

**POLITECHNIKA ŚLĄSKA
WYDZIAŁ INŻYNIERII ŚRODOWISKA I ENERGETYKI
INSTYTUT MASZYN I URZĄDZEŃ ENERGETYCZNYCH**

M-24 - Wyznaczanie składu ziarnowego wybranych paliw oraz sorbentów stosowanych w energetyce

Instrukcja laboratoryjna

Opracował: mgr inż. Katarzyna Jagodzińska

dr inż. Mateusz Tymoszek

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest wykonanie analizy granulometrycznej próbek paliwa otrzymanych od Prowadzącego, której rezultatem będzie określenie stopnia polidispersji pyłu oraz wykreślenie histogramu i rozkładu skumulowanego dla każdej z próbek. Na ich podstawie dokonana zostanie analiza porównawcza własności przemiałowych wybranych paliw.

2. Wprowadzenie

Analiza granulometryczna wykonywana jest w celu określenia uziarnienia materiału sypkiego. Informacja ta jest niezbędna z punktu widzenia operatora kotła pyłowego, ponieważ jakość przemiału paliwa wpływa bezpośrednio na wysokość strat: wylotowej i niecałkowitego spalania w kotle, czy także na możliwość realizacji niskoemisyjnego spalania w kotle.

Jedną z najpowszechniejszych metod określania składu granulometrycznego materiałów, ze względu na swoją prostotę, szybkość i stosunkowo niski koszt, jest analiza sitowa metodą suchą. Ma jednak ona ograniczenia – analizę tę wykonuje się zazwyczaj na sitach o oczkach większych od 63 μm , z czego wynika, że w przypadku materiałów silnie rozdrobnionych wskazane jest aby wykonywana była analiza sitowa metodą morą lub analiza sedymentacyjna. W analizie sitowej stosuje się zazwyczaj sita tkane o zbliżonym do kwadratowego kształcie oczek, gdzie wymiar oczka sita jest równy bokowi kwadratu tworzącego prześwit w siatce sita. Analizę sitową wykonuje się zgodnie z normą PN-75/H-04933 na sitach o oczkach normowanych według normy PN-ISO 565:2000. Konstrukcję sit, sposób ich wykonania, przechowywania, transportu oraz sposób prowadzenia badań kontrolnych tychże sit określa m.in. norma PN-86/M-94001.

Proces przesiewania można podzielić na dwa etapy:

- pierwszy to eliminowanie ziarna znacznie mniejszego niż oczka sita, mogąca przebiegać dość szybko,
- drugi to separacja ziarna „blisko wymiarowego”, będąca procesem stopniowym, rzadko dochodzącym do końca.

Ziarna „blisko wymiarowe” często komplikują proces przesiewania, ponieważ powodują zaślepienie oczek sita i zmniejszenie efektywnej powierzchni elementu przesiewającego.

Przesiewanie, podobnie jak wszystkie procesy, obarczone jest pewną niedokładnością. Niewielka ilość ziaren o rozmiarze mniejszym aniżeli oczka sita pozostaje na nim, głównie z powodu ich adhezji na powierzchni ziaren większych, czy też nienapotkania przez nie wolnego oczka sita.

Wobec powyższego dobrany czas przesiewania powinien być na tyle długi, aby jak najbardziej zmniejszyć tę niedokładność. Wpływ na czas przesiewania ma, między innymi, ilość (masowa i objętościowa) przesiewanej próbki, rozdrobnienie analizowanej próbki, intensywność przesiewania oraz rozmiar oczka sita. Aby uniknąć uszkodzenia sita największe ziarno przesiewanego materiału nie może być większe od $10x^{0,7}$, gdzie x jest wymiarem nominalnym ziarna w mm. Zgodnie z tym, w przypadku sita o nominalnym wymiarze oczka równym 200 μm przesiewany materiał nie powinien zawierać ziaren większych od 3 mm.

3. Przedstawienie graficzne wyników analizy sitowej

Rezultaty analizy sitowej przedstawić można na wiele sposobów. Jednym z najprostszych, a zarazem dość powszechnych sposobów jest histogram rozkładu gęstości. Wyniki można także przedstawiać za pomocą rozkładu skumulowanego. Oba z tych wykresów tworzone są zgodnie z normą PN-ISO 9276-1. Zgodnie z tą normą rozkłady te oznaczane są indeksem dolnym r , który przyjmuje wartość od 0 do 3, w zależności od typu wykonanych pomiarów, i tak:

$r = 0$	dla pomiarów wykonywanych według liczby ziaren
$r = 1$	dla pomiarów wykonywanych według długości ziaren
$r = 2$	dla pomiarów wykonywanych według powierzchni lub rzutu powierzchni ziaren
$r = 3$	dla pomiarów wykonywanych według objętości lub masy ziaren

3.1. Histogram rozkładu gęstości

Na podstawie przykładowych wyników pomiarów przedstawionych w Tabeli 1 wykreślono histogram rozkładu gęstości $\bar{q}_3(x)$ w postaci serii prostokątów, gdzie x oznacza wymiar boku oczka sita w mm. Suma pól nakreślonych prostokątów równa jest 1 (lub 100%, w zależności od sposobu przedstawienia danych). Skumulowana pozostałość nadsitowa R_x (wyrażona w procentach) określa całkowitą ilość materiału znajdującą się ponad danym sitem (suma ilości materiału pozostałego na danym sicie oraz ilości materiału pozostałego na sitach o większym rozmiarze oczek). Procentowa ilość materiału zatrzymana pomiędzy dwoma sitami (pozostałość nadsitowa R_p) może zostać obliczona zgodnie z wzorem $R_{pi}=R_{xi}-R_{xi+1}$.

Tabela 1 Przykładowe wyniki analizy sitowej

	m_{0.02, g}	m_{0.032, g}	m_{0.045, g}	m_{0.063, g}	m_{0.075, g}	m_{0.09, g}	m_{0.125, g}	m_{0.18, g}
	20,63	16,04	8,00	5,74	5,07	3,83	2,99	2,03
R_{x, %}	82,47	64,12	31,99	22,96	20,26	15,29	11,93	8,13
	m_{0.2, g}	m_{0.25, g}	m_{0.355, g}	m_{0.5, g}	m_{0.6, g}	m_{0.8, g}	m_{1, g}	m_{próbki, g}
	1,72	1,15	0,61	0,32	0,22	0,14	0,10	25,01
R_{x, %}	6,86	4,59	2,43	1,27	0,88	0,55	0,42	-

W Tabeli 2 zestawiono wyniki obliczeń niezbędnych do wykreślenia histogramu i rozkładu skumulowanego otrzymanych wyników analizy.

Jako x_i oznaczono nominalny rozmiar sita. Wartość przedziału wielkości ziarna Δx_i obliczono z zależności $\Delta x_i = x_i - x_{i-1}$.

Ilość cząstek zatrzymanych pomiędzy dwoma sitami oznaczono metodą wagową i wyrażono je za pomocą względnych mas $Q_{3,i}$, odniesionych do początkowej masy próbki.

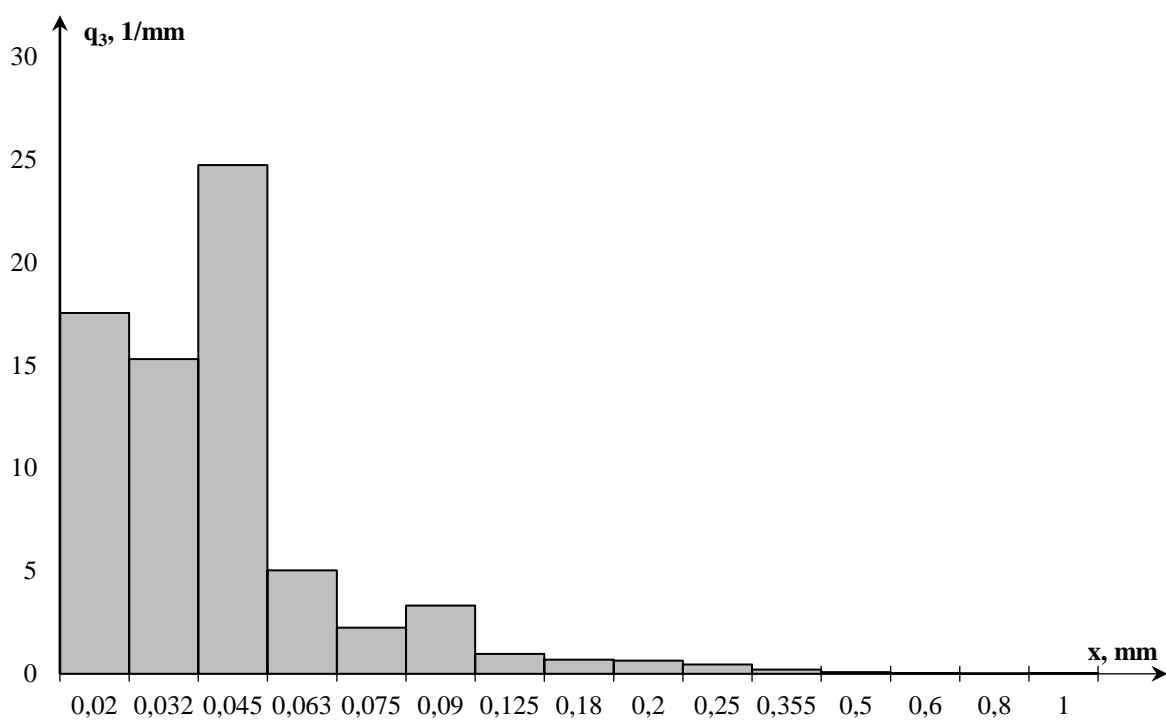
Wartości średnie rozkładu gęstości klasy Δx_i obliczono z zależności:

$$\bar{q}_{3,i} = \frac{\Delta Q_{3,i}}{\Delta x_i}, \text{ mm}^{-1}$$

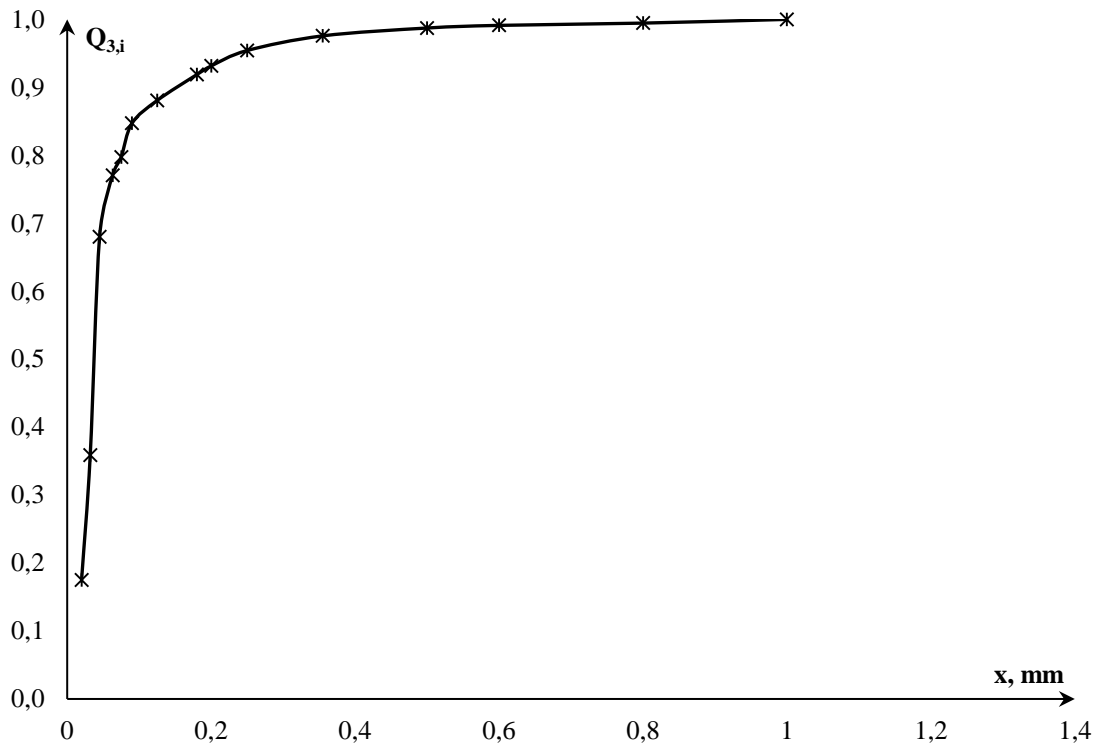
Tabela 2 Obliczenia histogramu i rozkładu skumulowanego

i	x_i, mm	$\Delta Q_{3,i}$	$\Delta x_i, \text{mm}$	$\bar{q}_{3,i}, \text{mm}^{-1}$	$Q_{3,i}$
0	0,01	-	-	-	-
1	0,02		0,01	17,53	0,175
2	0,032	0,184	0,012	15,3	0,359
3	0,045	0,321	0,013	24,71	0,680
4	0,063	0,090	0,018	5,019	0,770
5	0,075	0,027	0,012	2,245	0,797
6	0,09	0,050	0,015	3,313	0,847
7	0,125	0,034	0,035	0,959	0,881
8	0,18	0,038	0,055	0,691	0,919
9	0,2	0,013	0,02	0,636	0,931
10	0,25	0,023	0,05	0,455	0,954
11	0,355	0,022	0,105	0,206	0,976
12	0,5	0,012	0,145	0,08	0,987
13	0,6	0,004	0,1	0,039	0,991
14	0,8	0,003	0,2	0,017	0,995
15	1	0,005	0,2	0,027	1,000

Na Rysunkach 1 i 2 przedstawiono histogram i rozkład skumulowany wykreślone na podstawie powyższych rezultatów obliczeń (Tabela 2).



Rysunek 1 Histogram $\bar{q}_3(x)$ według masy



Rysunek 2 Rozkład skumulowany $Q_3(x)$ według masy

3.2. Liczba polidispersji pyłu

Liczba polidispersji pyłu n nazywamy stopień równomierności ziaren pyłu. Im wyższa jej wartość tym ma on bardziej monodispersyjny charakter – ma bardziej jednorodną strukturę o względnie mniejszym udziale frakcji najgrubszych w związku z czym stanowi ona ważny parametr w ocenie jakości przemiału paliwa.

Stopień przemiału paliwa, biorąc pod uwagę zróżnicowanie frakcyjne pyłu, może być określony także dzięki funkcji $R_x = f(x)$. Powszechnie stosowany jest wzór empiryczny Rosina-Rammlera-Sperlinga dotyczący rozkładu pyłu węglowego:

$$R_x = 100 \cdot e^{-b \cdot x^n}$$

gdzie:

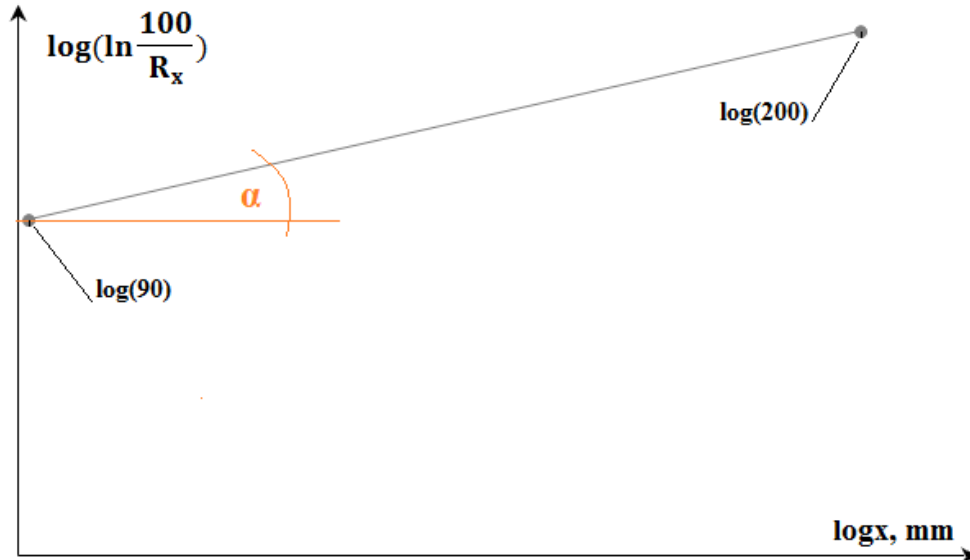
R_x – pozostałość na sicie o wymiarach oczek x , %,

b – stała określająca ziarnistość pyłu (nazywana liczbą rozdrobnienia), -,

n – liczba polidispersji pyłu, -.

Powszechnie korzysta się z wykresu w układzie $\log\left(\ln \frac{100}{R_x}\right) = f(\log x)$. W takim układzie współrzędnych wykres przedstawia się jako linia prosta o przesunięciu b i nachyleniu α .

W Polsce ziarnistość pyłu kontroluje się głównie przy użyciu sit o rozmiarze oczek 88 (często oznaczane 90) i 200 μm . Wykreślając krzywą dla R_x ($R_{0,09}$, $R_{0,2}$) można określić skład ziarnowy oraz liczbę polidispersji pyłu n (Rysunek 3).



Rysunek 3 Rozkład ziarnowy pyłu

Liczbę polidispersji pyłu obliczyć można także na podstawie zależności:

$$n = \operatorname{tg}\alpha = \frac{\log\left(\ln\left(\frac{100}{R_{x2}}\right)\right) - \log\left(\ln\left(\frac{100}{R_{x1}}\right)\right)}{\log x_2 - \log x_1}$$

czyli dla sit o oczkach 90 i 200 μm wzór ten będzie mieć postać:

$$n = \operatorname{tg}\alpha = \frac{\log\left(\ln\left(\frac{100}{R_{200}}\right)\right) - \log\left(\ln\left(\frac{100}{R_{90}}\right)\right)}{\log 200 - \log 90}$$

4. Metodyka wykonania ćwiczenia

Przystępując do wykonywania ćwiczenia należy skontrolować poziom czystości oraz zużycie sit o rozmiarach oczek podanych przez Prowadzącego. Następnie, z każdej otrzymanych przez Prowadzącego próbek należy pobrać dwukrotnie po 25 g. Póbki ważyć należy z dokładnością minimum z dokładnością do setnych części grama.

Analiza sitowa wykonywana będzie na jednym z dwóch przesiewaczy: wibracyjnym lub pneumatycznym (Rysunek 1 i 2).

Na podstawie otrzymanych wyników pomiarów, należy wykreślić histogram, rozkład skumulowany oraz wyznaczyć liczbę polidispersji n dla każdej z badanych próbek.



Rysunek 4 Przesiewacz wibracyjny¹



Rysunek 5 Przesiewacz pneumatyczny¹

4.1. Pomiary prowadzone na przesiewaczu pneumatycznym

Przed rozpoczęciem ćwiczenia należy sprawdzić, czy filtr przesiewacza jest czysty oraz czy na stanowisku znajduje się gumowy młotek do wzbudzania materiału na sicie.

Po sprawdzeniu poprawnego wyposażenia i działania stanowiska, należy zamontować sito o najmniejszym z wybranych rozmiarze oczek na przesiewaczu. Następnie próbkę należy rozsypać na sicie równomiernie, zamknąć pokrywę przesiewacza i włączyć go. Po zakończeniu pomiaru pozostałość na sicie należy zważyć i zapisać jej wartość, a następnie przesypać próbkę na następnę

¹ Zdjęcia pochodzą ze strony producenta: <http://multiserw-morek.pl/>

sito. Czynność tę należy powtarzać dla każdego z wybranych sit. Przed zmianą sita filtr przesiewacza należy oczyścić.

Podczas pracy przesiewacza należy uderzać w sito gumowym młotkiem, aby wspomóc proces przesiewania.

W zależności od rozmiaru oczek sita zarówno ilość przesiewanego jednorazowo materiału i tym samym czas wykonania oznaczenia ulegają zmianie. Czas przesiewania jednej porcji materiału zostanie określony przez Prowadzącego. W połowie czasu przesiewania należy wyłączyć przesiewacz i przetrzeć spód sita miękkim pędzlem. Po zakończeniu ustalonego czasu przesiewania należy zważyć i zanotować wartość masy pozostałej na sicie. W Tabeli 3 zestawiono część objętości materiału przesiewanego jednocześnie w zależności od wielkości oczka sita.

Tabela 3 Ilość przesiewanego jednocześnie materiału w zależności od rozmiaru oczek sita

Rozmiar oczka sita, mm	Część materiału przesiewanego
> 0,4	100 %
0,4-0,2	50 %
0,2-0,04	33 %
0,04>	25 %

4.2. Pomiary prowadzone na przesiewaczu wibracyjnym

Pomiary należy rozpocząć od sprawdzenia czy wszystkie części przesiewacza, tj. pokrywa, podstawa oraz odbieralnik znajdują się na stanowisku. Następnie na podstawie przesiewacza należy ułożyć odbieralnik i zestaw sit o wybranych nominalnych wymiarach oczka, począwszy od sita z najmniejszym oczkiem na spodzie. Na pierwszym z sit od góry należy równomiernie rozsypać badaną próbkę, nałożyć pokrywę na sito, przymocować sita pasami do podstawy przesiewacza oraz włączyć go.

Czas przesiewania jednej porcji danego materiału zostanie określony przez Prowadzącego. W połowie czasu przesiewania należy wyłączyć przesiewacz i przetrzeć spody sit miękkim pędzlem. Po zakończeniu ustalonego czasu przesiewania należy ostrożnie zdjąć pasy mocujące sita i powoli zdejmować sita. Pozostałości z sit należy zważyć i zanotować wartości mas pozostałych na poszczególnych sitach.

5. Sprawozdanie

Sprawozdanie powinno zawierać:

- stronę tytułową z nazwą ćwiczenia, kierunkiem i semestrem studiów, numerem sekcji, datą wykonania ćwiczenia oraz nazwiskami i imionami autorów sprawozdania,
- krótki wstęp teoretyczny oraz opis metody badań,
- uzupełnioną podczas zajęć i podpisaną przez Prowadzącego kartę pomiarową,
- obliczenia (histogram i wykres skumulowany) dla każdego z pomiarów wraz z uśrednioną dla danego paliwa liczbą polidispersji,
- histogram i wykres skumulowany dla każdego z pomiarów,
- uwagi i wnioski końcowe.

6. Literatura

- [1] P. Radomski, A. Jarosiński, *Wyznaczanie powierzchni właściwej materiałów ziarnistych w aspekcie stosowania jej wielkości w wybranych procesach technologicznych*, Chemia – Czasopismo techniczne, z.10, Kraków 2010, str. 267-276.
- [2] PN-75/H-04933 *Proszki metaliczne. Analiza sitowa*
- [3] PN-ISO 656:2000 *Sita kontrolne. Tkanina z drutu, blacha perforowana i blacha cienka perforowana elektrochemicznie. Wymiary nominalne oczek*
- [4] PN-86/M-94001 *Sita tkane kontrolne o oczkach kwadratowych*
- [5] J. Pospolita, *Wybrane zagadnienia eksploatacyjne średniobieżnych młynów węglowych*, Wydawnictwo Pracowni Komputerowej Jacka Skalmierskiego, Opole 2007.
- [6] PN-ISO 9276-1 *Przedstawianie wyników analizy granulometrycznej Część 1: Przedstawienie graficzne*