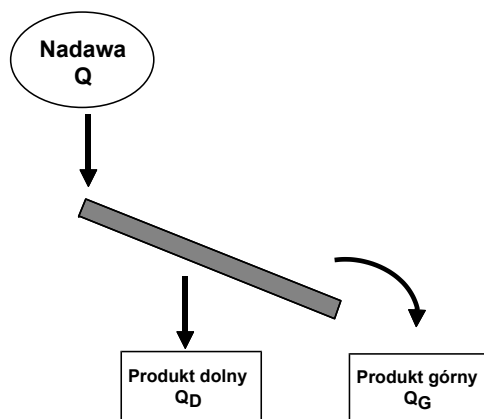


Wprowadzenie

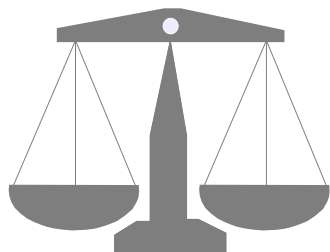
Przesiewanie, zwane także klasyfikacją mechaniczną, jest jedną z podstawowych operacji przerobczych, polegających na rozdzieleniu mieszaniny ziarn według ich wielkości (Drzymała, 2001).

Operacji przesiewania dokonuje się w maszynach zwanych przesiewaczami, wyposażonymi w jedno lub kilka sit. Z jednego sita otrzymuje się dwie klasy ziarnowe. Klasa pozostająca na powierzchni sita nosi nazwę *produktu górnego*, natomiast klasa, której ziarna przeszły przez otwory sita – *produktu dolnego*. Stosuje się także inne określenia dla produktu górnego, jak np. „odsiew” lub „wypad”, a dla produktu dolnego – „przesiew” lub „przepad”.

Materiał ziarnisty, zwany nadawą, w wyniku operacji przesiewania na jednym sicie dzieli się na dwa produkty: dolny o masie Q_D i górny o masie Q_G (rys.1).



Rys. 1. Schemat rozdzielania nadawy na produkt górny i dolny na przesiewaczu



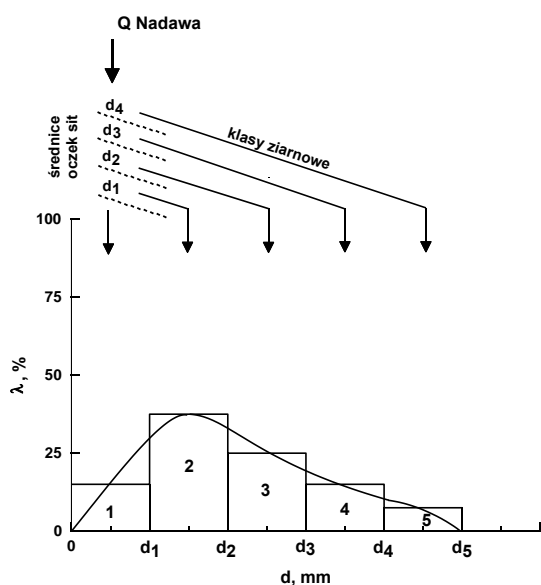
Rys. 2. Etap I. Ważenie produktów przesiewania dla określenia ich wychodów

Masa Q może być również wyrażona w postaci strumienia, czyli masy na jednostkę czasu np. Mg/dobę. Gdy proces przesiewania przebiega idealnie, wtedy produkt górny składa się wyłącznie z ziarn większych od wymiaru otworu sita d , a produkt dolny z ziarn o wymiarach mniejszych niż d . W rzeczywistości procesy techniczne nie przebiegają idealnie, dlatego w produkcie górnym znajdzie się *podziarno*, tj. ziarna o wymiarach mniejszych od otworów sita, natomiast w produkcie dolnym *nadziarno*, tzn. ziarna o wymiarach większych od otworów sita. Obecność podziarna w produkcie górnym może wynikać z tego, że nie weszły one w kontakt z otworami w czasie swej drogi po powierzchni roboczej lub zostały zatrzymane między ziarnami grubszymi, a także mogły przylepić się

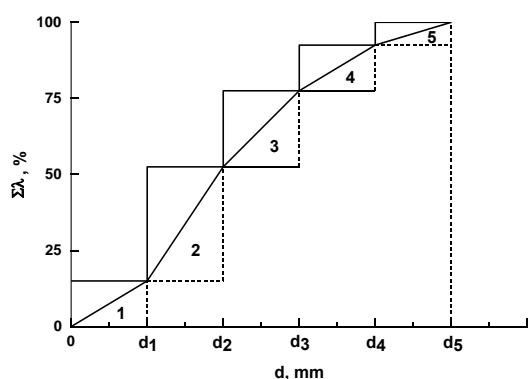
do innych ziarn pod działaniem wilgoci powierzchniowej. Z kolei obecność nadziarna w produkcie dolnym może wynikać np. z uszkodzonego sita.

Dla analizy i oceny procesu klasyfikacji najpierw waży się produkty klasyfikacji (rys.2) dla określenia ich *wychodów*, a następnie poddaje analizie sitowej (rys.3) dla określenia *zawartości* poszczególnych klas ziarnowych w produktach przesiewania. W oparciu o te dane można sporządzić krzywe składu ziarnowego oraz krzywe rozdziału.

a)



b)



Rys. 3. Etap II. Analiza sitowa dla określenia krzywych składu ziarnowego dla produktów przesiewania

- a) krzywa składu ziarnowego w postaci histogramu
b) krzywa składu ziarnowego skumulowana

Krzywe składu ziarnowego są opisem graficznym zawartości klas ziarnowych (λ) w badanym produkcie od średnicy ziarna (d). Przykładowe krzywe składu ziarnowego w formie nieskumulowanej, czyli histogramu oraz w formie skumulowanej przedstawiono odpowiednio na rys. 3a i 3b. Przy rysowaniu krzywych składu ziarnowego w formie histogramu należy nanieść zawartości poszczególnych klas ziarnowych od średniego ziarna w klasie, natomiast przy krzywych skumulowanych – górną granicę danej klasy ziarnowej. Krzywe składu ziarnowego sporządza się dla nadawy (N) oraz dla wszystkich produktów przesiewania.

Na rys. 4 pokazano oba typy krzywych składu ziarnowego wykreślone dla dwóch produktów przesiewania – dolnego (D) i górnego (G) oraz dla nadawy (N), z tym że krzywe składu ziarnowego – histogramy przerysowano w nieco innej formie niż na rys. 3, tzn. w postaci zawartości poszczególnych klas ziarnowych nie w %, ale w jednostkach masy aby pokazać

graficznie jak nadawa w wyniku przesiewania rozdzielana jest na produkty, każdy o innej charakterystyce składu ziarnowego. Na rysunku tym zaznaczono również punkt d_{50} , oznaczający identyczne prawdopodobieństwo trafienia do produktu górnego jak i dolnego ziarna o rozmiarze d_{50} . Krzywe te pokazują wyniki separacji.

Inną krzywą, która charakteryzuje proces przesiewania, jest *krzywa rozdziału*. Krzywa rozdziału, dla produktu np. dolnego, przedstawia zależność uzysku wybranej klasy ziarnowej w produkcie dolnym od średniego rozmiaru ziarn stanowiących daną klasę. Podobnie sporządza się

krzywą rozdziału dla produkty górnego. Uzysk klasy ziarnowej liczony jest w stosunku do nadawy według wzoru:

$$\varepsilon_{ij} = \gamma_j \cdot \frac{\lambda_{ij}}{\alpha_i} \quad (1)$$

gdzie:

i – klasa ziarnowa otrzymana w wyniku analizy sitowej

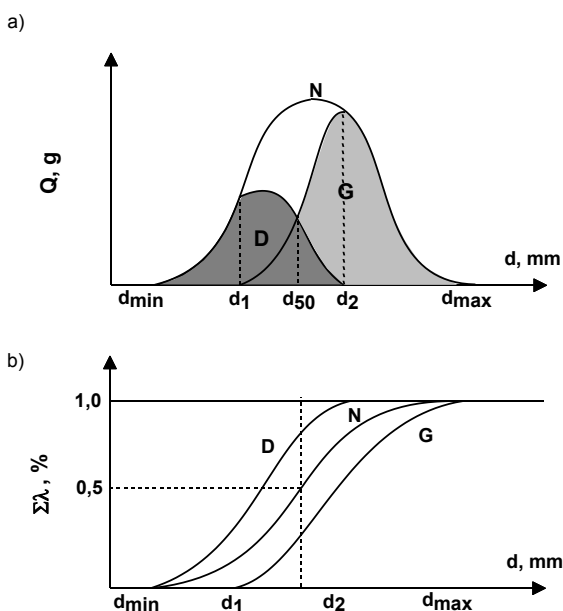
j – rodzaj produktu otrzymanego w wyniku przesiewania

j = D dla produktu dolnego, dla produktu górnego j = G, a dla nadawy j = N

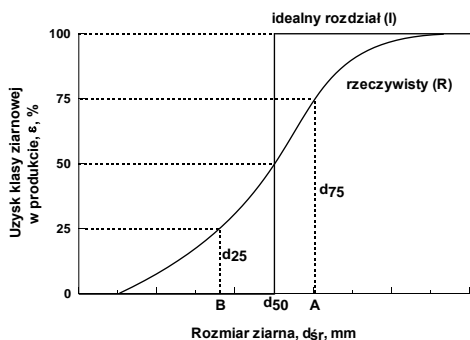
ε_{ij} – uzysk i-tej klasy ziarnowej w produkcie j-tym, %

λ_{ij} – zawartość i-tej klasy ziarnowej w produkcie j-tym, %

α_i – zawartość i-tej klasy ziarnowej w nadawie, %



Rys. 4. Krzywe składu ziarnowego w formie histogramu (rys. 4a) i w formie skumulowanej $\Sigma\lambda$ (rys. 4b) dla nadawy i dwóch produktów klasyfikacji, tzn. dla produktu górnego (G) i dolnego (D)



Rys. 5. Krzywa rozdziału produktu górnego dla procesu idealnego i rzeczywistego oraz sposób wyznaczania rozproszczenia prawdopodobnego

Uzysk klasy ziarnowej w produkcie nazywany jest także liczbą rozdziału (Łuszczkiewicz, Laskowski, 1989), skutecznością wydzielenia (Malewski, 1981), efektywnością przesiewania (Banaszewski, 1990), funkcją rozdziału (Brożek, 1996).

Typową krzywą rozdziału dla produktu górnego pokazano na rys. 5. Dla procesu przesiewania, który przebiega idealnie krzywa rozdziału będzie miała kształt taki jak krzywa I na rys. 5, natomiast dla rzeczywistego procesu rozdziału krzywa ta będzie taka jak krzywa R na tym samym rysunku. Ziarno podziałowe d_{50} , względem którego następuje rozdział znajduje się w 50-ciu procentach w produkcie górnym jak i dolnym. Należy zwrócić uwagę, że rozmiar ziarna podziałowego d_{50} nie pokrywa się z rozmiarem oczek w stosowanym do przesiewania sicie. Krzywe rozdziału sporządza się na podstawie danych z bilansu, kreśląc zależność uzysku danej klasy ziarnowej od średniego rozmiaru ziarn w tej klasie, czyli $\varepsilon_{ij} = f(d_{sr})$ lub można wyliczyć w oparciu o równanie:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{Q_{ij}}{Q_{iN}} \quad (2)$$

(np. dla produktu górnego równanie będzie miało postać: $\varepsilon_{iG} = \frac{Q_{iG}}{Q_{iN}}$), gdzie Q_{ij} oznacza masę danej klasy w produkcie j-tym, natomiast Q_{iN} oznacza masę danej klasy ziarnowej w nadawie. Dane dotyczące Q można odczytać bezpośrednio z histogramu (rys. 4a) lub wziąć z wyników analizy sitowej.

Miarą odchylenia rzeczywistej krzywej rozdziału od idealnej krzywej rozdziału jest wskaźnik zwany *rozproszaniem prawdopodobnym* (E_p), który jest definiowany jako połowa różnicy między średnicą ziarna, przy której otrzymuje się 75% uzysku danej frakcji i średnicą, przy której otrzymuje się 25% frakcji (rys. 5), tzn.:

$$E_p = \frac{A - B}{2} \quad \text{lub} \quad E_p = \frac{d_{75} - d_{25}}{2} \quad (3)$$

E_p ma wymiar jednostki długości.

Wartość E_p jest tym mniejsza, im bardziej pionowy jest odcinek krzywej pomiędzy rzędną 25 i 75% i tym dokładniejszy jest rozdział.

Celem ćwiczenia jest analiza i ocena procesu klasyfikacji ziarnowej przeprowadzonej przez przesiewanie. Aby tego dokonać wybrane kruszywo zostanie przesiane na jednositowym przesiewaczu, co dostarczy dwie klasy ziarnowe, czyli produkt górny i dolny. Produkty te będą poddane analizie wagowej dla określenia ich wychodu (γ_j), a następnie analizie sitowej dla określenia zawartości poszczególnych klas ziarnowych w tych produktach, czyli λ_{ij} . W oparciu o te dane wykreślone zostaną krzywe składu ziarnowego produktów przesiewania, (histogramy i krzywe skumulowane), oraz krzywe rozdziału dla tych produktów. Określona również zostanie średnica ziarna podziałowego d_{50} w celu porównania jej ze średnicą sita. Obliczone zostanie także rozproszenie prawdopodobne (E_p).

Do analizy sitowej użyte będą sita od 2 do 32 mm z zachowanym modułem stosowanym w budownictwie (Grzelak, 1995) i wynoszący 2, czyli $\frac{d_{\text{sita następnego}}}{d_{\text{sita}}} = 2$

Teoretycznie istnieje nieskończona liczba krzywych opisujących proces rozdziału ziarna na sitach (Ż. Konopacka, J. Drzymała, 2002)

I. Aparatura, urządzenia i materiały

1. Przesiewacz laboratoryjny
2. Kruszywo o uziarnieniu 0-36 mm, około 5 kg

3. Zestaw sit laboratoryjnych o wymiarach oczek: 2, 4, 8, 16 oraz 32 mm
4. Waga laboratoryjna o dokładności ważenia 1 g
5. Wstrząsarka wibracyjna do sit
6. Suwmiarka

II. Przebieg ćwiczenia

1. Zważyć około 5 kg kruszywa wskazanego przez prowadzącego
2. Zmierzyć otwory sita w przesiewaczu
3. Po zapoznaniu się z instrukcją BHP obsługi przesiewacza i uzyskaniu zgody od prowadzącego włączyć przesiewacz i wraz z prowadzącym dokonać klasyfikacji nadawy
4. Zważyć produkty przesiewania i określić wychody produktu górnego (γ_G) oraz dolnego (γ_D)
5. Przeprowadzić analizę sitową produktu górnego i dolnego, za pomocą sit laboratoryjnych i określić zawartości poszczególnych klas ziarnowych w produktach, czyli λ_{iG} , λ_{iD} oraz α_i
6. Obliczyć uzyski poszczególnych klas ziarnowych w produkcji górnym ε_{iG} i osobno w produkcji dolnym ε_{iD}
7. Sporządzić krzywe składu ziarnowego dla nadawy, produktu górnego i dolnego w formie histogramu i w formie skumulowanej zwracając uwagę na stosowane dla tych krzywych odpowiednie wartości d
8. Narysować krzywe rozdziału dla produktu górnego i dolnego
9. Wykonane rysunki dołączyć do sprawozdania.

IV. Wykonanie sprawozdania

Sprawozdanie przygotowane indywidualnie powinno zawierać: stronę tytułową, wprowadzenie do zagadnienia, szczegółowy opis ćwiczenia, wykreślone krzywe składu ziarnowego produktów przesiewania w formie nieskumulowanej (histogram) oraz skumulowanej i krzywą rozdziału. Należy także odczytać z krzywej rozdziału średnicę ziarna podziałowego (d_{50}) i obliczyć rozproszenie prawdopodobne (E_p). Następnie należy przeprowadzić dyskusję wyników i opisać wnioski. Na końcu sprawozdania należy podać spis literatury, z której korzystano przy pisaniu sprawozdania.

W celu ułatwienia przygotowania sprawozdania poniżej zamieszczono wzory tabel. Wyniki ważenia produktów przesiewania na przesiewaczu należy zamieścić w tab.1, a wyniki analizy sitowej nadawy oraz produktu górnego i dolnego na sitach laboratoryjnych zamieścić w tab. 2. Wartości skumulowane niezbędne do wykreślenia skumulowanych krzywych składu ziarnowego należy wpisać do tab.3.

Tabela 1. Analiza wagowa produktów przesiewania kruszywa

Produkty	Wychód produktu	
	Q [g]	γ [%]
Nadawa		

Tabela 2. Analiza sitowa produktów przesiewania kruszywa oraz obliczanie uzysków

Klasa ziarnowa $d_{i-1}-d_i$	Średnie ziarno w klasie $d_{i\text{sr}}$	Zawartości klasy w produkcie λ_{ij}						Uzysk klasy	
		Nadawa		Produkt górny		Produkt dolny		$\varepsilon_G = \gamma_G \cdot \frac{\lambda_{iG}}{\alpha_i}$	$\varepsilon_D = \gamma_D \cdot \frac{\lambda_{iD}}{\alpha_i}$
[mm]	[mm]	Q_{iN} [g]	α_i [%]	Q_{iG} [g]	λ_{iG} [%]	Q_{iD} [g]	λ_{iD} [%]	[%]	[%]
Suma			100		100		100		

ε_{iG} – uzysk i-tej klasy w produkcie górnym (liczba rozdziału), %

ε_{iD} – uzysk i-tej klasy w produkcie dolnym (liczba rozdziału), %

γ_G, γ_D – wychód produktu górnego i dolnego, %

Tabela 3. Wartości skumulowane potrzebne do wykreślenia skumulowanych krzywych składu ziarnowego

Klasa ziarnowa $d_{i-1}-d_i$	Górna granica klasy ziarnowej d_i	Skład ziarnowy					
		nadawa		produkt górnny		produkt dolny	
[mm]	[mm]	α_i [%]	$\Sigma\alpha_i$ [%]	λ_{iG} [%]	$\Sigma\lambda_{iG}$ [%]	λ_{iD} [%]	$\Sigma\lambda_{iD}$ [%]
			100		100		100

Krzywe składu ziarnowego wykreślamy w układzie współrzędnych: wychód frakcji danego produktu – średnica ziarna (histogram od średniego rozmiaru ziarna w klasie natomiast krzywa skumulowana od średnicy oczka górnego sita). Natomiast krzywe rozdziału w układzie współrzędnych: uzysk klasy ziarnowej w danym produkcie – średnia średnica ziarna.

Literatura

Banaszewski T. „Przesiewacze”, Śląsk 1990

Drzymała J. „Podstawy mineralurgii”, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2001

Grzelak E. „Kruszywa mineralne”, Poradnik, COIB, Warszawa 1995

Konopacka Ż., Drzymała J. „Generowanie krzywych klasyfikacji stosowanych do opisu procesów separacji”, Zagadnienia interdyscyplinarne w górnictwie i geologii, Prace Naukowe Instytutu Górnictwa, 96, Seria: Konferencje, 32, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2002

Laskowski J., Łuszczkiewicz A. „Przeróbka kopalin”, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1989

Sztaba K. „Przesiewanie”, Śląsk, Katowice 1993

„Oznaczanie składu ziarnowego”(PN-78/B-06714).