

Andrzej GROSSMAN  
Anna KSIĘŻYK-SIKORA

ZASTOSOWANIE POMIARU POTENCJAŁU ELEKTROKINETYCZNEGO  
W PROCESIE MECHANICZNEGO ODWADNIANIA CHEMICZNIE PREPAROWANYCH  
OSADÓW ŚCIEKOWYCH

**Streszczenie.** W publikacji przedstawiono wyniki badań nad zastosowaniem pomiaru potencjału elektrokinetycznego do oceny warunków wstępnego preparowania osadów ściekowych mechanicznie odwadnianych na wirówkach. Badania prowadzono dla osadów pochodzących z oczyszczalni ścieków miejskich GOP-u, wstępnie preparowanych syntetycznymi polielektrolitami. Stwierdzono, że wzrost efektywności odwadniania organicznych osadów ściekowych przez odwirowanie, wywołany wzrastającymi dawkami środka pomocającego - polielektrolitu, związany jest ściśle ze zmianami potencjału oszątek preparowanego osadu. Na podstawie wyników badań zaproponowano wykorzystanie pomiaru potencjału elektrokinetycznego do określenia warunków wstępnego preparowania osadów poddawanych odwirowaniu i kontroli przebiegu tego procesu w urządzeniach technicznych.

### Wstęp

Najbardziej istotnym etapem przeróbki osadów ściekowych jest proces ich odwadniania, który ostatnio coraz częściej prowadzony jest w urządzeniach mechanicznych. W tych warunkach niezbędne jest jednak wstępne przygotowanie osadu. Celem tego zabiegu jest zmiana struktury fizykochemicznej osadu w kierunku aglomeracji zawieszin w duże i ciężkie oszateczki pozwalające na szybsze i efektywniejsze ich odwadnianie. Wstępne przygotowanie osadów poddawanych odwadnianiu poza nielicznymi przypadkami stosowania procesów fizycznych (wymrażanie, metody termiczne) polega głównie na preparowaniu ich za pomocą związków chemicznych lub ich komponentów [7, 10].

Stosowane dotychczas powszechnie reagenty w postaci związków wapnia, żelaza i glinu charakteryzowały się stosunkowo niską efektywnością działania, a wymagane duże dawki tych środków podwyższały znacznie koszty przeróbki osadów.

W wyniku poszukiwań bardziej ekonomicznych i sprawnych metod przygotowania osadów do mechanicznego odwadniania coraz większą rolę w procesie tym zaczynają odgrywać wieloząsteczkowe flokulanty - polielektrolity. Szczególnie ważną rolę odgrywają polielektrolity przy odwadnianiu osadów z zastosowaniem wirówek sedimentacyjnych, gdzie w porównaniu z reagentami nieorganicznymi poprawiają efekty odwadniania zmniejszając jednocześnie zanieczyszczenie powstającego w czasie odwirowania odcieku [1, 2, 3, 4, 5].

Spółród całego szeregu dostępnych syntetycznych flokulantów tylko nieliczne z nich znajdują zastosowanie w procesie przygotowania osadów do mechanicznego odwadniania.

Różna skuteczność działania poszczególnych polielektrolitów podczas odwadniania osadów oraz problematyczna przydatność stosowanych obecnie laboratoryjnych metod oceny odwadnialności osadów wymaga często prowadzenia badań w skali technicznej dla ustalenia parametrów technologicznych tego procesu.

Zastosowanie polielektrolitów powoduje, że dzięki wzajemnemu oddziaływaniu ładunków elektrostatycznych funkcyjnych grup polielektrolitu i ładunków znajdujących się na powierzchni cząstek osadu następuje powiązanie wielu cząstek w duże aglomeraty (kłaczkę).

Wyniki badań nad zastosowaniem środków wspomagających w procesie odwadniania osadów ściekowych wskazują, że największe znaczenie w tym procesie odgrywają związki o właściwościach kationoaktywnych, a szczególnie kationoaktywne polielektrolity organiczne.

Ponieważ wydzielane ze ścieków cząstki zawieszin organicznych charakteryzują się ujemnym ładunkiem elektrycznym, można przypuszczać, że działanie polielektrolitu w kierunku poprawy efektów odwadniania osadów związane jest ze zubożeniem powierzchniowego ładunku cząstek osadu. W procesie chemicznego przygotowania osadu istotne znaczenie może odgrywać więc pomiar potencjału elektrokinetycznego charakteryzujący wielkość ładunku elektrycznego cząstek osadu oraz aktywność jonowa środka wspomagającego.

Pomiar potencjału elektrokinetycznego jest jednym z parametrów stosowanych do kontroli procesu koagulacji domieszek wody i wszystkie prowadzone dotychczas badania wykazały znaczną przewagę metody kontroli procesu koagulacji wód przez pomiar potencjału w porównaniu z dotychczas stosowanymi sposobami oceny przebiegu flokulacji [6,8,9].

Można więc przypuszczać, że i w innych procesach technologicznych, w których wykorzystane są własności organicznych i nieorganicznych koagulantów, a więc i w procesie chemicznego przygotowania osadów ściekowych poddawanych mechanicznemu odwadnianiu pomiar potencjału elektrokinetycznego może być przydatny do kontroli ich przebiegu.

W przeprowadzonych badaniach zajęto się ustaleniem wpływu syntetycznych polielektrolitów na potencjał elektrokinetyczny charakteryzujący ładunek cząstek organicznych osadów ściekowych oraz określeniem zależności pomiędzy zmianami potencjału tak preparowanych osadów a efektywnością ich mechanicznego odwadniania. Z mechanicznych metod odwadniania wybrano proces odwirowania, ponieważ syntetyczne polielektrolity posiadają największe znaczenie przy odwadnianiu osadów z zastosowaniem wirówek sedymentacyjnych.

Ustalenie roli potencjału w procesie odwadniania osadów ściekowych pozwoliłoby na wykorzystanie tego pomiaru obok stosowanych obecnie pomiarów oporu filtracyjnego i czasu osaniania kapilarnego do pełniejszego scharaktera-

ryzowania własności osadów ściekowych i oceny warunków obciążonego przygotowania do ich mechanicznego odwadniania.

### Część doświadczalna

Do badań procesu odwadniania osadów przez odwirowanie z zastosowaniem polielektrolitów użyto dwa osady ściekowe; osad przefermentowany z oczyszczalni ścieków miejskich w Tychoach oraz nadmierny osad czynny z oczyszczalni ścieków miejskich w Pyskowicach.

Jako środki pomagające zastosowano 3 kationoaktywne polielektrolity importowane: Zetag 32, Zetag 63 i Zetag 92, wytypowane na podstawie wyników wstępnych badań. Z polielektrolitów krajowych stosowano jedynie obecnie produkowane polielektrolity kationoaktywne Rokrysol WF-3 i Rokrysol WF-5.

Charakterystyka każdego z osadów obejmowała oznaczenia suchej masy osadu, zawartości związków mineralnych, odczynu oraz potencjału elektrokinetycznego. Próby poszczególnych osadów odwirowywano przy stałych parametrach pracy wirówki laboratoryjnej z wzrastającymi od 0 do 7 mg/gsm osadu dawkami polielektrolitów. Na podstawie zawartości suchej masy osadu odwirowanego i cieczy odwirowanej wyznaczano każdorazowo odzysk suchej masy osadu wyrażony jako stopień rozdziału osadu w osazie wirowania. W celu określenia zmian potencjału elektrokinetycznego osadu pod wpływem środków pomagających proces odwirowania w każdej próbie osadu zadanej odpowiednią dawką polielektrolitu określano potencjał elektrokinetyczny osąstek osadu.

### Wyniki badań

Zastosowane w badaniach osady ściekowe różniły się znacznie własnościami fizykochemicznymi. Nadmierny osad czynny z oczyszczalni w Pyskowicach charakteryzował się znacznie wyższym stopniem uwodnienia 97% w porównaniu z osadem przefermentowanym z oczyszczalni w Tychoach (tabelica 1). Różny był udział związków mineralnych w osadach: 50% dla osadu przefermentowanego i 16% dla nadmiernego osadu czynnego. Pochodzenie osadu miało również wpływ na potencjał elektrokinetyczny jego osąstek. Średnie wartości potencjału dla nadmiernego osadu czynnego wynosiły - 20 mV, potencjał osadu przefermentowanego był znacznie wyższy - 6 mV. Pomiar potencjału elektrokinetycznego osadu potwierdziły przypuszczenie, że wielkość ta obok innych cech fizykochemicznych charakteryzować może każdy osad ściekowy.

Przy odwirowaniu badanych osadów bez środków pomagających uzyskiwany stopień rozdziału osadu wahał się od 78 do 83%. Otrzymywano silne zanieczyszczenia odciek i koncentrację suchej masy w osadzie odwirowanym wynoszącą

Tablica 1

## Charakterystyka osadów ściekowych

| Oznaczenia              | Jednostki         | Wartości średnie                                   |  |
|-------------------------|-------------------|--|--|
|                         |                   | nadmierny osad czynny z oczyszczalni w Pyskowicach | osad przefermentowany z oczyszczalni ścieków w Tychach |
| 1                       | 2                 | 3  | 4  |
| Uwodnienie              | %                 | 96,93  | 94,19  |
| Sucha masa              | %                 | 3,07   | 5,81   |
|                         | kg/m <sup>3</sup> | 31,26  | 59,02  |
| Zawartość zw. organ.    | %                 | 83,44  | 50,03  |
| Zawartość zw. mineraln. | %                 | 15,67  | 49,97  |
| Odczyn                  | pH                | 6,8  | 6,8  |
| Potencjał $\xi$         | mV                | -20,341  | - 6,054  |

od 10 do 13%. Zastosowanie polielektrolitów w zakresie dawek od 0,5 do 7 mg/gsm osadu powodowało zmniejszenie zanieczyszczenia odoieku zwiększając przy tym odzysk suchej masy w osadzie odwirowanym. Wielkość tych efektów uzależniona była wyraźnie od charakteru osadu i rodzaju stosowanych polielektrolitów (tablica 2 i 3).

Tablica 2

Wyniki odwadniania osadu przefermentowanego z oczyszczalni w Tychach przy stosowaniu optymalnych dawek polielektrolitów (wartości średnie)

| Rodzaj polielektrolitu | Osad odwirowany |            |                   | ChZT wody odwirowanej             |
|------------------------|-----------------|------------|-------------------|-----------------------------------|
|                        | Potencjał osadu | Sucha masa | Stopień rozdziału |                                   |
|                        | mV              | g/kg       | %                 | mgO <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup> |
| 1                      | 2               | 3          | 4                 | 5                                 |
| ZETAG 32               | + 0,47          | 275        | 96,9              | 500                               |
| ZETAG 63               | - 0,73          | 247        | 94,0              | 800                               |
| ZETAG 92               | - 3,06          | 189        | 88,3              | 970                               |
| ROKRY SOL WF-3         | - 3,45          | 172        | 86,2              | 951                               |
| ROKRY SOL WF-5         | - 2,31          | 220        | 89,7              | 427                               |
| -                      | - 6,06          | 140        | 82,4              | 1982                              |

Wyniki odwadniania osadu przefermentowanego z oczyszczalni w Tychach przy stosowaniu optymalnych dawek polielektrolitów (wartości średnie)

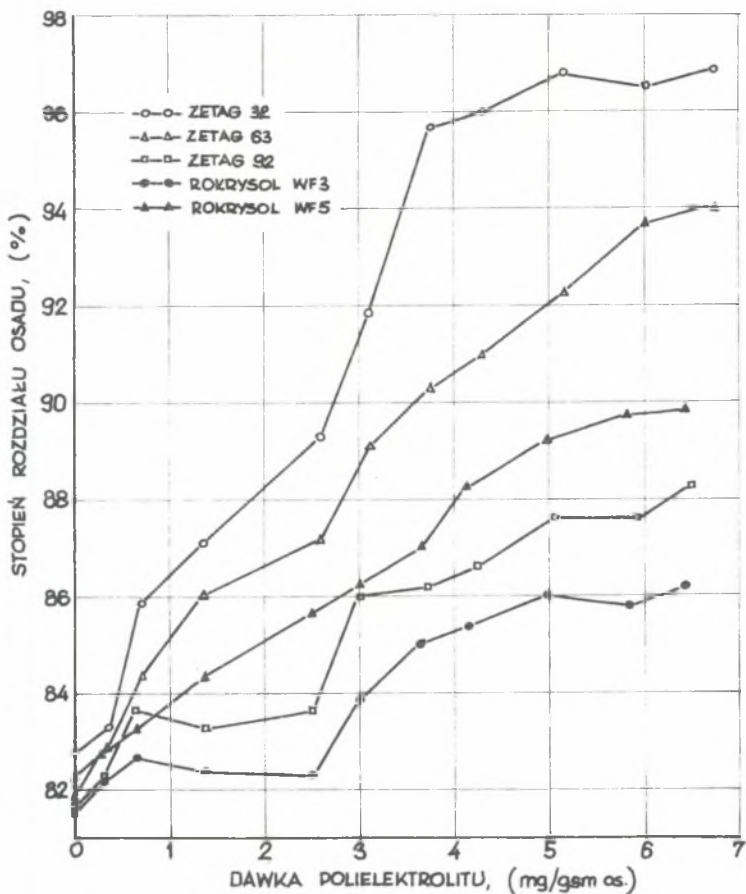
| Rodzaj polielektrolitu | Osad odwirowany |            |                   | ChZT<br>wody odwirowanej          |
|------------------------|-----------------|------------|-------------------|-----------------------------------|
|                        | Potencjał osadu | Sucha masa | Stopień rozdziału |                                   |
|                        | mV              | g/kg       | %                 | mgO <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup> |
| 1                      | 2               | 3          | 4                 | 5                                 |
| ZETAG 32               | - 5,10          | 181        | 90,0              | 780                               |
| ZETAG 63               | - 7,91          | 158        | 87,2              | 1550                              |
| ZETAG 92               | - 15,31         | 112        | 80,7              | 1630                              |
| ROKRY SOL WF-3         | - 14,81         | 110        | 80,8              | 1660                              |
| ROKRY SOL WF-5         | - 10,02         | 137        | 84,6              | 1440                              |
| -                      | - 20,34         | 94         | 78,5              | 1930                              |

Przy odwirowaniu osadu przefermentowanego bez środków wspomagających stopień rozdziału osadu wahał się od 81 do 83%. Najbardziej skutecznym środkiem wspomagającym ten proces okazał się Zetag 32, który ze wzrostem dawki do 5 mg/gam osadu zwiększał stopień rozdziału osadu do 97%. Mniejszą poprawę efektów odwadniania powodowały Zetag 63, Rokrysol WF-5, Zetag 92. Najniższy wpływ na proces odwirowania tego osadu miał Rokrysol WF-3, zwiększając stopień rozdziału przy najwyższej dawce do 86% (rys. 1).

Znacznie gorsze wyniki odwadniania uzyskano przy odwirowaniu nadmiernego osadu czynnego. Stopień rozdziału tego osadu odwirowanego bez środków wspomagających wynosił około 79%. Przy zastosowaniu wzrastających dawek Zetagu 32 stopień rozdziału osadu zwiększał się do 90%. Mniejszy wpływ na efektywność procesu odwirowania miały polielektrolity Zetag 63, Rokrysol WF-5 a Zetag 92 i Rokrysol WF-3 w zakresie stosowanych dawek nie poprawiały wyraźnie efektów odwadniania tego osadu (rys. 2).

Zastosowane w badaniach osady różniły się wielkością ładunku elektrycznego. Pod wpływem dodatniego ładunku polielektrolitu potencjał elektrokinetyczny osadów ulegał charakterystycznym zmianom. Potencjał elektrokinetyczny osadu przefermentowanego, wynoszący - 6 mV, pod wpływem preparowania wzrastającymi dawkami polielektrolitów zwiększał swoją wartość w kierunku 0. Największe zmiany potencjału powodował Zetag 32, który przy dawce 4,5 mg/gam osadu zobjętniał całkowicie ujemny ładunek osadu tego osadu. Pozostałe polielektrolity powodowały mniej wyraźne zmiany potencjału, przy czym najmniejszy wpływ na potencjał tego osadu miał Rokrysol WF-3, obniżając go do wartości -3 mV (rys. 3).

Nadmierny osad czynny z oczyszczalni w Pyskowicach charakteryzował się znacznie niższym potencjałem elektrokinetycznym, średnio - 20 mV. Polielektrolit Zetag 32 powodował stopniowy wzrost potencjału do -5 mV. Pozostałe polielektrolity podwyższały potencjał elektrokinetyczny omawianego

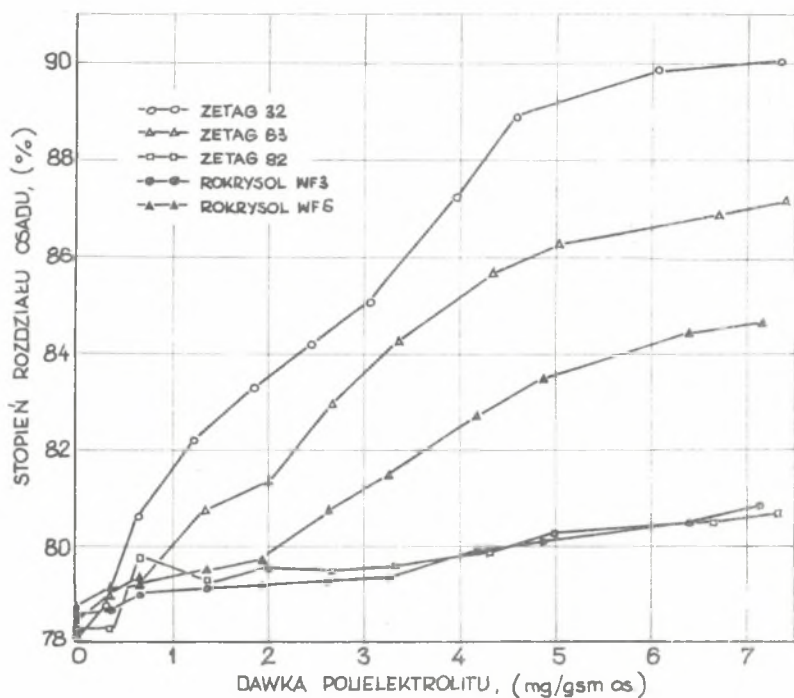


Rys. 1. Wpływ rodzaju i dawki polielektrolitu na efektywność odwirowania osadu przefermentowanego z oczyszczalni ścieków w Tychach

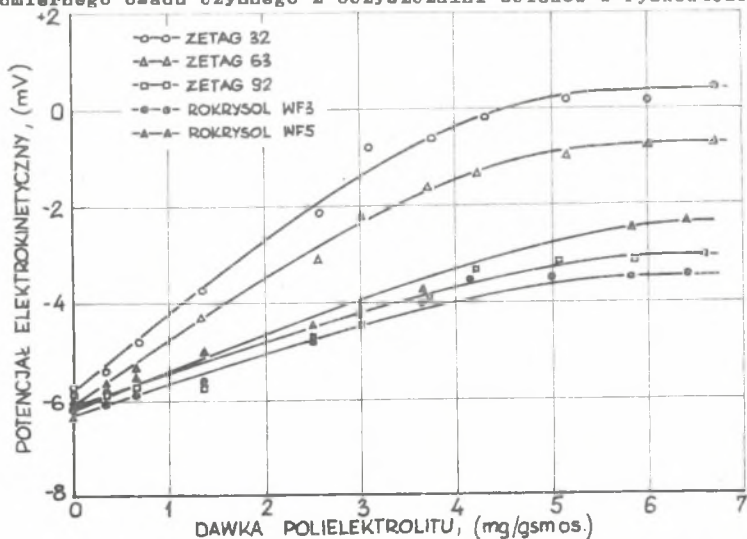
osadu w mniejszym stopniu, przy czym najmniejsze zmiany powodował Rokrysol WF-3 (rys. 4).

Analizując uzyskane dla wszystkich osadów wyniki można stwierdzić, że dodatek polielektrolitów powoduje w każdym przypadku pewien wzrost potencjału elektrokinetycznego osadów. Końcowy potencjał osadów poddawanych wstępnej obróbce uzależniony jest od charakteru tych osadów oraz od rodzaju i dawki stosowanych polielektrolitów.

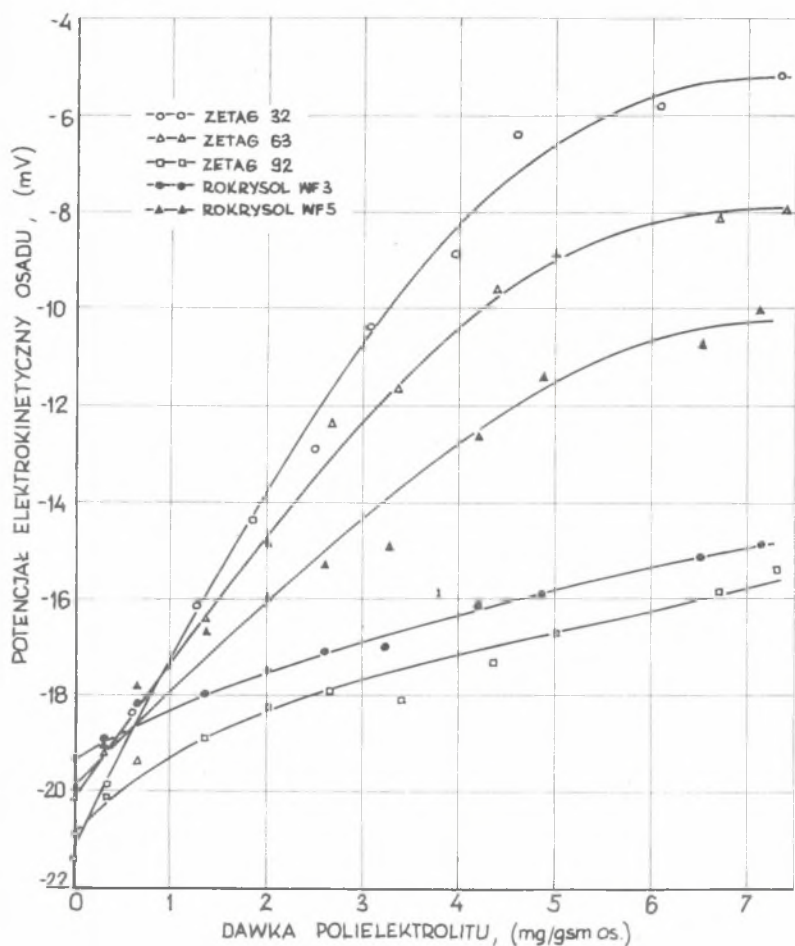
Porównanie zmian potencjału elektrokinetycznego preparowanych osadów z efektem ich mechanicznego odwadniania wskazuje, że wzrost efektów w pro-



Rys. 2. Wpływ rodzaju i dawki polielektrolitu na efektywność odwirowania nadmiernego osadu czynnego z oczyszczalni ścieków w Pyskowicach



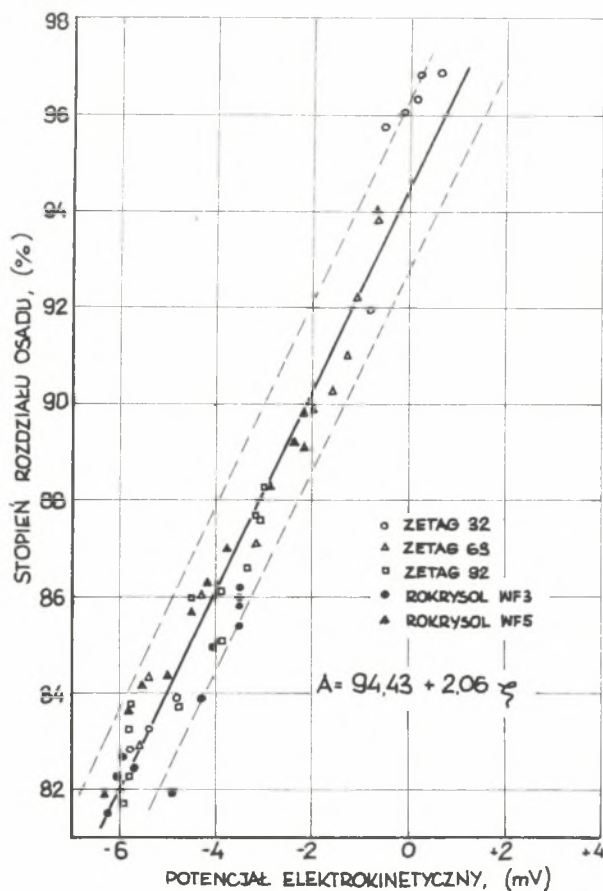
Rys. 3. Wpływ rodzaju i dawki polielektrolitu na potencjał elektrokinetyczny osadu przefermentowanego z oczyszczalni ścieków w Tychach



Rys. 4. Wpływ rodzaju i dawki polielektrolitu na potencjał elektrokinetyczny nadmiernego osadu czynnego z oczyszczalni ścieków w Pyskowicach

ocenie wirowania ma ścisły związek z obniżeniem bezwzględnej wartości potencjału odwadnianego osadu. Potwierdza to wyliczona matematycznie zależność pomiędzy stopniem rozdziału osadu w procesie wirowania a potencjałem elektrokinetycznym tego osadu. Zależność ta wyliczona w oparciu o metodę najmniejszych kwadratów, przy wykorzystaniu wyników pochodzących z kalku serii badań, dla obu osadów ma charakter liniowy (rysunki 5 i 6).

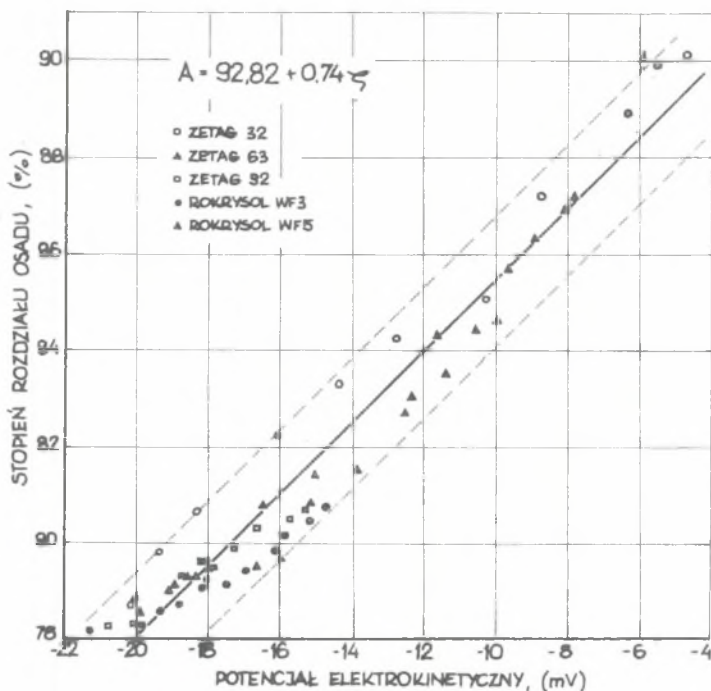




Rys. 5. Wpływ potencjału elektrokinetycznego osadu przefermentowanego z oczyszczalni ścieków w Tychach na wielkość współczynnika rozdziału w procesie wirowania

Uwzględniając błędy wynikające z dokładności stosowanych metod badawczych można stwierdzić, że zależności wyznaczone dla zbadanych osadów określone są w sposób precyzyjny, na co wskazują wysokie wartości współczynnika określoności uzyskane podczas matematycznego przetwarzania wyników doświadczeń (tablica 4). Uzyskane wyniki badań pozwalają stwierdzić, że potencjał elektrokinetyczny odgrywa decydującą rolę w procesie odwirowania organicznych osadów ściekowych. Ocena optymalnych warunków preparowania osadów poddawanych odwirowaniu opierać może się zatem na pomiarach po

tenożalu elektrokinetycznego z pominięciem kontroli innych parametrów tego procesu.



Rys. 6. Wpływ potencjału elektrokinetycznego nadmiernego osadu czynnego z oczyszczalni ścieków w Pyskowicach na wielkość współczynnika rozdziału w procesie wirowania

Tablica 4

Wyniki numerycznych obliczeń aproksymalnych stopnia rozdziału w funkcji potencjału elektrokinetycznego badanych osadów ściekowych

| Rodzaj osadu                                       | Równanie funkcji         | Współczynnik określoności | Estymator wariancji |
|--|--------------------------|---------------------------|---------------------|
| 1  | 2                        | 3                         | 4                   |
| Nadmierny osad czynny z oczyszczalni w Pyskowicach | $A = 92,819 + 0,740 \xi$ | 0,9433                    | 0,7697              |
| Osad przefermentowany z oczyszczalni w Tychach     | $A = 94,427 + 2,063 \xi$ | 0,8675                    | 1,5876              |

Wnioski

1. Podatność na odwirowanie organicznych osadów ściekowych powstających podczas oczyszczania ścieków związana jest z potencjałem elektrokinetycznym ich osztek.
2. Wzrost efektywności odwadniania osadów ściekowych, wywołany wzrastającymi dawkami polielektrolitów, związany jest ściśle ze zmianami potencjału elektrokinetycznego osztek preparowanego osadu.
3. Stwierdzono, że dla każdego rodzaju osadu istnieje liniowa zależność pomiędzy stopniem rozdziału a potencjałem elektrokinetycznym bez względu na rodzaj polielektrolitów stosowanych do preparowania odwirowanego osadu.
4. Na podstawie wykonanych badań zaproponować można wykorzystanie pomiaru potencjału elektrokinetycznego do określenia warunków wstępnego preparowania osadów poddawanych odwirowaniu i kontroli przebiegu tego procesu w urządzeniach technicznych.

## LITERATURA

- [1] Adam I.: The dewatering of fine suspensions by solidbowl centrifuges. Konferencja "Osady ściekowe". Wrocław 1975.
- [2] Albertson E.O., Gudi E.E.: Centrifugation of waste sludge. Jour.Wat. Pollut.Control Fed 41, 607, 1969.
- [3] Ciećkiewicz Z., Cholewiński I.: Zastosowanie polielektrolitów do mechanicznego odwadniania osadów ściekowych. Symp.Nauk.Szkol. "Zastosowanie syntetycznych flokulantów organicznych do grawitacyjnego i mechanicznego odwadniania osadów". Warszawa 1975.
- [4] Ciećkiewicz Z.: Możliwości odwadniania osadów ściekowych przez wirowanie. II Konferencja "Perspektywy unieszkodliwiania osadów ściekowych". Wrocław 1973.
- [5] Henriot M., Wolff: Utilisation des polyelectrolytes dans les traitements des boues des eaux residuales. La Technique de l'eau 49, 316, 1973.
- [6] Kowal A.L., Maćkiewicz I., Sozański M.M.: Potencjał elektrokinetyczny w procesie koagulacji. III Konferencja "Koagulacja zanieczyszczeń wody". Wrocław 1974.
- [7] Praca zbiorowa: Oczyszczanie ścieków miejskich. "Arkady". Warszawa 1972.
- [8] Pressman A.M.: Cationic polyelectrolytes as prime coagulantes in natural water treatment. Journal JAWWA 50, 2, 169, 1962.
- [9] Riddick T.M.: Zeta potential and its applications to difficult water. Journal JAWWA, 58, 8, 192, 1961.
- [10] Żabowski J.: Przygotowanie osadów ściekowych do mechanicznego odwadniania. Nowa Technika w Inżynierii Sanitarnej 3. "Arkady". Warszawa 1973.

ПРИМЕНЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА  
В ПРОЦЕССЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ДЕГИДРАТАЦИИ  
ХИМИЧЕСКИ ПРЕПАРИРОВАННЫХ СТОЧНЫХ ОСАДКОВ

Резюме

В работе представлены результаты исследований по применению измерения электрокинетического потенциала для оценки условий начального препарирования сточных осадков, подвергающихся механической дегидратации в центрифугах. Исследования проводились с осадками полученными с очистных городских станций Верхнесилезского Промышленного Округа, которые предварительно были препарированы синтетическими полиэлектролитами. Показано, что увеличение эффективности дегидратации органических сточных осадков путём центрифугирования, вызванное возрастающими дозами вспомогательного средства - полиэлектролита, тесно связано с изменениями потенциала частиц препарированного осадка. В результате исследований предложено использование измерения электрокинетического потенциала для определения условий начального препарирования осадков, подверженных центрифугированию и контролю протекания процесса в технических условиях.

AN APPLICATION OF ELECTROKINETIC POTENTIAL MEASUREMENT  
IN THE PROCESS OF MECHANICAL DEHYDRATION  
OF CHEMICALLY PREPARED SEWAGE SLUDGE

Summary

Results of experiments with application of electrokinetic potential measurement to evaluate conditions of prepreparation of sewage sludge mechanically dehydrated are presented. They have been made for sludge from municipal sewage treatment plant of GOP which have been preprepared using polyelectrolytes. The increase of dehydration efficiency resulting from increasing use of aiding medium is connected with changes of particles potential for prepared sludge.