



## **Porównanie możliwości zastosowania przesiewaczy bębnowych i wibracyjnych do segregacji odpadów mineralnych i komunalnych**

*Katarzyna Ławińska, Remigiusz Modrzewski, Piotr Wodziński*  
*Politechnika Łódzka*

### **1. Wstęp**

Przesiewacze bębnowe są maszynami, które powstały w XIX w. i były one długi czas eksploatowane w różnych gałęziach gospodarki narodowej, głównie w przemyśle zbożowo-młynarskim. Następnie zostały one zastąpione maszynami wibracyjnymi oraz zataczającymi i zaprzestano ich produkcji. W ostatnim czasie maszyny te pojawiły się ponownie, a to za sprawą zastosowania ich w liniach technologicznych do segregacji odpadów komunalnych. Następnie przesiewacze bębnowe pojawiły się ponownie w innych przemysłach, w tym w przeróbce odpadów mineralnych [7].

Do przesiewania odpadów (komunalnych i mineralnych) mogą być również stosowane przesiewacze o sitach płaskich (przesiewacze wibracyjne) [8]. To one właśnie są dzisiaj najczęściej używane we wszystkich dziedzinach gospodarki narodowej.

Celem niniejszego opracowania jest dokonanie analizy obu typów przesiewaczy, pod kątem przydatności do przesiewania odpadów.

Autorzy niniejszego opracowania postanowili opisać przesiewacze bębnowe i wibracyjne (płaskie) w świetle nowych wyników badań [9], wykonanych w ostatnich latach w Politechnice Łódzkiej.

## 2. Przesiewacze bębnowe

### 2.1. Charakterystyka ruchu złoża w przesiewaczu bębnowym

Przesiewacze bębnowe należą do grupy aparatów bębnowych, do których zaliczane są także granulatory bębnowe, mieszalniki bębnowe (np. do materiałów ziarnistych) oraz inne aparaty technologiczne. Ruch złoża ziarnistego w takim aparacie bębnowym jest opisany znanymi wyrażeniami analitycznymi, z których najważniejszym parametrem jest prędkość wirowania, zwana też prędkością krytyczną:

$$\omega_{kr} = \sqrt{\frac{g}{R}} \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] \quad \text{lub} \quad n_{kr} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g}{R}} = \frac{42,3}{\sqrt{D}} \left[ \frac{\text{obr}}{\text{min}} \right] \quad (1)$$

$R$  – jest promieniem wewnętrznym bębna, a  $D$  jego średnicą. Prędkość wirowania jest to taka prędkość, przy której siły ciężkości i odśrodkowa ziarna równoważą się a po przekroczeniu, której odbywa się jednoczesny ruch ziarna i bębna sita.

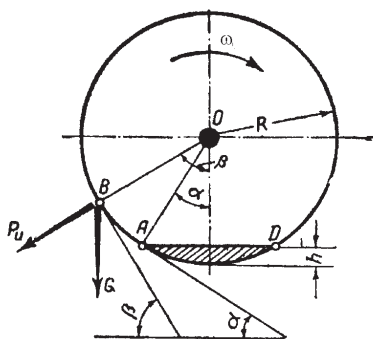
Ruch ziarna w bębnie sitowym został schematycznie przedstawiony na rysunku 1. Warstwa materiału ziarnistego pokazana została w postaci zakreskowanego pola, gdzie  $\alpha$  jest kątem tarcia zewnętrznego materiału o bęben. W trakcie ruchu obrotowego mamy do czynienia z podnoszeniem materiału na pewną wysokość, określoną kątem  $\beta$  ( $\beta > \alpha$ ). Jest to tzw. kąt podniesienia, który dla surowców mineralnych wynosi 40–48°. Dlatego wielu autorów [2–4] podaje wzór do wyznaczenia prędkości roboczej aparatu bębnowego.

$$n_{rob} = \frac{12}{\sqrt{R}} \left[ \text{obr} / \text{min} \right] \quad (2)$$

gdzie  $R$  jest w [m].

W tabeli 1 zestawiono średnice i promienie wewnętrzne bębnow oraz policzone dla nich wartości prędkości krytycznej, a także pośrednie prędkości obrotowe. Średnica bębna zmienia się w zakresie od 0,5 do 3,0 m jest to, bowiem zakres spotykany w przesiewaczach przemysłowych. Natomiast na rysunku 2 pokazano wykres, w którym na osi odciętych odłożono średnicę bębna  $D$ [m], a na osi rzędnych prędkości obrotowe

we bębna  $n$  [obr./min.]. Każda krzywa została zbudowana dla danej wartości wyróżnika szybkości  $\varepsilon = \frac{n_b}{n_{kr}} = 0,2 - 1,0$ .



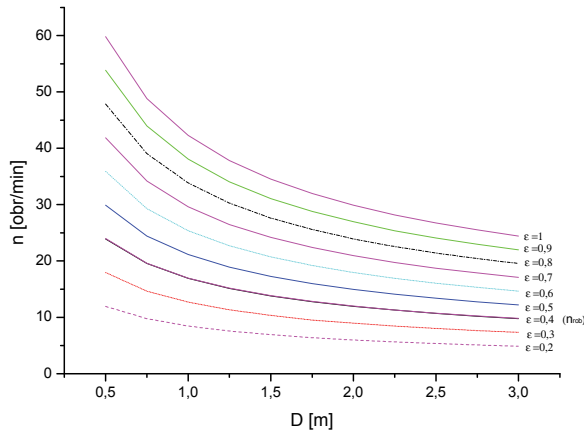
Rys. 1. Podnoszenie ziarna w bębnie sitowym

Fig. 1. Grain lifting in a screen drum

Tabela 1. Prędkości obrotowe i średnice przesiewaczy bębnowych

Table 1. Rotational speeds and diameters of drum screens

Lp.	D m	R m	$n_{kr}$ obr/min	0,2 $n_{kr}$	0,3 $n_{kr}$	0,4 $n_{kr}$	0,5 $n_{kr}$	0,6 $n_{kr}$	0,7 $n_{kr}$	0,8 $n_{kr}$	0,9 $n_{kr}$	$n_{robr}$ obr/min
1	0,50	0,250	59,82	11,96	17,95	23,93	29,91	35,89	41,87	47,86	53,84	24,00
2	0,75	0,375	48,84	9,768	14,65	19,54	24,42	29,30	34,19	39,07	43,96	19,60
3	1,00	0,500	42,30	8,460	12,69	16,92	21,15	25,38	29,61	33,84	38,07	16,97
4	1,25	0,625	37,83	7,566	11,35	15,13	18,91	22,70	26,48	30,26	34,05	15,18
5	1,5	0,750	34,54	6,908	10,36	13,82	17,27	20,72	24,18	27,63	31,09	13,86
6	1,75	0,875	31,98	6,396	9,50	12,79	15,99	19,19	22,39	25,58	28,78	12,82
7	2,00	1,000	29,91	5,982	8,97	11,96	14,96	17,95	20,94	23,93	26,98	12,00
8	2,25	1,125	28,20	5,640	8,46	11,28	14,10	16,92	19,74	22,56	25,38	11,31
9	2,50	1,250	26,75	5,350	8,02	10,70	13,37	16,05	18,72	21,40	24,07	10,73
10	2,75	1,375	25,51	5,102	7,65	10,20	12,75	15,31	17,86	20,41	22,96	10,232
11	3,00	1,500	24,42	4,884	7,33	9,768	12,21	14,65	17,09	19,54	21,98	9,80



**Rys. 2.** Zależność prędkości obrotowej przesiewacza bębnowego od średnicy bębna, dla różnych wartości wyróżnika szybkobieżności

**Fig. 2.** Dependence of the drum screen rotational speed on the drum diameter for various values of specific speed

Na rysunku 3 pokazano trzy podstawowe typy przesiewaczy bębnowych z osią centralną (rysunek 3a), z osią i podporami rolkowymi (rysunek 3b) i osadzonymi na podporach (rysunek 3c). Przesiewacze szybkobieżne mogą być tylko maszynami z osiami (czopami) centralnymi bębna przesiewającego. Przesiewacze wolnoobrotowe mogą być wykonane w dwóch pozostałych wariantach konstrukcyjnych.

Na rysunku 4 przedstawiono niektóre rodzaje ruchu złoża ziarnistego w bębnie. Zaistnienie jednego z przedstawionych ruchów jest uzależnione od tzw. wyróżnika prędkości przesiewacza bębnowego, będącego stosunkiem prędkości obrotowej danego przesiewacza do prędkości wirowania (krytycznej), dla której właściwy jest ruch 1 (rysunek 4). W przesiewaczach istniejących stosowana jest tzw. prędkość robocza  $n_{rob}$  (patrz tabela 1). Wynosi ona na ogół 0,4 prędkości wirowania. W takim wypadku złożo ziarniste w bębnie porusza się ruchem 3 (rysunek 4), a niekiedy porusza się jeszcze wolniej. Z procesowego punktu widzenia powinniśmy osiągnąć ruch 2 (ruch kaskadowy, kataraktowanie). Wtedy wskaźniki procesowe przesiewania będą najwłaściwsze. Ale taki ruch uzyskamy dla wyróżnika prędkości 0,8–0,9, a nie 0,4. Pewnym rozwiązaniem zmierzającym do uzyskania korzystnego, kataraktowego ruchu złoża ziarnistego w bębnie sitowym jest zastosowanie przegród we-

wewnętrznych, które podnoszą materiał przesiewany na pewną wysokość, po czym materiał ten zsuwa się z przegrody, spadając na dno bębna. Podobne efekty uzyskuje się, gdy zamiast cylindrycznego bębna zastosujemy graniastosłup o podstawie wielokąta foremnego (np. sześciokąta). W bębnach stosowanych obecnie prędkość obwodowa cylindra sitowego wynosi w granicach  $u_0 = 0,7-1$  m/s.

Kolejnym ważnym problemem, występującym w aparatach bębnowych, w tym w przesiewaczach bębnowych, jest wyznaczenie prędkości osiowej strugi ziarnistej, poruszającej się wzdłuż osi bębna. Decyduje ona o wydajności przepustowej maszyny, a jej znajomość jest niezbędna do obliczeń procesowych aparatu bębnowego. Schemat służący do wyznaczania prędkości transportowej aparatu bębnowego pokazano na rysunku 5. Przy podnoszeniu ziarna porusza się ono ruchem po linii FA, a przy opadaniu po linii AF. Jeśli kąt nachylenia całego bębna do poziomu wynosi  $\alpha$  to również  $\alpha$  jest kątem nachylenia linii FA do poziomu, a kąt  $\delta$  nachylenia linii AF wynosi  $\delta + \alpha \approx 2\alpha$ . Krzywe FA są krzywymi podnoszenia, a krzywe AF – opadania. Prędkość transportową możemy obliczyć z półempirycznego wzoru

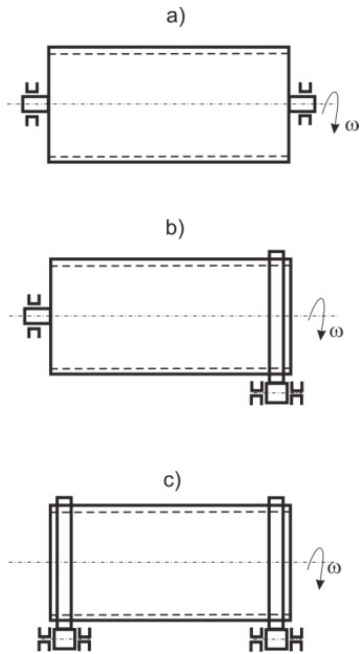
$$v = 0,105 R n \operatorname{tg}(2\alpha) \quad [\text{m/s}] \quad (3)$$

gdzie promień bębna  $R$  wyznaczono w [m], a prędkość obrotową  $n$  w [obr/min].

Jeżeli  $h$  jest grubością warstwy ziarnistej w bębnie (p. rysunek 1) to wydajność przesiewacza bębnowego określa następujący wzór.

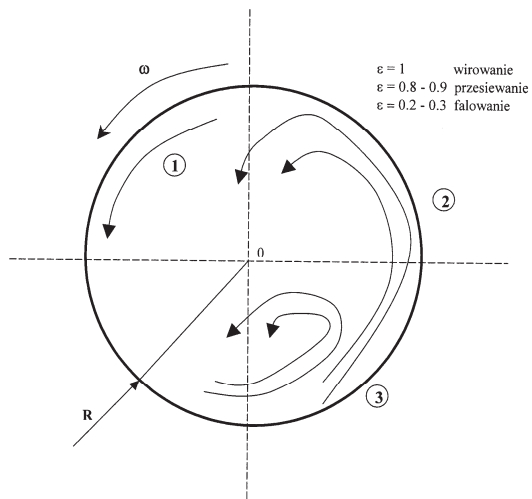
$$Q [\text{Mg/h}] = 0,72 \mu \gamma n \operatorname{tg}(2\alpha) \sqrt{R^3 h^3} \quad (4)$$

gdzie współczynnik spulchnienia  $\mu \approx 0,8-0,6$ , parametry  $R$  i  $h$  są wyrażone w [m], a masa właściwa  $\gamma$  w [ $\text{kg/m}^3$ ]. W praktyce zakładamy, że  $h$  zmienia się w granicach od podwójnej średnicy zastępczej średnich ziaren nadawy, do podwójnego wymiaru otworów sitowych. Dla surowców skalnych to: od 1–5 cm do 12–15 cm.



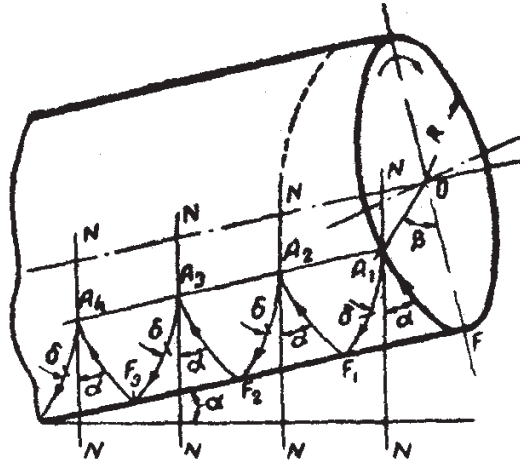
**Rys. 3.** Przesiewacze bębnowe

**Fig. 3.** Drum screens



**Rys. 4.** Rodzaje ruchu złoża ziarnistego

**Fig. 4.** Types of particulate deposit motions



Rys. 5. Prędkość ziarna wzdłuż bębna sitowego  
 Fig. 5. Grain velocity along the screen drum

## 2.2. Moc i wydajność przesiewaczy bębnowych

Istotnym problemem występującym w przesiewaczach bębnowych jest moc, niezbędna do wprowadzenia w ruch obrotowy bębna sitowego. Na rysunek 6 pokazano wielkości charakterystyczne przesiewacza bębnowego, których jest konieczna do wyznaczenia mocy silnika napędowego. Zakładamy, iż wartość współczynnika tarcia materiału skalnego o bęben wynosi  $f = 0,4$ , a współczynnik tarcia czopów rolek podporowych wnosi  $f_1 = 0,1$ , współczynnik tarcia potoczystego rolek po obwodzie bębna –  $k = 0,5$  mm, kąt  $\varphi = 35^\circ$ , zaś stosunek promieni  $\rho/r = 0,25$ . Moc niezbędna do spowodowania ruchu obrotowego przesiewacza wynosi

$$N = \frac{R \cdot n (G + 13G_0)}{21500} \quad [\text{kM}] \quad (5)$$

gdzie:

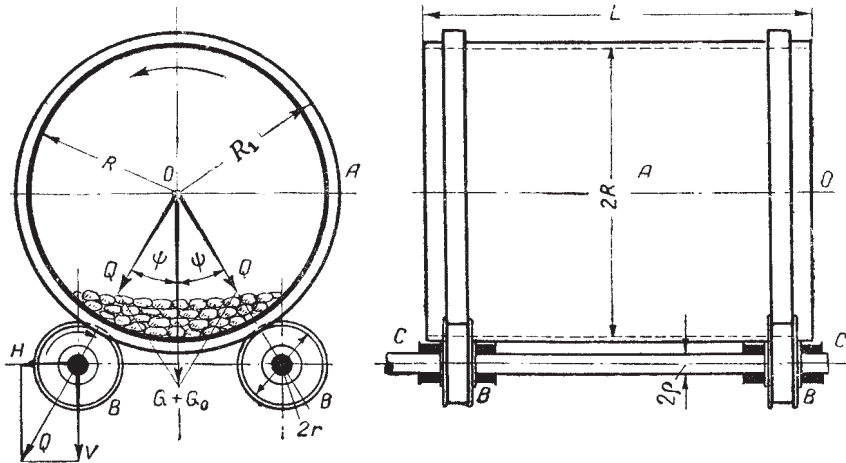
$G$  – całkowity ciężar bębna [kG],

$G_0$  – ciężar kruszyw wewnątrz bębna [kG],

$R$  – promień bębna [m],

$N$  – obroty bębna [obr/min].

Wzór (5) został przytoczony w wersji oryginalnej [2, 3, 4] i dlatego użyto w nim jednostki układu MKS.



**Rys. 6.** Wyznaczenie mocy niezbędnej do napędu przesiewacza  
**Fig. 6.** Determination of power necessary for driving the screen

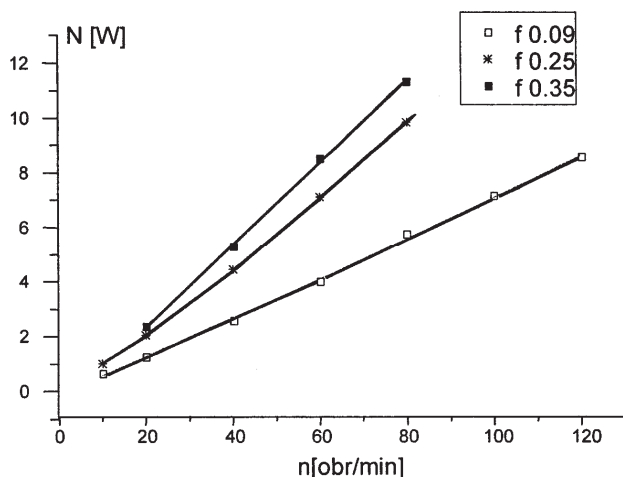
W Katedrze Aparatury Procesowej Politechniki Łódzkiej zostały zrealizowane programy badawcze celem, których było wyznaczenie mocy niezbędnej wprowadzenia w ruch obrotowy aparatu bębnowego. Wyniki tych badań mogą być uznane, jako orientacyjne albowiem zostały one wykonane w skali laboratoryjnej. Podstawowym jest znany powszechnie wzór na moc w ruchu obrotowym

$$N = M \cdot \omega \quad (6)$$

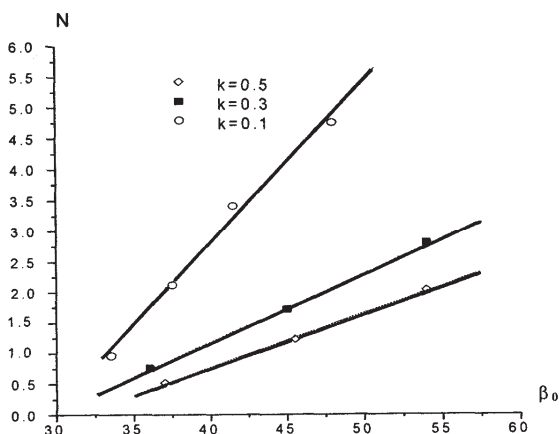
Zasadniczymi parametrami mającymi wpływ na pobieraną przez aparat bębnowy moc są:

- prędkość obrotowa,
- gęstość nasypowa medium,
- współczynnik tarcia materiału o ściankę bębna,
- kąt  $\beta$ ,
- stopień wypełnienia k.





**Rys. 7.** Wpływ prędkości obrotowej na zapotrzebowanie mocy dla prób przy różnych wartościach współczynnika tarcia materiału o ściankę bębna  
**Fig. 7.** Impact of rotational speed on the power demand for tests involving different values of the coefficient of material friction against the drum wall



**Rys. 8.** Zależność mocy od kąta  $\beta$  i stopnia wypełnienia k  
**Fig. 8.** Dependence of power on angle  $\beta$  and filling ratio k

Niektóre z uzyskanych wyników badań pokazano na rysunku 7 i 8. Analiza tych wyników prowadzi do zależności funkcyjnej postaci:

$$N = A \cdot n^{1,13} \cdot f^{0,20} \cdot k^{0,82} \cdot \rho^{1,07} \quad (7)$$

gdzie:

$n$  – obroty bębna,

$f$  – współczynnik tarcia materiału o ściankę,

$k$  – stopień wypełnienia bębna materiałem,

$\rho$  – gęstość nasypowa.

Wyznaczenie wydajności przesiewacza odbywa się za pomocą wykresu pokazanego na rysunku 9. Na osi odciętych odłożono wydajność przesiewania w Mg/h, natomiast na osi rzędnych średnicę okrągłych otworów sitowych w mm. Poszczególne linie są słuszne dla średnic bębna sitowego w m. Cały wykres natomiast został sporządzony dla 1 mb długości bębna. W przypadku surowców skalnych średnice bębna wyznaczamy według wzoru empirycznego

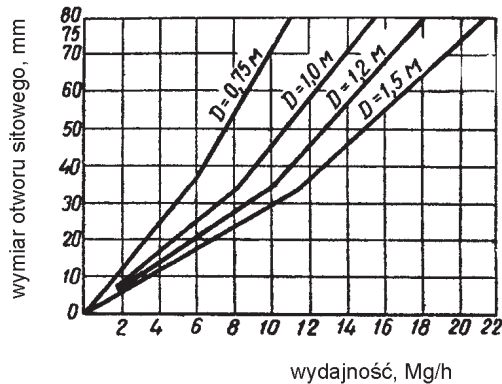
$$D = 20,23 \sqrt{\frac{Q}{\gamma}} \quad (8)$$

gdzie:

$D$  – średnica bębna, m,

$Q$  – wydajność, Mg/h,

$\gamma$  – ciężar właściwy, g/cm<sup>3</sup>.



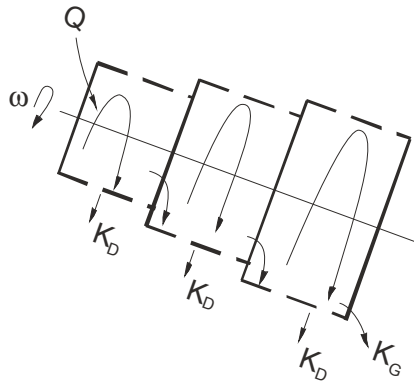
**Rys. 9.** Wyznaczenie wydajności przesiewacza

**Fig. 9.** Determination of a screen capacity

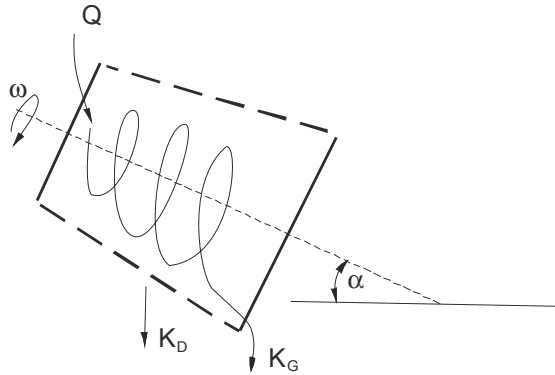
### 2.3. Możliwości modernizacji przesiewaczy bębnowych

Autorzy niniejszego opracowania proponują inne konstrukcje aparatów bębnowych (rysunku 10 i 11). Są to aparaty zaopatrzone w bębny kaskadowe lub stożkowe. Zastosowanie sita stożkowego sprawia, iż można uzyskać przesiew materiału ziarnistego wzdłuż sita, przy nachyleniu osi sita  $\alpha = 0$  (pozioma oś przesiewacza). Ponadto w przypadku sit stożkowych i kaskadowych (rysunek 10), uzyskujemy zmianę wyróżnika prędkości w jednym przesiewaczu, co jest korzystne, ponieważ w końcowej części bębna mamy do czynienia z nadawą już częściowo odsianą (o zmienionym składzie granulometrycznym). W materiale przesiewanym mamy większość ziaren dużych, bardzo drobne już zostały w większości odsiane.

Inne modernizacje przesiewaczy bębnowych pokazano na rysunku 12. Znane są bębny w postaci graniastosłupów o podstawie wielokątów foremnych (np. sześciokąta) – rysunek 12a. Do tego do takiego aparatu bębnowego dołączono napęd wibracyjny, zapewniający ruch drgający osi bębna. Inny rodzaj przesiewacza bębnowego pokazano na rysunku 12b, gdzie obok ruchu drgającego całego przesiewacza, występuje ruch krzyżaka oczyszczającego bęben i wspomagającego przesiewanie. W pewnych wypadkach np. przesiewanie materiałów bardzo drobno uziarnionych do oczyszczania otworów sitowych stosuje się nadmuch do wewnątrz bębna sitowego (rysunek 12c).

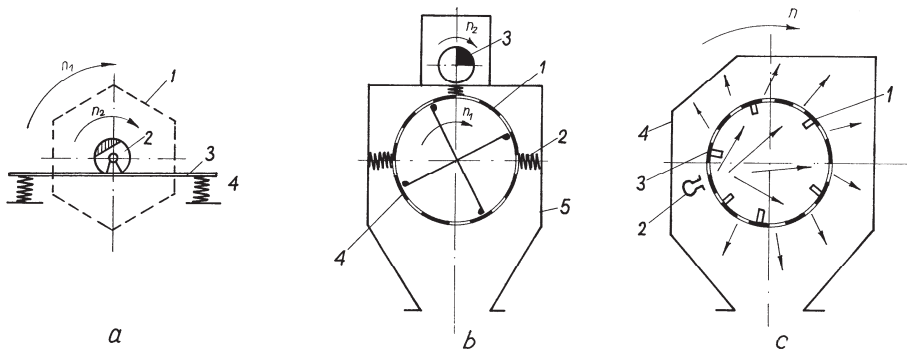


**Rys. 10.** Schemat kaskadowego przesiewacza bębnowego  
**Fig. 10.** Diagram of a cascade drum screen



**Rys. 11.** Schemat stożkowego przesiewacza bębnowego

**Fig. 11.** Diagram of a cone drum screen



**Rys. 12.** Przesiewacze bębnowe

**Fig. 12.** Drum screens

Przesiewacze bębnowe mogą pracować zarówno na sucho jak i mokro. Ciekawy jest wynik badań przemysłowych przesiewaczy bębnowych, uzyskany dla przesiewania kruszyw mineralnych. Okazało się, że przesiewanie na mokro (przy zachowaniu wszystkich wielkości charakterystycznych dla procesu) daje około 1,7 razy wyższą skuteczną wydajność procesową niż na sucho.

Niestety praca na mokro wiąże się z licznymi problemami, szczególnie, gdy przesiewane są odpady mineralne bądź komunalne. Chodzi o kwestie związane z ochroną środowiska [5], a konkretnie dużą ilość zanieczyszczoną wody, która jest pozostałością po takim procesie. Zatem stosowanie procesów mokrych ma sens ekonomiczny tylko wtedy, gdy instalacja do segregacji odpadów znajduje się blisko oczyszczalni ścieków.

Dla surowców skalnych można założyć, iż skuteczna wydajność przesiewania na sucho w przesiewaczu bębnowym wynosi 6,5 Mg w ciągu 24 godzin z 1 m<sup>2</sup> powierzchni sita bębnowego. Wielkość ta odnosi się do 1 mm wymiaru otworu sita (np. średnicy otworu sitowego). W przypadku przesiewania na mokro wydajność ta wynosi 11 Mg na 24 h i 1 m<sup>2</sup>, przy 1 mm otworze sitowym. Większe otwory sitowe proporcjonalnie powiększają tą wydajność.

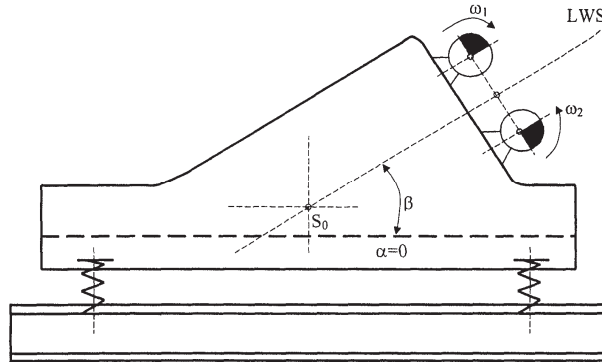
Kąt nachylenia osi bębnow tych przesiewaczy wynosi 1–14°, ale najczęściej zawarty jest w granicach 4–7°. Sprawność przesiewania w przemysłowych przesiewaczach bębnowych, przy przesiewaniu surowców skalnych, waha się w granicach  $\eta = 40\text{--}60\%$ .

W przypadku przesiewania odpadów mineralnych parametry te są w zasadzie zbliżone, nieco gorzej jest w przypadku odpadów komunalnych ze względu na znaczne zróżnicowanie charakteru tych odpadów.

### **3. Przesiewacze o sitach płaskich**

#### **3.1. Podstawowe rodzaje przesiewaczy o sitach płaskich**

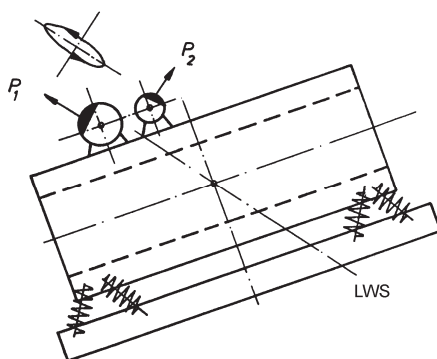
W chwili obecnej najbardziej rozpowszechnione są przesiewacze o sitach płaskich, które są wykonywane w niezliczonej ilości wariantów konstrukcyjnych. Do przesiewania odpadów komunalnych powinny być wykorzystane duże przesiewacze „górnice”, tzn. takie, które są stosowane w przerobie kopalnych surowców mineralnych. Takie same przesiewacze powinny być stosowane w przeróbce odpadów mineralnych, które przecież są odpadami pogórnicznymi, a więc przerobionymi kopalinami.



**Rys. 13.** Przesiewacz o podwyższonym rzeszocie i napędzie dwuosiowym  
**Fig. 13.** Screens with elevated riddle and bi-axial drive

Do przesiewania odpadów powinny być używane przesiewacze jednopłaszczyznowe [1] a więc takie sita, których wykonują ruch płaski o dowolnym kształcie toru. Typowy przesiewacz tego typu pokazano na rysunku 13. rzeszoto posiada odpowiednio podwyższone burty boczne tak, aby na nich można ustawić układ napędowy, składający się z dwóch wibratorów rotacyjnych (wałów niewyważonych). Wały te pracują synchronicznie, przeciwbieżnie, co osiąga się za pomocą przekładni zębatej lub poprzez efekt samosynchronizacji dynamicznej. Przesiewacze o takiej budowie są obecnie rozpowszechnione w przemyśle wydobywczym i pochodnych.

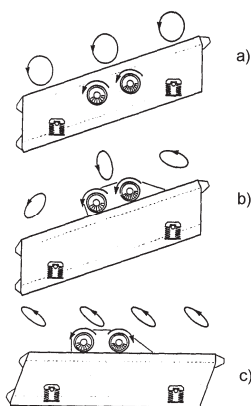
Inny rodzaj maszyny przesiewającej pokazano na rysunku 14. Również i tutaj zastosowano dwuosiowy napęd rotacyjny [1,6], ale rzeszoto ma typowo prostokątny kształt. Maszyna taka pozwala na kształtowanie torów ruchu przesiewacza w ruchu drgającym, poprzez przesuwanie całego układu napędowego, względem środka ciężkości bryły rzeszota. Przesiewacz taki może być poziomy, podobnie jak poprzedni, bowiem usytuowanie układu napędowego zapewnia ruch warstwy po poziomym sicie. Oba omówione przesiewacze są maszynami budowanymi obecnie i mogą być z powodzeniem zastosowane do segregacji odpadów.



**Rys. 14.** Przesiewacz eliptyczny, dwuosiowy

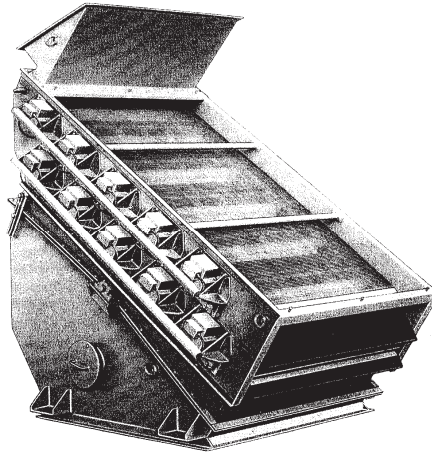
**Fig. 14.** Elliptical, bi-axial screen

Na rysunku 15 pokazano trzy inne podstawowe rodzaje przesiewaczy, napędzane wibratorami rotacyjnymi, dwuosiowymi [1,6]. W układzie „a” mamy do czynienia z kołowym ruchem całego rzeszota. W układzie „b” uzyskujemy eliptyczne toru ruchu rzeszota, przy czym mamy do czynienia ze zróżnicowanym rozkładem amplitud drgań poszczególnych punktów rzeszota oraz ze zróżnicowanym kształtem torów drgań. Wreszcie układ „c” zapewnia uzyskanie jednakowych eliptycznych torów drgań, co daje możliwość poziomego usytuowania sit. Na rysunku 15 pokazano, więc obecnie najbardziej rozpowszechnione typy dwuosiowych przesiewaczy wibracyjnych.



**Rys. 15.** Przesiewacze z dwoma wałami napędowymi (warianty konstrukcyjne)

**Fig. 15.** Screens with two drive shafts (design variants)



**Rys. 16.** Przesiewacz membranowy

**Fig. 16.** Membrane screen

Do przesiewania odpadów może być także użyty przesiewacz membranowy (rys. 16). Jest to nowoczesna maszyna przesiewająca, charakteryzująca się tym, iż w ruch wprowadzone jest tylko samo sito, a nie całe rzeszoto [6]. Przesiewacze takie są produkowane przez firmy krajowe i zagraniczne.

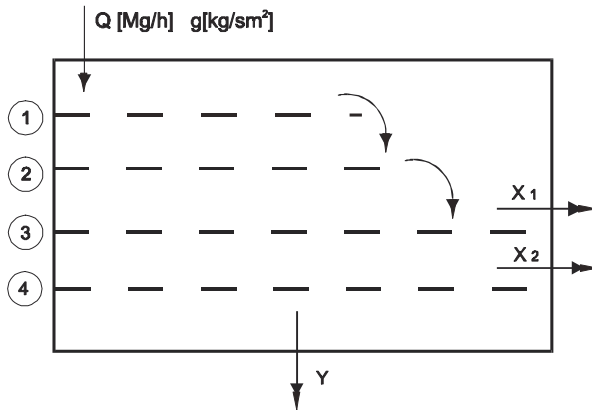
### **3.2. Metody intensyfikacji procesu przesiewania na przesiewaczach o sitach płaskich**

Proces przesiewania odpadów mineralnych i komunalnych, mimo że jest uznany za opanowany, nastręcza jednak wiele trudności. Użytkownicy maszyn przesiewających mają na ogół problemy z uzyskaniem wymaganej wydajności procesowej, przy czym podstawowe parametry procesowe: typ przesiewacza, jego dynamika, skuteczna wydajność przesiewania, pozostają na ogół niezmiennie. Czy w takiej sytuacji intensyfikacja procesu przesiewania może nastąpić tylko poprzez wymianę parku maszynowego? Czy nie istnieją możliwości udoskonalenia istniejących przesiewaczy i przebiegającego w nich procesu klasyfikacji materiałów ziarnistych?

Na rysunku 17 przedstawiono zastosowanie sit dodatkowych w przesiewaczu wielopokładowym, w którym sita 1 i 2 są dodatkowe zaś



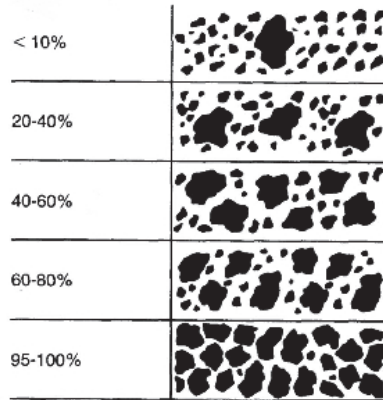
3 i 4 to sita zasadnicze, wymagane przez technologię procesu. Sita 1 i 2 są odpowiednio dobrane (ze względu na wymiar charakterystyczny otworu sitowego), na podstawie wykresu składu ziarnowego nadawy. Skład ziarnowy materiału wyjściowego umożliwi określenie wielkości otworów sitowych, na których zostają zatrzymane ziarna znacznie większe od założonych granic podziałowych. Te ziarna, bowiem będą hamowały proces segregacji warstwy i stanowiły przeszkodę dla poprawnego przebiegu procesu. Przesiewanie nadawy na sitach wstępnych przebiegać będzie łatwo, ponieważ zasadnicza jej część to ziarna łatwo odsiewalne (dla sit dodatkowych). Można też zastosować jeden pokład sitowy, który w pierwszej swojej części mieć będzie większy rozstaw niż w drugiej. Celowość zastosowania takiego rozwiązania można wyjaśnić na podstawie rysunku 18, który obrazuje nadawę (kruszywo mineralne) o różnych zawartościach klasy górnej, tzn. ziaren dużych. Stanowią one istotny opór procesowy i dlatego zależy nam na możliwie szybkim usunięciu ziaren dużych ze strumienia nadawy.



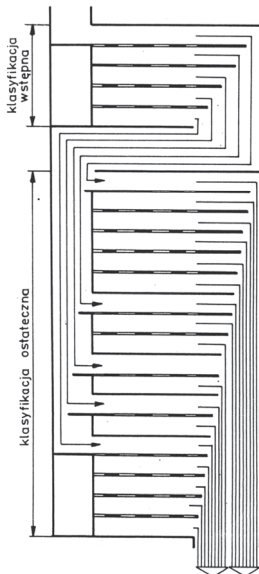
**Rys. 17.** Schemat przesiewania na dodatkowych sitach  
**Fig. 17.** Diagram of screening on additional sieves

Innym sposobem intensyfikacji procesu przesiewania, polegającym na zastosowaniu sit dodatkowych, jest odpowiednie ustawienie całego zestawu sit (schematu przesiewania). Idea tej metody została pokazana na rysunku 19. Nadawa jest kierowana na pierwszy zestaw nadsobnych sit wstępnych, przy czym wielkości otworów tych sit (w odróżnieniu od metody opisanej powyżej), obejmują cały zakres granulacji mate-

riału wyjściowego. Końcowe przesiewanie natomiast odbywa się na kilku pakietach sit nadsobnych tak, iż każdemu situ z pakietu wstępnego, odpowiada oddzielny zestaw sitowy z pakietu końcowego. Na rysunku 20 pokazano tę metodę w zastosowaniu do nadsobno – podsobnego układu sit, umieszczonych w oddzielnych przesiewaczach.

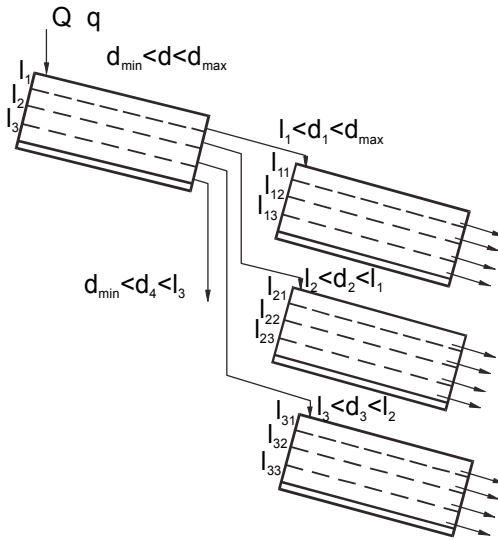


**Rys. 18.** Wpływ zawartości klasy górnej w nadawie na łatwość odsiewu  
**Fig. 18.** Impact of the composition of the upper size fraction in the feed on the screening ease



**Rys. 19.** Schemat przesiewania etapowego

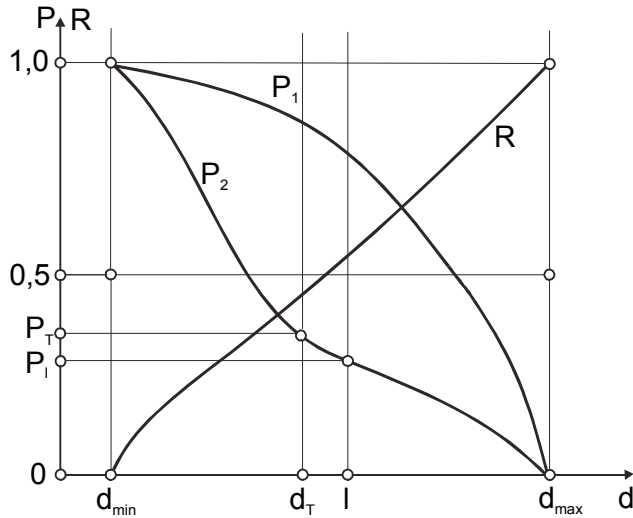
**Fig. 19.** Gradual screening diagram



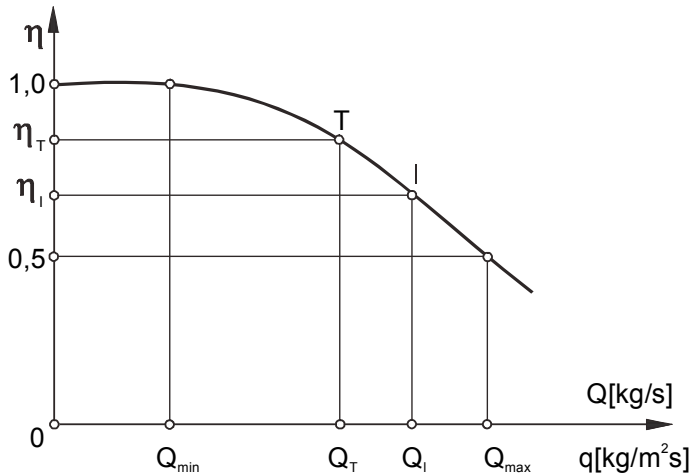
**Rys. 20.** Układ sit i przesiewaczy w przesiewaniu etapowym  
**Fig. 20.** Arrangement of screens and sieves in gradual screening

Inną metodą intensyfikacji jest metoda powiększania otworu sitowego polegająca na zastosowaniu większych otworów sitowych, o wymiarze  $l$ , powiększonych w stosunku do założonej granicy podziałowej  $d_T$ . Na rysunku 21 przedstawiono typowe wykresy składu granulometrycznego pozostałości sitowych  $P_1$  i  $P_2$  oraz przesypów  $R$ . Jeżeli założona granica podziałowa wynosi  $d_T$ , a powiększona  $l$ , to odpowiadają im określone pozostałości sitowe  $P_T$  i  $P_l$ . Jeżeli natomiast zobaczymy wykres wydajnościowo – sprawnościowy dla danego procesu (rysunek 22), to sprawnościom  $\eta_T$  (dla założonej granicy podziałowej) i  $\eta_l$  (dla otworu powiększonego), odpowiadają odpowiednio wydajności  $Q_T$  i  $Q_l$ . Im bardziej poziomy jest wykres wydajnościowo – sprawnościowy tym większy efekt procesowy uzyskamy stosując metodę powiększania otworu sitowego.

Reasumując możemy powiedzieć, iż metoda powiększania otworu sitowego sprowadza się do konkluzji, że niekiedy warto nieznacznie stracić na sprawności przesiewania (po zastosowaniu nowego, powiększonego otworu sitowego  $l$ , w stosunku do założonego  $d_T$ ), ale za to znacznie zyskać na wydajności.



**Rys. 21.** Wykres składów ziarnowych nadawy  
**Fig. 21.** Feed particulate composition chart



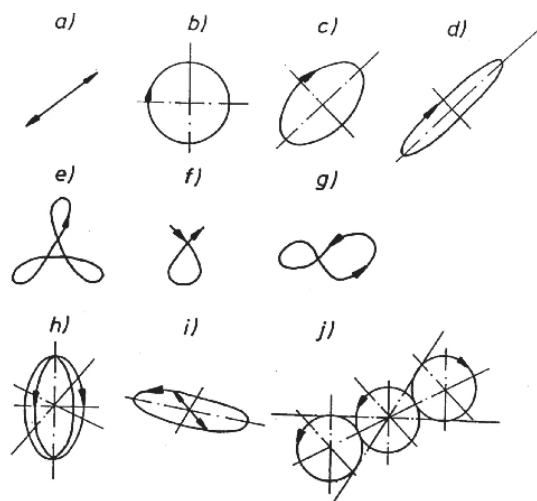
**Rys. 22.** Wykres wydajnościowo-sprawnościowy  
**Fig. 22.** Capacity versus efficiency chart

Niezwykle ważnym czynnikiem, zwiększającym skuteczną wydajność przesiewacza, a rzadko w praktyce przemysłowej stosowanym, jest zapewnienie określonych warunków zasilania nadawą. Prawidłowo zasila-

ny przesiewacz zawsze współpracuje z podajnikiem pośrednim – zasilającym. Znane są różne konstrukcje podajników zasilających. Do ich napędu stosuje się powszechnie znane wibratory rotacyjne (silniki niewyważone). Znane są takie podajniki z napędem elektromagnetycznym.

Podajnik zasilający powinien być zbudowany tak, aby jego szerokość na końcu rynny (w miejscu podawania), odpowiadała szerokości sita przesiewacza. Zapewni to nam wykorzystanie całej powierzchni sita. Ponadto podajnik zasilający powinien znajdować się możliwie najniżej nad najwyższym pokładem sitowym, co ustrzeże nas przed dynamicznymi obciążeniami sita, a więc zapewni jego trwałość.

Ponieważ odpady mineralne, jako materiał drobno i bardzo drobno uziarniony są przesiewane w grubych warstwach, dlatego kształt toru sita w jego ruchu drgającym ma podstawowe znaczenie dla pokonania oporu warstwy. Opór ten decyduje, bowiem o skutecznej wydajności procesu.



**Rys. 23.** Tory sit przesiewaczy wibracyjnych

**Fig. 23.** Trajectories of vibrational screens sieves

Na rysunku 23 przedstawiono różne tory sit, które mogą mieć miejsce w maszynach przesiewających. Na rysunku 23a–f pokazano tory sit przesiewaczy jednopłaszczyznowych tzn. takich drgania, których wykonywane są w płaszczyźnie głównej maszyny. Są to więc tory płaskie.

Natomiast tory g–j (rysunek 23), są to tory przestrzenne, nieliniowe, będące efektem nałożenia się na siebie drgań elementarnych (składowych).

Jak widać przesiewacze o płaskich sitach dają znaczne możliwości budowania zróżnicowanych linii technologicznych i łatwo jest dostosować je do zmieniających się wymagań procesowych przy segregacji różnego rodzaju odpadów.

#### **4. Podsumowanie**

Przesiewacze o sitach płaskich są najwłaściwszymi maszynami do przesiewania odpadów. Zdecydowanie należy polecić je przed przesiewaczami bębnowymi. Zastosowanie przesiewacza z sitami płaskimi polega na doborze maszyny spośród produkowanych przesiewaczy. Najlepiej jest zastosować przesiewacz wolnostojący wraz z całym wyposażeniem.

Przesiewacze bębnowe wykorzystują 1/6–1/8 powierzchni sitowej maszyny, co stanowi istotną ich wadę, w porównaniu do przesiewaczy o sitach płaskich.

Ponadto przesiewacze płaskie dają liczne możliwości intensyfikowania procesu, stosownie do zmiennych warunków, jak np. zmieniający się skład nadawy, różna jej wilgotność itp. Ma to szczególne znaczenie w przesiewaniu odpadów komunalnych. Cechy tej brak niestety przesiewaczom bębnowym.

Segregacja odpadów mineralnych i komunalnych jest procesem, którego efektywność można zwiększyć, ale wymaga to spełnienia kilku warunków.

Po pierwsze segregację odpadów należy prowadzić w warstwie o szerokości 2–3 m tak, aby wszystkie operacje technologiczne były realizowane na maszynach o tej szerokości warstwy. Tylko wtedy można mówić o skutecznej realizacji poszczególnych operacji.

Po drugie należy dążyć do prowadzenia procesów suchych: mechanicznych, magnetycznych, pneumatycznych itp. Stosowanie procesów mokrych wydaje się uzasadnione tylko wówczas, gdy instalacja do segregacji odpadów znajduje się w bezpośredniej bliskości oczyszczalni ścieków. Umożliwi to „zamykanie” obiegów wodnych i tak linia technologiczna nie będzie zagrożeniem dla naturalnego środowiska.

I wreszcie po trzecie linia technologiczna do segregacji odpadów powinna być złożona z wolnostojących, automatycznych urządzeń tak, aby użytkownik mógł niemalże dowolnie zmieniać konfigurację tej linii,

wykorzystując w niej inne maszyny i urządzenia, pochodzące z innych technologii. W przypadku przesiewania taką „elastyczność” w dostosowywaniu się do potrzeb dają tylko przesiewacze o płaskich, prostopadłościennych sitach.

## **Literatura**

1. **Banaszewski T.:** *Przesiewacze*. Śląsk, 1990.
2. **Levenson L. B., Cigielnij P. M.:** *Drobilno - sortirowocznyje maszyny i ustanowi*. Moskwa 1952.
3. **Levenson L. B. i inni:** *Droblenije i grochoczenije poleznych iskopajennyh Gostoptachizdat*. Moskwa 1927.
4. **Levenson L. B.:** *Barabannyje grochoty*. Mechanobr, 1927.
5. **Piecuch T.:** *Utylizacja odpadów przemysłowych*. Koszalin 1996.
6. **Sztaba K.:** *Przesiewanie*. Śląsk 1993.
7. **Wodziński P.:** *Przesiewacze bębnowe w inżynierii środowiska*. Rozdz. w monografii: Zarządzanie środowiskiem na terenach uprzemysłowionych – nowoczesne systemy, techniki i technologie, 203–212, Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG, Gliwice 2005.
8. **Wodziński P.:** *Recykling mineralnych materiałów odpadowych*. Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set the Environment Protection). 15(2), 1378–1392 (2013).
9. **Wodziński P., Modrzewski R.:** *Screens for segregation of mineral waste*. Physicochemical Problems of Mineral Processing. 47, 267–274 (2011).

## **Comparison of the Potential of Using Drum and Vibrating Screens for Segregating Mineral and Municipal Waste**

### **Abstract**

This paper is devoted to drum and vibrating screens and addresses their possible application in the process of screening municipal and mineral waste. The basis for this article are conclusions from a relevant research that has been conducted for many years at the Department of Process Equipment of the Lodz University of Technology.

The authors describe the principles of operation and significant parameters of the presented screening machines. They describe the deposit movement in the screen drum, specify critical velocity and rotational speed for the drum dimensions between 0.5 and 3.0 m and discuss the power and capacity of the presented machinery. The paper involves basic types of drum screens, however, new designs of the equipment are proposed. Those new

designs include machines equipped with cone and cascade sieves. The advantage of such solutions is that particulate material can be screened along the sieve with a zero inclination of the sieve axis. Furthermore, drums can take the form of prisms with regular polygonal bases. Drums designs enable the use of equipment facilitating the screening process. Examples of such solutions include a movable cross used for cleaning sieve holes and, in the case of very fine particulate materials, the use of blow-in inside the screen drum. Drum screens provide for both dry and wet operation. Screening efficiency in industrial drum screens for rock is 40–60%.

Another group of equipment that should be used in processing mineral waste are screens with flat sieves. They have been used for many years in the processing of minerals and the multitude of their designs provides for new opportunities for other branches of industry. A single-plane screen is a good solution for screening waste. The sieve of this screen performs a plane motion of any trajectory shape. Another type of equipment that can be used for segregating waste is an elliptical bi-axial screen. This machine enables the shaping of the screen motions trajectory in a vibrating motion. Both screens may be horizontal, as the arrangement of the power transmission system provides for the movement of the material layer on a horizontal sieve. Bi-axial vibrational screens driven with rotating (bi-axial) vibrators in various designs are currently the most common ones. An example of a modern screening machine is a membrane screen in which only the sieve, and not the entire riddle, moves.

Special methods and equipment are used for the screening of fine and very fine particulate materials that are supposed to intensify the screening process. One of the examples is the use of additional sieves in a multi-deck screen. The sieves are selected according to the characteristic dimensions of sieve holes, on the basis of the feed particulate composition. Another example of the intensification of screening is the use of gradual screening (involving the use of additional sieves). There is also the sieve holes enlargement method. It involves the use of sieve holes larger than the assumed limit of classification. This method proves that sometimes it is advisable to slightly compromise the screening efficiency in order to increase capacity.

All the types of screens presented in the paper may be successfully used for screening mineral and municipal waste. Furthermore, screens with flat sieves enable the construction of different process lines and they could be easily adapted to the changing waste segregation process requirements.

**Słowa kluczowe:**

przesiewacz, sito, drgania, materiał ziarnisty

**Keywords:**

screen, sieve, vibrations, granular material