

Wspomaganie sedymentacji osadu wstępnego polielektrolitami

Enhancement of Primary Sludge Sedimentation Using Polyelectrolytes

NATALIA CHAŁUPKA, DARIA CŁAPA, KAMIL JANIAK, MATEUSZ MUSZYŃSKI-HUHAJŁO

DOI 10.36119/15.2025.10.7

W artykule przedstawiono wyniki badań nad możliwością poprawy efektywności zagęszczaczy grawitacyjnych osadu wstępnego poprzez zastosowanie polielektrolitów kationowych. Problemem wielu oczyszczalni ścieków jest fakt, że obiekty są niedowymiarowane i nie zapewniają wystarczającej separacji faz. W wielu przypadkach skutkuje to przedostawaniem się osadu wstępnego do strumienia cieczy nadosadowej i jego recyrkulacją na początek ciągu technologicznego. Prowadzi to do wtórnego obciążenia osadników wstępnych, zwiększa ryzyko rozwoju metanogenów w osadnikach wstępnych i zagęszczaczach oraz utrudnia określenie miarodajnego składu ścieków surowych. W pracy wykorzystano metodykę wyznaczania tzw. strumienia limitującego, będącego parametrem charakteryzującym maksymalną zdolność separacyjną procesu sedymentacji. Ocenę prowadzono na próbkach osadu surowego oraz osadu kondycjonowanego polielektrolitem. Wartość strumienia limitującego dla osadu wstępnego wyniosła 62,4 kg sm/m²·d, a dla osadu kondycjonowanego 170,4 kg sm/m²·d. Uzyskane wyniki wykazały, że dodatek polielektrolitów istotnie zwiększa wartości strumienia limitującego, co potwierdza poprawę właściwości sedymentacyjnych oraz zwiększenie efektywności zagęszczaczy grawitacyjnych. Wyniki badań mogą stanowić podstawę do wdrożenia optymalizacji dozowania koagulantów organicznych w praktyce inżynierskiej, a także do uważniejszego projektowania i modernizacji tak ważnych obiektów gospodarki osadowej jak zagęszczacze grawitacyjne. Słowa kluczowe: polielektrolity kationowe, sedymentacja wstępna, oczyszczanie ścieków, zagęszczanie grawitacyjne osadów wstępnych

This article presents the results of research on improving the efficiency of primary sludge sedimentation in gravity thickeners through the use of cationic polyelectrolytes. Many wastewater treatment plants face the challenge of undersized thickeners, which do not provide sufficient phase separation. This results in high solids content in the supernatant stream and its recirculation to the beginning of the treatment line. This leads to excess loading of primary settling tanks, increases the risk of methanogen development in primary settling tanks and thickeners, and often prevents the accurate determination of raw sewage composition.

This study utilizes a methodology for determining the limiting flux, a parameter characterizing the maximum separation capacity of the sedimentation process. The evaluation was conducted on samples of raw sludge and sludge conditioned with polyelectrolytes. The limiting flux for the primary sludge was 62.4 kg DS/m²·d, and for the conditioned sludge, 170.4 kg DS/m²·d. The obtained results showed that the addition of polyelectrolytes significantly increased the limiting flux, confirming improved sedimentation properties and the possibility of more efficient operation of gravity thickeners. The research results can provide a basis for implementing optimized organic coagulant dosing in engineering practice, as well as for the design and modernization of sedimentation facilities.

Keywords: cationic polyelectrolytes, primary sedimentation, wastewater treatment, gravity thickening of primary sludge

Wstęp

Efektywne zagęszczanie osadów wstępnych stanowi istotny element funkcjonowania oczyszczalni ścieków komunalnych. W praktyce eksploatacyjnej często spotyka się jednak przypadki niedowymiarowania zagęszczaczy grawitacyjnych. Skutkiem tego jest niewystarczająca separacja faz, prowadząca do wynoszenia części zawiesziny osadu wstępnego

w strumieniu cieczy nadosadowej. Cząstki te, trafiając ze strumieniem odcieków ponownie na początek ciągu technologicznego, obciążają osadniki wstępne i wtórne, utrudniają stabilizację procesów biologicznych, a także mogą negatywnie wpływać na jakość ścieków oczyszczonych. Spostrzeżenia te oparto na własnych doświadczeniach eksploatacyjnych z pracy wrocławskiej oczyszczalni ścieków. Należy podkreślić, że typowe pro-

jektowe obciążenia powierzchniowe zagęszczaczy grawitacyjnych mieszczą się w zakresie 100–150 kg s.m./m²·d [1,2], co w praktyce eksploatacyjnej bywa często przekraczane w przypadku obiektów starszych lub niedowymiarowanych. W konsekwencji zachodzi potrzeba poszukiwania rozwiązań wspomagających proces grawitacyjnej sedymentacji osadu. Jednym z podejść jest zastosowanie polielektrolitów, które poprzez mechanizm

Natalia Chałupka, Daria Cłapa – Politechnika Wroclawska

dr inż. Kamil Janiak <https://orcid.org/0000-0001-5021-9084> – MPWiK S.A. we Wrocławiu, Politechnika Wroclawska,

dr inż. Mateusz Muszyński-Huhajło – <https://orcid.org/0000-0001-6639-8320>, Politechnika Wroclawska

Adres do korespondencji/ Corresponding author: kamil.janiak@pwr.edu.pl

neutralizacji ładunku powierzchniowego oraz mostkowania cząstek poprawiają koagulację i flokulację zawiesiny, a tym samym przyspieszają proces sedimentacji. Ocena skuteczności tego typu działań wymaga zastosowania odpowiednich metod badawczych, umożliwiających ilościowe określenie wydajności zagęszczania. Istnieje ryzyko negatywnego wpływu polielektrolitu na proces fermentacji, jednak występuje ono przy bardzo wysokich dawkach. Wg [3] w początkowej fazie procesu fermentacji metanowej (do 6 dni) zastosowanie polielektrolitu kationowego zintensyfikowało produkcję biogazu. W dłuższym okresie prowadzenia procesu (powyżej 10 dni), polielektrolit ten przy dawkach przekraczających 15 g/kg suchej masy powodował wyraźne obniżenie wydajności metanogenezy. Po 40 dniach trwania procesu ilość metanu była mniejsza o 23–38% w stosunku do próby kontrolnej. Mechanizm tego zjawiska wiązał się z formowaniem floków przez polielektrolit, co ograniczało transport substratów wewnątrz floków. Należy podkreślić, że polielektrolit nie wykazał działania toksycznego wobec bakterii metanogennych odpowiedzialnych za proces. Należy jednak podkreślić, że zastosowana w badaniu dawka polielektrolitu była ponad pięciokrotnie niższa i wynosiła 2,7 g/kg suchej masy, co według autorów nie powinno wywoływać negatywnego wpływu na przebieg fermentacji metanowej.

Metodyka pomiarów

Oczyszczalnia ścieków

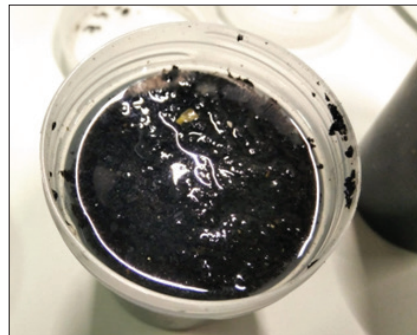
Badania przeprowadzono na osadzie wstępnym pochodzącym z Wrocławskiej Oczyszczalni Ścieków o RLM powyżej 100 tys. Oczyszczalnia ta posiada pełny układ usuwania biogenów oraz stosuje fermentację metanową do stabilizacji osadów.

Wstępny wybór polielektrolitów

W pierwszym etapie oceniono skuteczność działania polielektrolitów w próbkach osadu wstępnego o objętości 100 ml. Do testów wykorzystano 14 polielektrolitów, których nazwy zostały zastrzeżone. Każdy z nich został zadawkowany do próbki osadu w 4 różnych dawkach, wyznaczonych na podstawie zaleceń producenta, a następnie wymieszany. Do dalszych analiz wzięto pod uwagę te próbki, w których zaobserwowano wyraźną granicę rozdziału faz na zagęszczony osad oraz ciecz nadosadową (rysunek 1). Natomiast próbki, w których osad rozdzielał się nierównomiernie, tworzył strukturę serwatki lub flotował, zosta-



Rysunek 1. Efekt kwalifikujący badaną dawkę do kolejnego etapu testów *Figure 1. The effect that qualifies the examined dose for the next stage of testing*



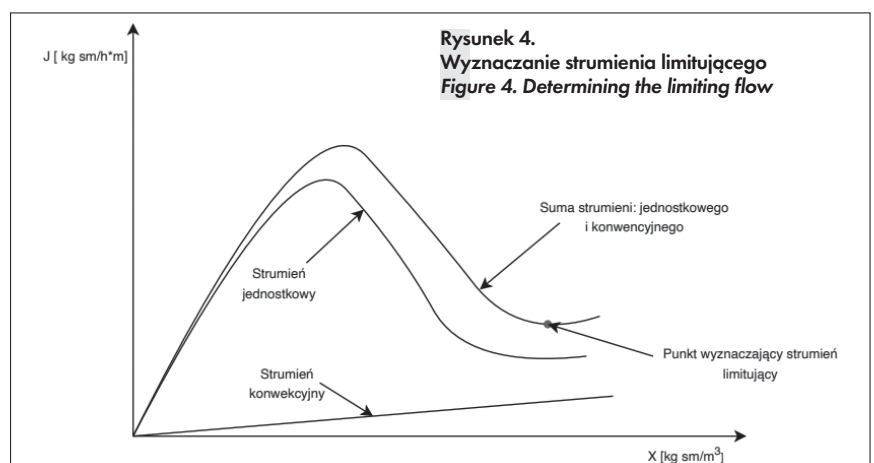
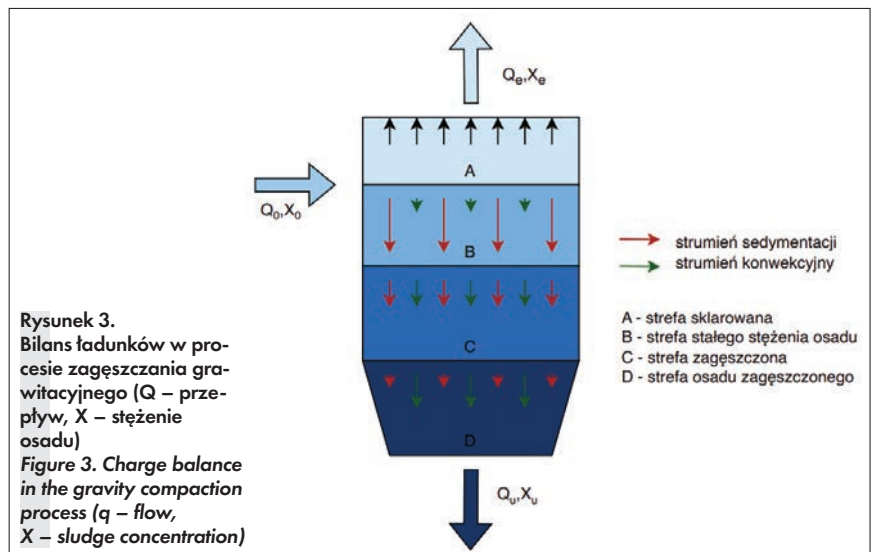
Rysunek 2. Efekt dyskwalifikujący dawkę polielektrolitu *Figure 2. The disqualifying effect of the polyelectrolyte dose*

ły odrzucone (rysunek 2). Ostatecznie z dalszych badań wyeliminowano 11 polielektrolitów.

W drugim etapie, w cylindrach o objętości 1000 ml, w różnych rozcieńczeniach osadu i zmiennych dawkach polielektrolitów przeprowadzono testy dla osadu wstępnego oraz 3 polielektrolitów, które w poprzednim etapie wykazały najlepszą separację faz. Każdy test przeprowadzono przez 90 minut, odczytując wysokość granicy rozdziału faz w równych odstępach czasowych. Następnie z odczytanych wartości obliczono strumień sedimentacyjny. Do ostatniego etapu testów zakwalifikowano polielektrolit o największej wartości strumienia limitującego.

Strumień limitujący

W procesie zagęszczania osadów wstępnych najczęściej stosuje się metodę grawitacyjną, opartą na sedimentacji cząstek. W zagęszczaczach zachodzi zjawisko sedimentacji strefowej, czyli występowania stref o różnych stężeniach osadu (rysunek 3). Strumień transportu masy przez zagęszczacz składa się ze strumienia sedimentującego i strumienia konwekcyjnego. Wartość tych strumieni uzależniona jest od lokalnego stężenia osadu, a tym samym różni się w poszczególnych strefach.



Zjawisko zróżnicowania stężenia osadu powinno być uwzględniane podczas wykonywania pomiarów. W tym celu wartości strumienia sedymentującego oraz strumienia konwekcyjnego określa się przy różnych stężeniach osadu. Zdolność zagęszczacza do transportu masy jest równa wartości tzw. strumienia limitującego, czyli minimum sumy strumieni sedymentacyjnych i konwekcyjnych [4] (rysunek 4).

$$J_{tot, X_i} = J_{konw, X_i} + J_{sed, X_i} \left(\frac{kg}{m^2 \cdot h} \right)$$

Strumień limitujący = $\min [J_{tot}(X_1; X_2; \dots; X_i)]$

Gdzie:

J_{tot, X_i} – strumień sumaryczny dla osadu o stężeniu X_i ($kg/m^2 \cdot h$),

J_{konw, X_i} – strumień konwekcyjny dla osadu o stężeniu X_i ($kg/m^2 \cdot h$),

J_{sed} – strumień jednostkowy sedymentacji dla osadu o stężeniu X_i ($kg/m^2 \cdot h$).

Przy zagęszczaniu osadów obowiązuje bilans masy i objętości osadów:

$$Q_0 \cdot X_0 = Q_u \cdot X_u + Q_e \cdot X_e$$

gdzie:

Q_0, X_0 – natężenie przepływu i stężenie substancji stałych strumienia doprowadzanego do zagęszczacza,

Q_u, X_u – natężenie przepływu i stężenie substancji stałych strumienia osadu zagęszczonego odprowadzanego z zagęszczacza,

Q_e, X_e – natężenie przepływu i stężenie substancji stałych strumienia cieczy osadowej odprowadzanej z zagęszczacza (przy wyznaczaniu powierzchni zagęszczacza przyjmuje $X_e = 0$).

Pomiar strumienia sedymentującego

Do pomiarów pobiera się próbki osadu wstępnego, rozcieńczane lub zagęszczane do różnych stężeń początkowych (X_i , np. 5–20 g s.m./L). Probki dzielone są na dwie serie: osad surowy oraz osad kondycjonowany polielektrolitem w odpowiedniej dawce (np. 2–6 g/kg s.m.). Każda próbka umieszczana jest w cylindrze pomiarowym o znanej średnicy wewnętrznej D i powierzchni przekroju poprzecznego.

Wyznaczanie krzywych sedymentacji

Po wymieszaniu zawartości cylindrów rozpoczyna się pomiar. W regularnych odstępach czasu rejestruje się wysokość granicy faz $h(t)$, odpowiadającą poziomowi klarownej cieczy nad warstwą osadu. Za-

leżność $h(t)$ tworzy krzywą sedymentacji, która pozwala ocenić prędkość opadania cząstek. Do obliczenia prędkości sedymentacji z uzyskanej w ten sposób krzywej sedymentacji odczytuje się fragment krzywej, dla którego zmiana położenia granicy cieczy-osad w czasie była prostoliniowa. Prędkość sedymentacji oblicza się ze wzoru:

$$v_i = h_i/t_i, (m/h)$$

gdzie:

h_i – zmiana położenia wysokości granicy rozdziału stref sklarowania i stałego stężenia osadu (m),

t_i – czas zmiany położenia wysokości granicy rozdziału stref sklarowania i stałego stężenia osadu (h).

Obliczanie strumienia jednostkowego

Na podstawie zmian objętości osadu w czasie wyznacza się chwilowe natężenie przepływu osadu Q , a następnie dla każdej próbki oblicza się tzw. strumień jednostkowy (solids flux) przypadający na jednostkę powierzchni:

$$J_{jedn'i} = v_i \cdot X_i (kg/m^2 \cdot h)$$

gdzie:

v_i – średnia prędkość opadania osadu przy stężeniu X_i (m/s),

A – powierzchnia przekroju poprzecznego zagęszczacza, przyjęto $A = 113 m^2$.

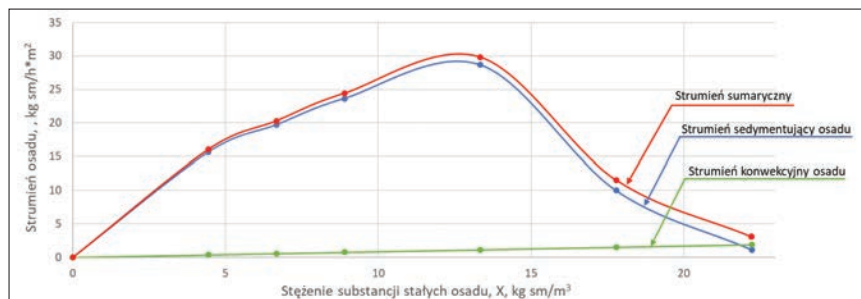
Wyznaczanie strumienia limitującego

Dla każdej badanej próbki o stężeniu X_i oblicza się wartość strumienia jednostkowego ($J_{jedn'i}$) oraz konwekcyjnego ($J_{konw'i}$). Następnie, konstruuje się wykres zależności $J_{jedn}(X)$ oraz $J_{konw}(X)$. Na wykres nanosi się następnie sumę wartości obu tych funkcji, określaną jako strumień całkowity $J_{tot}(X)$. Charakterystyczny punkt minimum funkcji $J_{tot}(X)$ odpowiada wartości strumienia limitującego J_{lim} .

Interpretacja wyników

Osad wstępny bez dodatku polielektrolitu

Oceniając przebieg sedymentacji, istotnym parametrem jest strumień limitujący. Został on wyznaczony w dwóch powtórzeniach, wynoszących 50,4 kg $sm/m^2 \cdot d$ oraz 74,4 kg $sm/m^2 \cdot d$ (średnio na poziomie 62,4 kg $sm/m^2 \cdot d$). Dodatkowo na rysunku 5 przedstawiono przebieg strumienia sedymentującego oraz konwekcyjnego.



Rysunek 5.

Wyznaczanie strumieni sedymentującego i limitującego dla osadu wstępnego bez dodatku polielektrolitu

Figure 5. Determination of sedimentation and limiting fluxes for primary sludge without polyelectrolyte addition

X_i – stężenie suchej masy osadu (kg/m^3).

Strumień konwekcyjny

Strumień konwekcyjny obliczono w następujący sposób:

$$J_{konw, i} = X_i \cdot \frac{Q_u}{A} \left(\frac{kg}{m^2 \cdot h} \right)$$

gdzie:

X_i – stężenie suchej masy osadu kolejnych próbek (kg/m^3)

Q_u – natężenie przepływu osadu zagęszczonego odprowadzanego z zagęszczacza, przyjęto $Q_u = 9,7 m^3/h$.

Wpływ napowietrzania

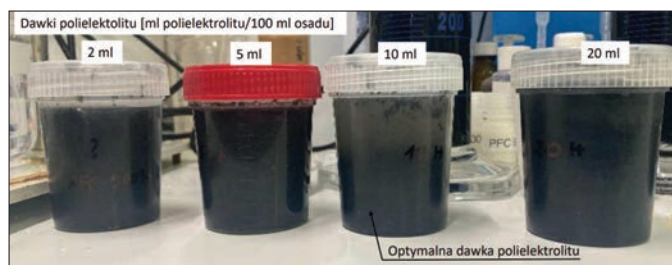
Dla osadu wstępnego zagęszczonego po napowietrzeniu zauważono jego szybsze opadanie. Wskazuje to, że napowietrzanie powoduje poprawę właściwości sedymentacyjnych osadu. Potwierdziło to bezpośrednie porównanie wartości strumienia limitującego dla osadu wstępnego zagęszczonego – 50,5 kg $sm/m^2 \cdot d$ oraz dla osadu wstępnego zagęszczonego po napowietrzeniu – 57,6 kg $sm/m^2 \cdot d$. Dzięki napowietrzeniu osadu możliwe jest zwiększenie strumienia limitującego. Związane jest to z obecnością w osadzie pęcherzyków gazu, głównie metanu, które zakłócają skuteczną sedymentację. Po ich usunięciu poprzez odgazowanie, osad sedymentuje

lepiej, co potwierdza negatywny wpływ aktywności bakterii metanogennych na proces zagęszczania osadów.

Osad wstępny z dodatkiem polielektrolitu

Ocena wstępna

Na rysunku 6 przedstawiono wstępny wybór dawki polielektrolitu, wynoszącej odpowiednio 2, 5, 10 oraz 20 ml na 100 ml osadu. Dobrano dawkę 10 ml, ponieważ powstała wyraźna granica osad-ciecz nadosadowa, osad nie tworzył struktury serowatej oraz nie flotował.



Rysunek 6. Wybór dawki dla polielektrolitu P1
Figure 6. Dose selection for polyelectrolyte P1

Strumienie limitujące dla osadu wstępnego z dodatkiem polielektrolitu

Poniżej zestawiono wartości strumieni sedymentacyjnych dla osadu wstępnego z dodatkiem różnych polielektrolitów. Dla samego osadu wstępnego wartość ta wyniosła $74,4 \text{ kg sm/m}^2\cdot\text{d}$. Zastosowanie polielektrolitów wykazało wyraźne różnice w osiągniętych strumieniach sedymentacyjnych:

- polielektrolit P1 (dawka: 10 ml/100 ml osadu) – $139,2 \text{ kg sm/m}^2\cdot\text{d}$,
- polielektrolit P2 (dawka: 10 ml/100 ml osadu) – $81,6 \text{ kg sm/m}^2\cdot\text{d}$,
- polielektrolit P3 (dawka: 10 ml/100 ml osadu) – $170,4 \text{ kg sm/m}^2\cdot\text{d}$,

Porównanie uzyskanych wyników wskazuje, że największą poprawę właściwości sedymentacyjnych osiągnięto przy zastosowaniu polielektrolitu P3, natomiast najmniejszą – przy użyciu polielektrolitu

P2. Wszystkie testowane polielektrolity charakteryzowały się wyższą skutecznością niż polielektrolit analizowany w [5], co może być związane z lepszymi pierwotnymi właściwościami sedymentacyjnymi osadu lub z pojawieniem się na rynku nowych polielektrolitów o lepszych parametrach.

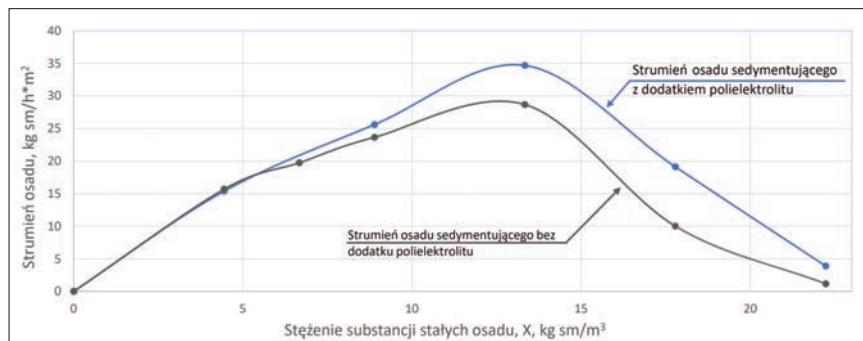
Na wykresie (rysunek 7) przedstawiono strumienie sedymentacyjne osadu wstępnego oraz osadu wstępnego z dodatkiem polielektrolitu P2 o dawce 10 ml/100 ml osadu.

Wartości strumieni sedymentacyjnych wskazują, że zastosowanie polielektrolitu

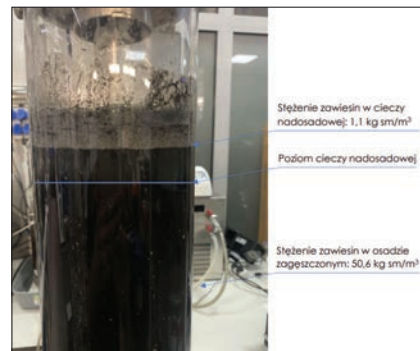
wpływa korzystnie na proces zagęszczania – maksymalna wartość strumienia sedymentacyjnego w przypadku osadu z dodatkiem polielektrolitu osiąga wyższy poziom niż dla samego osadu wstępnego. Dla osadu wstępnego wartość maksymalna strumienia została osiągnięta przy stężeniu około 14 kg sm/m^3 i wyniosła ok. $696 \text{ kg sm/m}^2\cdot\text{d}$, natomiast w teście z dodatkiem polielektrolitu maksimum przy podobnym stężeniu wyniosło ok. $816 \text{ kg sm/m}^2\cdot\text{d}$.

Porównanie skuteczności sedymentacji osadu wstępnego i wybranego polielektrolitu

Ze względu na najlepsze efekty sedymentacyjne polielektrolitu P3 we wcześniejszych testach wstępnych, został on wytypowany do dalszych badań. W kolejnym etapie jego skuteczność oceniano w kolumnie sedymentacyjnej, co pozwoliło dokładniej określić efektywność procesu.



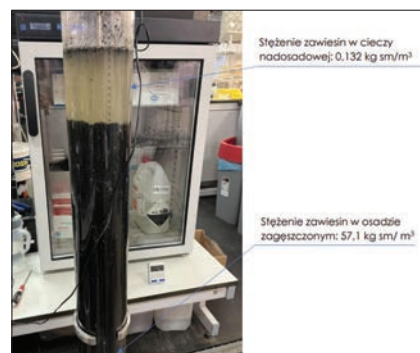
Rysunek 7. Porównanie wartości strumienia sedymentującego osadu wstępnego wraz z osadem z dodatkiem polielektrolitu P2
Figure 7. Comparison of the sedimentation flux values of the primary sludge and the sludge with the addition of polyelectrolyte P2



Rysunek 8. Sedymentacja osadu wstępnego bez dodatku polielektrolitu
Figure 8. Sedimentation of primary sludge without the addition of polyelectrolyte

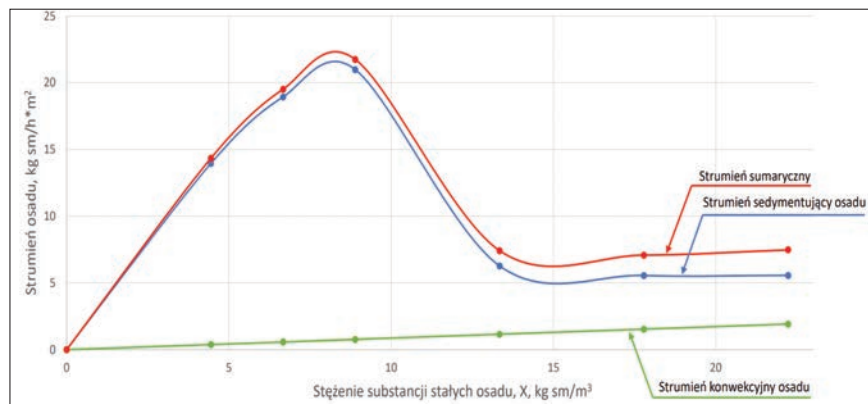
Dla osadu wstępnego bez dodatku polielektrolitu proces sedymentacji przebiegł gorzej – osad opadał wolniej i nie tworzył wyraźnej granicy między warstwą osadu a warstwą cieczy nadosadowej. Skutkowało to niską klarownością cieczy nadosadowej (rysunek 8).

Test z dodatkiem polielektrolitu P3 pozwolił na uzyskanie znacznie lepszych rezultatów. Już po krótkim czasie widoczna wyraźna granica rozdziela osad od cieczy nadosadowej, której klarowność była dużo lepsza (rysunek 9).



Rysunek 9. Sedymentacja osadu wstępnego z dodatkiem polielektrolitu P3
Figure 9. Sedimentation of primary sludge with the addition of polyelectrolyte P3

W przypadku sedymentacji osadu wstępnego stężenie zawiesin w cieczy nadosadowej wyniosło $1,1 \text{ kg sm/m}^3$, natomiast stężenie osadu zagęszczonego osiągnęło poziom $50,6 \text{ kg sm/m}^3$. Z kolei po dodaniu polielektrolitu uzyskano znaczną poprawę tych parametrów – stężenie zawiesin w cieczy nadosadowej obniżyło się do $0,132 \text{ kg sm/m}^3$, co oznacza zmniejszenie o około 88%. Natomiast stężenie osadu zagęszczonego wzrosło do $57,1 \text{ kg sm/m}^3$, czyli o około 13%. Wyniki wskazują, że zastosowanie polielektrolitu poprawia efektywność oddzielania fazy stałej od cieklej, prowadząc do



Rysunek 10.

Wyznaczenie strumieni sedymentującego i limitującego dla osadu wstępnego z dodatkiem polielektrolitu P3

Figure 10. Determination of sedimentation and limiting fluxes for primary sludge with the addition of P3 polyelectrolyte

uzyskania klarowniejszej cieczy nadosadowej oraz skuteczniejszego zagęszczenia osadu.

Zestawienie najważniejszych wyników.

W tabeli 1 zestawiono najważniejsze wyniki uzyskane z przeprowadzonych testów zagęszczania osadu wstępnego bez dodatku oraz z zastosowaniem różnych rodzajów polielektrolitów. W tabeli podano wybrane dawki polielektrolitu oraz wartości strumienia limitującego, który stanowi miarę granicznej przepustowości zagęszczacza grawitacyjnego.

skane wartości dla osadów wstępnych są niższe, co związane jest z obecnością i emisją metanu w osadzie. Zastosowanie polielektrolitu P1 pozwoliło na niemal dwukrotne zwiększenie strumienia limitującego, osiągając wartość 139,2 kg sm/m²·d. W przypadku polielektrolitu P2 uzyskano mniej wyraźną poprawę – 81,6 kg sm/m²·d – co wskazuje na jego niską skuteczność.

Najlepsze efekty zaobserwowano przy zastosowaniu polielektrolitu P3 o dawce 2,7 g/kg sm osadu, którego strumień limitujący osiągnął wartość 170,4 kg sm/m²·d. Pozwala to na ponad

Tabela 1. Zestawienie wyników testów wybranych polielektrolitów
Table 1. Summary of test results for selected polyelectrolytes

point	Osad	Polielektrolit	Dawka/100 ml osadu	Strumień limitujący (graniczna przepustowość zagęszczacza) [kg sm/ m ² ·d]
1	wstępny niezagęszczony	-	-	74,4
2	wstępny niezagęszczony	P1	10 ml	139,2
3	wstępny niezagęszczony	P2	10 ml	81,6
4	wstępny niezagęszczony	P3	6 ml (2,7 g/kg sm)	170,4

Wyniki testów wykazały, że osad wstępny niezagęszczony bez dodatku polielektrolitu, osiągnął strumień limitujący wynoszący 74,4 kg sm/m²·d. Wartości projektowe granicznej przepustowości zagęszczacza przyjmuje się zazwyczaj w zakresie 100–150 kg sm/m²·d. Uzy-

dwukrotną możliwość zwiększenia przepustowości zagęszczacza. Odnosząc się do wartości literaturowych, które zwykle mieszczą się w zakresie 3–4,5 g/kg suchej masy osadu [2], określono optymalną dawkę polielektrolitu wynoszącą 2,7 g/kg s.m.

Wnioski:

1. Zastosowanie polielektrolitu wpływa korzystnie na proces zagęszczania – właściwie dobrana dawka umożliwi osiągnięcie wyższych wartości maksymalnego strumienia sedymentacyjnego w porównaniu z osadem wstępnym niekondycjonowanym.
2. Proces napowietrzania osadu prowadzi do zwiększenia wartości strumienia limitującego, co wiąże się z eliminacją pęcherzyków gazowych, głównie metanowych, utrudniających opadanie cząstek. Usunięcie tych gazów poprzez odgazowanie poprawia właściwości sedymentacyjne osadu.
3. Zastosowanie polielektrolitu istotnie poprawia efektywność oddzielania fazy stałej od ciekłej, prowadząc do uzyskania klarownej cieczy nadosadowej o obniżonej zawartości zawieszin oraz skuteczniejszego zagęszczenia osadu.
4. Zastosowanie polielektrolitu umożliwia zwiększenie przepustowości zagęszczacza grawitacyjnego.

LITERATURA:

- [1] Tchobanoglous, G., Burton, F., & Stensel, H. D. (2003). Wastewater engineering: treatment and reuse. American Water Works Association. Journal, 95(5), 201.
- [2] Claus, R. C. (2003, January). Conversion of an existing tank to a primary sludge gravity thickener. WEFTEC 2003 (pp. 295-311). Water Environment Federation. (10.2175/193864703784678982)
- [3] C.P. Chu a, D.J. Lee a,c,* , Bea-Ven Chang b, C.H. You b, C.S. Liao b, J.H. Tay (2003, May). Anaerobic digestion of polyelectrolyte flocculated waste activated sludge
- [4] Quasim S. R., Zhu G. Wastewater Treatment and Reuse Theory and Design Examples Volume 1 Principles and Basic Treatment 2018
- [5] Wolny L. Korzekwa-Wojtala A. Effect of polyelectrolyte dose on the characteristics of sewage sludge in sedimentation processes in small-size wastewater treatment plants (2011)
- [6] Klaczyński, E. (2013). Oczyszczalnia ścieków -stabilizacja osadów. Cz. 2. Wodociągi-Kanalizacja.