



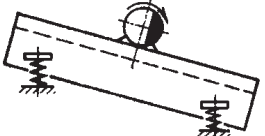
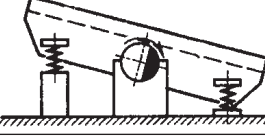
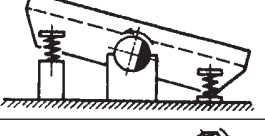
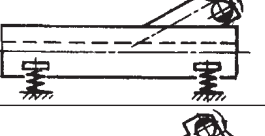
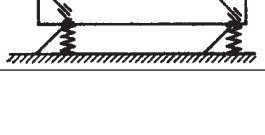
Przesiewanie kruszyw mineralnych

Artykuł jest próbą dokonania pewnych uogólnień procesowych na temat przesiewania kruszyw mineralnych na sitach przesiewaczy wibracyjnych o ruchu liniowym i krzywoliniowym. Praca bazuje głównie na materiale doświadczalnym, zebrany w praktyce przemysłowej przez różnych autorów i opracowany w sposób zbiorczy dla przypadków przesiewania przemysłowego kruszyw mineralnych. W artykule przedstawiono również uproszczoną metodę projektowania powierzchni sitowych w przesiewaczach oraz zaprezentowano parametry przesiewaczy przeznaczonych dla klasyfikacji kruszyw i dane procesowe dla przesiewania kruszyw mineralnych.

Bez kruszyw mineralnych nie może się obyć gospodarka narodowa. W ich produkcji istotne są procesy klasyfikacji ziarnowej, a wśród nich przesiewanie. Niniejsza praca poświęcona jest omówieniu pewnych zagadnień praktycznych związanych właśnie z procesem przesiewania, realizowanym w przemyśle kruszyw mineralnych.

W tabeli 1 przedstawiono najbardziej rozpowszechnione w przemyśle kruszyw schematy maszyn przesiewających [3, 4]. W kolumnie pierwszej znajdujemy schematyczny układ przesiewacza, a obok tory ruchu drgającego rzeszota. W następnej kolumnie zaprezentowano częstość drgań maszyny w min^{-1} , a obok amplitudy drgań w mm stosowane w danym układzie. W ostatniej kolumnie zapisano efektywność (sprawność) przesiewania E, którą jako wielkość maksymalną możemy uzyskać w danym typie przesiewacza. Przedstawiona systematyka nie obejmuje najnowocześniejszych maszyn, opracowanych w ostatnich kilkunastu latach.

Tab. 1. Schematy przesiewaczy do kruszyw i ich charakterystyki

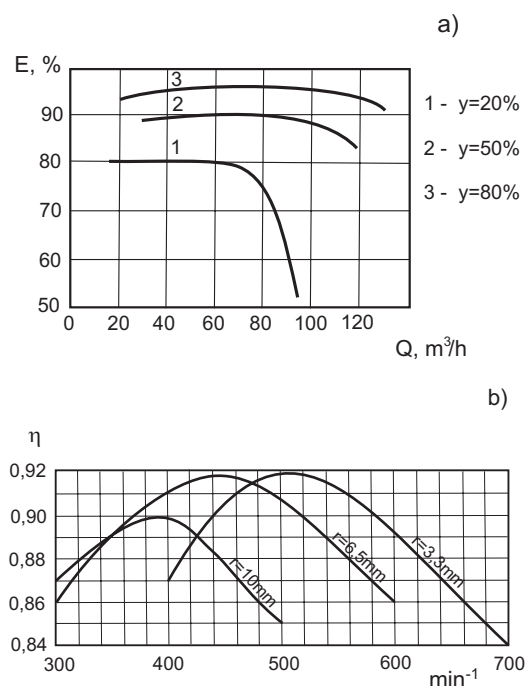
	n min^{-1}	A mm	E %
	800, 1200	4,5 3	86,5
	800, 1200	4,5 3	93,1
	1200	3	85
	1200	3	88,2
	800, 1400	4,5 3	88,4
	800, 1400	4,5 3	95
	750	10	95
	750	10	89,9
	820	7,5	97,2

Autor niniejszej pracy [5] posługuje się dwoma pojęciami tożsamymi, określającymi jakość procesu przesiewania. Pierwsze to sprawność η , podawana jako liczba niemianowana, a druga to efektywność E, wyrażana w %.

Ocenia się, iż najmniej korzystnym ruchem drgającym, z punktu widzenia przebiegu procesu przesiewania, jest ruch liniowy. Lepsze rozwiązanie to wprowadzenie sita w drgania kołowe lub bliskie kołowym. Za najwłaściwszy uznaje się tor eliptyczny lub owalny. Zastosowanie takiego ruchu drgającego prowadzi do najintensywniejszej segregacji warstwy na sicie i wobec tego do najwyższych parametrów procesowych. Mówiąc o charakterystykach procesowych mamy na myśli wydajność jednostkową $[\text{t/h} \cdot \text{m}^2]$ i towarzyszącą jej sprawność odsiewu [-].

O procesie przesiewania kruszyw

Na rys. 1 zostały przedstawione uogólnione dane procesowe właściwe dla przesiewacza kruszyw [1, 2] na różnych przesiewaczach (tab. 1). Rys. 1a obrazuje zależność pomiędzy wydajnością nadawy w m^3/h i sprawnością (efektywnością) przesiewania dla różnych zawartości klasy dolnej w materiale przesiewanym. Natomiast na rys. 1b pokazano bezwymiarową sprawność odsiewu η w zależności od częstości obrotowej działania wału napędowego w obr./min , dla różnych amplitud $r[\text{mm}]$. Oba wykresy są uogólnieniem wyników wieloletnich badań autorów radzieckich.

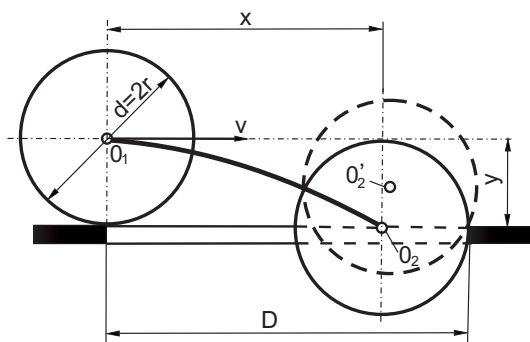


Rys. 1. Charakterystyki procesowe w przesiewaniu kruszyw

W przypadku przesiewania kruszyw ważną rolę odgrywają wzajemne relacje pomiędzy wymiarami ziaren i otworów sitowych oraz prędkością ruchu nadawy wzdłuż sita. Na rys. 2 pokazano wpadanie ziarna (uznanego modelowo za kulę) o średnicy zastępczej $d = 2r$ w otwór sitowy kwadratowy, o boku oczka D. Graniczna prędkość ziarna, które będzie jeszcze wpadać do otworu sitowego, wynosi

$$U = 73,5\sqrt{d} \quad [\text{mm/s}] \quad (1)$$

gdymiar ziarna wyrazimy również w mm.



Rys. 2. Wpływ prędkości po sicie na przejście ziarna przez otwór sitowy

Również wzajemna relacja pomiędzy wymiarami ziarna i otworu sitowego ma znaczenie z racji blokowania się ziaren w otworach sita. Oczywiście, że im większy wymiar ziarna względem otworu sita, tym zablokowanie staje się coraz mniej prawdopodobne. Na rys. 3 pokazano schematycznie otwór sita o wymiarze $D = 2R$ i nad nim ziarno w kształcie kuli o średnicy zastępczej $d = 2r$. Sito posiada przyspieszenie a (wzdłuż powierzchni sita), a na ziarno działa siła bezwładności $P_u = m \cdot a$. Warunkiem nieblokowania się ziaren w otworach sitowych jest spełnienie nierówności

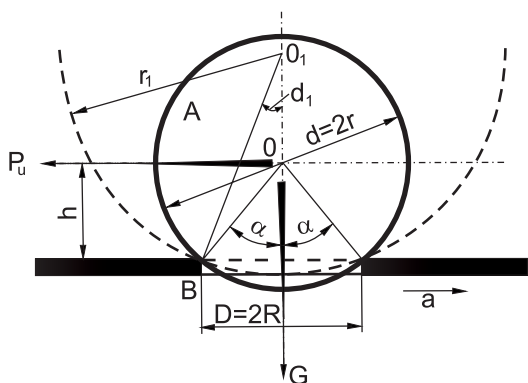
$$\alpha \leq \varphi \quad (2)$$

gdzie $\tan \varphi = f$, a f jest współczynnikiem tarcia ziarna (mieszalniny ziaren) o powierzchnię sita. Dla kruszyw mineralnych można przyjąć $f = 0,4$. Wtedy warunek nieblokowania można zapisać

$$\frac{R}{r} \leq \frac{f}{\sqrt{1+f^2}} \quad (3)$$

a dla $f = 0,4$ mamy

$$\frac{R}{r} \leq 0,37 \quad (4)$$



Rys. 3. Blokowanie ruchu ziarna przez otwór sitowy

Metoda projektowania powierzchni sitowych

Metoda została opracowana dla kruszyw mineralnych i składa się z dwóch etapów [6]. W pierwszym określamy oczekiwaną efektywność przesiewania

$$E = e K_1 K_2 K_3 \quad (5)$$

gdzie e jest efektywnością podstawową właściwą dla przeciętnych warunków przesiewania w %. Wynosi ona:

- przesiewacz nachylony ze zgodnym z kierunkiem ruchu materiału ruchem obrotowym wału napędowego – 87%,
- przesiewacz nachylony z kierunkiem przeciwnym ruchu materiału do ruchu obrotowego wału napędowego – 92%,
- przesiewacz poziomy o ruchu liniowym – 90%.

K_1 jest współczynnikiem uwzględniającym kąt nachylenia sita do poziomu. Gdy $\alpha = 0$, to $K_1 = 1$. Współczynnik ten wyznaczamy następująco:

α [°]	12	15	18	21	24
K_1	1,03	1,02	1,00	0,96	0,90

K_2 jest współczynnikiem uwzględniającym zawartość klasy dolnej w nadawie i wynosi:

y [%]	20	30	40	50	60	70	80
K_2	0,86	0,90	0,94	0,97	1,00	1,015	1,02

K_3 uwzględnia zawartość y ziaren klasy dolnej o wymiarze mniejszym niż połowa wymiaru otworu sitowego w nadawie i wynosi:

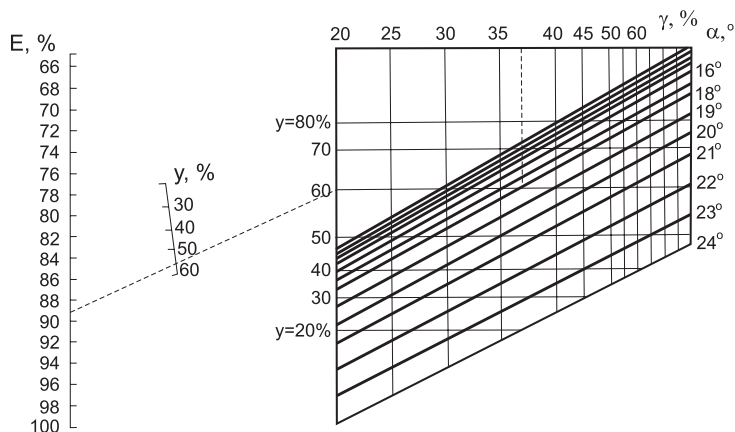
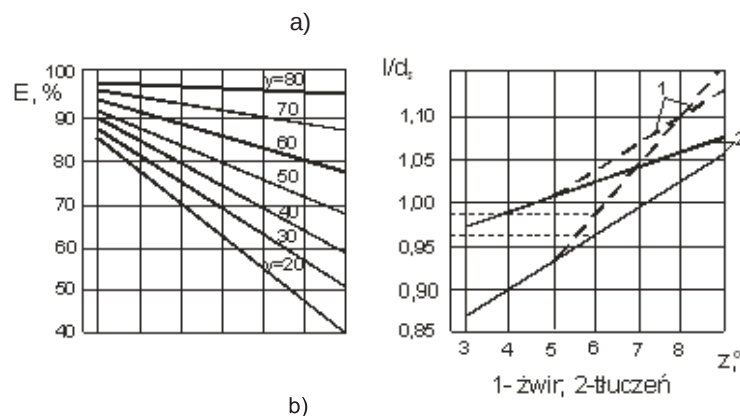
y [%]	20	30	40	50	60	70	80
K_3	0,90	0,94	0,98	1,00	1,01	1,02	1,03

W warunkach przesiewania przemysłowego dochodzi do częstych zmian sit, w zależności od wymaganych granic podziałowych, koniecznych do uzyskania. Dlatego konieczne jest doświadczalne wyznaczanie efektywności (sprawności) odsiewu metodą przesiewania kontrolnego. W tym celu posługujemy się następującym wzorem:

$$E = \left[y - \frac{M - M_1}{M_1} (100 - y) \right] 100 \quad [\%] \quad (6)$$

gdzie M jest masą pobranej próbki z produktu nadsitowego, zaś M_1 to masa tej samej próbki po odsianiu z niej w warunkach laboratoryjnych ziaren klasy dolnej; „ y ” oznacza zawartość klasy dolnej w nadawie.

Rys. 4
a) Nomogram do wyznaczenia optymalnego stosunku wielkości oczka kwadratowego sita do granicy podziałowej
b) Nomogram do wyznaczenia optymalnego kąta nachylenia sita



Na rys. 4a znajduje się nomogram służący do wyznaczenia stosunku wielkości kwadratowego oczka sita [I] do granicy podziałowej przesiewania [d_s], a więc I/d_s . Posługując się wyznaczoną uprzednio efektywnością przesiewania $E[\%]$ i zawartością klasy dolnej w nadawie $y[\%]$ wyznaczamy wzajemne zanieczyszczenie uzyskiwanych produktów przesiewania $Z[\%]$ i szukany stosunek I/d_s .

Na rys. 4b mamy kolejny nomogram przeznaczony do określenia optymalnego kąta nachylenia sita do poziomu. Zamieszczony nomogram wiąże ze sobą następujące wielkości, ważne dla procesu przesiewania kruszyw: efektywność $E[\%]$, zawartość klasy dolnej w nadawie $y[\%]$, kąt nachylenia sita $\alpha[1^\circ]$ i zawartość w nadawie ziaren mniejszych swym wymiarem od połowy wymiaru otworu sitowego $1/2I[\%]$. Odczyt dla przykładowych danych pokazano linią przerywaną.

Dobór wielkości oczka sita w zależności od założonej granicy podziałowej można wykonać na podstawie poniższych danych.

Granica podziałowa, mm	5	10	20	40	70
Wymiar otworu sita, mm					
• przesiewanie żwiru					
otwory kwadratowe	5	10	18	37	65
otwory okrągłe	6	12	24	47	82
• przesiewanie tłucznia					
otwory kwadratowe	5	10	20	40	70
otwory okrągłe	6	12	24	47	82

Wydajność procesową przesiewacza $Q[m^3/h]$ wyznaczamy wg wzoru [1, 2, 6]:

$$Q = m q F K_1 K_2 K_3 \quad (7)$$

gdzie m jest współczynnikiem, który w sposób uogólniony uwzględnia takie czynniki jak: nierównomierność zasilania przesiewacza nadawą, skład ziarnowy nadawy, kształty ziaren i typ przesiewacza:

Typ przesiewacza				poziomy						nachylony					
Materiał	żwir			tłuczeń			żwir			tłuczeń					
m	0,8			0,65			0,60			0,50					
gdzie $q[m^3/m^2 \cdot h]$ jest jednostkową wydajnością procesu przesiewania kruszyw:															
wymiar															
otworu sita	5	7	10	14	16	18	20	25	35	37	40	42	65	70	
(kwadratowego)															
$Q[m^3/m^2 \cdot h]$	12	16	23	32	37	40	43	46	56	60	62	64	80	82	
F jest powierzchnią sita $[m^2]$, natomiast K_1 to współczynnik poprawkowy uwzględniający zawartość klasy dolnej $y[\%]$ w nadawie:															
$y[\%]$	10	20	30	40	50	60	70	80	90						
K_1	0,58	0,66	0,76	0,84	0,92	1,0	1,08	1,17	1,25						
K_2 jest współczynnikiem uwzględniającym procentową zawartość w nadawie ziaren o wymiarze mniejszym od $1/2I$ (wymiaru oczka sita):															
$y[\%]$	10	20	30	40	50	60	70	80	90						
K_2	0,63	0,72	0,82	0,91	1,0	1,09	1,18	1,28	1,37						
K_3 jest współczynnikiem uwzględniającym kąt nachylenia sita:															
$\alpha[1^\circ]$	6	8	10	12	14	15	16	17	18	20	22	24			
K_3	0,29	0,39	0,5	0,61	0,73	0,8	0,86	0,92	1,0	1,18	1,37	1,5			

Przemysł kruszyw mineralnych domaga się coraz to wydajniejszych maszyn i urządzeń przerobczych – najlepiej byłoby, gdyby zostały one zamontowane w zestawach mobilnych. Największe problemy pojawiają się z przesiewaniem kruszyw głęboko rozdrobnionych, tzn. takich, których grani-



ce podziałowe są mniejsze od 1 mm. Przesiewacze służące do klasyfikacji takich kruszyw powinny być wykonane w wersji pyłoszczelnej, przy jednoczesnym spełnieniu wymogów określonego stopnia ochrony przeciwwybuchowej.

Krajowy przemysł budowy maszyn jest w stanie wyprodukować przesiewacze spełniające wszystkie sformułowane powyżej warunki. Zastosowanie nowoczesnych technologii wytwarzania i materiałów (np. stali nierdzewnych) sprawia, iż przesiewacze produkowane w Polsce mogą być stosowane daleko szerzej aniżeli tylko w przemyśle kruszyw mineralnych.

Praca wykonana w ramach projektu badawczo-rozwojowego MNiSzw R1401403

Literatura

1. Levenson L. B., Cigielnij P. H. „Drobilno-sortirowacznije maszyny ustanowki”, Moskwa 1952.
2. Bauman W. A. „Eksperimentalnoje isledowanije grochotow”, Mechanizacja stroitielstwa, no 3, 1950.
3. Banaszewski T. „Przesiewacze”, Katowice 1990.
4. Sztaba K. „Przesiewanie”, Katowice 1993.
5. Wodziński P. „Przesiewanie i przesiewacze”, Łódź, 1997.
6. Kłusancew B. W., Jermolijaw P. S., Dwolko A. A. „Masziny i oborudowanije dla proizwodstwa granija, szczebnia i pieska, Moskwa, 1976.