

Jan SZPYRKA

ANALIZA WYBRANYCH PARAMETRÓW TECHNOLOGICZNYCH MIELENIA WIBRACYJNEGO

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych w młynie wibracyjnym, których celem było przeanalizowanie wpływu wybranych parametrów pracy młyna na efektywność procesu mielenia.

1. WPROWADZENIE

Mielenie jest jedną z podstawowych a zarazem najbardziej energochłonnych operacji przerobczych. Z tego też względu stosowane w technice przerobczej urządzenia mielące poddawane są stale różnego rodzaju badaniom, mającym dać odpowiedź na pytania dotyczące możliwości optymalizacji zarówno ich konstrukcji, jak również parametrów ich pracy.

✓ Pozytywną cechą powszechnie stosowanych młynów kulowych jest stosunkowo prosta konstrukcja oraz duża wydajność. Niemniej, w przypadku gdy wymagane jest bardziej miękkie kruszywo, wydajność tych młynów może okazać się jedną z wad. Granicą efektywności mielenia jest dla tych kruszarek wymiar produktów większy od $60\mu\text{m}$. Młyny kulowe mogą być z powodzeniem zastępowane młynami wibracyjnymi. Są to urządzenia o niższym jednostkowym zużyciu energii i większej zawartości konstrukcji, mniejszej masie oraz wyższej jakości produktu mielenia.

Oczywiście istnieją jednak pewne ograniczenia przy stosowaniu tych młynów. Przede wszystkim są nieodpowiednie dla materiałów wrażliwych na ciepło i nie mielą zbyt twardych materiałów.

Również rozpatrując problemy konstrukcyjne oraz eksploatacyjne tych młynów, obok niewątpliwych zalet (takich jak: duża łatwość instalowania urządzeń przewodowych i odpowietrzających, uzyskanie pyłoszczelności w związku z tym, że komora młyna wibracyjnego nie obraca się, a wykonuje jedynie ruch drgający w małym zakresie) istnieją duże problemy, wynikające z wibracji. Młyny wibracyjne są bardziej skłonne do awarii. Stąd też młyny o wydajnościach większych od 5 t/h stwarzają znaczne problemy konstrukcyjne.

Typowy młyn wibracyjny składa się z następujących zespołów: komory roboczej wypełnionej mielnikami, układu resorów oraz napędu bezwładnościowego.

Komora robocza wykonana jest ze stali odpornej na ścieranie najczęściej w kształcie walczaka osadzonego na zespole resorów (sprężyn lub gum). W osi walczaka jest ułożony wał napędowy połączony z silnikiem poprzez elastyczne sprzęgło. Na obu końcach wału osadzone są koła zamachowe z zespołami mas niewyważonych. W wyniku obrotu masy niewyważonej komora wprawiana jest w drgania o częstotliwości i amplitudzie zależnej od prędkości obrotowej napędu. Wewnątrz komory roboczej znajdują się mielniki, które przejmują poprzez ściany komory drgania i kruszą materiał znajdujący się w młynie. Decydujący wpływ na mielenie mają przede wszystkim zderzanie się i wzajemny nacisk kul, a czynnikiem dodatkowym, poprawiającym skuteczność mielenia, jest ścieranie.

Mielenie wibracyjne jest procesem skomplikowanym. Na uzyskiwaną skuteczność wpływ ma bardzo wiele czynników. Stąd też badania tego procesu koncentrują się na ustaleniu zależności pomiędzy nimi i ich optymalizacją.

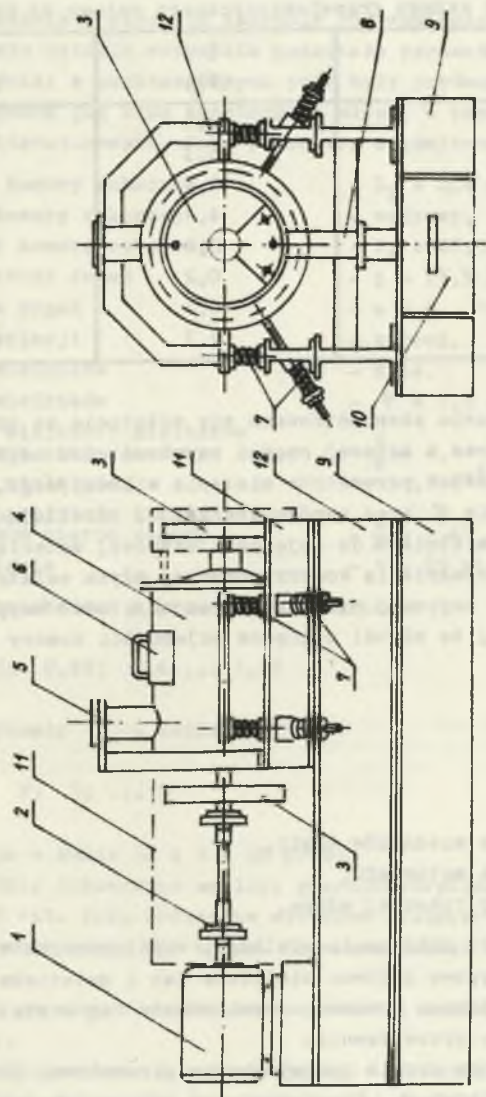
Do najistotniejszych parametrów, które w zasadniczy sposób wpływają na kinematykę mielenia w młynach wibracyjnych, należy zaliczyć:

- średnicę komory roboczej młyna,
- kształt komory roboczej,
- wielkość amplitudy drgań komory roboczej,
- częstotliwość drgań,
- formy oscylacji,
- kształt mielników,
- ciężar właściwy mielników,
- wielkość mielników,
- stosunek wielkości mielnika do maksymalnego ziarna nadawy,
- stosunek wielkości amplitudy drgań do maksymalnego ziarna nadawy,
- rodzaj materiału mielonego,
- zawartość wilgoci w materiale mielonym,
- czas mielenia,
- stopień wypełnienia komory roboczej,
- stosunek objętości usypowej mielników do objętości usypowej materiału mielonego.

Powyższe zestawienie świadczy dobitnie o złożoności tego procesu. Pamiętać bowiem należy, że o efektach uzyskanych w procesie mielenia nie decydują te parametry z osobna, w oderwaniu od innych. Należy poznać ich wzajemne powiązania i współzależności. Dotychczasowe badania tego procesu pozwalają już na ustalenie szeregu zależności, niemniej nie są one w dalszym ciągu jednoznacznie określone.

2. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Badania przeprowadzone w młynie wibracyjnym w skali półtechnicznej o konstrukcji pozwalającej na szeroki zakres prób (rys. 1). Młyn ten może być przystosowany zarówno do pracy ciągłej, jak i okresowej.



rys. 1. Laboratoryjny młyn wibracyjny

1 - silnik, 2 - sprzężo, 3 - masa niewyważona, 4 - komora robocza, 5 - króciec załadowczy, 6 - kłapa do wymiany mielników, 7 - rezbory, 8 - króciec wyładowczy, 9 - regle obciążające konstrukcję, 10 - zbiornik odbiorczy materiału, 11 - osłona zabezpieczająca, 12 - rama nosna

Jako nadawy użyto węgla z KWK "Janina". Węgiel skruszony został wstępnie w dezintegratorze prętowym do wielkości maksymalnych ziarn 3 mm. Wyniki składu ziarnowego tak otrzymanej nadawy zawarte są w tabeli 1.

Tabela 1

Wyniki analizy składu granulometrycznego nadawy do badań

Klasa ziarnowa (mm)	$\%$	$\sum \%$
+1,020	72,6	72,6
1,020-0,500	15,3	87,9
0,500-0,300	2,4	90,3
0,300-0,200	4,1	94,4
0,200-0,102	2,6	97,0
0,102-0,088	0,2	97,2
0,088-0,060	0,1	97,3
-0,060	2,7	100,0

W niniejszym opracowaniu skoncentrowano się wyłącznie na przeanalizowaniu współzależności oraz w dalszej części na określeniu najkorzystniejszych wartości jedynie dwóch parametrów mielenia wibracyjnego, mianowicie współczynnika wypełnienia ψ oraz współczynnika q , określającego stosunek objętości usypowej mielników do objętości usypowej materiału.

Przez współczynnik wypełnienia komory roboczej młyna należy rozumieć stosunek sumy objętości usypowej mielników oraz objętości usypowej materiału (nadawy kierowanej do młyna) względem pojemności komory roboczej. Można zatem zapisać:

$$\psi = \frac{V_k + V_M}{V_B} \quad (1)$$

gdzie:

V_k - objętość usypowa mielników (kul),

V_M - objętość usypowa materiału,

V_B - pojemność komory roboczej młyna.

W związku z tym, że do obliczania wielkości współczynnika wypełnienia ψ brane są objętości usypowe zarówno mielników jak i materiału, może on przekraczać wartość 1. Ziarna bowiem po wymieszaniu się z mielnikami wypełniają wszystkie wolne przestrzenie.

Współczynnik q , będący drugim rozpatrywanym parametrem, jest ściśle powiązany ze współczynnikiem ψ . Przedstawia on następującą zależność:

$$q = \frac{V_k}{V_M} \quad (2)$$

gdzie wszystkie oznaczenia jak we wzorze (1).

Stąd

$$q = \frac{V_M(q + 1)}{V_B}. \quad (3)$$

W celu przebadania w szerokim zakresie obu wymienionych wyżej współczynników, należało ustalić wszystkie pozostałe parametry mielenia tak, aby uzyskiwane wyniki z poszczególnych prób były porównywalne. Część z nich była uwarunkowana już samą konstrukcją młyna, a część ustalono na podstawie danych literaturowych. Jako parametry niezmiennie przyjęto zatem:

- | | |
|---|--|
| 1) średnicę komory roboczej | - $D_B = 0,4 \text{ m}$, |
| 2) kształt komory roboczej | - walcowy, |
| 3) pojemność komory roboczej | - $V_B = 47,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$, |
| 4) częstotliwość drgań | - $p = 23,8 \text{ Hz}$, |
| 5) amplituda drgań | - $a = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$, |
| 6) forma oscylacji | - kołowa, |
| 7) kształt mielników | - kule, |
| 8) gęstość mielników | - $\rho = 7,8 \cdot 10^6 \text{ g/m}^3$, |
| 9) stosunek wielkości mielników do maksimum ziarna nadawy | - $\frac{D}{d} = 4$, |
| 10) wielkość mielników | - $12 \cdot 10^{-3} \text{ m}$, |
| 11) stosunek amplitudy drgań do maksimum ziarna nadawy | - $\frac{a}{d} = 1,67$, |
| 12) czas mielenia | - $t = 20 \text{ min}$. |

Parametr ψ przebadano w przedziale wielkości:

$$= 0,5; 0,55; 0,6 \dots 1,05$$

Natomiast parametr q w zakresie:

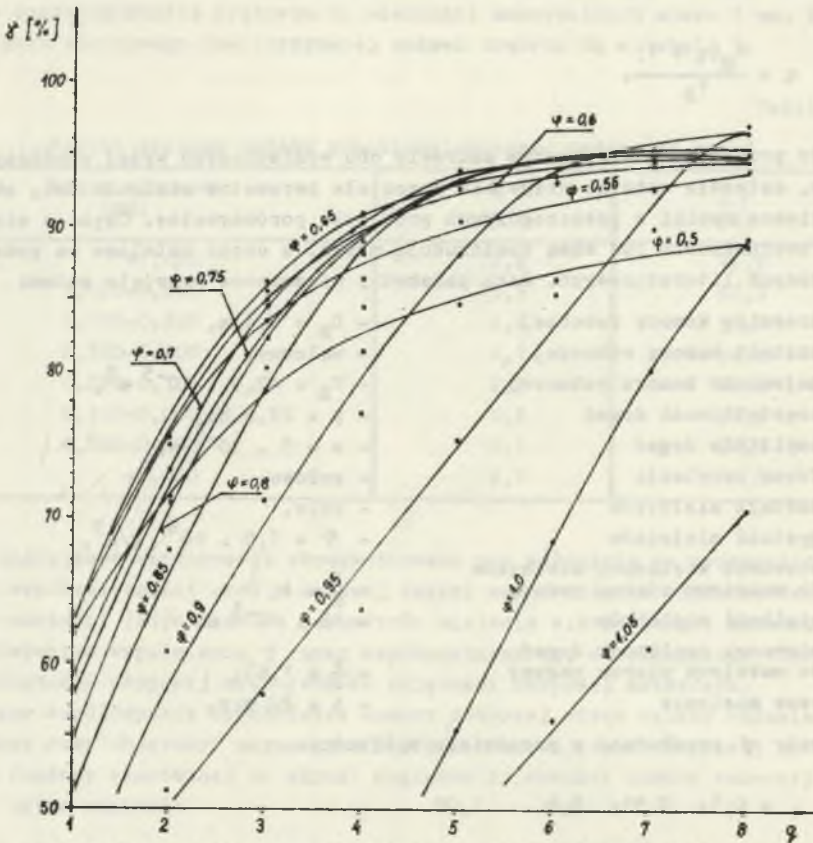
$$q = 1; 2; 3; \dots 8$$

Wykonano zatem w sumie $12 \times 8 = 96$ prób.

Po każdej próbie dokonywano analizę granulometryczną uzyskanego produktu na zestawie 7 sit. Jako kryterium wynikowe skuteczności mielenia przyjęto uzysk granulometryczny $\chi < 60 \mu\text{m}$. Uzyskane wyniki zestawiono w tabelach 2-5.

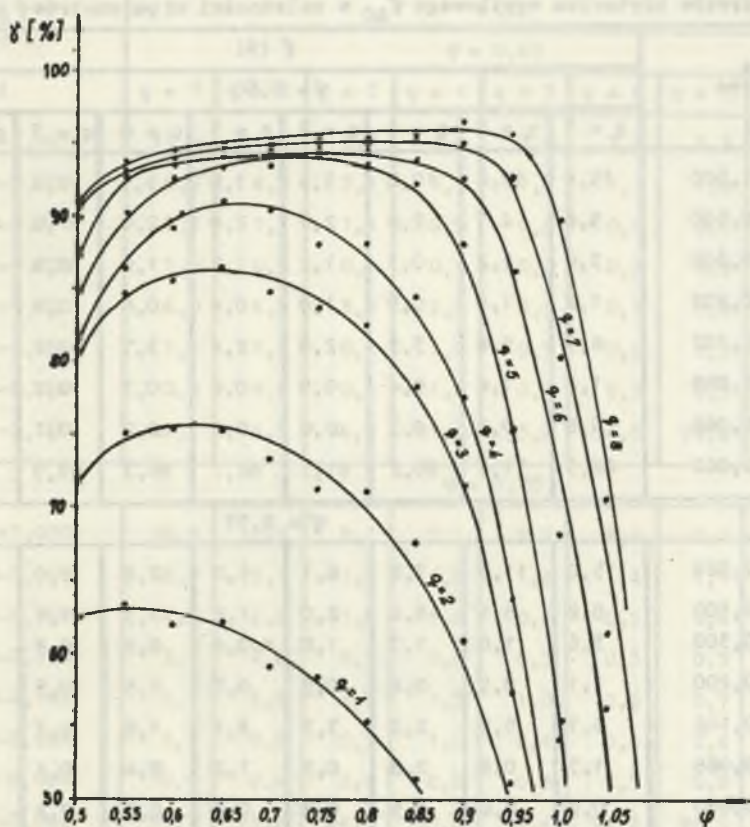
Analizując otrzymane wyniki można zauważyć szereg powtarzających się prawidłowości.

Wzrost współczynnika q określającego stosunek objętościowy mielników do mielonego materiału, powoduje wzrost wychodu najdrobniejszej klasy ziarnowej. Zilustrowano to na wykresie (rys. 2), na którym każda krzywa jest przyporządkowana jednej wielkości współczynnika wypełnienia ψ . Każda z tych krzywych wzrasta do pewnej swojej asymptoty. Najbardziej stro-



Rys. 2. Uzyski granulometryczne parametru wynikowego $\psi < 60\mu\text{m}$ w zależności od współczynnika q określającego stosunek objętości usypowej mieleników względem objętości usypowej materiału dla poszczególnych wartości współczynnika wypełnienia

me najszybciej zbliżają się do swych asymptot. Krzywe dla pośrednich wartości wypełnienia, tzn. z przedziału $\psi = 0,65-0,9$, osiągają swoje najkorzystniejsze wyniki już dla wartości współczynnika $q > 3$. Kolejny wykres (rys. 3) ilustruje natomiast uzyskane wyniki rozpatrywane pod kątem stopnia wypełnienia komory roboczej ψ . Każda z krzywych przyporządkowana jest tu jednej wartości współczynnika q . Wszystkie krzywe osiągają pewne maksima. Nie można na nich precyzyjnie określić najkorzystniejszego wypełnienia, niemniej można wyznaczyć graficznie pewne przedziały, w których każda krzywa osiąga swe najwyższe wartości. Zaznaczając na każdej krzywej taki przedział, można zauważyć, że ze wzrostem współczynnika q przesuwa się on z mniejszych wartości wypełnienia na wartości wyższe. Dla przykładu dla wartości $q = 1$ mieści się on w granicach 0,5-0,65; dla $q = 4$ w granicach 0,6-0,75 a dla $q = 8$ w granicach 0,65-0,95.



Rys. 3. Uzyski granulometryczne parametru wynikowego $\delta < 60 \mu\text{m}$ w zależności od współczynnika wypełnienia ψ dla poszczególnych wartości współczynnika q

Ważniejszą stroną przeprowadzonych badań jest jednak nie tyle analiza wzajemnych powiązań obu rozpatrywanych parametrów, ale wyznaczenie ich najkorzystniejszych wartości.

W tym celu postanowiono zestawzić na jednym wykresie oba parametry, w zależności od wydajności młyna. Wiadomo, że zarówno współczynnik wypełnienia ψ jak i współczynnik q mają ścisłe powiązania z wydajnością. Zmieniając bowiem współczynnik ψ przy zachowaniu stałego współczynnika q oraz podobnie zmieniając współczynnik q przy zachowaniu stałego poziomu współczynnika ψ , zmienia nam się wydajność młyna.

Aby to osiągnąć, tzn. aby na jednym wykresie w układzie ψ, q przedstawić najkorzystniejsze uzyski granulometryczne w zależności od wydajności młyna, posłużono się następującą metodą.

Tabela 2

Wyniki uzysków kryterium wynikowego δ_{60} w zależności od parametrów ψ oraz q

Klasa ziarnowa (mm)	δ (%)							
	$\psi = 0,50$							
	q = 1	q = 2	q = 3	q = 4	q = 5	q = 6	q = 7	q = 8
+1,020	15,4	12,6	10,6	9,5	7,8	5,9	4,4	4,1
1,020-0,500	5,6	4,7	2,8	2,7	2,0	2,0	1,6	1,3
0,500-0,300	3,6	2,2	0,3	1,2	1,7	1,0	0,8	0,8
0,300-0,200	1,2	1,0	0,9	1,0	0,4	0,6	0,8	0,8
0,200-0,102	6,9	5,6	3,5	2,8	2,4	3,7	2,2	2,2
0,102-0,088	1,2	1,6	0,4	0,9	0,6	0,3	0,2	0,2
0,088-0,060	0,8	0,9	0,3	0,6	0,4	0,2	0,1	0,1
-0,060	62,3	71,4	80,2	81,3	84,7	86,3	89,9	89,9
$\psi = 0,55$								
+1,020	15,0	11,3	7,8	6,1	5,0	2,8	3,0	2,4
1,020-0,500	8,2	5,1	2,0	2,0	1,8	1,3	1,9	1,8
0,500-0,300	3,6	1,0	1,7	1,0	0,9	0,5	0,8	0,6
0,300-0,200	1,1	0,9	0,4	0,5	0,7	0,5	0,5	0,4
0,200-0,102	6,7	5,2	2,3	3,3	3,1	1,0	0,7	0,7
0,102-0,088	1,3	0,8	0,8	0,5	1,2	0,4	0,4	0,6
0,088-0,060	0,8	0,6	0,5	0,3	0,8	0,3	0,2	0,3
-0,060	63,3	75,1	84,7	86,3	90,3	93,2	92,5	93,8
$\psi = 0,60$								
+1,020	15,5	11,3	6,4	4,2	3,1	2,9	2,5	2,4
1,020-0,500	8,4	5,2	2,1	1,7	1,6	1,3	1,2	1,2
0,500-0,300	3,8	1,2	0,9	0,8	0,8	0,6	0,5	0,5
0,300-0,200	1,4	0,9	0,5	0,7	0,5	0,3	0,3	0,3
0,200-0,102	6,7	4,5	3,8	1,9	0,8	0,9	0,7	0,7
0,102-0,088	1,4	0,8	0,4	0,9	0,3	0,4	0,4	0,3
0,088-0,060	0,8	0,6	0,4	0,8	0,2	0,3	0,3	0,3
-0,060	62,0	75,5	85,5	89,0	92,7	93,3	94,1	94,3

Tabela 3

Wyniki uzysków kryterium wynikowego δ_{60} w zależności od parametrów ψ oraz q

Klasa ziarnowa (mm)	δ (%)							
	$\psi = 0,65$							
	q = 1	q = 2	q = 3	q = 4	q = 5	q = 6	q = 7	q = 8
+1,020	15,1	11,5	5,7	4,6	3,0	2,5	2,3	2,2
1,020-0,500	8,9	4,9	2,1	1,9	1,1	1,1	1,2	1,1
0,500-0,300	3,7	1,1	1,1	0,9	0,5	0,5	0,4	0,4
0,300-0,200	1,5	0,9	0,6	0,9	0,4	0,3	0,3	0,4
0,200-0,102	6,9	4,3	3,6	2,5	0,8	0,7	0,6	0,6
0,102-0,088	1,2	1,2	0,3	1,0	0,5	0,4	0,3	0,3
0,088-0,060	0,8	0,8	0,2	1,0	0,3	0,3	0,3	0,3
-0,060	62,1	75,3	86,2	91,0	93,2	94,0	94,6	94,7
$\psi = 0,70$								
+1,020	16,8	12,9	8,1	5,1	2,7	2,2	2,4	2,3
1,020-0,500	8,7	5,1	1,9	1,8	1,4	1,4	1,1	1,2
0,500-0,300	4,6	2,2	1,6	1,0	0,5	0,5	0,4	0,5
0,300-0,200	3,5	0,8	0,7	0,6	0,3	0,3	0,3	0,3
0,200-0,102	5,7	4,8	2,5	3,3	1,0	0,6	0,7	0,6
0,102-0,088	1,0	0,6	0,5	1,0	0,4	0,4	0,4	0,3
0,088-0,060	0,6	0,4	0,4	0,8	0,3	0,3	0,2	0,2
-0,060	59,1	73,2	84,7	90,2	93,4	94,3	94,5	94,6
$\psi = 0,75$								
+1,020	18,1	12,8	9,9	5,2	2,5	2,4	2,2	1,8
1,020-0,500	7,9	4,6	1,7	1,6	1,1	1,1	1,3	1,1
0,500-0,300	4,2	2,3	1,3	0,9	0,5	0,6	0,6	0,6
0,300-0,200	3,3	1,1	0,9	0,7	0,3	0,3	0,3	0,3
0,200-0,102	7,0	5,8	1,5	2,2	0,6	0,7	0,6	0,5
0,102-0,088	0,8	1,4	0,7	0,9	0,4	0,3	0,4	0,4
0,088-0,060	0,4	0,8	0,4	0,5	0,3	0,3	0,3	0,2
-0,060	58,3	71,2	83,6	88,0	94,1	94,1	94,3	95,1

Tabela 4
Wyniki uzysków kryterium wynikowego γ_{60} w zależności od parametrów ψ oraz q

Klasa ziarnowa (mm)	γ (%)							
	$\psi = 0,80$							
	q = 1	q = 2	q = 3	q = 4	q = 5	q = 6	q = 7	q = 8
+1,020	22,3	13,0	9,3	5,1	2,9	2,2	2,0	1,9
1,020-0,500	9,7	5,5	2,7	1,6	1,3	1,4	1,1	1,1
0,500-0,300	4,5	3,3	1,2	0,9	0,5	0,6	0,5	0,5
0,300-0,200	3,2	1,2	0,8	0,6	0,4	0,3	0,4	0,4
0,200-0,102	4,3	4,8	2,4	2,1	0,9	0,6	0,6	0,6
0,102-0,088	0,4	0,8	0,8	0,9	0,5	0,3	0,3	0,3
0,088-0,060	0,3	0,4	0,4	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3
-0,060	55,3	71,1	82,4	88,1	93,2	94,3	94,8	94,9
$\psi = 0,85$								
+1,020	25,1	14,7	10,9	8,3	3,3	2,6	1,5	1,3
1,020-0,500	9,9	7,7	3,1	1,9	1,6	1,2	0,7	0,7
0,500-0,300	5,1	4,2	2,4	1,7	0,9	0,5	0,4	0,4
0,300-0,200	3,3	1,3	0,8	0,6	0,5	0,3	0,3	0,3
0,200-0,102	4,5	3,8	3,9	2,6	0,9	0,7	0,7	0,7
0,102-0,088	0,5	0,5	0,4	0,6	0,4	0,4	0,3	0,3
0,088-0,060	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3
-0,060	51,3	67,5	78,2	84,5	92,1	93,8	95,5	95,6
$\psi = 0,90$								
+1,020	33,4	16,5	12,7	10,9	5,5	3,2	1,7	0,7
1,020-0,500	9,9	8,8	5,3	2,9	1,6	1,4	1,1	0,5
0,500-0,300	5,4	4,3	3,2	2,1	0,8	0,8	0,6	0,6
0,300-0,200	3,3	2,9	1,1	0,9	0,5	0,4	0,3	0,3
0,200-0,102	4,8	5,8	5,3	5,0	2,1	0,9	0,6	0,5
0,102-0,088	0,4	0,5	0,6	0,5	0,7	0,3	0,3	0,3
0,088-0,060	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,2	0,2	0,2
-0,060	52,5	60,9	71,5	77,4	88,1	92,8	95,0	96,9

Tabela 5

Wyniki uzysków kryterium wynikowego δ_{60} w zależności od parametrów ψ oraz q

Klasa ziarnowa (mm)	δ (%)							
	$\psi = 0,95$							
	q = 1	q = 2	q = 3	q = 4	q = 5	q = 6	q = 7	q = 8
+1,020	40,3	25,7	16,6	15,5	11,5	6,5	3,2	1,2
1,020-0,500	10,7	9,8	9,3	9,7	5,1	2,1	1,6	0,6
0,500-0,300	5,3	5,3	7,6	3,7	3,2	1,0	0,8	0,4
0,300-0,200	3,5	3,5	3,1	2,3	0,9	0,6	0,5	0,3
0,200-0,102	4,0	3,9	4,7	4,2	3,4	3,7	0,7	0,6
0,102-0,088	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3
0,088-0,060	0,2	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3
-0,060	35,6	51,1	57,8	63,8	75,2	85,3	92,6	95,9
$\psi = 1,00$								
+1,020	45,0	41,0	33,2	29,9	22,4	14,3	10,5	4,6
1,020-0,500	12,7	8,4	9,8	8,7	9,6	7,8	2,9	1,6
0,500-0,300	6,1	7,1	5,5	5,9	5,6	4,4	1,3	1,0
0,300-0,200	3,3	3,2	3,4	3,1	2,2	1,2	0,9	0,6
0,200-0,102	4,7	4,5	5,2	4,7	4,2	3,5	3,5	1,9
0,102-0,088	0,4	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3
0,088-0,060	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
-0,060	27,5	35,0	42,1	46,9	55,3	68,1	80,2	89,7
$\psi = 1,05$								
+1,020	55,1	50,0	44,6	40,7	30,1	20,9	16,7	13,7
1,020-0,500	13,8	14,1	14,4	12,6	9,3	10,3	9,5	4,1
0,500-0,300	7,1	7,3	6,2	6,7	6,9	5,7	4,9	3,5
0,300-0,200	2,5	2,3	3,1	3,0	2,7	2,1	2,7	2,9
0,200-0,102	3,5	3,4	3,5	3,9	3,6	3,9	4,3	4,2
0,102-0,088	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,4	0,5
0,088-0,060	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4
-0,060	17,5	22,4	27,6	35,4	46,7	56,3	61,2	70,7

Przyjęto, że całkowitą pojemność młyna można oznaczyć wskaźnikiem $V_B=1$. Ponadto na podstawie założenia, że wszystkie próby dokonywane były w tym samym czasie (czas trwania każdej próby był równy $t = 20$ min.) przyjęto, że stopień wypełnienia komory roboczej materiałem może określać nam bezpośrednio wydajność młyna. Wielkość tę nazwano wskaźnikiem wydajności. Im wyższa jest wartość wskaźnika wydajności, tym wyższa jest wydajność młyna.

Oto przykład obliczania wskaźnika wydajności dla dowolnie wybranych wartości współczynników ψ oraz q .

$$\psi = 0,5; \quad q = 4$$

$$\psi = \frac{V_m + V_k}{V_B} \quad \text{gdzie} \quad V_B = 1$$

oraz

$$q = \frac{V_k}{V_m}$$

stąd

$$q = \frac{V_m}{V_m}$$

$$V_m = Q = \frac{0,5}{4+1} = 0,1$$

Q - wskaźnik wydajności.

W podobny sposób obliczono wskaźniki wydajności dla wszystkich pozostałych par wartości współczynników ψ i q . Zestawiono je w tabeli 6.

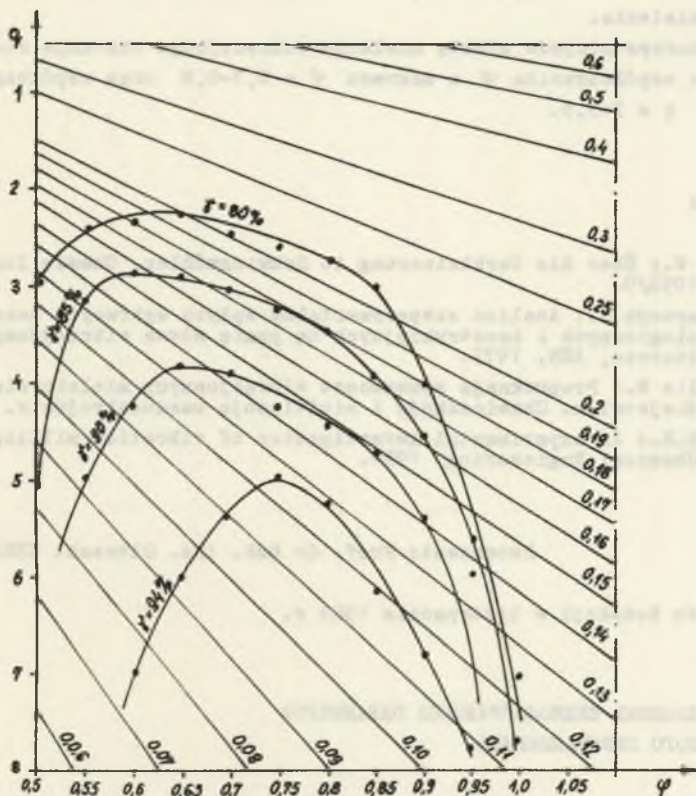
Tabela 6

Wartości wskaźnika wydajności młyna w zależności od parametrów ψ oraz q

q	1	2	3	4	5	6	7	8
0,50	0,250	0,167	0,125	0,100	0,083	0,071	0,063	0,056
0,55	0,275	0,153	0,138	0,110	0,092	0,079	0,069	0,061
0,60	0,300	0,200	0,150	0,120	0,100	0,086	0,075	0,067
0,65	0,325	0,217	0,163	0,130	0,108	0,093	0,081	0,072
0,70	0,350	0,233	0,175	0,140	0,117	0,100	0,088	0,078
0,75	0,375	0,250	0,185	0,150	0,125	0,107	0,094	0,083
0,80	0,400	0,267	0,200	0,160	0,133	0,114	0,100	0,089
0,85	0,425	0,283	0,213	0,170	0,142	0,121	0,106	0,094
0,90	0,450	0,300	0,225	0,180	0,150	0,129	0,113	0,100
0,95	0,475	0,317	0,238	0,190	0,158	0,136	0,119	0,106
1,00	0,500	0,333	0,250	0,200	0,167	0,143	0,125	0,111
1,05	0,525	0,350	0,263	0,210	0,175	0,150	0,131	0,117

Uzyskane wyniki pozwalają na wykreślenie warstwic wydajności w układzie ψ, q . Nanosząc teraz na wykres również wielkości uzysków granulometrycznych, możemy dokładnie określić najkorzystniejsze wielkości badanych parametrów.

Na wykresie (rys. 4) przedstawiono przykładowo cztery krzywe, odpowiadające odpowiednio czterem wartościom uzysku granulometrycznego dla wybranego kryterium wynikowego, tzn. uzysku $\delta < 60 \mu\text{m}$. I tak dla uzysku granulometrycznego, odpowiadającego $\delta_{60} = 85\%$, najkorzystniejsze będą: współczynnik $q = 3,0-3,5$ przy współczynniku wypełnienia z zakresu $\psi = 0,7-0,9$.



Rys. 4. Uzyski granulometryczne parametru wynikowego $\delta < 60 \mu\text{m}$ w układzie ψ, q w zestawieniu ze wskaźnikami wydajności młyna wibracyjnego

Rozpatrując problem od strony skuteczności mielenia, nie są to oczywiście wyniki określające nam najkorzystniejsze warunki pracy; niemniej rozpatrując ten problem od strony efektywności mielenia, a co się z tym wiąże energochłonności tego procesu, są to wyniki umożliwiające stworzenie najkorzystniejszych warunków pracy młyna wibracyjnego.

3. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków:

1. Współczynnik wypełnienia φ będący sumą objętości usypowej mielników i objętości usypowej materiału, wpływa w sposób istotny na kinematykę procesu mielenia. Zbyt małe wypełnienie oraz przepełnienie komory roboczej ujemnie wpływa na skuteczność procesu mielenia wibracyjnego.

2. Wzrost wartości współczynnika q , będącego stosunkiem objętości usypowej mielników względem objętości usypowej materiału, polepsza skuteczność mielenia.

3. Najkorzystniejsze efekty mielenia wibracyjnego uzyskuje się przy zastosowaniu współczynnika φ z zakresu $\varphi = 0,7-0,9$ oraz współczynnika q z zakresu $q = 3-3,5$.

LITERATURA

- [1] Batel W.: Über die Zerkleinerung in Schwingmühlen. Chemie Ing. Technik, 1958/9.
- [2] Kaczmarczyk S.: Analiza eksperymentalna wpływu wybranych parametrów technologicznych i konstrukcyjnych na pracę młyna wibracyjnego. Praca doktorska, AGH, 1977.
- [3] Morgulis M.: Propusknaja sposobnost wibracionnych mielnic nieprerывного deistwijsa. Chemiceskoje i nieftionoje masinostrojenie. 1970/3.
- [4] Rose H.E.: An experimental investigation of vibration milling. British Chemical Engineering, 1959.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Olbracht ZBRANIBORSKI

Wpłynęło do Redakcji w listopadzie 1984 r.

АНАЛИЗ ВЫБРАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИОННОГО ПЕРЕМАЛЬВАНИЯ

Р е з ю м е

В работе представлены результаты исследований, проведённых в вибрационной мельнице. Целью исследований был анализ влияния режима работы мельницы на эффективность процесса перемолки.

AN ANALYSIS OF THE SELECTED TECHNOLOGICAL
PARAMETERS OF VIBRO-MILLING

S u m m a r y

In the paper are presented some results of tests carried out in a vibrating mill which aimed at analyzing the effect of the selected parameters of the mill's performance on the effectiveness of the milling process.