściwości produktu mokrej granulacji talerzowej, *Inż. Ap. Chem.*, 48, nr 4s, 50-51
- Gluba T., Obraniak A., 2008. Ocena właściwości produktu granulacji przesypowej, *Chemik*, nr 9, 414-417
- Heim A. 2005. Zagadnienia procesowo aparaturowe aglomeracji. *Materiały VII Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej: Kompleksowe i szczegółowe problemy inżynierii środowiska*. Ustronie Morskie
- Kaźmierczak R., 2005. *Rozprawa doktorska: Nakłady energetyczne w procesie granulacji talerzowej*, Politechnika Łódzka, Łódź.
- Kończakowski A., Sorich B., 2003. Granulacja nawozów – teoria i praktyka *Przem. Chem.*, 82, nr 8-9, 1212-1213.
- Korpala W., 2005. *Granulowanie materiałów rolno spożywczych metodą beczciśnieniową*. Rozprawy naukowe, Wyd. Akad. Roln., Lublin
- Obraniak A., Gluba T., 2008. Granulacja nawozu mineralnego w aparacie bębnowym, *Chemik*, 61, nr 9, 409-413.
- Obraniak A., Gluba T., 2009. Ocena odporności na ścieranie granulowanego nawozu wieloskładnikowego, *Inż. Ap. Chem.*, 48, nr 4s, 48-49.
- Obraniak A., Gluba T., 2010. Wpływ parametrów procesowych na efekt okresowej granulacji Lubofoska *Inż. Ap. Chem.*, 49, nr 1, 77-78
- Pelczarski Z., Turbiarz H., Krawczyk B., PL 206943 B1 Zgłoszenie patentowe z dnia 25.08.2006. Nawóz siarkowy oraz sposób wytwarzania nawozu siarkowego granulowanego. Zakłady Chemiczne SIARKOPOL Tarnobrzeg spółka z o. o.
- Schab S., Biskupski A., Borowik M., 2012. Badania właściwości transportowych i granulacyjnych pulp superfosfatowych *Chemik*, 66, nr 5, 396-400.
- Semiński W., Czajkowski R., Chmielowiec K., Dziedzic W., Malinowski M., Turbiarz H., Setlak R., Zgłoszenie patentowe PL 190 868 z dnia 4.01.2000. Granulat nawozowy otoczkowany oraz sposób wytwarzania granulatu nawozowego otoczkowanego
- Wyszomirski P., Lewicka E., 2005. *Gospodarka surowcami mineralnymi*, 21 nr 3, 5-19
- Zawiślak K., Sobczak P., 2007. Zmiany wybranych właściwości fizycznych granulatu uzyskanego z dodatkiem różnych substancji wiążących *Inżynieria Rolnicza*, 93, nr 5, 437-444

**Projekt jest współfinansowany przez Europejski Fundusz Społeczny.**



KAPITAŁ LUDZKI  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY

