

Ćwiczenie 5.

WŁAŚCIWOŚCI FILTRACYJNE OSADÓW ŚCIEKOWYCH

WSTĘP DO ĆWICZENIA - OSADY ŚCIEKOWE

Zawiesiny występujące w ściekach można podzielić na opadające i nieopadające. Zawiesiny opadające są najczęściej wydzielane ze ścieków w osadnikach wstępnych, stąd nazywamy je osadami wstępnymi. Osady wtórne (nadmierne) powstają w wyniku dalszego oczyszczania ścieków metodami biologicznymi i/lub chemicznymi i są one wydzielane w osadnikach wtórnych. Ich ilość wynika z przyrostu mikroorganizmów oraz warunkom jakie utrzymywane są w reaktorze biologicznym. Wydzielone osady surowe (zarówno wstępne jak i nadmierne) posiadają znaczące uwodnienie (tj. zawierają duże ilości wody) w związku z czym ich masa oraz objętość jest znaczna. Ponadto osady surowe nie są materiałem stabilnym, wykazują zdolność do zagniwania, co w konsekwencji prowadzi do powstawania odorów i uciążliwości zapachowej takich osadów.

Działania gospodarki osadowej współczesnych oczyszczalni ścieków koncentrują się więc głównie na dwóch zasadniczych celach:

1. Stabilizacji osadów w celu zlikwidowania ich podatności na zagniwanie,
2. Odwodnienia osadów w celu zmniejszenia ich masy i objętości.

Sposoby prowadzenia procesu stabilizacji zależą głównie od ilości produkowanych osadów, a więc pośrednio od wielkości oczyszczalni ścieków. Małe obiekty wykorzystywać mogą w tym celu stabilizację tlenową, kompostowanie bądź stabilizację chemiczną (np. wapnem). Dla obiektów większych zaleca się stosowanie fermentacji metanowej, co pozwala na odzysk energii z osadów.

Procesy usuwania wody z osadów są integralną częścią działań w systemie gospodarki osadowej każdej oczyszczalni ścieków. Poprzez usunięcie różnych rodzajów wody zawartej w osadach powodują zmniejszenie masy i objętości osadów umożliwiając tym samym zmniejszenie niezbędnej kubatury urządzeń wykorzystywanych do ich stabilizacji czy ostatecznego zagospodarowania. W wyniku odwadniania osadu zmienia się także jego struktura z płynnej do stałej, co ma znaczenie dla niektórych operacji przetwarzania osadów i ich transportu.

Wg klasyfikacji stosowanej w geologii w osadach występują następujące rodzaje wody:

Woda wolna – występuje w większych przestrzeniach międzycząsteczkowych, zależna jest od sił grawitacji i ciśnienia atmosferycznego.

Woda kapilarna – występuje w kanalikach włoskowatych i jest niezależna od sił grawitacji. Działają tu siły napięcia powierzchniowego.

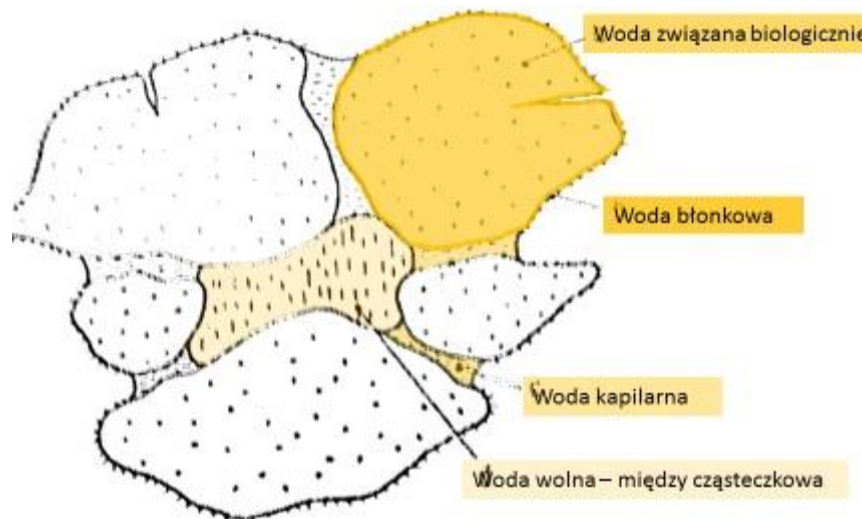
Woda związana fizycznie z ciałami stałymi – jest to woda molekularna, w skład której woda błonkowa związana siłami przyciągania międzycząsteczkowego oraz woda higroskopijna.

Woda związana chemicznie – wchodzi w skład siatki krystalograficznej ciał stałych. W odniesieniu do osadów ściekowych stosować można klasyfikację rodzajów wód związaną ze sposobami usuwania wody. I tak mówiąc o **wodzie wolnej** określamy część wody, jaką najłatwiej oddzielić jest od osadu metodami grawitacyjnego zagęszczania ewentualnie przez działanie mechaniczne. Ten rodzaj wody stanowi w osadach zazwyczaj 75% ogólnej jej ilości, a jej wydzielenie umożliwia nawet 10-krotne zmniejszenie objętości wyjściowej osadów.

Woda związana w koloidach jest znacznie trudniejsza do wydzielenia, gdyż jest związana siłami napięcia powierzchniowego. Można ją usuwać poprzez działanie mechaniczne, zmiany temperatury (ściananie wymrażanie koloidów).

Wodę kapilarną, związaną siłami kohezji i adhezji, oddzielać można poprzez połączenie metod chemicznych i mechanicznych, np. koagulację a następnie wirowanie.

Wody molekularne i higroskopijne związane biologicznie lub chemicznie, są bardzo trudne do usunięcia i wymaga to znacznych nakładów energii w procesach suszenia czy spalania.



Rysunek 1. Schemat występowania wody w osadach ściekowych.

W poniższej tabeli przedstawiono orientacyjne stany skupienia osadów w zależności od ich uwodnienia i stosowanych metod odwadniania.

Uwodnienie %	Postać osadu	Metoda odwadniania
100 – 96 96 – 92 92 – 88	płynny trudno płynący	Usuwanie wody wolnej poprzez zagęszczanie grawitacyjne lub mechaniczne
88 – 80 80 – 70	papkowaty ciastowaty mokra ziemia	Usuwanie resztek wody wolnej oraz części związanej i kapilarnej poprzez działania mechaniczne
70 – 50	wilgotna ziemia	Usuwanie wody związanej i koloidalnej przez działania mechaniczne wspomagane chemicznie lub chemiczne
50 – 30	sucha ziemia	Usuwanie wody higroskopijnej przez suszenie termiczne
30 – 0	Pył	Usuwanie wody pozostałej w procesie spalania

Uwodnienie osadu determinuje jego masę i objętość. Jak sugerowano wcześniej ma to istotne znaczenie dla projektowania wymaganych kubatur urządzeń gospodarki osadami.

Uwodnienie osadu wyznaczyć można wg wzoru:

$$W = \frac{m_0 - m_s}{m_o} \cdot 100\%$$

gdzie:

W – uwodnienie osadu, %

m₀ – masa osadu uwodnionego (mokrego), kg

m_s – sucha masa osadu, kg

Tak więc, np. gdy podczas suszenia osadu strata masy próbki wyniesie 90% uwodnienie osadu wynosi 90% a zawartość substancji stałych 10%.

Zależności pomiędzy zmianami uwodnienia a zmianami objętości osadu można zapisać wzorem.

$$\frac{V_0(100 - W_0)}{100} = \frac{V_1(100 - W_1)}{100}$$

gdzie:

V₀ – objętość początkowa osadu ściekowego, m³

V₁ – objętość osadu ściekowego po odwodnieniu, m³

W₀ – uwodnienie początkowe osadu ściekowego, %

W₁ – uwodnienie końcowe osadu ściekowego (po odwodnieniu), %

Zależność ta jest uproszczona i może być stosowana jedynie dla uwodnienia > 70%. Poniżej

W=70% istotne znaczenie odgrywa gęstość osadu i wzór przyjmuje postać:

$$\frac{V_1[100 + W_0(\rho_{zm} - 1)]}{100 - W_0} = \frac{V_0[100 + (\rho_{zm} - 1)]}{100 - W_1}$$

OPIS ĆWICZENIA

Uwaga! W ramach niniejszego ćwiczenia obowiązuje również wiedza teoretyczna zawarta we wstępie „OSADY ŚCIEKOWE”.

Właściwości filtracyjne osadów ściekowych, czyli zdolność osadu do odwadniania ocenia się ilością przesączu otrzymanego w procesie odwadniania określonej objętości osadu w przeliczeniu na jednostkę powierzchni i czasu. Do odwadniania osadu w tego typu badaniach można wykorzystywać warstwę piasku, sączek bibułowy, lejek Buchnera z przegrodą filtracyjną lub zestaw z płytką filtracyjną (w zależności od projektowanego sposobu odwadniania osadów).

W przypadku odwadniania na prasach filtracyjnych i filtrach próżniowych ruch cieczy w ośrodku porowatym opisują równania Poiseuille'a i Darcy'ego. Do filtracji osadów równania te zostały przystosowane przez Rutha, Carmana i Leva. Podczas filtracji pod stałym ciśnieniem podstawowe równanie filtracji ma postać:

$$\frac{t}{V} = \frac{\mu \cdot r \cdot \rho}{2p \cdot A^2} \cdot V + \frac{\mu \cdot r_m}{p \cdot A}$$

gdzie:

t – czas filtracji, s

V – objętość filtratu, cm³

μ - lepkość filtratu (przyjmuje się jak dla wody 0,001 Pa·s, w temperaturze 20°C)

p – ciśnienie filtracji, Pa

A – powierzchnia filtracji, cm²

ρ – stężenie substancji stałych, g/cm³

$$\rho = \frac{1}{\frac{W_0}{100 - W_0} - \frac{W_1}{100 - W_1}}$$

r – opór właściwy osadu, s²/g

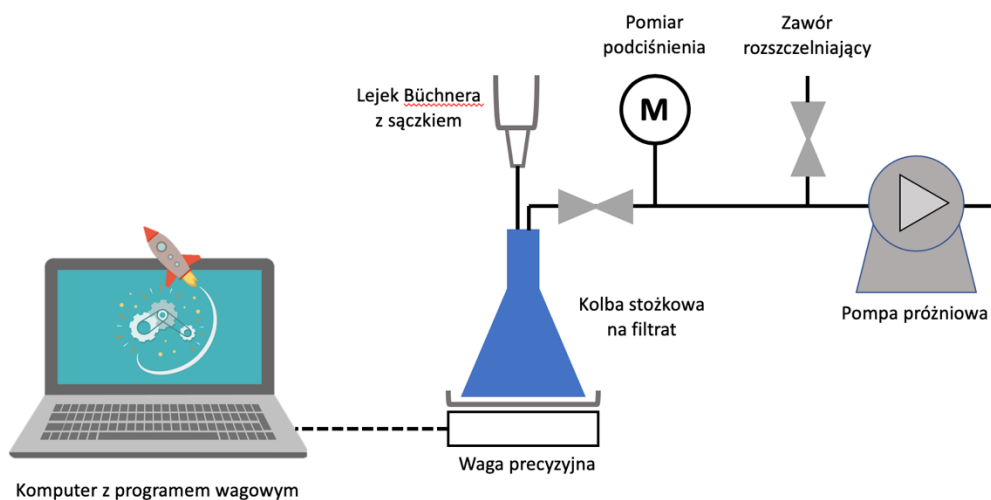
r_m – opór właściwy przegrody filtracyjnej, l/cm

W₀ – uwodnienie początkowe (przed filtracją), %

W₁ – uwodnienie końcowe (po filtracji), %

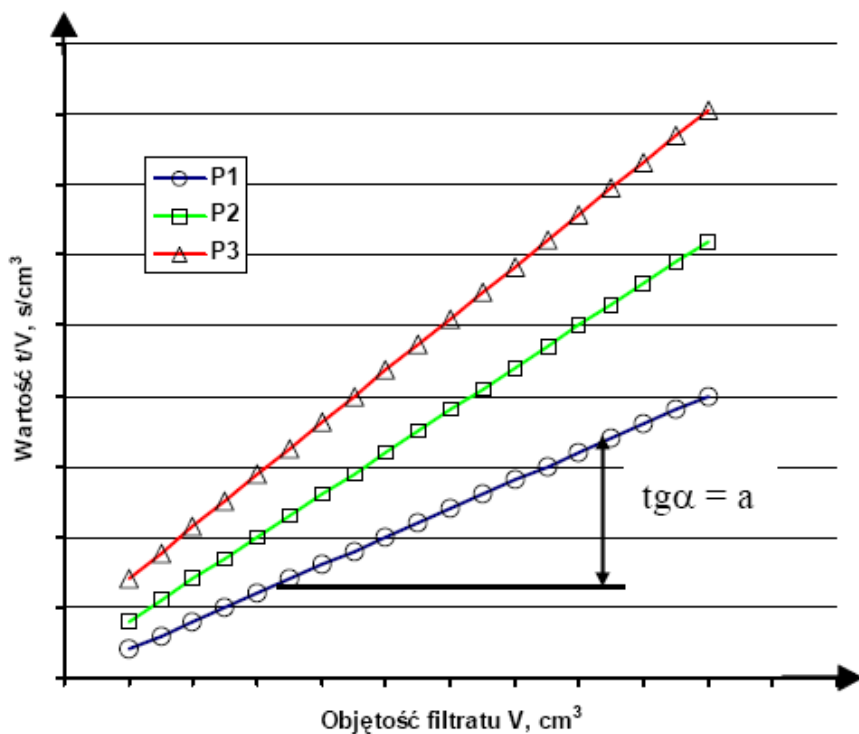
Najważniejszym miernikiem właściwości filtracyjnych osadów jest opór właściwy, który jest jednocześnie jednostką porównawczą właściwości filtracyjnych różnych osadów.

Opór właściwy osadu (r) i przegrody filtracyjnej (r_m) wyznacza się na podstawie powyższych równań metodą analityczno-graficzną. W tym celu zastosować można aparaturę badawczą przedstawioną na rysunku nr 1.



Rysunek 2. Schemat stanowiska badawczego do wyznaczenia oporu właściwego osadów.

Uzyskane wyniki pomiarów przyrostu objętości filtratu (V) w funkcji czasu filtracji (t) przy stałym ciśnieniu (p) nanosi się na wykres (rysunek 3.), na którym oś rzędnych $Y=t/V$, a oś odciętych $X=V$. Dane dotyczące zmienności objętości filtratu gromadzone są przez oprogramowanie wagi. Niezbędne jest ich późniejsze sformatowanie zgodnie z przedstawioną poniżej przykładem.



Rysunek 3. Wykres zależności t/V od objętości filtratu przy różnych ciśnieniach filtracji.

Równanie to, w omawianym układzie współrzędnych jest linią prostą:

$$y = ax + b$$

Współczynnik kierunkowy prostej ($\text{tg } \alpha$), jest zatem równy:

$$a = \frac{\mu \cdot r \cdot \rho}{2p \cdot A^2}$$

a wyraz wolny (b) jest równy:

$$b = \frac{\mu \cdot r_m}{p \cdot A}$$

Na podstawie powyższych równań można obliczyć opór właściwy osadu (r) i opór przegrody filtracyjnej (r_m).

$$r = \frac{2a \cdot p \cdot A^2}{\mu \cdot \rho_1}$$

$$r_m = \frac{p \cdot A}{\mu \cdot b}$$

W celu wyrażenia oporu właściwego w jednostkach s^2/g , uzyskana powyżej wartość podzielić należy przez wartość przyspieszenia ziemskiego $g_n = 9,80665 \text{ m/s}^2$.

Wyprowadzenie jednostek:

$$r : \frac{\frac{\text{s}}{\text{cm}^3} \cdot \text{Pa} \cdot \text{cm}^4}{\text{Pa} \cdot \text{s} \cdot \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = \frac{\text{m}}{\text{g}} / 9,81 \text{ m/s}^2 = \frac{\text{s}^2}{\text{g}}$$

Wartości oporu właściwego osadów wyznaczone doświadczalnie na lejku Büchnera mogą służyć do obliczeń związanych z projektowaniem i doбором pras filtracyjnych. Nie mogą być natomiast wykorzystywane do wymiarowania filtrów próżniowych ze względu na znaczne różnice pomiędzy procesem rzeczywistym a procesem w warunkach laboratoryjnych.

Wartość oporu właściwego osadu zależy od ciśnienia filtracji zgodnie z empirycznym równaniem:

$$r = r_0 \left(\frac{p}{p_0} \right)^s$$

gdzie:

r_0 , r – opór właściwy osadu przy ciśnieniu filtracji, odpowiednio p_0 i p ,
 s – współczynnik ściśliwości osadu.

Wartość współczynnika ściśliwości osadu można wyznaczyć na podstawie powyższego równania wykorzystując metodę analityczno-graficzną. Przekształcając odpowiednio równanie otrzymuje się:

$$\log r = s \log \left(\frac{p}{p_0} \right) + \log r_0$$

Równanie to, w odpowiednim układzie współrzędnych, jest linią prostą o współczynniku kierunkowym $a = \operatorname{tg} \alpha = s$. Dla osadu nieściśliwego ($s=0$) i wówczas opór właściwy jest stały, niezależny od ciśnienia. Większość osadów ściekowych jest osadami ściśliwymi i opór właściwy wzrasta wraz ze wzrostem ciśnienia filtracji. Wartość oporu właściwego jest charakterystyczna dla danego osadu i jednocześnie określa jego podatność na odwadnianie mechaniczne. Im wartość oporu właściwego jest większa, tym mniej efektywne jest odwadnianie mechaniczne. Wprowadzono następujące kryteria podatności osadów na odwadnianie:

- Łatwe odwadnianie mechaniczne:

$$r < 40 \cdot 10^7 \text{ s}^2/\text{g}, s \approx 0,55$$

- Przeciętne odwadnianie mechaniczne:

$$40 \cdot 10^7 \text{ s}^2/\text{g} < r < 100 \cdot 10^7 \text{ s}^2/\text{g}, s \approx 0,65$$

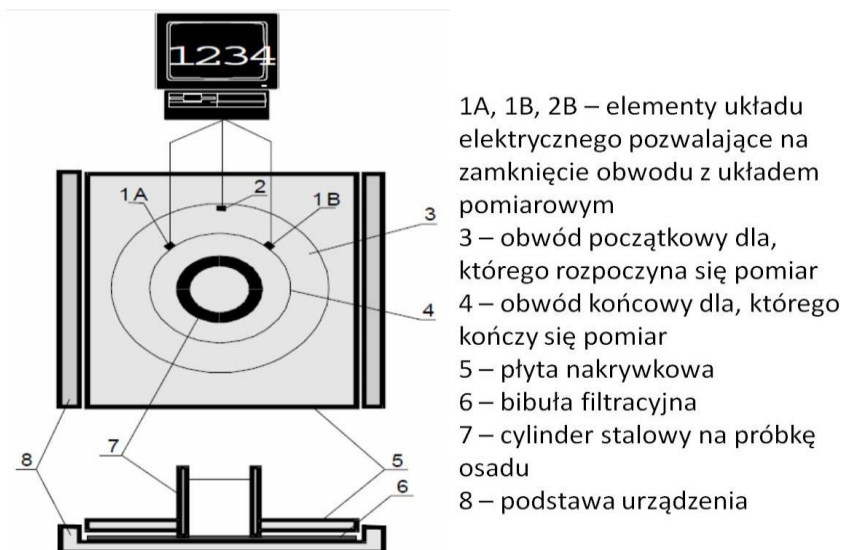
- Trudne odwadnianie mechaniczne:

$$r > 100 \cdot 10^7 \text{ s}^2/\text{g}, s > 0,75$$

W osadach trudno odwadnianych zmniejszenie oporu właściwego można uzyskać w procesie tzw. kondycjonowania osadu przez:

- wprowadzenie koagulantów mineralnych lub organicznych (polielektrolitu),
- ogrzewanie lub wymrażanie osadu,
- przemywanie ściekami oczyszczonymi,
- zmianę uziarnienia osadów przez dodatek innych frakcji (np. popiołów, trocin itp.)

W ramach ćwiczenia realizowane będzie również wyznaczenie czasu ssania kapilarnego (CSK) osadu. Schemat urządzenia przedstawiono na rysunku poniżej.



Hermanowicz W. 1999. Fizyczno-chemiczne badanie wody i ścieków. Wydawnictwo Arkady

Zasada pomiaru czasu ssania kapilarnego (CSK)*

Czas ssania kapilarnego (CSK) określa szybkość oddawania cieczy odpadowej przez badany osad. Im CSK jest mniejszy, tym badany osad łatwiej wydziela wchodzącą w jego skład ciecz.

Oznaczenie CSK służy przede wszystkim do określania wpływu stosowania środków kondycjonujących na osady oraz wpływu sposobów mieszania na zdolność oddawania wody. Tę zdolność określa się czasem (w sekundach), jaki jest potrzebny do zwilżenia przez ciecz odpadową warstwy bibuły filtracyjnej o określonej powierzchni przez określoną objętość próbki osadu, z której ciecz jest odciągana przez siłę ssania kapilarnego bibuły.

Przed przystąpieniem do pomiaru w prostokątnym wgłębieniu dolnej płytki (6), stanowiącej podstawę aparatu, umieszcza się arkusik bibuły (Whatman 17) o rozmiarach 7 x 9 cm i nakrywa górną płytką (5), w której otworze umieszcza się metalowy cylinderek (7). Górna płytka opiera się na bibule na pięciu metalowych podpórkach ze stali nierdzewnej. Dwie z nich (1A i 1B) umieszczone są na okręgu o średnicy 3,2 cm, jedna (2) – na okręgu o średnicy 4,5 cm. Te trzy podpórki połączone są przewodami ze skrzynką zaciskową i stanowią próbny stykowy. Następnie cylinderek napełnia się próbką osadu. Ciecz z osadu rozprzestrzenia się na bibule promieniście. W chwili dojścia do koła o mniejszej średnicy na skutek wzrostu przewodnictwa elektrycznego, następuje uruchomienie cyfrowego zegara rejestrującego. Gdy czoło rozprzestrzeniającej się wody dojdzie do styku na kole o większej średnicy, następuje wyłączenie zegara. Wartość CSK w sekundach odczytuje się ze wskaźnika zegara rejestrującego.

*Agnieszka Piotrowska-Cyplik, Zbigniew Czarnecki „Pomiar czasu ssania kapilarnego (CSK) jako metoda wyznaczania Optymalnej dawki flokulantów do wspomaganie procesu odwadniania komunalnego osadu ściekowego” Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering 2005.

PRZEBIEG ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest (Etap I) określenie podatności osadu na odwadnianie poprzez wyznaczenie oporu właściwego filtracji i współczynnika ściśliwości. Dodatkowo (Etap II) wyznaczona zostanie dawka polielektrolitu pozwalająca w sposób skuteczny odvodnić osad. Dawka polielektrolitu zostanie wyznaczona na podstawie trzech niezależnych testów:

- czasu filtracji
- czasu ssania kapilarnego (CSK)
- opadalność osadu

ETAP I

Działania przygotowawcze

- Przygotować około 200-300 cm³ dobrze wymieszanego osadu.
- Przygotować sączi pasujące wymiarem do lejka Buchnera.
- Uruchomić komputer oraz program wagowy.

W celu wykonania powyższych analiz należy wyznaczyć uwodnienie początkowe odwadnianego osadu surowego. Uwodnienie wyznaczyć należy metodą wagową pośrednią z próbki 50 cm³ dobrze wymieszanego osadu surowego. Kalkulacje uwodnienia przeprowadzić wg wzoru:

$$W = \frac{m_0 - m_s}{m_0} \cdot 100$$

gdzie:

W – uwodnienie osadu, %

m₀ – masa osadu mokrego, g

m_s – masa osadu suchego, g

Następnie przeprowadzić należy filtrację takich samych objętości osadu (50 cm³) na wykorzystywanym stanowisku badawczym. W tym celu należy kolejno:

- opróżnić kolbę stożkową z resztek filtratu z mycia układu lub z poprzedniego etapu filtracji,
- szczelnie połączyć elementy stanowiska zamykając jednocześnie zawór odcinający pompę próżniową,
- precyzyjnie ułożyć sączi na lejku filtracyjnym i delikatnie zwilżyć tryskawką z wodą destylowaną,
- włączyć pompę próżniową i ustalić wymagane ciśnienia filtracji na wyświetlaczu cyfrowego manometru różnicowego,

Uwaga! – brak możliwości ustalenia stałego ciśnienia na manometrze świadczyć może o nieszczelnym połączeniu elementów układu.

- wytarować wagę oraz uruchomić rejestrację w programie wagowym,
- ostrożnie wlać odmierzoną objętość próby osadu do lejka filtracyjnego,

Uwaga! – wlewając osad najlepiej kierować strumień na środek bibułowego sączka, co zapobiega przemieszczeniom sączka, tym samym nieszczelności przegrody filtracyjnej.

- filtrację należy rozpocząć otwierając zawór odcinający pompę próżniową. Od tego momentu obserwować przyrost filtratu (zapis odbywa się automatycznie),
- filtrację zakończyć należy, gdy zaobserwowany zostanie nagły skok wskazań manometru różnicowego, świadczący o pęknięciu placka filtracyjnego lub, gdy przyrost objętości filtratu w czasie przestanie być zauważalny, lub po upływie 15 minut,
- po wyłączeniu układu należy oznaczyć uwodnienie uzyskanego placka filtracyjnego (metoda wagowa pośrednia) i przygotować układ do kolejnego etapu filtracji.

Filtrację przeprowadzić należy dla osadu surowego przy trzech różnych ciśnieniach filtracji, około 5, 15, 25, 40, 50 kPa. Skrajne wartości realizować jedynie po wyraźnym poleceniu prowadzącego.

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów przedstawić na jednym wykresie zależność objętości uzyskiwanego filtratu od czasu filtracji dla rozpatrywanych ciśnień filtracji dla osadu niekondycjonowanego.

ETAP II

W celu wyznaczenia dawki polielektrolitu zostaną przeprowadzone następujące testy:

- opadalności osadu,
- czasu filtracji,
- czasu ssania kapilarnego (CSK).

Działania przygotowawcze

- Przygotować około 600–800 cm³ dobrze wymieszanego osadu takiego jak w Etapie I.
- Przebrać po 100 cm³ osadu do 6 zakręcanych pojemników.
- Pojemnik oznaczony jako „0” jest osadem bez dodatku polielektrolitu, do pozostałych dodać kolejne dawki polielektrolitu podane w trakcie zajęć.
- Wszystkie pojemniki zakręcić oraz dokładnie wymieszać.
- Przygotować sączki pasujące wymiarem do lejka Buchnera.
- Zanotować typ oraz bazowe stężenie polielektrolitu.

Opadalność osadu

- Do 6 cylindrów wlać po 100 cm³ dobrze wymieszanego osadu.
- Odczytać poziom osadu po 5, 10, 15 i 20 minutach.
- Osad wymieszać i ponownie przelać do zakręcanych pojemników.

Czas filtracji

Dla przygotowanych próbek osadu z polielektrolitem (oraz kontrolnie bez) wyznaczyć czas filtracji na stanowisku jak w Etapie I.

- Ustawić właściwe ciśnienie – podane przez prowadzącego
- Wylać 50cm³ dobrze wymieszanego osadu oraz uruchomić urządzenie zgodnie z instrukcją dla Etapu I
- Powyższe działania wykonać dla wszystkich przygotowanych prób.

Czas ssania kapilarnego (CSK)

- Na podstawie urządzenia położyć sączek.
- Przykryć pokrywą z elektrodami upewniając się, że wszystkie trzy elektrody dotykają sączka.
- Umieścić w otworze roboczym tuleję do testów osadowych (wariant wysoki).
- Uruchomić urządzenie.
- Do tulei nalać dobrze wymieszanego osadu, w pełni ją wypełniając.
- Zanotować czas zarejestrowany przez urządzenie.
- Powyższe działania wykonać dla wszystkich przygotowanych próbek w dwóch powtórzeniach.

Dodatkowo sporządzić należy wykres zależności uwodnienia końcowego osadu od zastosowanego ciśnienia filtracji (na wspólnym wykresie dla osadu kondycjonowanego i niekondycjonowanego).

Oceń pisemnie wpływ ciśnienia filtracji i dodatku polielektrolitu na czas i skuteczność odwadniania osadu. Wyznaczyć dawkę polielektrolitu w przeliczeniu na objętość osadu oraz na kg suchej masy.

Dla każdego badanego ciśnienia filtracji należy wyznaczyć wartości oporu właściwego osadu surowego i kondycjonowanego, a następnie metodą graficzną lub analityczną wyznaczyć wartość współczynnika ściśliwości s . Na podstawie tych obliczeń ocenić rodzaj badanego osadu (ściśliwy/nieściśliwy) oraz ocenić jego podatność na odwadnianie.

OZNACZENIA WYKONYWANE NA ĆWICZENIACH

uwodnienie osadu

**Formularz wyników analiz i obliczeń do ćwiczenia „Właściwości filtracyjne osadów ściekowych”.
Oznaczenie prędkości filtracji (z 50 cm³):**

Oznaczenie stężenia zawiesin (z 50 cm³) oraz zestawienie wyników wymaganych obliczeń r i s.

Lp.	Opis próby		Opis krystalizatora	Masy krystalizatorów g			Uwodnienie osadu %	Stężenie substancji stałych g/cm ³	Współczynniki kierunkowe s/cm
	Ciśnienie filtracji Pa	Kondycjonowanie		Czysty	Osad mokry	Osad suchy			
				m _c	m ₀	m _s			
0	Osad surowy								
1		-							
2		-							
3		-							
Osad kondycjonowany									
4		+							
5		+							
6		+							
7		+							
8		+							

Opadalność osadu

Lp.	Opis próby		Opadalność osadu [cm ³]					
	Próba	Kondycjonowanie	5 minut	10 minut	15 minut	20 minut	25 minut	30 minut
1	Osad surowy	-						
2	Dawka 1	+						
3	Dawka 2	+						
4	Dawka 3	+						
5	Dawka 4	+						
6	Dawka 5	+						

Czas ssania kapilarnego

Lp.	Opis próby		Czas ssania kapilarnego (CSK) [s]	
	Próba	Kondycjonowanie	Powtórzenie 1	Powtórzenie 2
1	Osad surowy	-		
2	Dawka 1	+		
3	Dawka 2	+		
4	Dawka 3	+		
5	Dawka 4	+		
6	Dawka 5	+		

Inne dane:

Średnica sączka: mm

Powierzchnia filtracji:cm²