ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1996
Seria: GÓRNICTWO z. 231 Nr kol. 1349

Janusz GOGAŁA, Adam KONIECZNY, Ryszard RINK

Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn
Politechnika Wrocławska, Wrocław

PRAKTYCZNE ZASTOSOWANIA WIRNIKÓW PRZEPŁYWOWYCH DO KLASYFIKACJI DROBNOUZIARNIONYCH MATERIAŁÓW

Streszczenie. Przedstawiono możliwości zastosowania przepływowych wirników cylindrycznych w klasyfikatorach różnych typów wybudowanych w Instytucie Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Wrocławskiej. Zamieszczono wyniki badań procesu klasyfikacji w klasyfikatorach pracujących samodzielnie, jak też zintegrowanych z młynem strumieniowym. Wyniki badań porównano z wynikami obliczeń ziarna granicznego.

PRACTICAL APPLICATIONS OF FLOW ROTORS FOR SEPARATING EXTREMELY FINE MATERIALS

Summary. The study presents the possibilities of applications of flow rotors (classifying wheels) in different types of pneumatic classifiers. The classifiers were designed and constructed in the Institute of Machine Design and Operation of the Technical University of Wrocław. The paper shows results of the experiments of classification processes both in single classifiers and in those integrated with jet mill. The results have been compared with the calculations of separation size.

1. Wstęp

Klasyfikatory pneumatyczne i młyny strumieniowe były przedmiotem zainteresowania w IKiEM Politechniki Wrocławskiej od kilkudziesięciu lat. Prace badawcze i projektowe zmierzały między innymi do konstrukcji urządzeń pozwalających uzyskać bardzo drobny produkt pozbawiony tzw. nadziarna, czyli ziarn grubych w drobnym produkcie.

W ostatnich latach w IKiEM Pol. Wr. wybudowano klasyfikatory, które były wyposażone w przepływowe wirniki cylindryczne [10]. Pozytywne rezultaty w zakresie jakości produktu klasyfikacji spowodowały, że właśnie taki klasyfikator zastosowano jako drugi

stopień klasyfikacji do młyna strumieniowego (r.6). W innym przypadku wbudowano wirnik przepływowy do istniejącego klasyfikatora, co radykalnie poprawiło efekty klasyfikacji (r.7). W ostatnich latach zbudowano dla różnych odbiorców klasyfikatory jednowirnikowe o średnicy 100 mm; 200 mm i czterowirnikowy o średnicy wirników 100 mm [1] oraz młyny wyposażone w klasyfikatory, w których wirniki o średnicach 250 mm usytuowano pionowo.

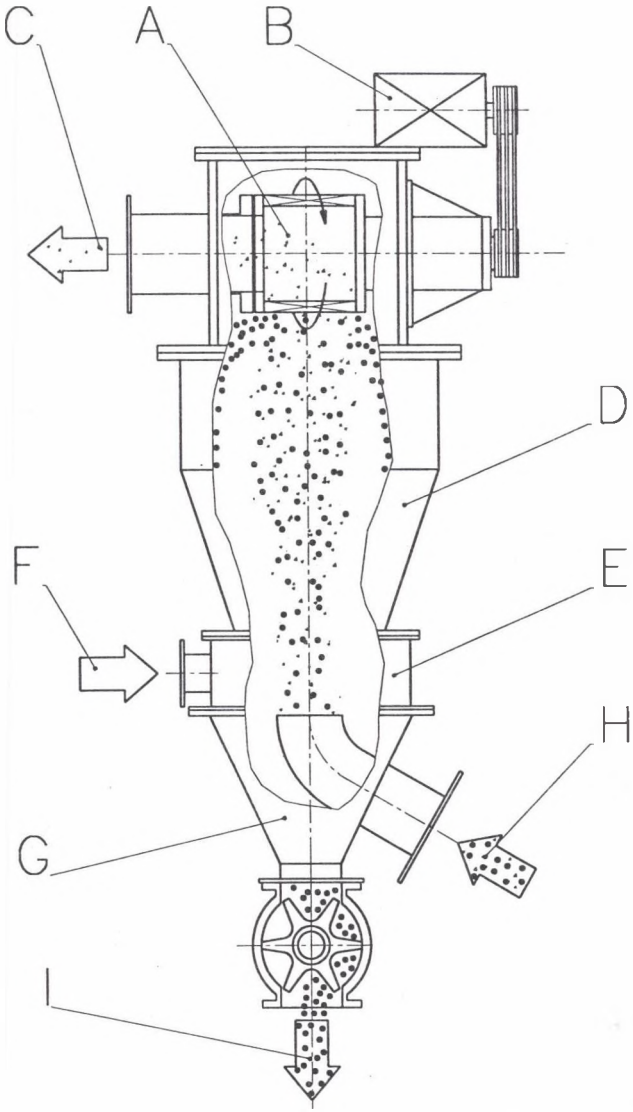
Na podstawie wieloletnich doświadczeń można przyjąć, że zostały opanowane w IKiEM problemy konstrukcyjne i wykonawstwo szybkoobrotowych wirników cylindrycznych tak, aby zapewnić dostateczną ich trwałość oraz dobrą jakość produktów klasyfikacji.

2. Zasada działania klasyfikatora z przepływowym wirnikiem cylindrycznym

Klasyfikator wirnikowy jest urządzeniem przeznaczonym do realizacji ciągłego procesu klasyfikacji (tj. rozdziału na dwie klasy ziarnowe : produkt „gruby" i produkt „drobny") materiałów mineralnych o strukturze ziarnistej. Uziarnienie nadawy powinno mieścić się w granicach 0 - 2500 μm. Praktyczny zakres wielkości ziaren podziałowych wynosi 20-150 μm.

Klasyfikator przedstawiony jest na rys. 1. Wymienić tu można podstawowe elementy składowe :

- A - głowica klasyfikatora z zespołem wirnika,
- B - napęd elektryczny,
- C - wylot powietrza i produktu „drobnego",
- D - korpus środkowy,
- E - komora wirowa,
- F - wloty powietrza do komory wirowej,
- G - stożek produktu „grubego",
- H - wlot powietrza i nadawy,
- I - wylot produktu „grubego".



Rys. 1. Zasada pracy klasyfikatora wirnikowego z przepływowym wirnikiem cylindrycznym
Fig. 1. The principle of rotor classifier work - with flow cylindrical rotor

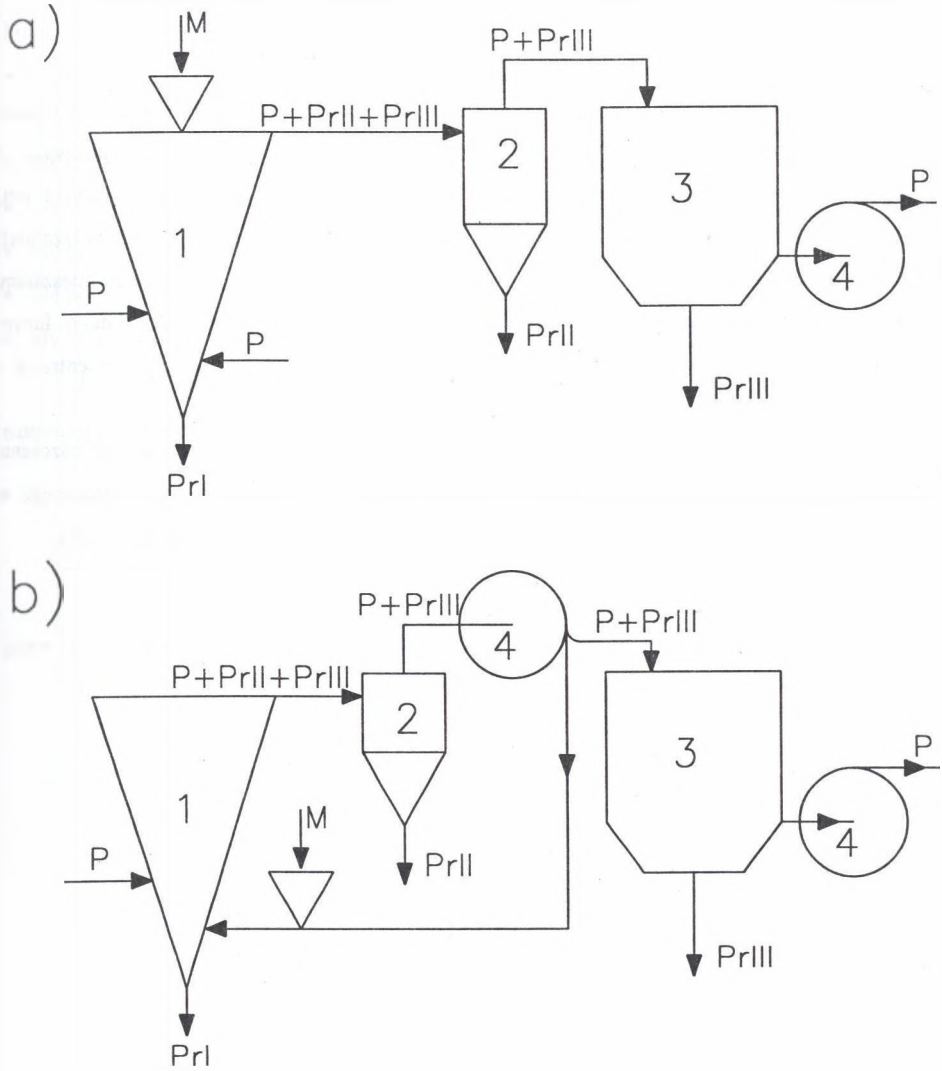
Zasada działania klasyfikatora jest następująca : wprowadzone do klasyfikatora przez wlot „H" powietrze niesie ziarna materiału klasyfikowanego (nadawy). W strefie klasyfikacji „A" (obszar oddziaływania wirnika) ziarna nadawy poddawane są działaniu trzech sił: siły ciężkości, odśrodkowej oraz strumieniowej (siła oporu ziarna w strumieniu powietrza). Część

ziarn drobnych, czyli mniejszych od ziarna granicznego, przechodzi od razu między łopatkami wirnika i przedostaje się do wylotu produktu drobnego „C". Pozostałe ziarna drobne oraz ziarna grube, na które działają relatywnie większe siły ciężkości i odśrodkowe, zostają przez wirnik strącone w dół. W korpusie środkowym „D" oraz w komorze wirowej „E" strącony materiał jest poddany działaniu dodatkowego, wirowego strumienia powietrza, cząstki drobne ponownie unoszone są do góry, dzięki czemu mogą trafić przez wirnik do produktu drobnego. Ziarna grube spadają do stożka produktu grubego „G" i odbierane są na wylocie „I".

Parametrami decydującymi o przebiegu procesu klasyfikacji są:

- geometria wirnika klasyfikatora,
- prędkość obrotowa wirnika,
- natężenie przepływu powietrza w króćcu „C",
- natężenie przepływu powietrza w króćcach „F",
- parametry geometryczne korpusu klasyfikatora,
- natężenie dozowania nadawy,
- parametry granulometryczne nadawy,
- inne cechy nadawy (np. gęstość, masa nasypowa, skłonność do aglomeracji).

Proces klasyfikacji danego materiału reguluje się zmieniając prędkość obrotową wirnika i natężenia przepływu powietrza. W efekcie otrzymuje się podział nadawy na produkt gruby i produkt drobny na poziomie żądanego ziarna granicznego. Klasyfikator wirnikowy może pracować w instalacji pneumatycznej wg rys. 2.



Rys. 2. Schemat instalacji klasyfikatora wirnikowego ; a - obieg otwarty, b - obieg półzamknięty; 1 - klasyfikator wirnikowy, 2 - cyklon, 3 - filtr, 4 - wentylator, P - powietrze, M - nadawa, Pr - produkt

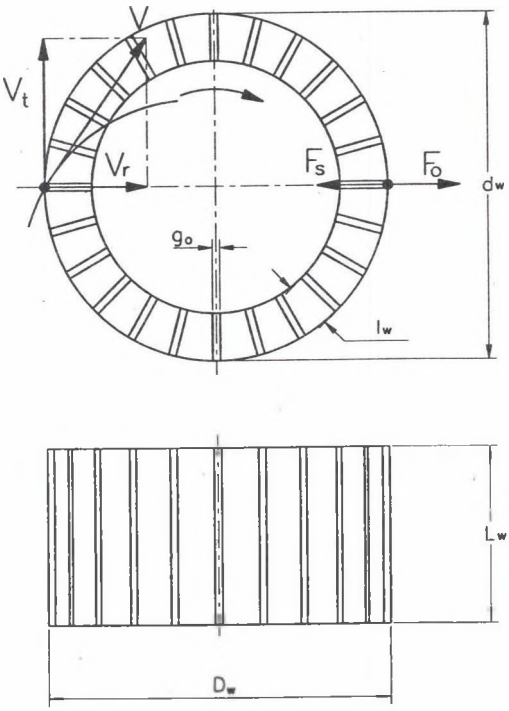
Fig.2. The rotor classifier installation scheme:
a - open circuit
b - half closed circuit

W podanej wyżej instalacji otrzymuje się trzy produkty : Pr_I - produkt gruby, Pr_{II} - produkt drobny, Pr_{III} - produkt najdrobniejszy.

3. Ziarno graniczne w klasyfikatorach z przepływowym wirnikiem cylindrycznym

Klasyfikacja przepływowa, a w tym klasyfikacja ziarnowa, jest uzależniona od bilansu sił działających na ziarno [2]. Oprócz zwykle uwzględnianych sił masowych i powierzchniowych czyni się próby wprowadzenia do bilansu tzw. sił losowych: gradientowej, od zderzeń ziarn, oddziaływań fizykochemicznych. W konkretnych rozwiązaniach konstrukcyjnych klasyfikatorów pojawiają się oddziaływania deformujące strumień mieszaniny dwufazowej w celu jak najdoskonalszego wydzielenia produktów : grubego i drobnego. Innym zagadnieniem, które uwzględnia się tutaj, jest stan materiału, ośrodka, koncentracja i zmienność tych wielkości w czasie.

Mnogość czynników wpływających na proces klasyfikacji zmusza do uproszczenia zagadnienia i odrzucenia wielu czynników. Do wstępnego obliczania ziarna granicznego w procesie klasyfikacji można wybrać [3] siłę odśrodkową F_o i siłę strumieniową F_s (rys.3).



Rys.3. Warunki równowagi ziarna granicznego d_{50} w klasyfikatorze wirnikowym

Fig.3. The conditions of equilibre of near - mesh particle in rotor classifier

Pominięto:

- siłę Coriolisa wywołaną ruchem obrotowym i postępowym ziarna na długości l_w łopatek wirnika ($l_w = 0.5\ (D_w - d_w)$),
- siłę ciężkości ziarna,
- siłę wyporu Archimedesa,
- siłę gradientową wynikającą ze zmiany koncentracji ziarn,
- siłę pochodzącą od tarcia zewnętrznego ziarna na powierzchni łopatek,
- siły kontaktowe na styku rozpatrywanego ziarna z innymi ziarnami.

W klasyfikatorze wirnikowym prędkość obwodowa v_w jest zadawana i sterowana, natomiast prędkość promieniowa v_r wynika ze wzoru:

$$v_r = \frac{Q_w}{A_w} \tag{1}$$

gdzie : Q_w - strumień powietrza przepływającego przez wirnik,

A_w - powierzchnia szczelin między łopatkami wirnika.

$$A_w = (\pi \cdot D_w - mg_o)L_w \tag{2}$$

gdzie: D_w - średnica zew. wirnika,

m - liczba łopatek wirnika,

g_o - grubość łopatek,

L_w - długość łopatek.

Według modelu przedstawionego na rys. 3 średnica ziarna granicznego wynika z równania:

$$F_s = F_o$$

w którym

$$F_s = k_c c_x \frac{\rho_p \cdot v_r^2}{2} \cdot \frac{\pi \cdot d_{50}^2}{4}$$

gdzie: c_x - współczynnik oporu opływu,

ρ_p - gęstość powietrza,

v_r - prędkość promieniowa,

d_{50} - ziarno graniczne,

k_c - współczynnik kształtu ziarna [3,4],

$$k_c = \psi_A^{-1} \qquad \text{(patrz tab.1)}$$

Tabela 1

Zestawienie liczbowych wartości współczynnika kształtu ziaren ψ_A dla typowych form geometrycznych

Kształt cząstki	Średnica ekwiwalentnej cząstki kulistej	Współczynnik kształtu cząstki
	d_v	ψ_A
kula o średnicy d	d	1
sześcian o boku a	1.241 a	0.806
płytka o bokach a,b,c		
a x 2a x a	1.563 a	0.767
a x 2a x 2a	1.970 a	0.761
a x 3a x 3a	2.253 a	0.250
a x a x 0.1a	0.576 a	0.435
a x a x 0.01a	0.267 a	0.110
walec o wys. h i średnicy d		
h = 2 d	1.442 a	0.831
h = d	1.145 a	0.875
h = 0.5 d	0.909 a	0.825
h = 0.15 d	0.608 a	0.570
h = 0.001 d	0.247 a	0.120

$$F_o = \frac{m v_w^2}{0{,}5 \cdot D_w} = \frac{\pi \cdot d_{50}^3}{6} \cdot \rho_m \frac{(\pi \cdot D_w n)^2}{0{,}5 \cdot D_w}$$

gdzie : ρ_m - gęstość materiału,

n - prędkość obrotowa wirnika.

Przyjęto [3] $C_x = \dfrac{13}{\sqrt{Re}}$

gdzie : Re - liczba Reynoldsa,

$$\mathrm{Re} = \frac{v_r}{\nu_p} \cdot d_{50}$$

gdzie ν_p - lepkość kinematyczna powietrza.

W obliczeniach przyjmowano [3] : $\nu_p = 15 * 10^{-6}$ m^2/s

$\rho_p = 1{,}2$ kg/m^3

Po przekształceniach otrzymano:

$$d_{50}^{\frac{3}{2}} = \frac{4{,}875}{\pi^2} \cdot \frac{\rho_p}{\rho_m} \cdot \frac{\nu_p^{\frac{1}{2}} \cdot v_r^{\frac{3}{2}}}{D_w} \cdot \frac{k_c}{n^2} \tag{3}$$

4. Klasyfikator wirnikowy typu k-320 [5]

4.1. Opis instalacji

Klasyfikator został zaprojektowany wg schematu jak na rys.1. Poniżej przedstawiono charakterystykę techniczną klasyfikatora K-320.

- Rodzaj klasyfikatora - pneumatyczny, przepływowy, o ruchu ciągłym
- Ilość wirników klasyfikujących - 1
- Wymiary wirnika klasyfikującego : średnica zew. - 320 mm,
  długość czynna - 250 mm.
- Parametry nadawy :przepustowość - nom. 1500 kg/h,
  - max. 2500 kg/h,
  zalecana granulacja - 100 % d<1 mm,
  max. dop. granulacja - d<2,5 mm,
  dopuszczalna wilgotność - ok. 10%
  (zależnie od rodz. materiału).
- Silnik napędowy - typ : Sf-132M4
  - moc znamionowa 7,5 kW,
  - nom. prędkość obr. - 1450 obr/min.

- Gabaryty klasyfikatora : wys. x szer. x głębok. = 2160x1398x1100 mm.
- Masa całkowita - 850 kg.

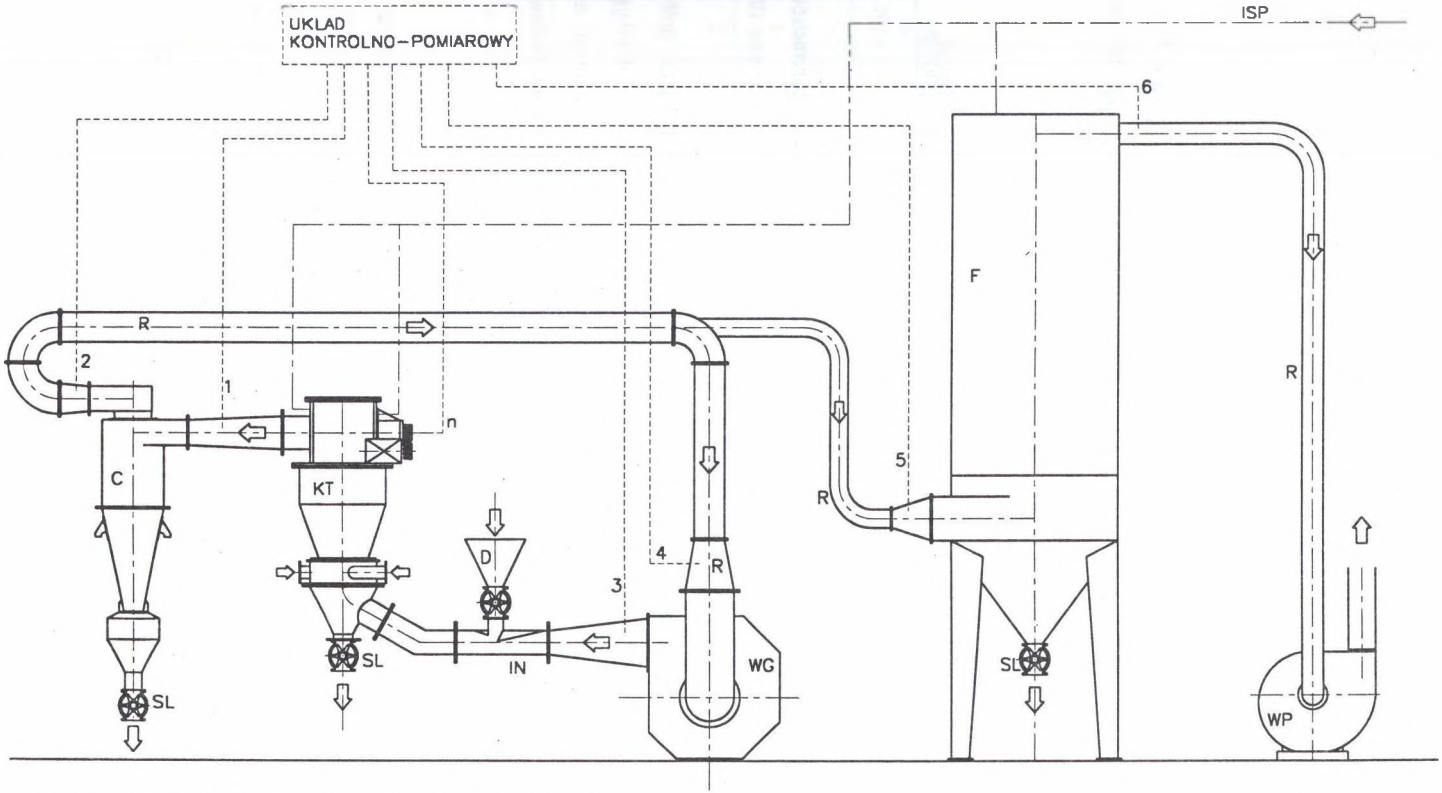
Klasyfikator K-320 został zainstalowany w układzie pneumatycznym wg rys. 2b. Podstawowe elementy składowe laboratoryjnego układu przedstawiono szczegółowo na rys.4.

Układ można podzielić na dwie zasadnicze części - główną i pomocniczą. W skład części głównej wchodzi klasyfikator „KT", cyklon „C", wentylator główny „WG" oraz zespół dozowania nadawy „D" i „IN" spięte rurociągami powietrznymi „R1 - 3". Wentylator „WG" wytwarza strumień powietrza, do którego dozownik „D" za pośrednictwem inżektora „IN" podaje równomiernie, z określonym natężeniem, klasyfikowany materiał. Strumień powietrza z nadawą trafia do klasyfikatora „KT", gdzie następuje proces klasyfikacji opisany w pkt. 2. Produkt gruby odbiera się przez śluzę „SL1", natomiast produkt drobny niesiony strumieniem powietrza trafia do cyklonu „C", gdzie następuje strącenie ziaren. Śluza „SL2" pozwala na opróżnienie komory rozładowczej cyklonu. Oczyszczone powietrze trafia z powrotem do wlotu wentylatora głównego.

Do układu głównego podłączony jest (między cyklonem „C" a wentylatorem „WG") układ pomocniczy składający się z filtra „F" oraz wentylatora pomocniczego „WP". Jego zadaniem jest wytworzenie dodatkowego strumienia powietrza w komorze wirowej klasyfikatora, oraz wytworzenie w całym układzie klasyfikacji podciśnienia, co zapobiega emisji pyłu na zewnątrz. Część produktu drobnego, która nie została strącona w cyklonie, a dostała się do układu pomocniczego, zatrzymywana jest w filtrze „F" , skąd może być odbierana śluzą „SL3".

Uzupełnieniem układu klasyfikacji są :

- instalacja sprężonego powietrza „ISP" służąca do uszczelnienia wirnika klasyfikatora i regeneracji (oczyszczenia z pyłu) tkaniny filtra,
- układ kontrolno - pomiarowy nadzorujący pracę układu klasyfikacji,
- instalacja elektryczna (nie pokazana na rysunku) zasilająca napędy poszczególnych urządzeń układu.



Rys. 4. Schemat laboratoryjnego układu pneumatycznego klasyfikacji.
KT- klasyfikator K 320, C - cyklon, WG - wentylator główny, D - dozownik nadawy, IN - inżektorowy podajnik nadawy, F - filtr, WP - wentylator pomocniczy, SL - śluzy powietrzne, R - rurociągi powietrzne, 1 - 6,n - układ kontrolno-pomiarowy, ISP - instalacja sprężonego powietrza

Fig.4. The scheme of laboratory pneumatic circuit of classification

W laboratoryjnym układzie klasyfikacji zastosowano:

Wentylator główny (ozn. WG) :

- typ	WP 40/1	- spręż całkowity	$\Delta p = 2600$ Pa
- moc silnika	N = 11 kW	- sprawność max.	$\eta_{max} = 0.85$
- wydajność nom.	$Q_p = 2\ m^3/s$		

Wentylator główny (ozn. WG) :

- typ	WPO 18/25	- wydajność nom.	$Q_p = 0.78\ m^3/s$
- moc silnika	N = 15 kW	- spręż całkowity	$\Delta p = 9500$ Pa
- sprawność max.	$\eta_{max} = 0.7$		

Filtr powietrza (ozn. F) :

- producent	KOWENT	- powierzchnia filtr.	29 m^2
- typ	AF 406	- opory przepływu	$\Delta p = 1500 - 2000$ Pa

4.2. Program i wyniki badań

Celem badań było, wg zaleceń zleceniodawcy, ustalenie optymalnych parametrów klsyfikatora i układu zasilania nadawą, które zapewnią minimalną ilość nadziarna powyżej 100 μm w produkcie drobnym przy maksymalnej przepustowości.

Zmieniano obroty wirnika i wydajność dozowanej nadawy. W czasie każdej próby otrzymywano produkt gruby „PG" i produkt drobny „PD". Produkty te ważono określając wydajność procesu. Wykonano próby porównawcze dozowania klasyfikowanego materiału nie przez inżektor, lecz zasypując nadawę przez otwór w pokrywie górnej klasyfikatora. Nadawę stanowiła ziemia bieląca o składzie podanym w tabeli 2.

Tabela 2

Skład granulometryczny nadawy

Klasa ziarnowa [μm]	Udział [%]
d > 100 μm	16,7
d <100 μm	83,3
d <56 μm	65,6

Ocenę procesu klasyfikacji przeprowadzono opierając się na następujących wskaźnikach :

- ilość nadziarna ***k*** powyżej 100 μm w produkcie drobnym,
- sprawność klasyfikacji S_K ziarn drobnych [11]:

$$S_k = \frac{masa\ klasy\ drobnej\ w\ drobnym\ produkcie}{masa\ klasy\ drobnej\ w\ nadawie} \bullet 100\%$$

gdzie: klasę drobną w nadawie stanowiły ziarna poniżej 100 μm,

- wychód drobnego produktu W_d.

$$W_d = \frac{masa\ drobnego\ produktu}{masa\ nadawy} \bullet 100\%$$

Analizy granulometryczne wykonano [6] na przesiewaczu laboratoryjnym na sicie 100 μm, a wyniki zamieszczono w tabeli 3, gdzie :

g_i - udział masowy klasy i-tej w produkcie grubym,

d_i - udział masowy klasy i-tej w produkcie drobnym,

Tabela 3

Wyniki klasyfikacji przy różnych przepustowościach i prędkościach obrotowych wirnika

Nr próby	Przepusto-wość	Prędkość obrotowa wirnika	Klasa ziarnowa	Udział masowy klasy ziarnowej		Udział masy nadziarna	Sprawność klasyfikacji	Wychód produktu drobnego
	Q_m	n_W		g_i	d_i	k	S_K	W_d
-	kg/h	obr/min	μm	%	%	%	%	%
1	1000	415,	> 100	40,9	4,7	4,7	71	62
			< 100	59,1	95,3			
2	1100	575	> 100	40,6	2,4	2,4	63	54
			< 100	59,4	97,6			
3	2300	620	> 100	28,8	1,9	1,9	51	43
			< 100	71,2	98,1			
4	1270	620	> 100	27,6	1,7	1,7	60	51
			< 100	72,4	98,3			
5	1245	620	> 100	28,2	0,4	0,4	36	30
			< 100	71,8	99,6			

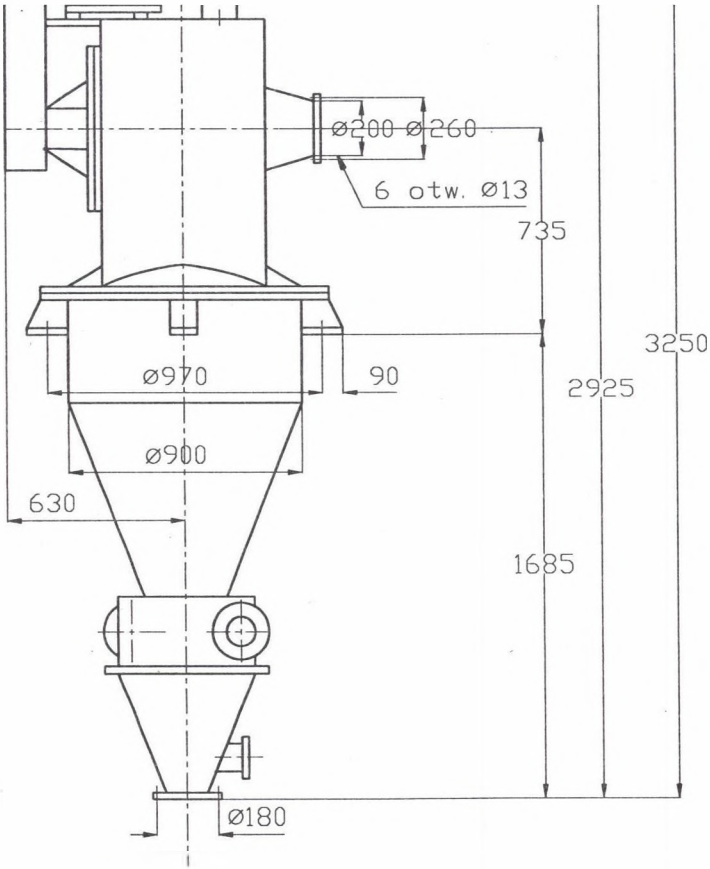
Wyniki badań pokazują, że właściwa ze względu na cel badań i wymagania zleceniodawcy jest prędkość obrotowa wirnika n_w = 620 obr/min, przy przepustowości Q_m = 1270 kg/h (próba nr 4). Zmiana sposobu zasilania nadawą ze sposobu „od dołu" (rys. 2b) na sposób „od góry" (rys. 2a) powoduje zanik nadziarna, ale również dwukrotne obniżenie sprawności klasyfikacji S_K.

Przewiduje się kontynuowanie prób w zakresie mniejszych wartości ziarna granicznego.

5. Klasyfikator kt - 500

W

średnicy



Rys.5. Klasyfikator KT-500
Fig.5. Classifier KT - 500

Dane techniczne klasyfikatora KT-500:

- średnica wirnika D_w= 500 mm,
- maks. prędkość obrotowa wirnika n=2400 obr/min,
- nadawa: 1 - 5 Mg/h
- Średnica ziarna podziałowego d_{50}=15-120 μm,
- moc silnika napędowego 15 kW.

Klasyfikator może być zainstalowany w układach przepływowych: otwartym i zamkniętym (patrz rys. 2) Aktualnie klasyfikator KT - 500 jest w trakcie prób na stanowisku badawczym w Laboratorium IKiEM Pol.Wr.

6. Klasyfikator wirnikowy zespolony z młynem strumieniowym MPPW - 10

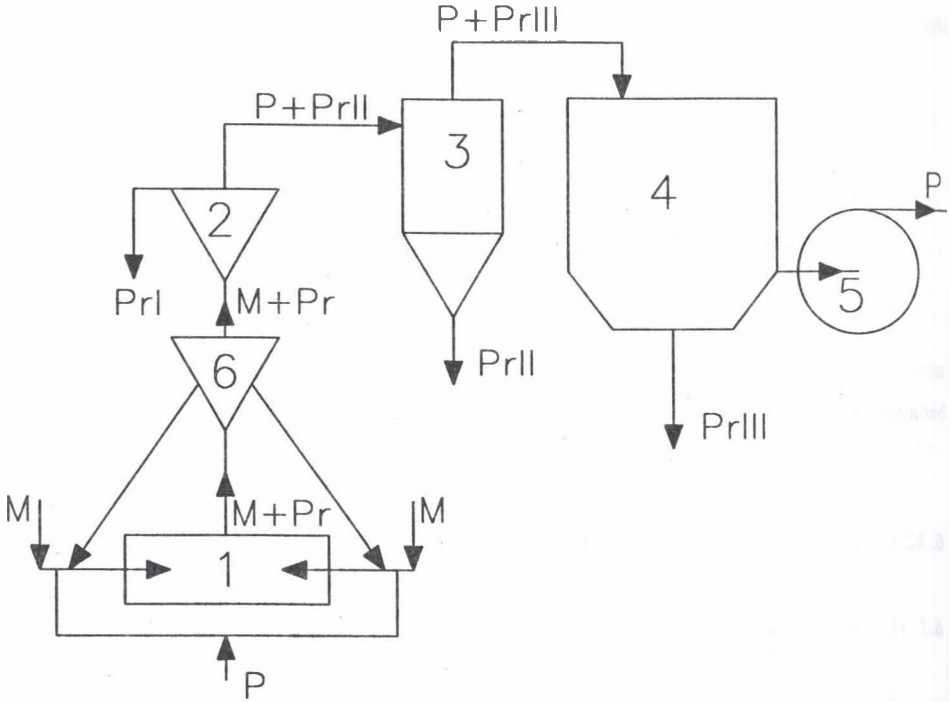
6.1. Opis instalacji

Klasyfikator z wirnikiem przepływowym połączono w jeden zespół z młynem przeciwbieżnym strumieniowym typu MPPW - 10, tworząc dwustopniowy układ klasyfikacji (rys. 6).

Dotychczas produkowany w IKiEM Pol.Wr. młyn MPPW -10 składa się z komory mielenia 1 i klasyfikatora 6 bez wirnika. W nowym układzie klasyfikator 6 stanowi pierwszy stopień klasyfikacji. Dzięki temu można osiągnąć znaczne obniżenie koncentracji materiału w strumieniu powietrza kierowanym do klasyfikatora wirnikowego 2, co zapewnia mu w konsekwencji funkcjonowanie w optymalnym zakresie charakterystyki wydajnościowej.

6.2. Analiza ziarna granicznego

Celem badań, uzgodnionych ze zleceniodawcą, było określenie zależności między wielkością ziarna granicznego i prędkością obrotową wirnika. Przeprowadzono badania [7] przemiału i klasyfikacji piasku kwarcowego i uzyskano między innymi następujące wartości ziarna granicznego (tab. 4).



Rys.6. Schemat koncepcyjny młyna strumieniowego przeciwbieżnego z dwustopniowym układem klasyfikacji produktów przemiału; 1 - młyn strumieniowy przeciwbieżny, 2 - klasyfikator wirnikowy, 3 - cyklon, 4 - filtr, 5 - wentylator, 6 - klasyfikator wirowy, M - nadawa, P - sprężone powietrze robocze, Pr - produkt

Fig.6. The idea schema of jet mill with two stages installation of classification of milling products

Tabela 4

Ziarno graniczne w zależności

od prędkości obrotowej wirnika

Prędkość obrotowa wirnika [obr/min]	3500	4400	5350
Wielkość ziarna granicznego d_{50} [μm]	15	12,5	8,0

Niżej przeprowadzono próbę oszacowania ziarna granicznego na podstawie wzoru (3) przy następujących danych i zależnościach :

- gęstość powietrza $\rho_p = 1{,}2$ kg/m^3,
- gęstość materiału $\rho_m = 2600$ kg/m^3,
- lepkość kinematyczna powietrza $\nu_p = 15 \bullet 10^{-6}$ m^2/s,
- średnica zewnętrzna wirnika $D_W = 0{,}2$ m.

Strumień powietrza przepływający przez wirnik można wyliczyć z zależności :

$$Q_w = q_p + q_{pz} + \Delta q_p$$

gdzie : q_p - strumień powietrza wypływającego z dysz ($q_p = 10$ m^3/min),

q_{pz} - strumień powietrza napędowego w układzie zasilania,

Δq_p - strumień powietrza dodatkowego zasysanego wraz z materiałem ziarnistym w układzie zasilania.

Przyjęto : $Q_W = 1.15\ q_p = 0.192$ m^3/s

Powierzchnię A_W szczelin między łopatkami wirnika wg wzoru (2) wyliczono przy danych :

- liczba łopatek wirnika $m = 36$,
- grubość łopatek $g_o = 0{,}003$ m,
- długość łopatek $L_w = 0{,}1$ m.

Prędkość promieniową wyliczono ze wzoru (1)

$$v_r = 3{,}68 \text{ m/s}$$

Podstawiając do wzoru (3) powyższe dane otrzymamy :

$$d_{50}^{3/2} = 31{,}22 \cdot 10^{-6} \frac{k_c}{n^2}, \text{m}$$

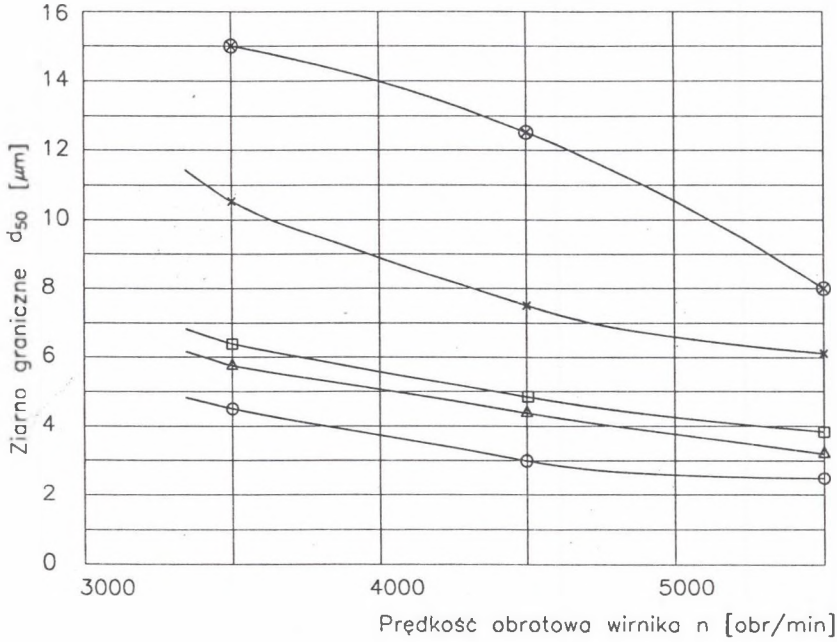
Wyniki obliczeń przy różnych prędkościach wirnika (tab. 4) i różnych współczynnikach kształtu ziarn (patrz tab. 1) przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5

Wyniki obliczeń ziarna granicznego d_{50}

Współczynnik kształtu cząstek	Prędkość obrotowa wirnika n [obr/min]		
k_C	3500	4400	5350
1,0	4,4	3,2	2,5
1,53	5,8	4,3	3,3
1,76	6,4	4,7	3,6
3,8	11	7,9	6,1

Wyniki obliczeń i badań eksperymentalnych przedstawiono też na wykresie (rys.7).



Rys. 7. Zależność ziarna granicznego d_{50} od prędkości obrotowej wirnika n i współczynnika kształtu ziarna k_c (o - k_C = 1 ; Δ - k_c = 1,53 ; □ - k_c=1,76; X - k_c = 3,8 ; ⊗ - dane z eksperymentów)

Fig.7. The relationship between near - mesh particle from rotational speed and shape coefficient

Jak wynika z wykresów (rys. 7), rezultaty eksperymentów znacznie odbiegają od wyników obliczeń. Różnica nie wynika z przyjęcia niewłaściwego współczynnika kształtu ziarna k_C,, gdyż ziarna kwarcu, który był użyty w badaniach, mają kształt kubiczny i

współczynnik k_C nie powinien przekraczać w tym przypadku wartości k_C=1,76 (k_C=3,8 odpowiada kształtom płytkowym).

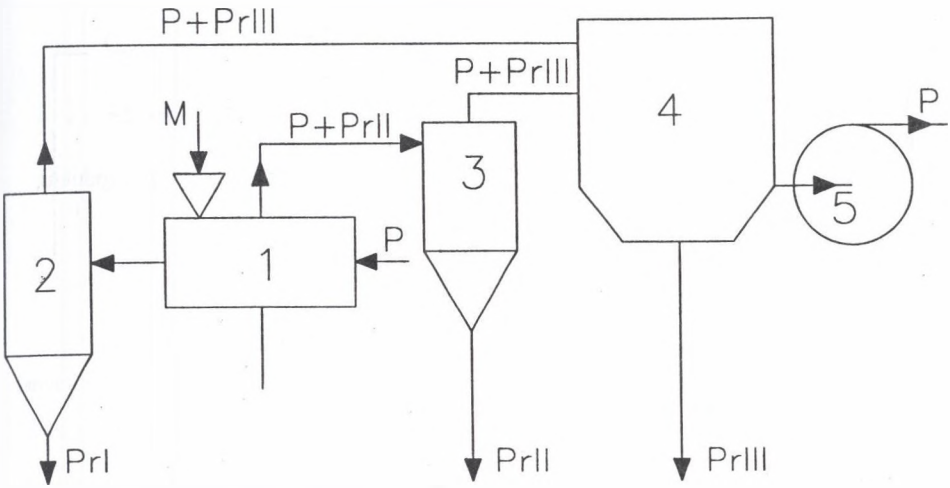
Należy sądzić, że rozbieżność ww. wyników teoretycznych i praktycznych wynika z nieuwzględnienia wszystkich czynników występujących w obrębie wirnika, zwłaszcza koncentracji materiału ziarnistego w powietrzu.

7. Klasyfikator WK - 400

7.1. Opis instalacji i klasyfikatora

Zastosowanie przepływowego wirnika cylindrycznego w innym typie klasyfikatora, niż to przedstawiono na rys.,1 poprawiło efekty klasyfikacji [8].

Klasyfikator WK -400 jest zainstalowany wg schematu jak na rys. 8.

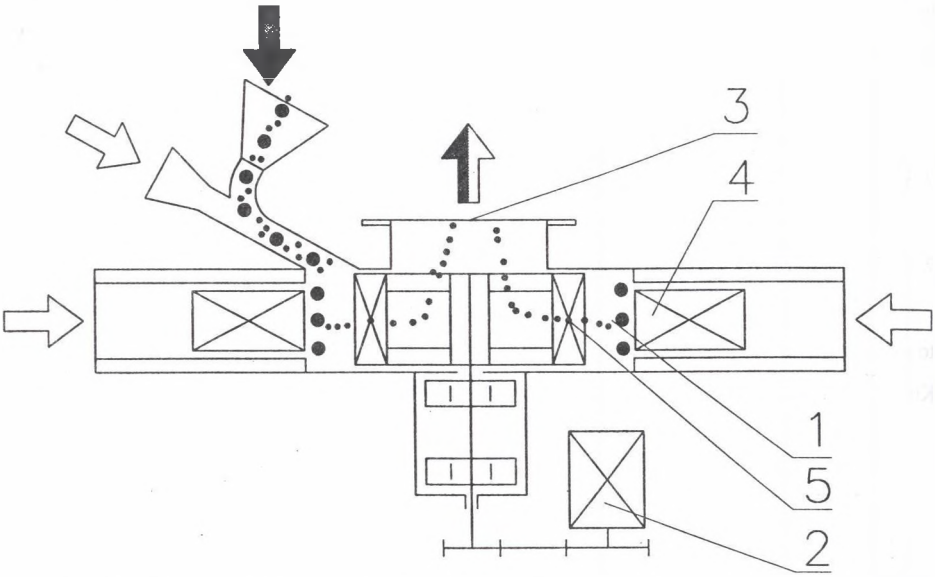


Rys. 8. Schemat instalacji klasyfikatora WK-400
1 - wirowa komora klasyfikacji, 2 - cyklon grubego produktu, 3 - cyklon drobnego produktu, 4 - filtr, 5 - wentylator, P - powietrze, N - nadawa, Pr - produkt

Fig.8. The scheme of classifier installation WK - 400

W wirowej komorze (rys.9) klasyfikacji 1 zainstalowano wirnik 5 przepływowy cylindryczny, tak ażeby przysłonić nim otwór wylotowy drobnego produktu. Wirnik obraca się współbieżnie do zawirowanego przez kierownice 4 strumienia powietrza roboczego i

powoduje odrzucanie nadwymiarowych ziarn materiału. Drobne ziarna przepływają przez wirnik 1 i ulatują otworem 3 do cyklonu. Wirnik 1 jest napędzany silnikiem 2 prądu stałego poprzez przekładnię pasową.



Rys. 9. Wirowa komora klasyfikacji z wirnikiem przepływowym.
1 - wirowa komora klasyfikacji, 2 - silnik napędowy, 3 - wylot drobnego produktu, 4 -łopatki wirujące, 5 - przepływowy wirnik cylindryczny
Fig.9. The classification chamber with flow rotor

Dane techniczne klasyfikatora WK-400

Średnica komory wirowej	400 mm
Wysokość komory wirowej	60 mm
Średnica wirnika	200 mm
Prędkość obrotowa wirnika	500 - 4000 obr/min
Silnik napędowy wirnika - typ	Pzb 35b
moc znamionowa silnika	1,1 kW
prędkość znamionowa	3000 obr/min
Przepustowość	50 - 1000 kg/h
Ziarna graniczne d_{50}	10 - 30 μm
Zapotrzebowanie powietrza roboczego	300 - 1000 m^3/h
Masa stanowiska	ok. 350 kg

Stanowisko jest podłączone do układu odpylania w laboratorium IKiEM, który składa się (rys.8) z :

- filtra tkaninowego - typ AF 406,
- wentylatora MWW 18 (1020 m^3/h , 9500 Pa, 2890 obr/min).

7.2. Analiza ziarna granicznego

Celem badań [8] było sprawdzenie efektów zastosowania wirnika w klasyfikatorze wirowym. Wykonano serię prób klasyfikacji mączki chalcedonitowej bez wirnika i z wirnikiem. Okazało się, że zastosowanie wirnika spowodowało znaczne (ok. 50%) zmniejszenie nadziarna w produkcie drobnym. Ziarno graniczne d_{50} utrzymywało się na stałym poziomie (tab. 6) niezależnie od zmian przepustowości Q_m, co nie było możliwe w klasyfikatorze bez wirnika (rys. 10). Prędkość obrotowa wirnika wynosiła n=4000 obr/min.

Tabela 6

Wyniki klasyfikacji przy różnych przepustowościach

	Klasyfikator bez wirnika				Klasyfikator z wirnikiem			
Ziarno graniczne d_{50}, μm	10,5	10	12,5	17,5	10,5	10	9,5	8,6
Przepustowość, Q_m, kg/h	49	236	537	1000	48	247	526	973

Obliczenia ziarna granicznego d_{50} wykonano podobnie jak w r. 7.2 przy następujących danych :

średnica zew. wirnika	$D_w = 0,2$ m
liczba łopatek wirnika	m = 36
grubość łopatek wirnika	$g_o = 0,003$ m
długość łopatek wirnika	$L_w = 0,034$ m

Strumień powietrza przepływającego przez wirnik Q_w określano na podstawie pomiarów prędkości w rurze dolotowej [9] powietrza roboczego. Otrzymano :

$$Q_w = 0,11 \ m^3/s$$

Ze wzoru (1) obliczono prędkość promieniową:

$$v_r = 7{,}4 \text{ m/s}$$

Prędkość obrotowa wirnika n = 4000 obr/min

Gęstość materiału $\rho_m = 2400 \text{ kg/m}^3$

Pozostałe dane jak w p.7.2

Podstawiając do wzoru (3) powyższe dane, otrzymamy:

$$d_{50}^{3/2} = 21.6 \cdot 10^{-9} \cdot k_c$$

Wartości ziarna granicznego d_{50} przy różnych wartościach wsp. kształtu k_c zamieszczono w tabeli 7.

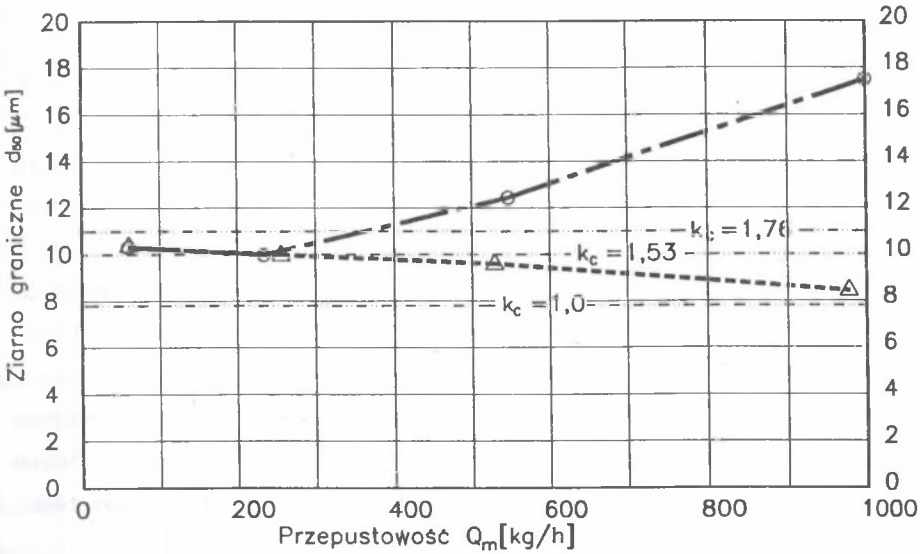
Tabela 7

Wpływ kształtu ziarna na wartość ziarna granicznego d_{50}

Współczynnik kształtu ziarna k_c	1,0	1,53	1,76	3,8
Wartość ziarna granicznego d_{50}, [μm]	7,8	10	11	19

Wyniki eksperymentów (tab. 6) i obliczeń (tab. 7) przedstawiono na wykresie (rys. 10).

Jak widać z rys. 10, otrzymano zadowalającą zgodność wyników obliczeń ziarna granicznego i wyników eksperymentalnych. Na tej podstawie można będzie w tym klasyfikatorze szacować ziarno graniczne przed podjęciem procesu klasyfikacji.



Rys.10. Wpływ zmian przepustowości Q_m oraz zmian współczynnika kształtu ziarna k_c na wartość ziarna granicznego d_{50} (o - klasyfikator bez wirnika, Δ - klasyfikator z wirnikiem, $d_{50,obl}$ - ziarno graniczne wg tab. 7).

Fig.10. The influence on productivity changes and changes of shape coefficient on value of near - mesh particle

8. Podsumowanie

1. Przedstawiono przegląd działań w zakresie badań klasyfikatorów z przypływowym wirnikiem cylindrycznym w IKiEM Pol.Wr. Opierając się na wieloletnich doświadczeniach i wybudowanych klasyfikatorach, można uznać, że opanowano budowę wirników o średnicach od 100 do 500 mm, co pokrywa praktyczny zakres zastosowań.
2. Przedstawiono wyniki badań klasyfikatorów z przypływowym wirnikiem cylindrycznym, jak też przykłady zastosowań klasyfikatorów do współpracy z młynem strumieniowym i samego wirnika w celu poprawy efektów klasyfikacji.
3. Przeprowadzono próbę oszacowania ziarna granicznego na drodze teoretycznej i porównano wyniki z odpowiednimi eksperymentami. Uwzględniając uwagi z rozdziału 7.2 można uznać wyniki za zadowalające.

LITERATURA

1. Hołdanowicz J., Makacewicz S. : Wyniki i wnioski wynikające z wstępnych prób eksploatacyjnych wysokoobrotowego wirnikowego klasyfikatora przepływowego. XXII Krakowska Konferencja Naukowo - Techniczna Przeróbki Kopalin ; Wydawnictwo AGH, Kraków 1988.
2. Sztaba K. : Warunki i możliwości rozbudowy i ujednolicenia opisów modelowych procesów klasyfikacji przepływowej. Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii; 26 (1992) ; Wydawnictwo Pol. Wr. ; Trzebieszowice 1992.
3. Korzeń Z., Rink R. : Młyn powietrzno-strumieniowy z dwustopniowym systemem klasyfikacji produktów przemiału. Synteza konstrukcji, modelowanie i badania eksperymentalne. Etap II/93. Raport S-032/93 ; Wydawnictwo Pol. Wr. ; Wrocław 1993.
4. Kabsch P. : Odpylanie i odpylacze t. 1 ; WNT, Warszawa 1993.
5. Korzeń Z., Konieczny A., Hołdanowicz J., Sachnowski J. : Badania laboratoryjne przemysłowego klasyfikatora wirnikowego KT-320; Raport S-035/94. Wydawnictwo Pol. Wr., Wrocław 1994.
6. Norma PN-74/Z-0497. Badania składu ziarnowego pyłów.
7. Korzeń Z., Rink R. : Problemy syntezy konstrukcyjnej i badań młyna strumieniowego z dwustopniowym układem klasyfikacji produktów mielenia. IX Gliwickie Sympozjum Teorii i Praktyki Procesów Przeróbczych, Gliwice 1992.
8. Gogała J. : Wpływ zastosowania wirnika w klasyfikatorze wirowym WK-400 na efekty klasyfikacji. Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii ; 26 (1992); Wydawnictwo Pol. Wr. ; Trzebieszowice 1992.
9. Gogała J. : Identyfikacja toru ziarna w zawirowanym strumieniu gazu. Sprawozdanie wykonane w ramach Projektu Badawczego nr 30 1169 101 pt.: „Klasyfikacja materiałów bardzo drobno uziarnionych" 1 ; Kraków 1993.
10. Korzeń Z., Rink R., Konieczny A. : Modułowe linie technologiczne dla procesów powietrzno-strumieniowej turboklasyfikacji materiałów mineralnych. Konferencja Górnictwo Skalne. Stan obecny i perspektywy. Jelenia Góra 1996. Wydawnictwo Pol. Wr. ; Wrocław 1996.

11.Laskowski J., Łuszczkiewicz A., Malewski J. : Przeróbki kopalin. Wydawnictwo Pol. Wr. ; Wrocław 1977.

Recenzent: Dr inż. Lucjusz Anders

Wpłynęło do Redakcji 1.10.1996 r.

Abstract

The study presents the possibilities of applications of flow rotors (classifying wheels) in different types of pneumatic classifiers. The classifiers were designed and constructed in the Institute of Machine Design and Operation of the Technical University of Wrocław. The paper shows results of the experiments of classification processes both in single classifiers and in those integrated with jet mill. The results have been compared with the calculations of separation size. The calculations show that the construction of rotors 100-500 mm size is practically possible. This calculation has positive compliance - in practice.