

dr inż. Łucja Fukas-Płonka
mgr inż. Marcin Janik

Politechnika Śląska
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
Instytut Inżynierii Wody i Ścieków

Metoda oceny odwadnialności osadów ściekowych

1. Wstęp

Wszystkim procesom oczyszczania ścieków towarzyszy powstawanie osadów ściekowych. Współczesna wiedza nie oferuje technologii bezosadowej. Ilość i jakość osadów powstających w procesach oczyszczania ścieków zależy od rodzaju i stężeń zanieczyszczeń w ściekach surowych oraz przyjętego sposobu oczyszczania.

Osady powstające w oczyszczalni ścieków można podzielić na:

- osad wstępny – zawiesina wytrącona w osadnikach wstępnych,
- osad nadmierny – pochodzący z procesów oczyszczania biologicznego,
- osad pokoagulacyjny – z procesów oczyszczania chemicznego.

Nie ma typowych osadów ściekowych, w każdej oczyszczalni powstaje osad o odmiennych właściwościach fizyko-chemicznych.

Do podstawowych parametrów, za pomocą których można scharakteryzować właściwości należy zaliczyć [5,8]:

■ parametry fizyczne:

- rozmiar i charakter kłaczków osadu,
- właściwości reologiczne,
- rozkład wody w osadzie,
- opór właściwy,
- współczynnik ściśliwości,
- indeks osadu (osad nadmierny),
- wiek osadu (osad nadmierny),
- czas ssania kapilarnego,
- ciepło spalania,
- wartość opałowa,
- potencjał zeta – ładunek elektrostatyczny cząstki osadu,
- odporność na ścinanie,

■ parametry chemiczne:

- sucha masa osadu,
- sucha masa organiczna,
- odczyn,

- związki nawozowe (azot, fosfor, potas),
- węgiel organiczny,
- związki specyficzne – substancje toksyczne, takie jak: metale ciężkie, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), adsorbowalne halogeny organiczne (AOX), polichlorowane bifenyle (PCB), dioksyny, furany, substancje ropopochodne, tłuszcze.

- parametry biologiczne:

- podatność osadu na rozkład biologiczny w warunkach tlenowych i beztlenowych,
- zagniwalność osadu,
- ocena sanitarna osadu.

2. Charakterystyka osadów ściekowych

Wspólną cechą wszystkich osadów ściekowych jest wysokie uwodnienie i znaczna zawartość związków organicznych. Powstające w procesach oczyszczania osady wymagają przeróbki, której głównym celem jest zmniejszenie objętości i pozabawienie negatywnego oddziaływania na środowisko. Zmniejszenie objętości osadów realizowane jest w procesach zagęszczania, odwadniania i suszenia. Procesy pozwalające na ograniczenie negatywnego oddziaływania osadów na środowisko to stabilizacja tlenowa i beztlenowa oraz higienizacja.

Właściwości fizyko-chemiczne osadów, a tym samym ich podatność na przeróbkę, zależą od rodzaju osadu oraz sposobu i stopnia ustabilizowania.

Występujące w osadzie wstępny związki organiczne to głównie martwa masa organiczna, która bardzo łatwo ulega rozkładowi w warunkach tlenowych lub beztlenowych.

Osad nadmierny powstaje z wytrącania zawiesin w procesach biologicznego oczyszczania ścieków. Charakteryzuje się jednorodną kłaczkową strukturą, w której dominują żywe mikroorganizmy oraz zaabsorbowane cząstki organiczne i koloidy, które nie zostały zatrzymane w części mechanicznej ciągu oczyszczania ścieków. W zależności od wieku osadu czynnego osad nadmierny może być w większym lub mniejszym stopniu ustabilizowany i zawierać mniej lub więcej łatworozkładalnej martwej masy organicznej.

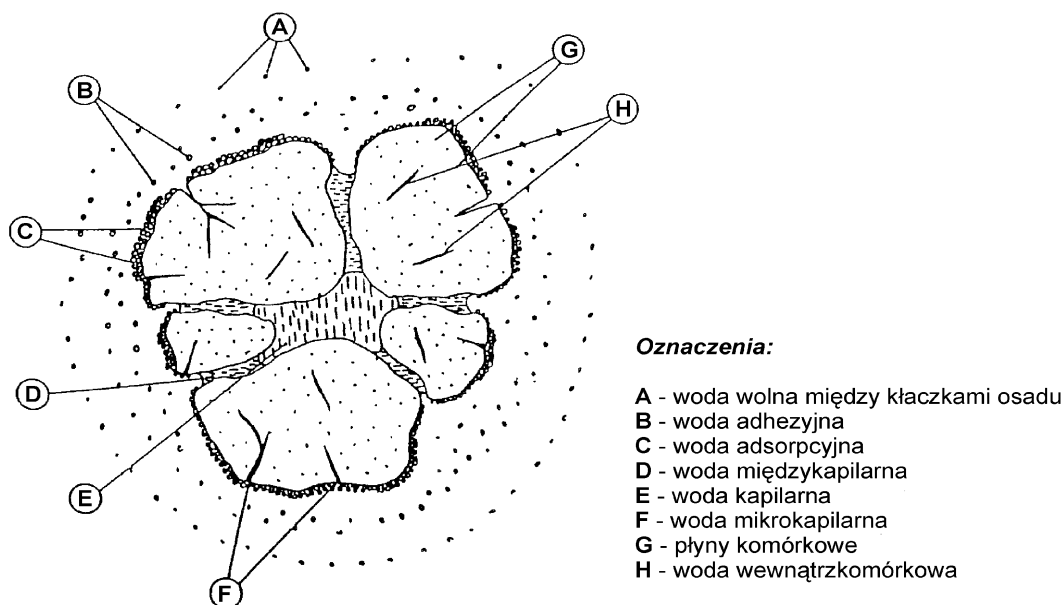
Osady ustabilizowane tlenowo zbliżone są swoim charakterem do osadów nadmiernych. W kłaczkach takiego osadu jest jednak znacznie mniej martwej masy organicznej (masy inercyjnej). Pozostała po procesie stabilizacji tlenowej masa organiczna to przede wszystkim mikroorganizmy i nierozkładalne związki organiczne. Charakter osadu po fermentacji beztlenowej zależy od:

- proporcji pomiędzy osadem wstępnym i nadmiernym doprowadzanym do zamkniętych komór fermentacyjnych,
- sposobu obróbki osadu nadmiernego przed procesem fermentacji,
- parametrów technologicznych i technicznych procesu fermentacji.

Proporcje między martwą i żywą masą organiczną są jednym z czynników decydujących o możliwym do uzyskania stopniu odwodnienia osadu. Woda zawarta w osadzie może występować jako (Rys.1) [6]:

- woda wolna - zajmuje przestrzeń między cząstkami osadu i nie jest z nim związana,
- woda półzwiązana - znajduje się wewnątrz kłaczków osadu, zwana również wodą kawitacyjną,

- woda kapilarna - związana siłami adhezji i kohezji,
- woda związana fizycznie – jako woda higroskopijna i koloidalna związana z cząsteczkami osadu siłami elektrycznymi występującymi na granicy faz (napięcie powierzchniowe),
- woda związana chemicznie - wbudowana w cząsteczki związków chemicznych,
- woda związana biologicznie w komórkach mikroorganizmów oraz w biokoloidach otaczających komórki oraz tworzących kłaczkosady.



Rys.1. Rodzaje wody zawartej w osadzie ściekowym

Podatność osadów na odwadnianie oraz możliwy do uzyskania graniczny stopień odwodnienia zależy od występujących w osadzie poszczególnych rodzajów wody. Struktura osadu decyduje o uwodnieniu międzycząsteczkowym, zaś natura cząstek – o ilości i stopniu związania wody biologicznej, adazyjnej i adsorpcyjnej. Mikroorganizmy wiążą bardzo duże ilości wody, która zostaje uwolniona dopiero po ich obumarciu. Zróżnicowanie i ilościowe oznaczenie poszczególnych rodzajów cieczy osadowej jest bardzo trudne i nie zostało dotychczas jednoznacznie określone [6].

3. Ocena procesu odwadniania osadów

Jedną z metod pozwalających na określenie ilości wody wolnej i półzwiązanej jest pomiar oporu właściwego osadu. Opór właściwy jest najczęściej stosowanym parametrem do scharakteryzowania podatności osadu na odwadnianie. Określa on różnicę ciśnienia wymaganą do wywołania jednostkowego natężenia przepływu filtratu o jednostkowej lepkości przez jednostkę masy placka filtracyjnego [3,4].

Zgodnie z teorią filtracji Rutha-Carmana [1,7] obrazem przebiegu filtracji powinna być prosta opisana równaniem szybkości filtracji z powierzchni jednostkowej:

$$\frac{dq}{dt} = \frac{\Delta p}{\mu R}$$

które po przekształceniu przyjmuje postać:

$$\frac{t}{V} = \frac{\mu cr}{2\Delta p F^2} V + \frac{\mu R_m}{\Delta p} = bV + k$$

gdzie:

t – czas filtracji [s]

V – objętość filtratu [m^3]

r - opór filtracji [m/kg],

b - stała filtracji badanego osadu [s/m^6],

k – stała filtracji [-]

Δp - ciśnienie względne [N/m^2],

F - powierzchnia filtracji [m^2],

μ - współczynnik lepkości filtratu [Ns/m^2],

R_m – opór przegrody filtracyjnej [m^{-1}],

c - sucha masa osadu zatrzymana na powierzchni przegrody filtracyjnej [kg/m^3].

Wartość c oblicza się z zależności:

$$c = \frac{w_s \rho_f}{1 - \frac{w_s}{w_e}} \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

gdzie:

w_s - sucha masa w nadawie [g/g],

w_e - sucha masa osadu odwodnionego [g/g],

ρ_f - gęstość filtratu [kg/m^3].

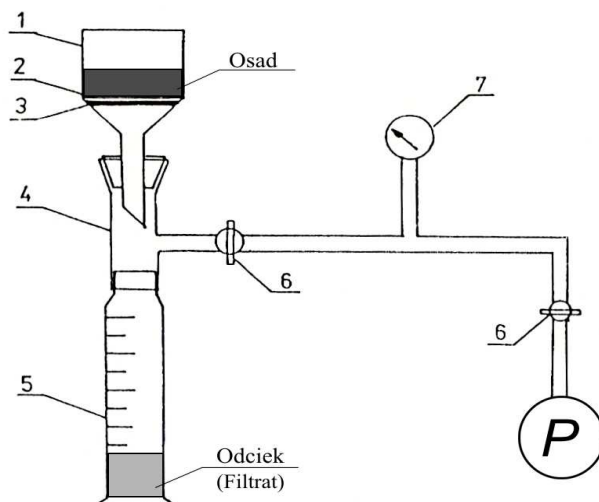
Wyrażenie $\frac{\mu cr}{2\Delta p F^2}$ jest współczynnikiem kierunkowym prostej $f(V) = t/V$ i służy do określania oporu właściwego filtracji:

$$r = \frac{2b\Delta p F^2}{\mu c} \text{ [m/kg]}$$

Szybkość filtracji w procesie odwadniania zależy od rodzaju usuwanej wody osadowej, zaś stopień odwodnienia od udziału poszczególnych jej postaci, dlatego trudno scharakteryzować osady za pomocą jednego parametru oporu właściwego. W rzeczywistości wykres funkcji filtracji osadów ściekowych wykazuje odchylenie od prostej i może być przedstawiony, jako kilka prostych o różnych współczynnikach nachylenia. W celu scharakteryzowania właściwości fizycznych osadów w prowadzonych badaniach wprowadzono modyfikację stosowanych dotychczas metod interpretacji wyników pomiaru oporu właściwego osadu przy zachowaniu wszystkich parametrów metody pomiaru opracowanej przez Coackley'a. Istota modyfikacji polega na wyznaczeniu dla przedziałów wyników pomiaru kilku prostych o różnych współczynnikach kierunkowych, wprowadzając pojęcie faz filtracji. W początkowej fazie rozbiegu formuje się placek filtracyjny. W

pierwszej fazy filtracji, przy niskim oporze właściwym, następuje usunięcie z osadu wody wolnej. Natomiast w kolejnej fazie odwadniania usunięta zostaje woda półzwiązana – wartość oporu właściwego osadu jest wtedy znacznie wyższa [3].

Wartość oporu właściwego określana jest najczęściej przy użyciu instalacji, w której osad odwadnia się na lejku Büchnera (Rys.2).



Zestaw do badań oporu właściwego osadu:

1 - lejek Büchnera, 2 - bibuła filtracyjna, 3 - siatka z metalu lub z tworzywa, 4 - głowica próżniowa, 5 - cylinder miarowy, 6 - kurek jednodrożny, 7 - manometr, P - pompa próżniowa

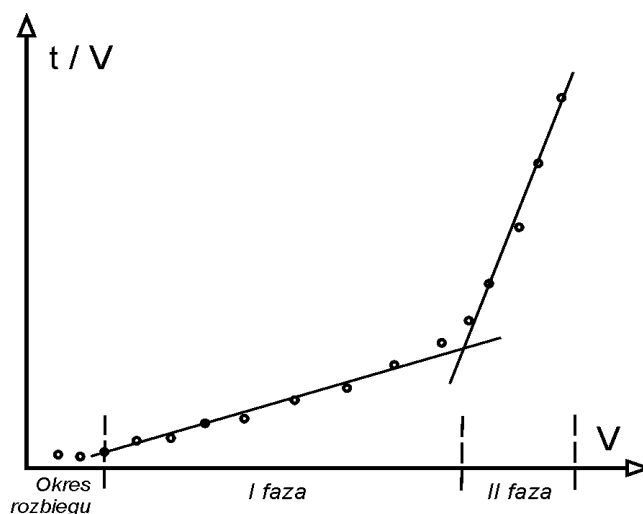
Rys.2. Instalacja do badania oporu właściwego filtracji

Zasada pomiaru polega na sączeniu próbki osadu w ściśle określonych warunkach. W trakcie filtracji mierzona jest objętość otrzymywanego filtratu w zależności od czasu trwania procesu. Filtrację osadu prowadzi się z użyciem podciśnienia o stałej wartości, wywołanego przez pompę próżniową i prowadzi do chwili, gdy z utworzonego placka przestanie ściekać filtrat lub w utworzonym placku pojawią się pęknięcia. Dla uzyskanych wyników sporządza się wykres zależności t/V [s/m³] od objętości V [m³] (Rys.3) [2].

Wykonanie oznaczenia [2,3]: Odmierzoną próbkę (100cm³) sflokulowanego i dobrze wymieszanego osadu (o znanym uwodnieniu) umieszcza się w lejku Büchnera, który wyłożono wcześniej bibułą filtracyjną. Na bibule utworzy się warstwa filtracyjna osadu. Zapisuje się ilość odcieku oraz czas. Następnie włącza się pompę próżniową i ustala podciśnienie 0,5bar. Od momentu uruchomienia pompy należy odczytywać ilość uzyskanego odcieku w interwałach 10-20s, w końcowej fazie filtracji co 1-2min. Po zakończeniu filtracji należy oznaczyć uwodnienie placka osadu.

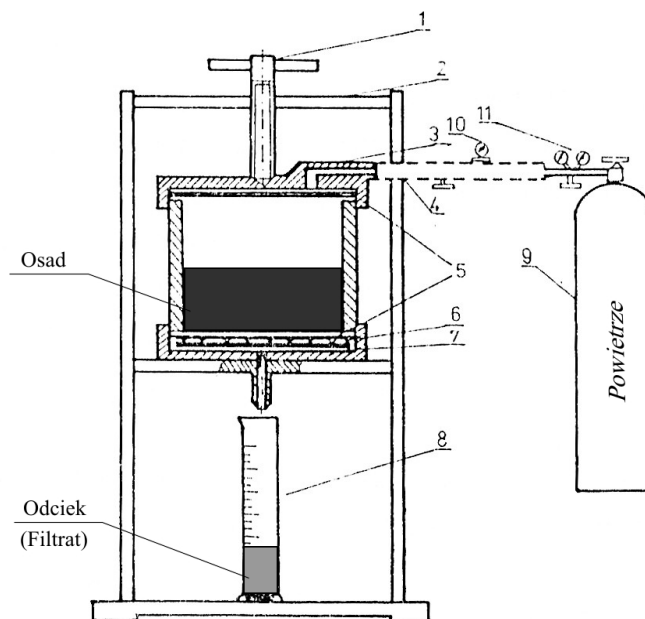
W fazie rozbiegowej odciek stanowi ciecz uwolniona na początku doświadczenia przed podłączeniem podciśnienia. Pierwsza faza filtracji to usuwanie wody wolnej z placka osadu. W tej fazie punkty wykresu zaczynają równomiernie oddalać się od osi V . Po upływie pewnego czasu punkty pomiarowe gwałtownie odbiegają od osi V , zmieniając kierunek przebiegu. Rozpoczyna się druga faza odwadniania, w której zaczyna być usuwana woda półzwiązana. Analizując przebieg funkcji można na wykresie interpolować dwie linie proste odpowiadające I i II fazie przebiegu filtracji. Współczynniki kierunkowe

otrzymanych prostych b_I i b_{II} to stałe filtracji badanego osadu, z których oblicza się opór filtracji r .



Rys.3. Zależność odwrotności szybkości filtracji od objętości filtratu

Pomiar oporu właściwego może być również określony przy użyciu zestawu do filtracji ciśnieniowej. W tym przypadku filtracja odbywa się pod ciśnieniem w instalacji symulującej warunki panujące w prasach filtracyjnych stosowanych w oczyszczalni ścieków. Schemat instalacji przedstawiono na Rys.4.



Zestaw laboratoryjnej prasy do filtracji jednostronnej:

1 - śruba dociskowa, 2 - korpus, 3 - pokrywa, 4 - doprowadzenie sprężonego powietrza, 5 - uszczelka, 6 - tkanka filtracyjna, 7 - siatka metalowa, 8 - cylinder miarowy, 9 - butla ze sprężonym powietrzem, 10 - manometr, 11 - reduktor ciśnienia

Rys.4. Laboratoryjna instalacja do filtracji ciśnieniowej

Przedstawiona instalacja wykorzystywana jest do badań technologicznych nad mechanicznym odwadnianiem osadów. Urządzenie to może pracować w zakresie 4-6bar,

dobrze oddając rzeczywiste warunki odwadniania. Badanie oporu filtracji na prasce ciśnieniowej wykonuje się w sposób analogiczny do metodyki badań dla układu z lejkiem Büchnera. W tym przypadku stosuje się większe objętości prób osadu (200-300cm³) oraz nadciśnienie 4-5bar.

Pośrednim sposobem określenia ilości wody związanej w osadzie jest wyznaczenie metodą matematyczną stężenia suchej masy osadu na przejściu z pierwszej do drugiej fazy filtracji [3]:

$$K_e = \frac{K_0 V_p \rho_{os}}{V_p \rho_{os} - V_f \rho_f} [\%]$$

gdzie:

K_e – stężenie suchej masy na granicy przejścia faz filtracji [%]

K_0 – początkowe stężenie suchej masy osadu [%],

V_p – początkowa objętość osadu osadu [m³],

V_f – objętość filtratu [m³],

ρ_{os} – gęstość osadu [kg/m³],

ρ_f – gęstość filtratu [kg/m³].

Przebieg krzywych filtracji można przyjąć jako obraz charakteryzujący właściwości fizyczne osadów w procesie odwadniania. W procesie filtracji nie jest możliwe usunięcie z osadu wody związanej biologicznie i chemicznie, wody higroskopijnej, czy wody uwięzionej w strukturze kłaczków osadu czynnego. Woda ta pozostaje w masie osadu tworząc jego uwodnienie po procesie odwadniania [3,4].

4. Podsumowanie

- ✓ Właściwości fizyczne osadów ściekowych należy charakteryzować za pomocą dwóch lub więcej wartości oporów właściwych podając jednocześnie graniczne uwodnienie osadu, dla którego dana wartość obowiązuje.
- ✓ Przedstawiona metodyka badań i interpretacji wyników doświadczeń pozwala na orientacyjne określenie wody wolnej, półzwiązanej i związanej.
- ✓ W zależności od udziału poszczególnych rodzajów wody, każdy osad charakteryzuje się granicznym stopniem odwodnienia możliwym do uzyskania w procesie mechanicznego odwadniania. Dalsze obniżenie uwodnienia osadu możliwe jest tylko w procesie suszenia.

Literatura

- [1] Carman P.C.: Fundamental principles of industrial filtration. Trans. Inst. Chem. Eng. 16, p 168. 1938.
- [2] Coackley P.: Laboratory scale filtration. Experiments and their application to sludge dewatering. Biological Treatment of Sewage and Industrial Wastes. J.M. Cabe, W.W. Eckenfelder. New York. II. p.270. 1957.
- [3] Fukas-Płonka Ł.: Analiza metod pomiaru oporu właściwego osadów ściekowych. Praca doktorska. Wrocław 1983
- [4] Fukas-Płonka Ł.: Ocena parametru – opór właściwy osadów ściekowych. Konf. Nauk.- Tech. Bratysława. 1988.
- [5] Fukas-Płonka Ł., Zielewicz-Madej E.:Zasady wyboru technologii przeróbki osadów ściekowych. Mat. Sem. Narady Proj. BPBK Katowice. Ustroń. 1995, pp.43-51.
- [6] Fukas-Płonka Ł., Zielewicz-Madej E.: Zmiany fizykalnych osadów ściekowych wskutek fermentacji metanowej. Seminarium polsko-niemieckie ATV. Goerlitz. 1999.
- [7] Ruth B.F.: Correlating filtration theory with industrial practice. Ind. Eng. Chem. 38, nr 6. 1946.
- [8] Zielewicz-Madej E., Fukas-Płonka Ł.: Nowe techniki badań osadów ściekowych i kontroli procesów przeróbki osadów. Mat. Sem. Szk. Przeróbka i zagospodarowanie osadów dla małych i średnich oczyszczalni ścieków. Gdańska Fundacja Wody. Gdańsk. 1998.