

# Laboratorium z Mechaniki Zawiesin

## Temat: Badania sedymentacji okresowej zawiesin– sedymentacja w pionowym i ukośnym cylindrze

### 1. Co to jest sedymentacja i gdzie się ją wykorzystuje?

Sedymentacja zawiesin, jako jedna z mechanicznych sposobów rozdziału cząstek fazy stałej od zawiesiny, jest powszechnie wykorzystywana w różnych dziedzinach gospodarki. Ma ona szczególne znaczenie w gałęziach przemysłowych, gdzie przy zastrzonych przepisach ochrony środowiska wysoka efektywność oczyszczania wody jest bardzo pożądana. Dlatego też znajomość zachowania się zawiesin przemysłowych w znacznym stopniu ułatwia późniejsze projektowanie urządzeń sedymentacyjnych

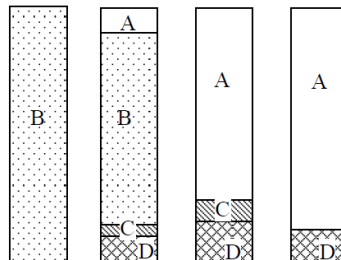
**2. Co to jest sedymentacja okresowa – i do czego może posłużyć?** Sedymentacja okresowa cząstek ciała stałego w cieczy zachodzi wtedy, gdy natężenie przepływu nadawcy dostarczanej do naczynia i natężenie przepływu odbieranego wylewu jest równe zero. Przebieg tego procesu można obserwować wykonując doświadczenie zwane jako TEST SEDYMENTACYJNY zawiesiny. Na tej podstawie sporządza się wykres noszący nazwę krzywej sedymentacji. Krzywa ta charakteryzuje zachowanie się zawiesiny i jest ona wykorzystywana przy późniejszym projektowaniu osadników. Na podstawie tej krzywej można wyliczyć prędkość sedymentacji dla różnych stężeń zawiesiny, dla kątów pochylenia przewodu wkładu wielostrumieniowego odpowiednio oraz dla różnych początkowych wysokości warstwy zawiesiny.

### 3. Test sedymentacyjny zawiesiny – na czym polega i jak go się przeprowadza?

#### Cel badania:

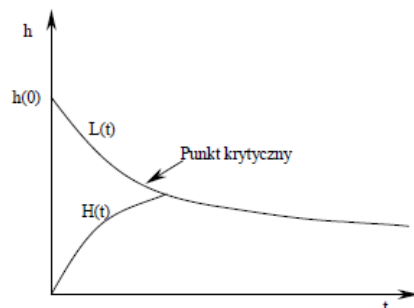
Badanie to polega na obserwacji zachowania zawiesiny umieszczonej w przezroczystym cylindrze, gdzie początkowa wysokość słupa zawiesiny wynosi  $H$ , a początkowe stężenie zawiesiny jest stałe w każdym punkcie i wynosi  $\phi$ .

- A- ciecz czysta
- B- zawiesina o stałym stężeniu
- C- zawiesina o zmiennym stężeniu
- D- osad



#### Przebieg testu sedymentacyjnego

Na podstawie odczytywanych wysokości położenia górnej nieciągłości  $h$  oraz dolnej nieciągłości, w zależności od czasu  $t$  sporządza się wykres testu sedymentacyjnego przykładowy przedstawiony poniżej:



Rys. 1. Przykładowy wykres testu sedymentacyjnego

Krzywa  $H(t)$  nosi nazwę krzywej narastania osadu, natomiast krzywa  $L(t)$  nosi nazwę krzywej sedymentacji.

## **Parametry badanych zawiesin**

### **Zawiesina ze stalowni konwertorowo tlenowej –zawiesina 1**

Zawiesina ta powstała w trakcie procesu konwertorowej produkcji stali. W procesie tlenowego świeżenia stali powstają pyły zawierające cząstki o wielkościach wynoszących nawet poniżej 0,1  $\mu\text{m}$ . Cząstki te są oddzielane od spalin w mokrych urządzeniach odpylających (w dynamicznych płuczkach przewodowych o zasadzie działania opartej na zjawiskach występujących w zwężkach Venturiego). Tak powstałe zawiesiny wodne są klarowane w grawitacyjnych urządzeniach sedymentacyjnych.

Obecnie eksploatowany układ służący do oczyszczania zawiesiny składa się z dwóch pracujących równolegle radialnych osadników Dorra realizujących proces klarowania i zagęszczania zawiesin. Zawiesina z przelewu osadników zawracana jest do obiegu i po uzupełnieniu ubytków stanowi ponownie wodę technologiczną do oczyszczania gazów wylotowych z konwertora. Zawiesina z wylewu tłoczona jest w większości na prasy filtracyjne, ewentualnie na pola osadowe. Wlew uzyskiwany z osadników Dorra posiada stężenie w granicach od 30  $\text{kg/m}^3$  do 300  $\text{kg/m}^3$ . Tak duży rozrzut stężeń wynika z reżimu pracy osadników. Odbiór wylewu z osadników odbywa się cyklicznie, w jednym z osadników odbierany jest tylko przelew (realizowany jest proces zagęszczania zawiesiny), natomiast z drugiego osadnika odbierany jest zarówno przelew jak i wylew, po okresie dwóch godzin następuje zmiana osadnika, z którego jest odbierany wylew. Tak duży rozrzut w stężeniu wylewu, oraz niska jego średnia wartość wpływają bardzo niekorzystnie na pracę prasy filtracyjnej, która jest zasilana zawiesiną o zbyt niskim, nieustalonym w czasie stężeniu. W efekcie prowadzi to do realizacji procesu filtracji znacznie większej ilości wysoko uwodnionych szlamów zwiększając jednocześnie, już wysokie koszty utylizacji odpadów.

### **Zawiesina powstała z oczyszczania gazu wielkopieczowego – zawiesina 2**

Zawiesina ta powstała w wyniku oczyszczania gazu wielkopieczowego w skruberze. Proces oczyszczania zawiesiny prowadzony jest równolegle w dwóch osadnikach Dorra. Przelew z osadników zawracany jest z powrotem do obiegu, natomiast szlam tłoczony jest w całości na pola osadowe. Zawiesinę do badań pobrano z rurociągu odprowadzającego wylew z osadników.

### **Zawiesina powstała w procesie flotacyjnego wzbogacania rud miedzi –zawiesina 3**

Zawiesina ta jest szlamem poflotacyjnym powstałym w procesie wzbogacania rud miedzi. W trakcie procesu flotacyjnego wzbogacania rud miedzi otrzymuje 6000  $\text{m}^3/\text{h}$  szlamów poflotacyjnych o stężeniu w granicach 130  $\text{kg/m}^3$ , przy gęstości części stałej wynoszącej 2700  $\text{kg/m}^3$ . Uwodnienie zawiesiny wynosi około 88% (masowo). Cały strumień szlamów poflotacyjnych jest transportowany jako odpad na pola osadowe. W wyniku dużego uwodnienia na pola osadowe oprócz części stałych, które są odpadem, transportowane jest około 5700  $\text{m}^3/\text{h}$  wody, która przynajmniej w pewnej części mogłaby być wykorzystana ponownie w procesie wzbogacania rud miedzi. Zwiększenie stężenia zawiesiny do poziomu 400  $\text{kg/m}^3$ , czyli zmniejszenie jej uwodnienia do około 68% spowodowałoby zmniejszenie strumienia transportowanej niepotrzebnie na pola osadowe wody o 600  $\text{m}^3/\text{h}$ .

Wysokie stężenie zawiesiny, oraz jej właściwości (gęstość części stałej i skład ziarnowy) powodują, iż jest ona bardzo trudno sedymentująca. Uzyskanie zmniejszenia uwodnienia z 88% do 68% za pomocą osadników konwencjonalnych wiązałoby się z koniecznością zainstalowania np. 30 osadników Dorra o średnicy 30 m.

### **Gęstości cząstek fazy stałej poszczególnych zawiesin**

Jednym z podstawowych elementów decydujących o właściwościach sedymentacyjnych zawiesin jest ich gęstość części stałej. Łącznie z uziarnieniem i stężeniem zawiesiny gęstość cząstek fazy stałej decyduje o jej prędkości sedymentacji, bądź o prędkości opadania

poszczególnych ziaren. Zarówno w procesie projektowania urządzeń sedymentacyjnych jak i w prowadzeniu procesu sedymentacji zawiesin znajomość gęstości części stałej zawiesiny jest nieodzowna.

Wartości gęstości fazy stałej zawiesin zostały przedstawione w poniższej tabeli

	Gęstość
	kg/m <sup>3</sup>
Zawiesina 1	4500
Zawiesina 2	3048
Zawiesina 3	2700

### Zakres ćwiczenia – metodyka badań

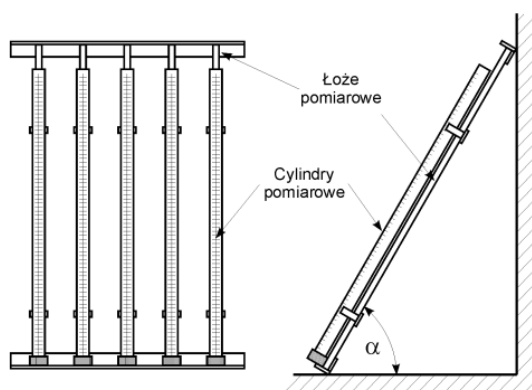
Wyznaczyć krzywą sedymentacji dla badanej zawiesiny.

#### Metodyka badań:

Procesu sedymentacji jest przeprowadzony/zgodny z polską normą PN-G-04570.

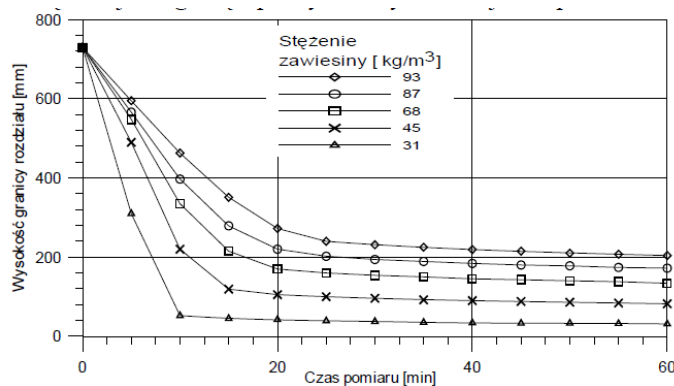
- Zawiesinę do badań przygotować w zbiorniku i ujednorodnić ( ujednorodnienie (rozmieszanie zawiesiny) wykonać przez okres czasu wynoszący ok. 30 minut stosując mieszadło mechaniczne lub ręczne.

- Następnie za pomocą zlewki napełnić cylindry pomiarowe. Wysokość słupa zawiesiny nie może przekraczać 0,93 m ( max. wysokość cylindra pomiarowego) .



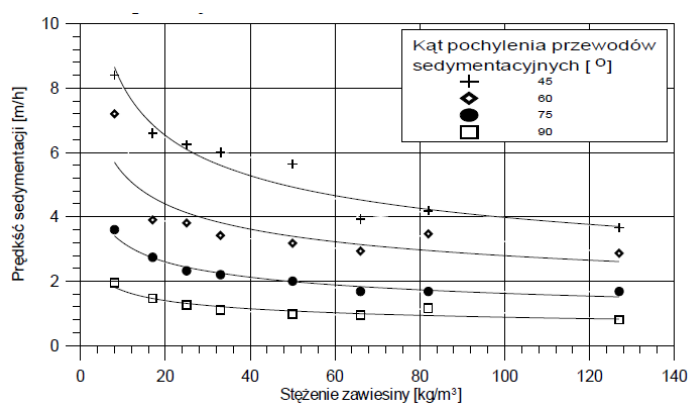
Rys. 2 Stanowisko badawcze wraz z cylindrami

- Wymieszaną zawiesinę zatkać od góry cylindra, a następnie wykonując ruchy (odwracanie cylindra górą do dołu i z powrotem tak, aby cała zawartość cylindra za każdym razem w całości przelewała się na drugą stronę) odłożyć na stanowisko badawcze.
  - W trakcie odczytywania położenia powierzchni rozdziału w zależności od rodzaju zawiesiny wykorzystywać podświetlenie cylindra miarowego dla ułatwienia odczytu.
  - W początkowej fazie pomiaru odczyt wykonywać co 1 minutę, następnie co 3 i 5 minut (pojedynczy pomiar trwa od dwóch do czterech godzin w zależności od badanej zawiesiny).
  - Wyznaczyć jedną krzywą sedymentacji zawiesiny dla danego kąta pochylenia cylindra  $\alpha$ .
  - Po zakończonym pomiarze oznaczyć stężenie zawiesiny w cylindrze ( metodą sączkową, poprzez przesączenie całej zawartości cylindra).
  - W trakcie zajęć jednocześnie wykonywać test sedymentacyjny na 6 ÷ 10-ciu cylindrach pomiarowych.
- Przykładowy wykres dla różnych stężeń i jednego kąta pochylenia cylindrów jest zaprezentowany poniżej:



Rys. 3 Krzywe sedymentacyjne dla zawiesiny z odpylania gazu wielkopiecowego kątem pochylenia cylindra 90o oraz początkowa wysokość słupa zawiesiny 0,72 m

Na podstawie wykresu wyznacza się, dla danego stężenia i danego kąta pochylenia, prędkość sedymentacji zawiesiny. Przykładowy wykres dla 4 kątów pochylenia cylindrów zaprezentowano poniżej.



Rys. 4 Wykres prędkości sedymentacji w zależności od stężenia zawiesiny (STK)

Prędkość sedymentacji:

$$w_z = \frac{dh}{dt}$$

gdzie:

- $w_z$  – prędkość sedymentacji,
- $dh$  – wysokości sedymentacji [m],
- $dt$  – czas [s].

Równanie Coe'a i Clavengera – do wyznaczenia powierzchni sedymentacji

$$V_s^* = \frac{Q_0^* \varphi_0}{F} = \frac{w_z}{\frac{1}{\varphi} - \frac{1}{\varphi_2}} \quad s = \rho^* \varphi$$

- $Q_0$  – natężenie przepływu zawiesiny (nadawy) [m<sup>3</sup>/h]
- $F$  – powierzchnia sedymentacji [m<sup>2</sup>],
- $\varphi_1$  – początkowe objętościowe stężenie zawiesiny [m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>],
- $\varphi_2$  – objętościowe stężenie zawiesiny odbieranej w wylewie [m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>],
- $\varphi$  – objętościowe stężenie zawiesiny, która sedymentuje z prędkością  $w_z$  [m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>]
- $s$  – masowe stężenie zawiesiny [kg/ m<sup>3</sup>]
- $\rho$  – gęstość części stałej zawiesiny [kg/ m<sup>3</sup>]

**Przykładowa tabelka pomiarowa:**

Lp pomiaru	Stężenie zawiesiny [kg/m <sup>3</sup> ]			Czas [s]	
	100	80	60	bezwzględny	względny
	Wysokość słupa zawiesiny = 930 - x [mm]				
0	0	0	0	14:05	00:00
1	420	430	360	14:08	00:03
2	595	640	670	14:11	00:06
3	649	693	728	14:14	00:09
4	670	708	748,5	14:17	00:12
5	680	716	756	14:20	00:15
6	687,5	722	762	14:23	00:18
7	692	729	770	14:26	00:21
8	697	732	772	14:29	00:24
9	700	735	775	14:32	00:27
10	705	737	777	14:35	00:30

Kąt pochylenia cylindra 60°, wysokość bazowa 930 mm

OGW Steżenie 37 kg/m <sup>3</sup>	Polkowice Steżenie 130 kg/m <sup>3</sup>	Stalownia Steżenie 37 kg/m <sup>3</sup>	Czas pomiaru
930	930	930	0:00
280	906,5	710	0:05
161	860,5	330	0:10
153	809	107	0:15
143	741	92	0:20
138	712	82	0:25
132	656	76	0:30
126	611	71	0:35
123,5	569,5	70	0:40
122	550	69	0:45
120,5	517	69	0:50
119,5	500,5	68	0:55
118	472	65	1:00
116	448,5	64	1:05
114	438,5	63	1:10
113	420	62	1:15

## Sprawozdanie

### Opracowanie wyników - pomiar sedymentacji statycznej

Wyznaczyć poszczególne parametry procesu sedymentacji statycznej wg wytycznych ustalonych na zajęciach z prowadzącym:

- sporządzić wykres,
- wyznaczyć prędkość sedymentacji zawiesiny o stężeniu początkowym
- wyliczyć powierzchnię sedymentacji dla stężenia  $300 \text{ kg/m}^3$  odbieranego w wylewie (równanie Coe'a i Clavengera) i natężenia przepływu zawiesiny  $80 \text{ m}^3/\text{h}$

Data:

Rodzaj zawiesiny

Kąt pochylenia w  $^\circ$   $\alpha =$

Zakładana wysokość słupa zawiesiny w [mm]  $h_0 =$

Stężenie zawiesiny [ $\text{kg/m}^3$ ]

Tabela pomiarowa

Lp.	Godzina pomiaru Np. 11:12	Czas pomiaru [min]	Wysokość położenia powierzchni podziału [mm]
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			

