

# Badanie skuteczności klasyfikacji w oparciu o wykorzystanie metody laserowego pomiaru wielkości ziaren

M. Holtzer\*, R. Dańko\*, M. Skrzyński\*

\*AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie Wydział Odlewnictwa, 30-059 Kraków, ul. Reymonta 23  
Kontakt korespondencyjny: e-mail holtzer@agh.edu.pl

Otrzymano 16.04.2012; zaakceptowano do druku 02.07.2012

## Streszczenie

Analiza granulometryczna jest istotnym parametrem, za pomocą którego ocenia się prawidłowość przebiegu wielu procesów przerobczych a jej wyniki stanowią istotny element oceny i optymalizacji parametrów pracy tego typu urządzeń. Z tego powodu bardzo istotne jest stosowanie najbardziej precyzyjnych sposobów oceny składu granulometrycznego materiałów polidispersyjnych, zgodnie z najnowszymi osiągnięciami techniki pomiarowej w tym zakresie. Najnowszymi urządzeniami do pomiaru wielkości cząstek są urządzenia wykorzystujące zjawisko dyfrakcji laserowej. W artykule przedstawiono badania skuteczności klasyfikacji w oparciu o wykorzystanie metody laserowego pomiaru wielkości ziaren. W ramach badań przeprowadzono badania skuteczności klasyfikacji w urządzeniu kaskadowym regeneratu po regeneracji masy zużytej z żywicą furfurylową FR 75 A. W wyniku badań stwierdzono, że przy wydajnościach podawania nadawy w zakresie 0,5-1,0 Mg/h przy prędkości powietrza ok. 1 m/s następuje oddzielenie z zapyłonej masy 80-85% pyłów i frakcji o prześwicie poniżej sita 0,1 mm, a niekiedy poniżej sita 0,16 mm.

**Słowa kluczowe:** masa formierska, regeneracja mas zużytych, analiza ziarnowa, dyfrakcja laserowa

## 1. Wprowadzenie

Analiza granulometryczna materiałów polidispersyjnych znalazła szerokie zastosowanie w przemyśle odlewniczym. Wykorzystywana jest m.in. do oceny materiałów formierskich, a więc piasku kwarcowego, masy zużytej, regeneratu oraz produktów powstałych w procesach przeróbki tych materiałów (pył).

Tradycyjne metody analizy sitowej [1] są wystarczające do oceny materiałów charakteryzujących się względnie dobrą jednorodnością, o niewielkiej zawartości pyłów. W przypadku technologii odlewniczych dotyczy to przede wszystkim świeżych, płukanych piasków formierskich, które w procesie uzdatniania zostały pozbawione zanieczyszczeń oraz lepiszcza naturalnego. Zastosowanie metod tradycyjnej analizy granulometrycznej w ocenie wielkości ziarna materiałów bardziej skomplikowanych pod względem jednorodności, kształtu, zawartości frakcji pyłowej

jest w przypadku analizy sitowej mniej wiarygodne, co wynika z następujących, niekorzystnych zjawisk następujących w wyniku jej zastosowania:

- zjawiska aglomeracji i sklejania się frakcji pyłowych w większe skupiska o wytrzymałości większej niż występująca siła ich dezintegracji podczas przesiewania wibracyjnego,
- zjawiska adhezji frakcji pyłowych do frakcji ziarnowych osnowy o większych średnicach [2 - 4].

Poza zastosowaniami przemysłowymi analiza granulometryczna jest istotnym parametrem, za pomocą którego ocenia się prawidłowość przebiegu wielu procesów przerobczych a jej wyniki stanowią istotny element oceny i optymalizacji parametrów pracy tego typu urządzeń. Z tego powodu bardzo istotne jest stosowanie najbardziej precyzyjnych sposobów oceny składu granulometrycznego materiałów polidispersyjnych,

zgodnie z najnowszymi osiągnięciami techniki pomiarowej w tym zakresie [5-6].

## 2. Metoda laserowa pomiaru wielkości ziaren - stanowisko badawcze

Najnowsze urządzenia do pomiaru wielkości cząstek wykorzystują zjawisko rozproszenia światła laserowego (dyfrakcji laserowej) do określania rozkładu uziarnienia w bardzo szerokim zakresie pomiarowym. Bardzo cenną zaletą tego typu urządzeń, oprócz dużej dokładności pomiarowej, jest bardzo szybki pomiar oraz jego całkowicie automatyczny przebieg. Jednym z urządzeń tego typu jest aparat Analysette 22 NanoTec, umożliwiający pomiar wielkości cząstki w zakresie 0,01 $\mu$ m-2000  $\mu$ m, w trybie pomiaru na sucho i/lub w środowisku mokrym. Aparat ma dwa lasery półprzewodnikowe klasy III o długości fali 650 nm i mocy lasera 7 mW. Wszystkie elementy układu optycznego zostały umieszczone na pionowo usytuowanej szynie aluminiowej. Widok stanowiska badawczego przedstawiono na rysunku 1.

Główce aparatu stosowane do pomiaru ziarnistości materiału wprowadzanego w zawiesinie oraz do pomiaru na sucho są montowane na oddzielnych prowadnicach szynowych. Urządzenie to, dzięki zastosowaniu rozwiązania polegającego na pomiarze światła rozproszonego od tyłu, umożliwia pokrycie szerokiego zakresu pasma pomiarowego „high end” i pomiar średnicy cząstek już od 10 nm. Maksymalny zakres pomiarowy urządzenia wynosi od 0,01  $\mu$ m do 2000  $\mu$ m [7].

Do obsługi aparatu przygotowano program sterująco-wizualizacyjny LaPass. Program umożliwia przeglądanie wyników analiz, porównywanie ich ze sobą oraz wykonywanie dużej ilości analiz i obliczeń oraz wykresów pozwalających na lepszą interpretację uzyskanych wyników badań. Ponadto w programie wprowadzono charakterystyki i podstawowe właściwości kilkudziesięciu, najczęściej badanych materiałów drobnodziarnistych. Przykładowa wizualizacja uzyskanych w czasie badań wyników została przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 1. Widok ogólny laserowego miernika cząstek Analysette 22 NanoTec [7]

## 3. Badania skuteczności klasyfikacji w oparciu o wykorzystanie metody laserowego pomiaru wielkości ziaren

### 3.1. Przygotowanie masy zużytej do badań

W ramach badań przeprowadzono ocenę skuteczności klasyfikacji masy zużytej oraz regeneratu po różnych stadiach regeneracji masy zużytej z żywicą furfurylową FR 75 A.

Przed regeneracją właściwą masa zużyta poddana została procesom regeneracji wstępnej, w ramach której określono jej ilość masy (po oddzieleniu zanieczyszczeń metalowych) poddano następującym czynnościom:

- wstępne pokruszenie brył,
- kruszenie w kruszarce szczękowej,
- przesianie przez sito 1,6 mm,

Z masy po przesianiu pobierano próby do regeneracji właściwej z wykorzystaniem aparatu testowego AT-2, będącego zredukowanym modelem regeneratora mechanicznego wirnikowego, pozwalającym na obróbkę ścierno-regenerującą w zakresie prędkości obrotowej wirnika sięgającej do 840 obr/min przy okresowym załadunku 2 kg materiału polidispersyjnego.

Obróty odpowiednio wyprofilowanego wirnika pozwalają na realizację elementarnych operacji procesu regeneracji mechanicznej suchej: ocierania, ścierania i kruszenia. W celu ograniczenia wpływu podwyższonej temperatury regenerowanego materiału na wyniki badań, który nagrzewa się tarciowo na skutek oddziaływania mechanicznego o elementy konstrukcyjne wirnika, zewnętrzna powierzchnia miski regeneratora była chłodzona przez jej zanurzenie w większym naczyniu z wodą i lodem.

### 3.2. Przebieg badań

Badania procesu regeneracji właściwej, której poddawano użytą masę wyjściową po uprzedniej klasyfikacji w klasyfikatorze kaskadowym przy prędkości powietrza równej 1,0 m/s, prowadzone były w doświadczalnym aparacie testowym AT-2. Obróbkę regeneracyjną prowadzono przy zmiennych czasach trwania obróbki masy zużytej wynoszących:

1. czas regeneracji 5 minut – oznaczenie osnowy „regenerat 1”,
2. czas regeneracji 10 minut – oznaczenie osnowy „regenerat 2”,
3. czas regeneracji 15 minut – oznaczenie osnowy „regenerat 3”.

Z uwagi na relatywnie małe porcje zregenerowanej osnowy po danym czasie obróbki do klasyfikacji pobierano próbki o masie 100 g poddawane przedmuchiwaniu w kolumnie fluidyzacyjnej w czasie a wynoszącym 4 minuty, przy prędkości powietrza 1,0 m/s.

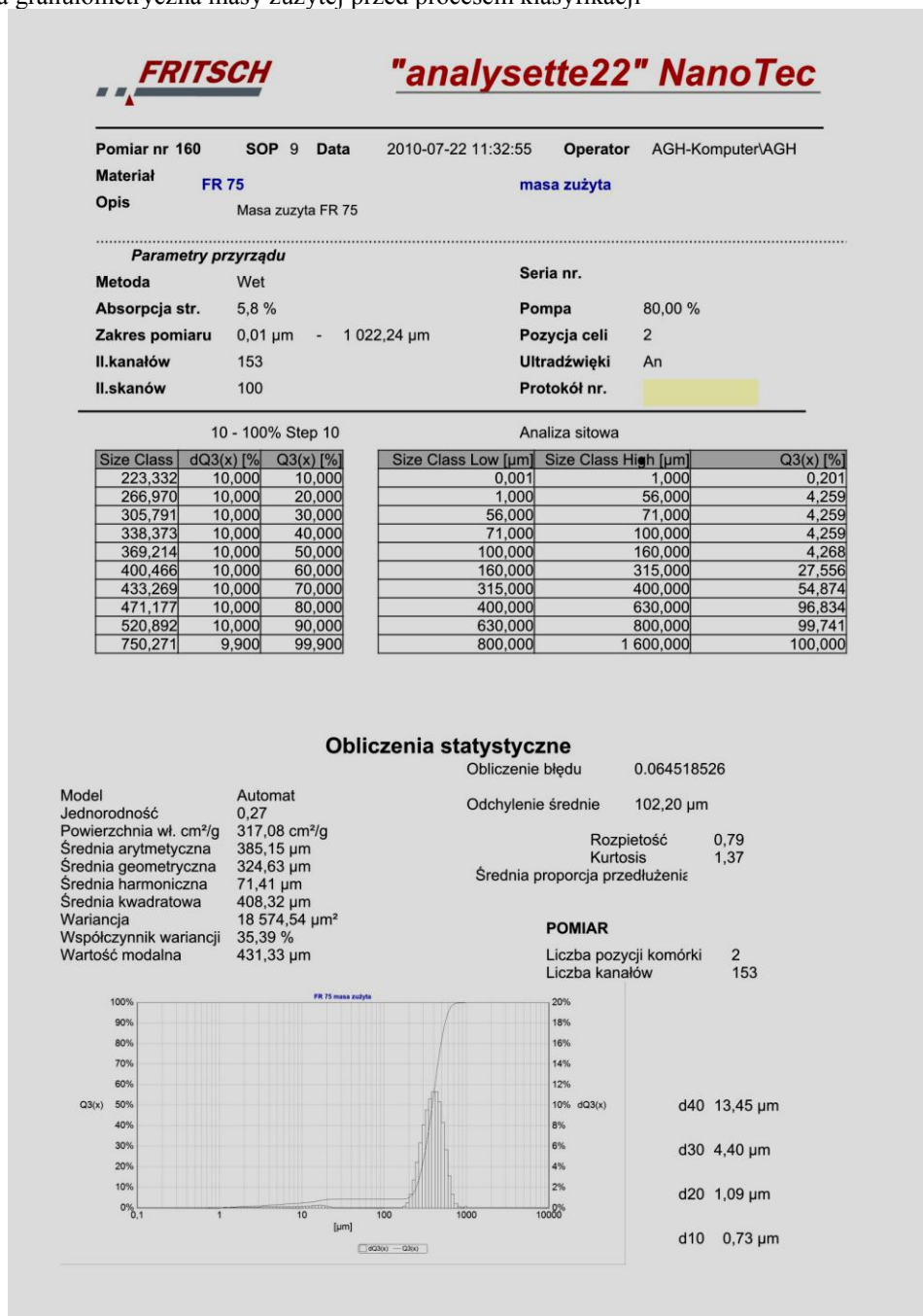
Klasyfikacji pneumatycznej w urządzeniu kaskadowym poddano 4 wyodrębnione produkty w tym: masa zużyta wyjściowa (przed regeneracją) oraz uzyskane regeneraty oznaczone od 1 do 3. Masę zużytą i produkty regeneracji poddano analizie pod kątem usunięcia z nich frakcji pyłowych.

Pomiary przeprowadzono w laserowym mierniku wielkości cząstek Analyssette 22 NanoTec, określając składy ziarnowe badanych materiałów przed procesem klasyfikacji oraz po jego przeprowadzeniu.

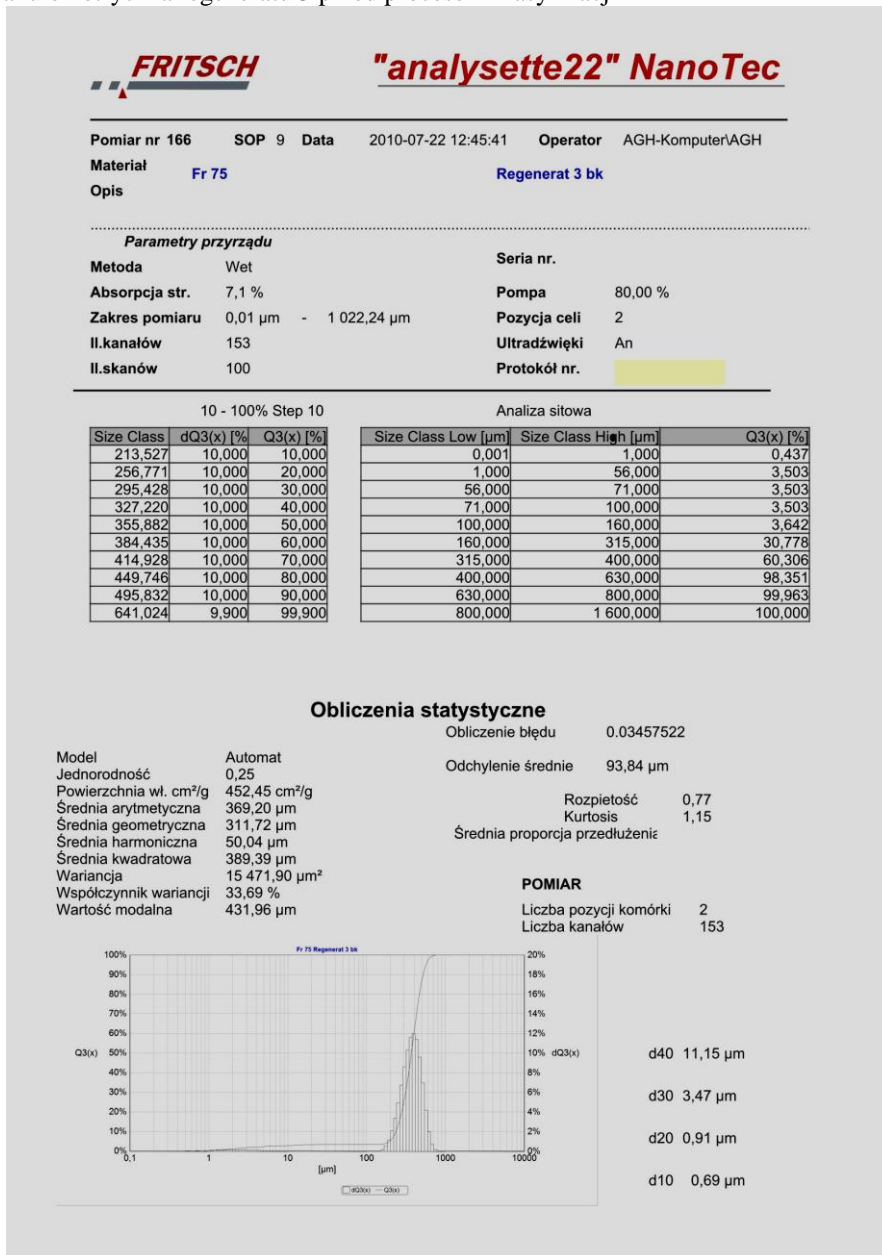
### 3.3. Wyniki analizy ziarnowej regeneratu metodą dyfrakcji laserowej

Wyniki przeprowadzonej analizy ziarnowej metodą dyfrakcji przedstawiano w arkuszach, z których dla przykładu przytoczono wydruki: dla masy wyjściowej z żywicą FR 75 (arkusz 1) oraz regeneratu 3 bez klasyfikacji pneumatycznej (arkusz 2).

Arkusz 1. Analiza granulometryczna masy zużytej przed procesem klasyfikacji



## Arkusz 2. Analiza granulometryczna regeneratu 3 przed procesem klasyfikacji



### 3.4. Analiza uzyskanych wyników

Na podstawie przeprowadzonych badań w tabeli 1 dokonano zestawienia parametrów geometrycznych, reprezentowane przez średnice  $d_{10}$  i  $d_{40}$  oraz teoretycznej powierzchni właściwej cząstek zaliczanych do frakcji pyłowych, które w klasycznej analizie sitowej obejmują ziarna zgromadzone na sitach 0,1, 0,071, 0,056 i denko.

Określone metodą dyfrakcji laserowej zawartości frakcji pyłowych pozwoliły na wyodrębnienie z całkowitej zawartości

pyłów tej ich części, które powstają ze starcia otoczki osnowy w wyniku procesu regeneracji, co zostało uwidocznione w tabeli 2, w której zamieszczono również dane dotyczące skuteczności klasyfikacji pneumatycznej osnowy.

Na podstawie analizy wyników badań można stwierdzić, że analiza granulometryczna przeprowadzana z wykorzystaniem laserowego miernika wielkości cząstek Analysette 22 NanoTec pozwala na ocenę szeregu istotnych z punktu widzenia klasyfikacji masy formierskiej i regeneratu informacji o charakterze przebiegu tego procesu.

Tabela 1. Zestawienie uzyskanych wyników badań skuteczności klasyfikacji

Material	Zawartość pyłów	$S_t$	$d_a$	$d_g$
	% obj.	cm <sup>2</sup> /g	mm	mm
Masa zużyta	4,259	317,08	0,385	0,325
Masa zużyta po procesie klasyfikacji	0,986	127,49	0,394	0,368
Regenerat 1	1,657	130,66	0,392	0,368
Regenerat 1 po procesie klasyfikacji	0,544	122,73	0,392	0,368
Regenerat 2	3,132	441,83	0,412	0,348
Regenerat 2 po procesie klasyfikacji	0,456	189,92	0,383	0,336
Regenerat 3	3,503	425,45	0,369	0,311
Regenerat 3 po procesie klasyfikacji	1,015	199,32	0,395	0,365

Tabela 2. Zestawienie uzyskanych wyników badań skuteczności klasyfikacji

Material	Całkowita zawartość pyłów	Pyły ze starcia otoczki osnowy	Skuteczność klasyfikacji
	% mas.	% mas	%
Masa zużyta	4,259	-	Odpalenie masy zużytej 76,85
Masa zużyta po procesie klasyfikacji	0,986	-	
Wartości uzyskane dla masy zużytej po klasyfikacji			
Regenerat 1	1,657	0,127	67,17
Regenerat 1 po procesie klasyfikacji	0,544		
Regenerat 2	3,132	1,69	85,44
Regenerat 2 po procesie klasyfikacji	0,456		
Regenerat 3	3,503	1,50	71,02
Regenerat 3 po procesie klasyfikacji	1,015		

## 4. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można przedstawić następujące wnioski odnośnie do zastosowania metody dyfrakcji laserowej do analizy granulometrycznej materiałów:

- metoda laserowej analizy granulometrycznej jest bardzo dokładnym narzędziem do określania wielkości cząstek analizowanych materiałów granulometrycznych,
- w przypadku prac badawczych i konstrukcyjnych (na przykład przy projektowaniu urządzeń krusząco-mielących do materiałów drobnoziarnistych) jest to bardziej wiarygodna metoda oceny stopnia rozdrobnienia materiału aniżeli tradycyjna analiza sitowa,
- metoda analizy laserowej wykonywana w środowisku mokrym pozwala na wiarygodny pomiar frakcji pyłowych, które często przywierają do powierzchni ziaren większych i są poza zakresem pomiarowym metod tradycyjnych.
- ważną korzyścią wynikającą ze stosowania pomiarów laserowych jest uzyskane przekonanie dotyczące wiarygodności pomiaru, tym większe im częściej uzyskana informacja jest zgodna z intuicyjnym „wycuciem” badanego procesu.

Przedstawione badania nie deprecjonują tradycyjnej metody określania składu granulometrycznego. Jest to metoda nie wymagająca dużych nakładów inwestycyjnych i pozwalająca na określenie z założoną dokładnością parametrów zbioru ziaren materiału polidispersyjnego. W przypadku większości zastosowań przemysłowych jest to metoda wystarczająca i dająca satysfakcjonujące rezultaty. Jednak metoda ta może okazać się niewystarczająca w przypadku prac badawczych i przemysłowych wymagających dużych dokładności i wymagających precyzyjnego pomiaru cząstek drobnoziarnistych i pyłowych, a zwłaszcza w zakresie analizy zjawisk powierzchniowych i coraz częstszego stosowania technologii nanocząstek.

**Publikacja wykonana i finansowana z projektu POIG nr WND-POIG.01.03.01-12-007/09**

## Literatura

- [1] Lewandowski, L. (1997). Masy formierskie i rdzeniowe. Kraków, Wydawnictwo Naukowe AKAPIT.
- [2] Feng., J.Q. & Hays, D.A. (2003). Relative importance of electrostatic forces on powder particles. Powder Technology, Volume 135-136, p. 65-75.
- [3] Delagrammatikas, G. & Tsimas S. (2007). Particle size distributions a new approach. Powder Technology, Volume 176, Issues 2-3, p. 57-65.
- [4] Dańko, R. (2012). Model wytrzymałości samoutwardzalnych mas formierskich z żywicami syntetycznymi w aspekcie zintegrowanego procesu recyklingu osnowy. Monografia. Wydawnictwo Archives of Foundry Engineering. Katowice-Gliwice.

[5] Daňko, R. (2009). Analysis of effectiveness of used sands reclamation treatment – in various technological devices. *Archives of Foundry Engineering*. Vol. 9 iss. 4 s. 31÷36.

[6] Daňko, R. (2008). Experimental verification of the energetic

model of the dry mechanical reclamation process. *Archives of Foundry Engineering*, Vol. 8 iss. 1 s. 31÷36.

[7] Analysette 22 NanoTec manual.

## **Investigations of the effectiveness of the classification based on the laser method of the grain size estimation**

### **Summary**

A grain size analysis is an essential parameter, by means of which the correctness of several treatment processes is estimated, and its results constitute an essential element of assessment and optimization of operational parameters of this type of devices. Due to that, it is very important to apply the most accurate ways of assessing the grain size composition of polydispersive materials - in accordance with the newest achievements of the measuring technique. The most advanced devices for grain size measurements are the ones utilising the laser diffraction effect. The investigations of the effectiveness of the classification performed on the basis of the laser method of grain size measurements are presented in the paper. The effectiveness of the classification of the reclaimed spent sand with the FR 75 A furfuryl resin in the cascade device was checked. It was found that at the feed material supply being in the range: 0.5-1.0 Mg/h, at the air velocity app. 1 m/s the separation of 80-85% of dusts and fractions, of a clearance below 0.1 mm sieve and sometimes below 0.16 mm sieve, occurs.