



Analiza procesu przesiewania metalurgicznych odpadów cynkowych w przesiewaczu wibracyjnym

Tomasz GAWENDA¹⁾, Daniel SARAMAK²⁾

¹⁾ Dr hab. inż.; AGH w Krakowie

²⁾ Dr hab. inż. prof. AGH, AGH w Krakowie

<http://doi.org/10.29227/IM-2018-01-30>

Wstęp

Jednym z ważniejszych procesów technologicznych przeróbki jest mechaniczna klasyfikacja ziarnowa (przesiewanie), której celem jest doprowadzenie do kontaktu z powierzchnią sitową wszystkich ziaren przesiewanego materiału tak, aby rozdzielić je według ich rozmiarów. Według autorów różnych publikacji (Błaszke 1981, Banaszewski 1990, Sztaba 1993, Wodziński 1997) proces ten może występować jako operacja przygotowawcza, główna i uzupełniająca. Wyniki badań wskazują także na znaczącą rolę przesiewania jako procesu przygotowania nadawy do kolejnych procesów kruszenia i mielenia w celu poprawy ich efektywności (Gawenda 2013, Saramak 2012, Tumidajski i inni 2010) Przesiewanie uzależnione jest od trzech podstawowych charakterystycznych czynników (Gawenda 2014, 2015):

- parametrów technicznych przesiewacza,
- właściwości fizyczno-mechanicznych przesiewanych surowców,
- sposobu prowadzenia procesu przesiewania.

Wymienione czynniki wpływają na siebie, wzajemnie decydując o jakości oraz wydajności procesu przesiewania. Efektywność każdego procesu przesiewania można określić za pomocą wskaźników technologiczno-eksploatacyjnych do których należą skuteczność procesu przesiewania (ϵ), wydajność i obciążenie przesiewacza (Q), ziarno podziałowe (d_p) i dokładność rozdziału (E_p).

Warto zwrócić uwagę na kwestie związane z właściwościami przesiewanego materiału, gdyż niejednokrotnie determinują one przebieg i efektywność procesu przesiewania oraz wymuszają dobór odpowiedniego sposobu prowadzenia samego procesu technologicznego. W artykule przedstawiono problemy związane z przesiewaniem materiału o zwiększonej gęstości, na podstawie testów przesiewania metalurgicznych odpadów cynkowych. Odpady, stanowiące nadawę wszystkich testów pochodzą z procesów galwanizacji stali i są istotne w metalurgicznym procesie produkcji cynku, gdyż zawierają znaczne ilości tego metalu. W procesie cynkowania zużywa się ok. 50% zasobów cynku (ok. 7 mln ton rocznie), z kolei w odpadach z procesu, w postaci cynku twardego i pyłów cynkowych, taci się ok. 20% metalu (Shibli i inni, 2015). W technolog-

icznym procesie odzysku cynku z odpadów wykorzystuje się na wstępnym etapie operacje przesiewania, gdyż zawartości cynku w postaci metalu i tlenków jest zróżnicowany w poszczególnych klasach ziarnowych. Z uwagi na nieregularność kształtu ziaren tych odpadów a także większą gęstość nasypową (objętościową?), proces przesiewania nie zawsze przebiega z odpowiednio wysoką skutecznością. Pojedyncze ziarna mogą w większym stopniu blokować się w oczkach przesiewacza, obniżając przez to wydajność i skuteczność procesu. Wyniki badań zaprezentowanych w tym artykule wskazują, że odpowiedni dobór parametrów prowadzenia procesu przesiewania skutkuje uzyskaniem zadowalających wartości wskaźników oceny efektywności pracy przesiewacza wibracyjnego.

Metodologia

Jednym z ważniejszych parametrów pracy przesiewacza jest prędkość materiału na sicie. Od prędkości materiału na sicie zależy wydajność przesiewania oraz grubość warstwy materiału na sicie. Na sprawność przesiewania również wpływają parametry dynamiczne przesiewacza (amplituda i częstość drgań) oraz parametry konstrukcyjne (kąt podrzutu ziarna, kąt nachylenia sita) (Sztaba 1993, Wodziński 1997).

W przesiewaczach wibracyjnych ruch ziarna po sicie wywołany jest siłami bezwładności, które są skutkiem okresowego ruchu rzeszota. Transport materiału po powierzchni sita uzyskuje się w tym przypadku za pomocą wibratorów wywołujących drgania harmoniczne, skierowane pod kątem do powierzchni sita. W literaturze często używa się określenia wskaźnik dynamiczny (u_0), który jest stosunkiem maksymalnego przyspieszenia sita do przyspieszenia ziemskiego:

$$u_0 = \frac{A \cdot \omega^2}{g} \quad [-] \quad (2)$$

gdzie:

A – amplituda [m],

ω – prędkość kątowna [rad/s],

g – przyspieszenie ziemskie [m/s²].

Wskaźnik ten informuje nas zarazem o wartościach obciążeń konstrukcji przesiewacza siłami bezwładności.

Często operuje się wskaźnikiem posuwu (u_1) i wskaźnikiem podrzutu (u_2), który jest stosunkiem składowej normalnej maksymalnego przyspieszenia sita do składowej normalnej przyspieszenia ziemskiego. Dla przesiewacza o kołowej trajektorii drgań wskaźnik podrzutu ma postać:

$$u_2 = \frac{r \cdot \omega^2}{g \cdot \cos \beta} > 1 \quad [-] \quad (1)$$

gdzie:

r – promień drgań [m],

ω – prędkość kątowna [rad/s],

g – przyspieszenie ziemskie [m/s^2],

β – kąt nachylenia sita do poziomu [$^\circ$].

Decydujący wpływ na skuteczność przesiewania, prędkość transportową oraz zatykanie i zalepianie się sit ma wskaźnik podrzutu, stąd też właściwy dobór tego wskaźnika ma szczególne znaczenie. W celu uzyskania dużych wydajności i dobrej skuteczności w przesiewaczach rezonansowych stosuje się wskaźnik dynamiczny $u_0=10$, co po uwzględnieniu odpowiednich kątów daje wartość wskaźnika podrzutu u_2 ok. 9. W przesiewaczach o drganiach kołowych wskaźnik dynamiczny z reguły ma wartość $u_0=5,1-9,0$ (tab. 1). Po uwzględnieniu kąta nachylenia sit otrzymuje się wskaźniki podrzutu $u_2=5,6-9,4$.

Wysokie i bardzo wysokie wskaźniki podrzutu ($u_2 \approx 7 \div 10$) są potrzebne tylko w przypadku materiałów trudno przesiewalnych, a więc materiałów wilgotnych i łatwo przylepiających się do pokładu sitowego (np. kruszyw mineralnych zanieczyszczonych gliną). Dla materiałów o niedużym zawilgoceniu i średnich własnościach przyczepiania do pokładu sitowego oraz niedużych skłonnościach do zaklinowywania otworów sita stosuje się wskaźniki podrzutu w zakresie 4,5 do 6,5, natomiast dla materiałów łatwo odsiewalnych, które nie wykazują tendencji do zaklejania sit wystarczy wskaźnik podrzutu na poziomie 2,0–3,3. (Banaszewski 1990, Sztaba 1993, Wodziński 1997).

Cel i metodyka badań

Celem badań była ocena skuteczności procesu przesiewania odpadów cynkowych z procesu cynkowania stali (rys. 1) w zależności wybranych parametrów pracy przesiewacza, tj. częstotliwości drgań i wskaźnika podrzutu rzeszota przesiewacza wibracyjnego. Odpady cynkowe o gęstości nasypowej $3,41 \text{ g/cm}^3$ charakteryzowały się uziarnieniem 0–12 mm. Program badań obejmował testy przesiewania na dwóch typach sit: drucianym i poliuretanowym. Dodatkowo użyto w badaniach sit drucianych z dwoma wielkościami oczek: $4 \times 4 \text{ mm}$ oraz $3,15 \times 3,15 \text{ mm}$. Rozmiar oczka w sicie poliuretanowym wynosił $4 \times 4 \text{ mm}$.

Dla każdego testu została wyznaczona skuteczność technologiczna S_H według Hancocka. Skuteczność ta uwzględnia zarówno jakość produktów, jak i efekty

rozdziłu ilościowego składników nadawy pomiędzy te produkty. Wylicza się ją ze wzoru Hancocka, który również definiuje sprawność przesiewacza:

$$S_H = 10000 \frac{(a_{nd} - a_{gd})(a_{dd} - a_{nd})}{a_{nd}(a_{dd} - a_{gd})(100 - a_{nd})} [\%]$$

gdzie:

a_{dd} – zawartość klasy drobnej w produkcie dolnym [%],

a_{gd} – zawartość klasy drobnej w produkcie górnym [%],

a_{nd} – zawartość klasy drobnej w nadawie [%].

Ziarno podziałowe d_{50} jest to wielkość tych ziarn, które rozdzielają się do produktów rozdziłu w równych ilościach, a więc ich prawdopodobieństwa przechodzenia do obu produktów są równe i wynoszą 0,5. Mimo iż w przypadku przesiewania wielkość otworu sita d_T wyznacza granicę między uziarnieniem obu produktów, ograniczone prawdopodobieństwa odsiania (zwłaszcza ziarn o wielkościach zbliżonych do d_T) powodują, że granica ta w rzeczywistych procesach prowadzonych na sitach nie bywa nigdy osiągnięta. Rzeczywistą wartość granicy rozdziłu d_{50} wyznacza się z krzywej rozdziłu, jako odciętą punktu krzywej o rzędnej 0,5.

Do procesu przesiewania użyto laboratoryjnego przesiewacza wibracyjnego o ruchu kołowym o wydajności ok. 4 Mg/h (rys. 2). Zakres regulacji częstotliwości drgań w przesiewaczu wynosi od 0 do 1600 obr/min, amplituda drgań 3 mm, oraz regulacja stopnia nachylenia pokładu sitowego 0–15 $^\circ$.

Przeprowadzony proces przesiewania odbywał się przy trzech częstotliwościach 50, 65 i 80 Hz (tj. 1000, 1300 i 1600 obr/min wału silnika wibracyjnego). Amplituda drgań rzeszota wynosząca 3 mm oraz kąt nachylenia pokładu sitowego 15 $^\circ$ były stałe dla wszystkich testów.

Analiza wyników

Próbki przesiewanego materiału zostały podane analizom granulometrycznym i na ich podstawie wyznaczono dystrybuanty krzywych składu ziarnowego (rys. 3 i 4) oraz krzywe rozdziłu (rys. 5 i 6). W tabeli 2 zestawiono obliczone skuteczności przesiewania dla różnych rodzajów sit przy uwzględnieniu zmiennego ziarna podziałowego d_{50} .

Na podstawie przeprowadzonych testów wynika, że ziarno podziałowe zmienia się w różnym zakresie w zależności od użytych sit oraz częstotliwości drgań rzeszota (tabela 2). Dla sita drucianego o oczku $4 \times 4 \text{ mm}$ wartość ziarna podziałowego wynosząca 4,04 mm jako najbliższa oczku $d_T = 4 \text{ mm}$ była uzyskana dla częstotliwości 65 Hz. Można również stwierdzić, że ten proces był najefektywniejszy, ponieważ dla tych parametrów pracy przesiewacza osiągnięto najwyższą skuteczność przesiewania wynoszącą 99,6% (tab. 2 i rys. 7). Skuteczność procesu przesiewania dla sita poliuretanowego była zbyt niska (około 87%) przy zbyt zaniżonych

Tab. 1. Parametry pracy przesiewaczy o ruchu kołowym (Banaszewski, 1990)

Tab. 1. Operational parameters for screen with circular vibration (Banaszewski, 1990)

Wymiar otworu sita D [mm]	Zalecana amplituda drgań A [mm]	Obroty wału napędowego n [obr/min]	Zalecany kąt nachylenia sita β [°]	Kierunek obrotów wału napędowego w stosunku do ruchu materiału	Wskaźnik dynamiczny przesiewacza u [-]
<3	1,5-6	1000-1750	22,5-30	przeciwny	5,1-6,7
3-50	8	900-1000	18,0-20	zgodny	7,2-8,9
50-125	10	800-900	18,0-20	zgodny	7,1-9,0
125-200	12	700-750	18,0-20	zgodny	6,5-7,5
200-250	14	650-700	18,0-20	zgodny	6,6-7,7



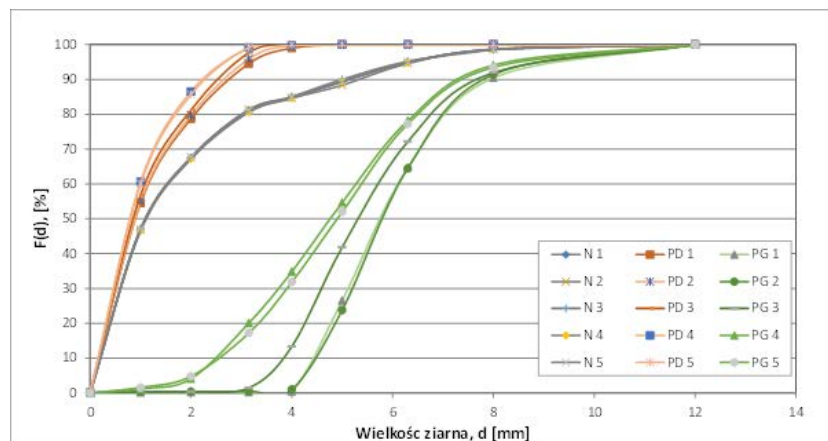
Rys. 1. Materiał do badań (fot. T. Gawenda)

Fig. 1. Feed material for screening tests (photo: T. Gawenda)



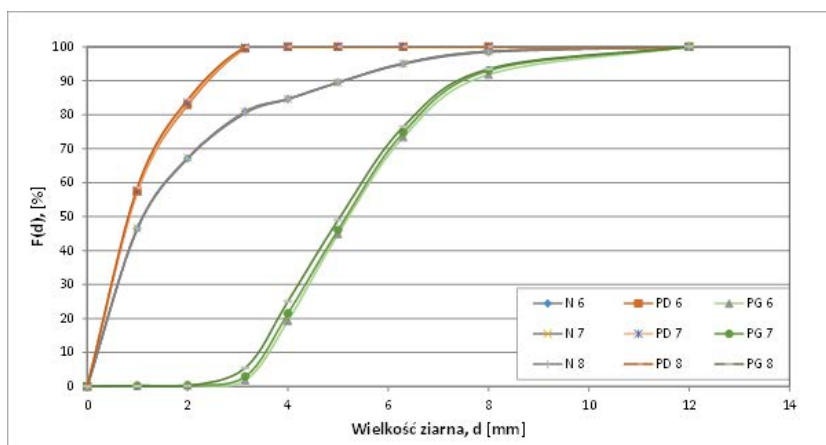
Rys. 2. Przesiewacz wibracyjny dwupokładowy (fot. T. Gawenda)

Fig. 2. Double-decked vibrating screen used in investigations (photo: T. Gawenda)

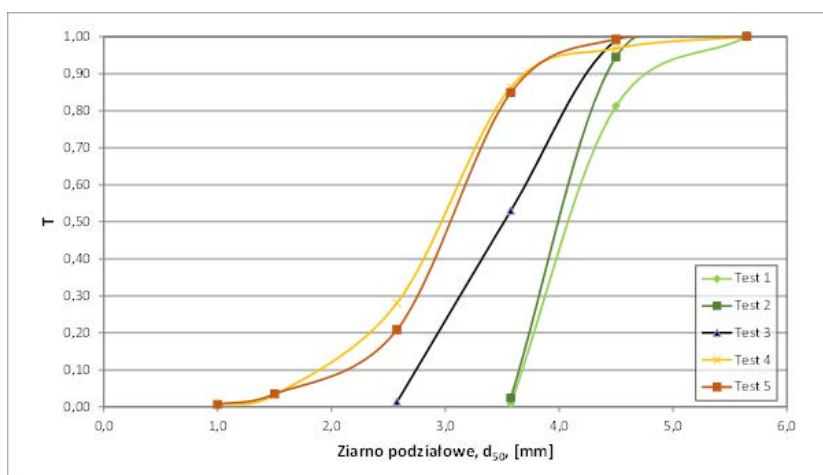


Rys. 3. Dystrybuanty krzywych składu ziarnowego produktów przesiewania oraz nadawy dla sit o oczkach 4x4 mm (N – nadawa, PD – produkt dolny, PG – produkt górny, liczba oznacza kolejną próbkę i test)

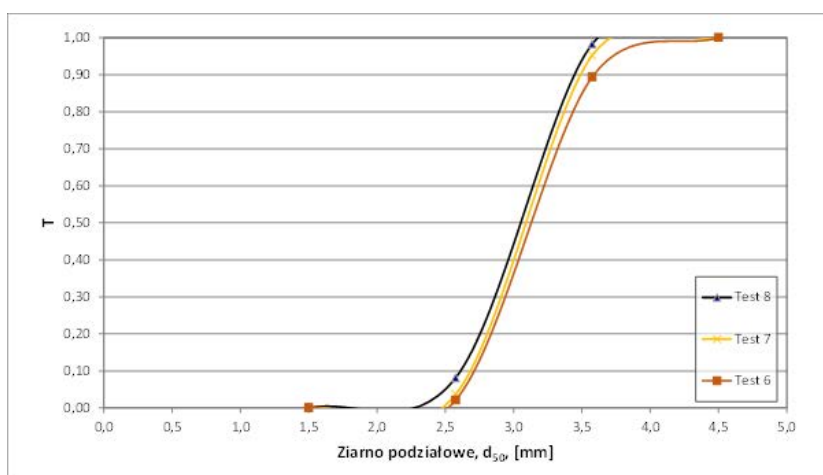
Fig. 3. Cumulative particle size composition curves for feed and screening products for the mesh size 4x4 mm (F – feed, UP – screen undersize product, OP – screen oversize product, number – denotation of test)



Rys. 4. Dystrybuanty krzywych składu ziarnowego produktów przesiewania oraz nadawy dla sita o oczkach 3,15x3,15 mm (oznaczenia jak na rys. 3)
 Fig. 4. Cumulative particle size composition curves for feed and screening products for the mesh size 3.15 x 3.15 mm (F – feed, UP – screen undersize product, OP – screen oversize product, number – denotation of test)



Rys. 5. Krzywe rozdziału poszczególnych produktów przesiewania dla sit o oczkach 4x4 mm
 Fig. 5. Partition curves for screening products for the mesh size 4x4 mm.



Rys. 6. Krzywe rozdziału poszczególnych produktów przesiewania dla sita o oczkach 3,15x3,15 mm
 Fig. 6. Partition curves for screening products for the mesh size 3.15 x 3.15 mm

Tab. 2. Skuteczność procesu przesiewania dla różnych rodzajów i parametrów pracy przesiewacza

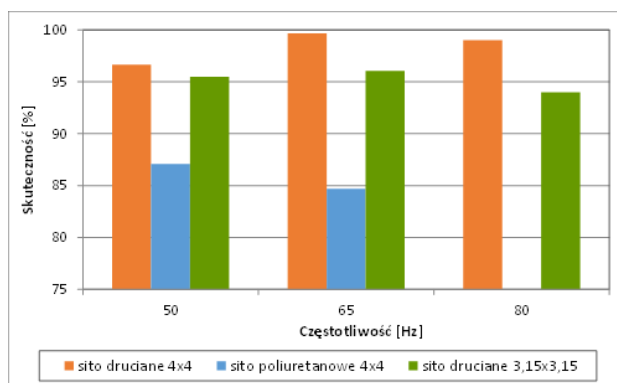
Tab. 2. Screening process efficiency calculated for individual tests

Numer testu	Rodzaj sita i rozmiar oczka, mm	Częstotliwość drgań, Hz	Ziarno podziałowe d_{50} , mm	Skuteczność przesiewania S_H , %
1	druciane 4x4	50	4,14	96,6
2	druciane 4x4	65	4,04	99,6
3	druciane 4x4	80	3,50	99,0
4	poliuretanowe 4x4	50	3,05	87,1
5	poliuretanowe 4x4	65	2,95	84,7
6	druciane 3,15x3,15	50	3,10	95,5
7	druciane 3,15x3,15	65	3,05	96,0
8	druciane 3,15x3,15	80	3,02	94,0

Tab. 3. Parametry pracy przesiewacza przy danych częstotliwościach

Tab. 3. Operational parameters of the given values of amplitude and inclination angle.

Numer testu	Amplituda drgań A [mm]	Częstotliwość [Hz]	Obroty wału napędowego n [obr/min]	Kąt nachylenia sita β [°]	Wskaźnik dynamiczny przesiewacza u_o [-]	Wskaźnik podrzutu u_2 [-]
1	3	50	1000	15	3,35	3,47
2	3	65	1300	15	5,66	5,86
3	3	80	1600	15	8,59	8,89
4	3	50	1000	15	5,66	5,86
5	3	65	1300	15	8,59	8,89
6	3	50	1000	15	3,35	3,47
7	3	65	1300	15	5,66	5,86
8	3	80	1600	15	8,59	8,89



Rys. 7. Skuteczność procesu przesiewania w zależności od rodzaju sita i częstotliwości drgań rzeszota

Fig. 7. Screening efficiency depending the type of sieve and vibrating frequency.

wartościach ziarna podziałowego (około 3 mm), co decyduje, że sito to jest mało przydatne do tego rodzaju materiału.

Dla sita drucianego o oczku 3,15 x 3,15 mm najkorzystniejsze wartości częstość drgań wynosiły 50 i 65 Hz, ponieważ dla nich skuteczności procesu przesiewania osiągnęły 96%, przy ziarnach podziałowym w granicach 3,05 i 3,10 mm – zbliżonych do wielkości oczka sita (tab. 2 i rys. 7).

Dla przeprowadzonych testów procesu przesiewania wyznaczono także zakres parametrów dynamicznych pracy przesiewacza u_o oraz wskaźnik podrzutu u_2 w za-

leżności od obrotów wału napędowego silnika (prędkości kątowej wału ω), amplitudy drgań A i kąta nachylenia sita β . Parametry zestawiono w tabeli 3.

Podsumowanie

Na podstawie badań laboratoryjnych przesiewania odpadów cynkowych można stwierdzić, że proces przesiewania przebiegał najefektywniej na sicie metalowym drucianym o oczku kwadratowym 4x4 mm. Wszystkie skuteczności na tym sicie zawierały się w granicach od ponad 96 do ponad 99%, jednakże ze względu na wartość ziarna podziałowego zbliżonego do wielkości oczka sita,

należałoby uznać, że najkorzystniejszą częstotliwością drgań rzeszota tego przesiewacza będzie 65 Hz (tab. 2, rys. 7).

Wyznaczony wskaźnik dynamiczny przesiewacza u_0 , który wynosi 5,66 dla częstotliwości 65 Hz, także jest bliższy (wg Banaszewskiego) zaleceniom pracy przesiewaczy tego typu o ruchu kołowym niż w przypadku częstotliwości 80 Hz (tab. 1 i 3).

Artykuł jest wynikiem realizacji projektu POIR.01.01.01-00-0032/16-00 “Opracowanie technologii kompleksowego zagospodarowania odpadów z ocynkowni ogniowych”

Literatura – Resources

1. Banaszewski T. 1990: Przesiewacze. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice.
2. Blaschke S. 1981: Przeróbka mechaniczna kopalin cz. I. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice.
3. Gawenda T., 2013: Wpływ rozdrabniania surowców skalnych w różnych kruszarkach i stadiach kruszenia na jakość kruszyw mineralnych. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi Mineral Resources Management*, t. 29 z. 1, s. 53–65.
4. Gawenda T., 2015: Zasady doboru kruszarek oraz układów technologicznych w produkcji kruszyw łamanych, Wydawnictwa AGH, Rozprawy Monografie nr 304, Kraków 2015
5. Gawenda T., 2014: Wybrane zagadnienia pracy przesiewaczy wibracyjnych z sitami dla surowców trudno przesiewalnych. *Kruszywa 2/2014*. s. 38-43. Wyd. Elamed, Katowice
6. Saramak D., 2012: Optimizing the performance of high-pressure grinding roll based ore enrichment circuits. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi Mineral Resources Management*, vol. 28 z. 4, s. 87–99.
7. Schmitz D., Friedrich B, 2007: In-house recycling of hard zinc and zinc ash by liquid metal centrifugation. *Proceedings of EMC 2007*
8. Shibli S.M.A., Meena B.N., Remya R., 2015: A review on recent approaches in the field of hot dip zinc galvanizing process. *Surface and Coatings Technology*, vol. 262, 25 January 2015, pp. 210-215
9. Sztaba K. 1993: Przesiewanie. Śląskie Wydawnictwo Techniczne, Katowice
10. Tumidajski T., Kasińska-Pilut E., Gawenda T., Naziemiec Z., Pilut R., 2010: Badania energochłonności procesu mielenia oraz podatności na rozdrabnianie składników litologicznych polskich rud miedzi. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi Mineral Resources Management*, t. 26 z. 1, s. 61–72.
11. Wodziński P. 1997: Przesiewanie i przesiewacze. Politechnika Łódzka. Łódź.

Assessment of the Process Efficiency for Metallurgical Zinc Waste Screening in Vibrating Screen
Article concerns problems of screen classification of zinc waste. The aim of the paper was to estimate the screening process effectiveness for different types of screens and different operational parameters. The most favorable results for that type of feed material were obtained for the wire screen with mesh size 4x4 mm and the frequency of vibration 65 Hz. Also the values of throwing and dynamic indices were more favorable.

Keywords: screening, metallurgical zinc waste