

Helena KOŚCIELNIAK,  
Anna KSIĘŻYK-SIKORA,  
Jan SIKORA

#### ZMIANY POWIERZCHNIOWYCH WŁASNOŚCI ELEKTRYCZNYCH KŁACZKÓW W ZALEŻNOŚCI OD WARUNKÓW HODOWLI OSADU CZYNNEGO

**Streszczenie.** Praca zawiera wyniki badań laboratoryjnych nad określeniem wpływu warunków hodowli osadu czynnego na powierzchniowe własności elektryczne kłaczków. Stwierdzono, że w ustalonych warunkach pracy komory napowietrzania powierzchniowy ładunek elektryczny kłaczków nie ulega zmianie. Wzrost obciążenia osadu czynnego ładunkiem zanieczyszczeń wywołuje zwiększenie potencjału elektrokinetycznego kłaczków przy równoczesnym pogarszaniu się własności sedymentacyjnych osadu. Przebywanie osadu w warunkach anaerobowych powoduje zmiany własności elektrycznych kłaczków obejmując ich potencjał elektrokinetyczny, co wiąże się z poprawą własności sedymentacyjnych osadu. Wyniki przeprowadzonych doświadczeń wykazały, że potencjał elektrokinetyczny jest jedną z cech związaną ściśle z procesem flokulacji i sedymentacji kłaczków.

Przebieg procesu biodegradacji zanieczyszczeń przy oczyszczaniu ścieków metodą osadu czynnego związany jest ściśle z właściwym wykorzystaniem fizycznych i fizykochemicznych własności kłaczków. Do podstawowych wskaźników określających te własności należą: wielkość, gęstość i spistość kłaczków oraz ich powierzchniowy ładunek elektryczny. Spośród tych wskaźników najwięcej kontrowersji wywołują własności elektryczne powierzchni bakterii oraz ich rola w procesie flokulacji i sedymentacji osadu czynnego. W ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat powstało szeregi różnych teorii usiłujących wyjaśnić te procesy. Wielu autorów zajmując się zjawiskami flokulacji i sedymentacji kłaczków osadu czynnego wiąże je ściśle z ładunkiem elektrycznym nagromadzonym na ich powierzchni.

W roku 1952 McKinney uzupełnił teorię tworzenia się kłaczków osadu czynnego wyjaśniając mechanizm tego procesu z punktu widzenia fizykochemicznego. Przypisuje on istotną rolę zjawiskom elektrycznym zachodzącym na powierzchni komórek, w wyniku których bakterie zachowują się jak sdypergeowany układ koloidalny [1]. Na skutek podwyższenia stężenia jonów następującego podczas rozkładu substancji organicznych ładunki powierzchniowe zostają częściowo zubożone i bakterie skupiają się w kłaczkach. Późniejsze badania [1,2,3,4,5] wykazały, że bakteryjnej flokulacji nie można wytłumaczyć jedynie poprzez fizyczną teorię neutralizacji ładunku powierzchniowego bakterii. Stwierdzono bowiem, że mikroorganizmy mogą utrzymywać

się w formie zdyspergowanej bardzo blisko ich izoelektrycznego punktu oraz że skuteczna flokulacja bakteryjnych komórek o ujemnym ładunku może nastąpić przy udziale różnego rodzaju polimerów. Przyjęto więc założenie, że chociaż powierzchniowy ładunek bakterii odgrywa prawdopodobnie bardzo ważną rolę w mechanizmie kłaczkowania, to nie może on być uważany za dominujący czynnik kierujący bioflokulacją.

W najnowszych badaniach, w których przyczyny flokulacji bakterii wiązane są z akumulacją egzopolimerów, część badaczy w dalszym ciągu przypisuje duże znaczenie elektrycznym własnościom kłaczków, inni natomiast pomniejszają ich rolę w procesie osadu czynnego. Mechanizm bioflokulacji w tym przypadku przedstawiony jest jako wynik wzajemnego oddziaływania egzopolimerów wytwarzanych podczas endogennego wzrostu na powierzchni bakterii. Polimery te wiążą elektrostatycznie lub fizycznie, a następnie mostkują zdyspergowane komórki w trwale, łatwo opadające konglomeraty [2]. W takim modelu zmniejszenie elektrycznego ładunku powierzchniowego bakterii nie jest koniecznym warunkiem kłaczkowania. Aiba, Watanobe i Hirata [4] negują jakikolwiek wpływ elektropotencjału bakterii na biologiczną flokulację. Natomiast Steiner, Forster i inni [3,4] uzależniają jednak zdolność sedymentacyjną osadu czynnego od wielkości elektroforetycznej ruchliwości kłaczków.

#### Cel i metodyka badań

Ponieważ dane literaturowe na temat roli powierzchniowych własności elektrycznych osadu czynnego są bardzo rozbieżne, celowe wydało się przeprowadzenie badań nad określeniem zmian tych własności w zależności od warunków pracy osadu czynnego i wielkości kłaczków. Miarą własności elektrycznych powierzchni kłaczków był potencjał elektrokinetyczny.

Dla zrealizowania celu pracy przeprowadzono badania:

- zmiany potencjału elektrokinetycznego osadu w zależności od jego obciążenia substratowego w komorze napowietrzania pracującej systemem ciągłym;
- wpływu czasu odstawiania osadu czynnego na własności elektryczne kłaczków;
- wpływu wielkości kłaczków na ich potencjał elektrokinetyczny.

Pomiar potencjału elektrokinetycznego wykonywano za pomocą dzetametru. Średnią wielkość kłaczków określano według Ganoarozyka [6], przy użyciu siatki mikrometrycznej znajdującej się w okularze mikroskopu. Do kontroli pracy komór napowietrzania stosowane ogólnie przyjętą metodykę badań [7].

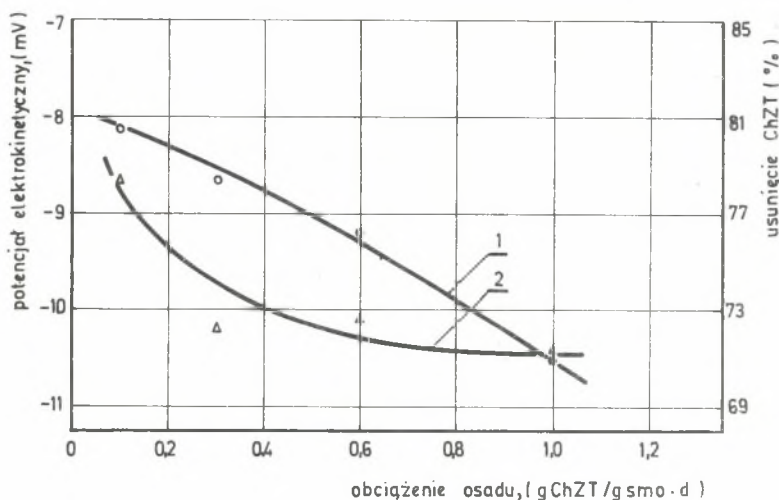
Osad czynny pochodzący z Oczyszczalni Ścieków Miejskich w Pykowlicach hodowano w laboratoryjnej komorze napowietrzania w zakresie obciążeń za-

ładkiem zanieczyszczeń 0,1 - 1,2 g ChZT/g smo.d. Hodowlę powtarzano trzykrotnie w odstępach kilkumiesięcznych. W celu określenia wpływu czasu odstania osadu czynnego na jego potencjał elektrokinetyczny z komory napowietrzania pobierano określoną ilość osadu, którą poddawano sedymentacji przez okres od jednego do czterech dni. W odstawanym osadzie okresowo kontrolowano potencjał elektrokinetyczny i aktywność substratową kłaczków.

W drugiej części badań osad pobrany z komory hodowlanej frakcjonowano na sitach o średnicy oczek 75; 102; 120; 150; 200 i 250  $\mu\text{m}$  i określano średnią wielkość poszczególnych frakcji osadu oraz ich elektrokinetyczny potencjał.

### Wyniki badań

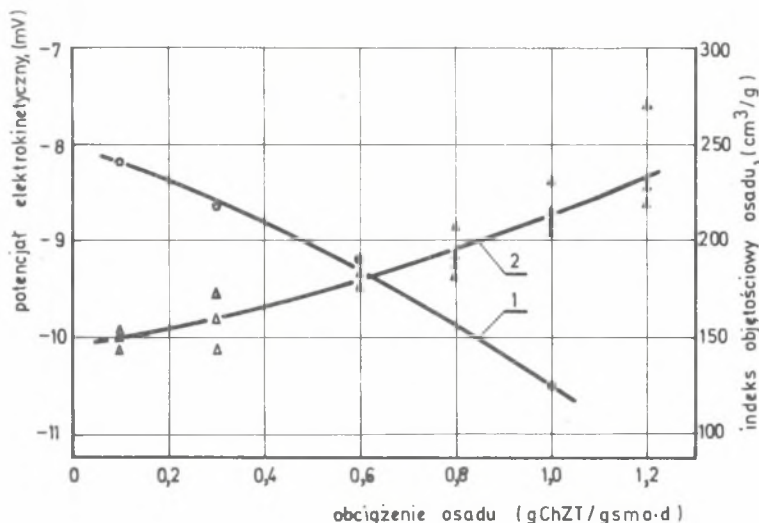
Uzyskane wyniki badań zilustrowano na rysunkach 1-8.



Rys. 1. Wpływ obciążenia osadu czynnego na jego potencjał elektrokinetyczny i stopień usunięcia ładunku zanieczyszczeń

1 - potencjał elektrokinetyczny, 2 - usunięcie ChZT

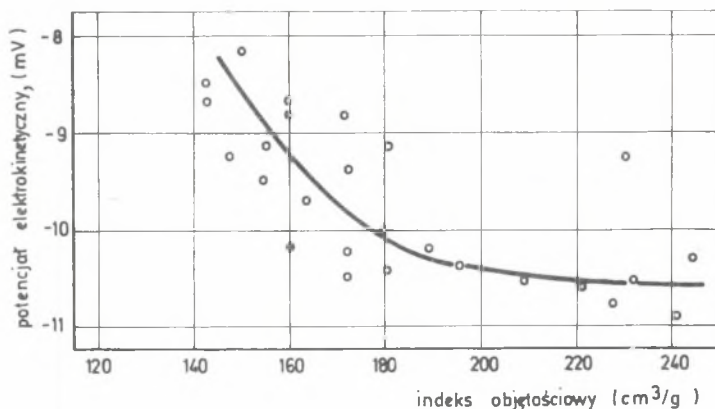
Rysunki 1 i 2 przedstawiają wpływ obciążenia osadu czynnego ładunkiem zanieczyszczeń na efekt usunięcia zanieczyszczeń organicznych, indeks objętościowy i potencjał elektrokinetyczny kłaczków. Wzrost obciążenia substratowego osadu czynnego w zakresie od 0,1 do 1,0 g ChZT/g smo.d spowodował stopniowe zmniejszenie efektu usunięcia zanieczyszczeń od około 78 do 71% oraz wzrost indeksu objętościowego od 140  $\text{cm}^3/\text{g}$  do 230  $\text{cm}^3/\text{g}$ . W tym



Rys. 2. Wpływ obciążenia osadu czynnego na jego potencjał elektrokinetyczny i indeks objętościowy

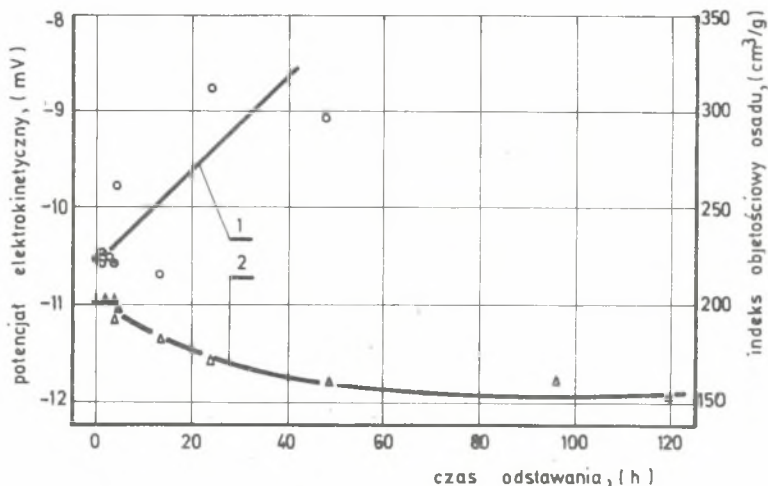
1 - potencjał elektrokinetyczny, 2 - indeks objętościowy osadu

zakresie obciążeń osadu czynnego bezwzględna wartość potencjału elektrokinetycznego zwiększyła się o około 28% w stosunku do wartości początkowej.



Rys. 3. Zależność pomiędzy potencjałem elektrokinetycznym a indeksem objętościowym osadu przy obciążeniu 0,6 - 1,2gChZT/gsmo·d

Wykorzystując uśrednione wyniki na rys. 3 przedstawiono zależność pomiędzy potencjałem elektrokinetycznym a indeksem objętościowym osadu, która nie jest najlepszym przykładem ścisłej korelacji ale potwierdza jednocześnie tezę o wpływie stanu elektrycznego powierzchni kłaczków na ich własności sedymentacyjne. Zmiany potencjału elektrokinetycznego osadu czynnego o obciążeniu 0,8; 1,0 i 1,2 g ChZT/g smo.d, poddawanego różnym okresom sedymentacji, przedstawiono na rysunkach 4, 5 i 6.



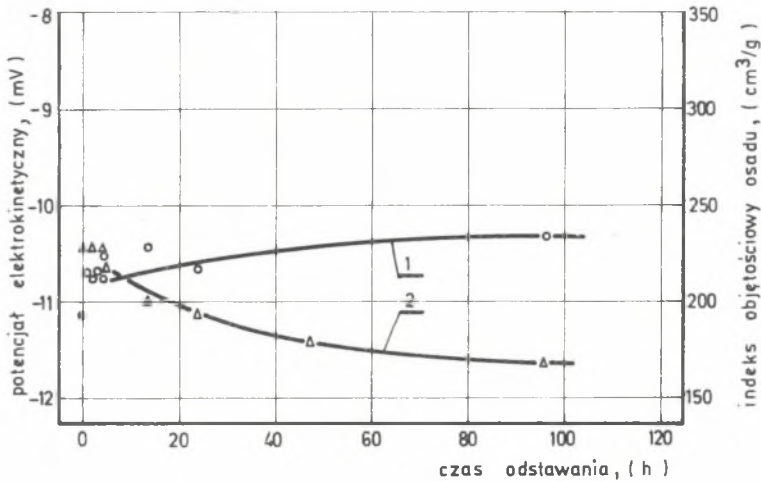
Rys. 4. Zmiany własności osadu czynnego hodowanego przy obciążeniu 0,8 g ChZT/g smo.d poddawanego różnym okresom odstawiania

1 - potencjał elektrokinetyczny, 2 - indeks objętościowy osadu

W wyniku czterodniowego odstawiania wartość bezwzględna potencjału elektrokinetycznego badanych osadów czynnych obniżyła się średnio o około 1 mV, co stanowi około 10% wartości początkowej. W każdym przypadku obserwowano jednocześnie poprawę własności sedymentacyjnych osadu zobrazowaną odpowiednimi zmianami jego indeksu objętościowego.

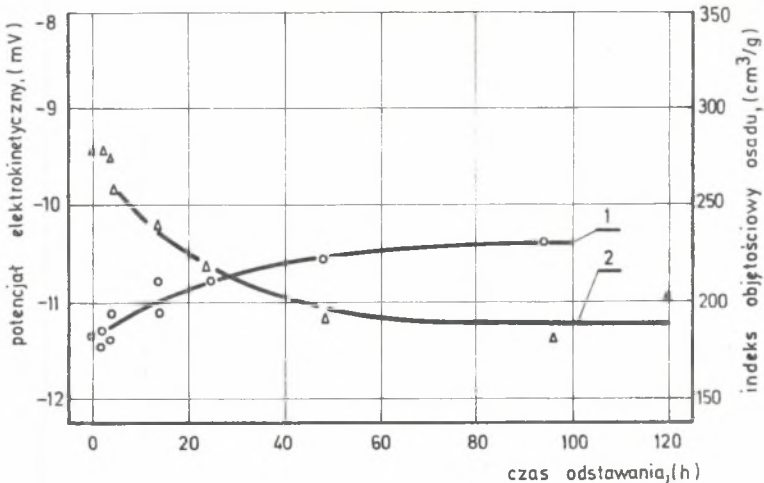
Na rys. 7 przedstawiono wyniki pomiarów potencjału elektrokinetycznego uzyskane podczas jednej z serii dynamik biodegradacji substratu. W tej i innych seriach nie stwierdzono wyraźnych zmian potencjału.

Na rys. 8 przedstawiono pomiary potencjału elektrokinetycznego osadu czynnego przesianego przez sита o średnicach oczek kolejno: 250; 200; 150; 120; 102 oraz 75  $\mu\text{m}$ , co odpowiadało średniej wielkości kłaczków: 148; 117; 104; 88; 73; 58 i 44  $\mu\text{m}$ . Niezależnie od wielkości kłaczków ich potencjał elektrokinetyczny oscylował nieznacznie wokół wartości - 10 mV.



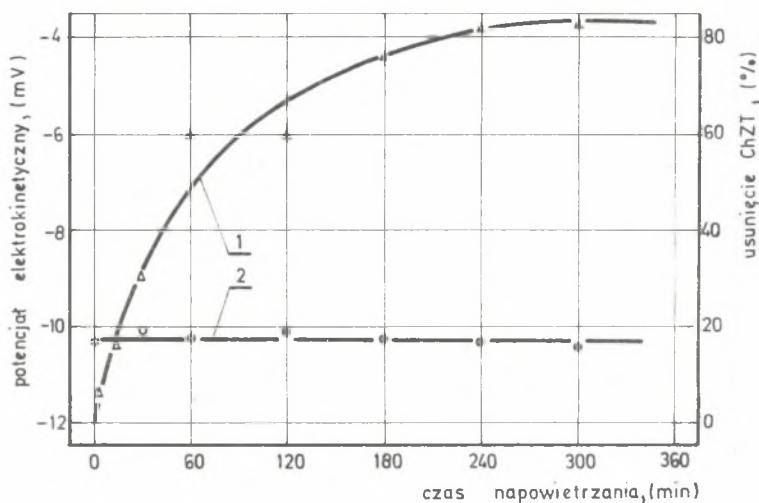
Rys. 5. Zmiany własności osadu czynnego hodowanego przy obciążeniu 1,0 g ChZT/g smo.d poddawanego różnym okresom odstawania

1 - potencjał elektrokinetyczny, 2 - indeks objętościowy osadu

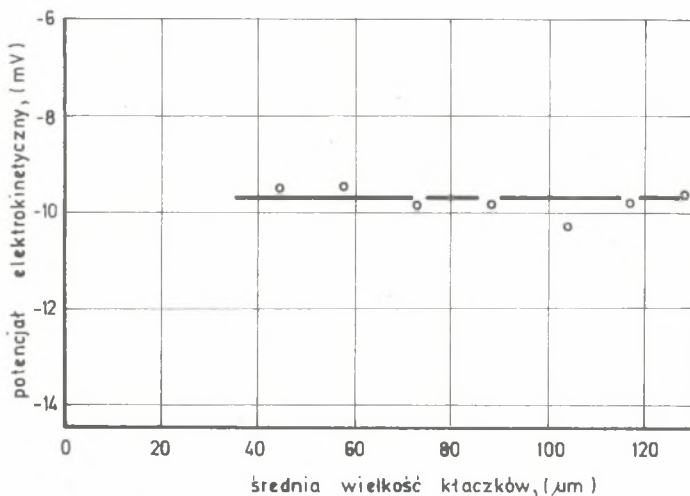


Rys. 6. Zmiany własności osadu czynnego hodowanego przy obciążeniu 1,2 g ChZT/g smo.d poddawanego różnym okresom odstawania

1 - potencjał elektrokinetyczny, 2 - indeks objętościowy osadu



Rys. 7. Obserwacje potencjału elektrokinetycznego w trakcie dynamiki biodegradacji substratu w badaniach okresowych  
 1 - usunięcie ChZT, 2 - potencjał elektrokinetyczny



Rys. 8. Wpływ wielkości kłaczków na potencjał elektrokinetyczny osadu czynnego

### Omówienie wyników

Wydażność procesu oczyszczania ścieków metodą osadu czynnego zależy w znacznym stopniu od własności sedymentacyjnych kłaczków osadu. Fizyczny stan osadu w połączeniu ze zjawiskiem bioflokulacji jest tematem szeregu teorii kontrowersyjnych pod względem roli, jaką odgrywają w tych warunkach własności elektryczne powierzchni kłaczków. Niniejsza praca jest próbą odpowiedzi na pytanie czy i w jakim stopniu własności te są uzależnione od warunków pracy osadu czynnego oraz czy zmiany potencjału elektrokinetycznego kłaczków mogą wyjaśniać odpowiednie zmiany w szybkości sedymentacji osadu.

Jednym z ważniejszych parametrów osadu czynnego jest jego obciążenie ładunkiem zanieczyszczeń. W przeprowadzonych badaniach w zakresie obciążeń 0,1 - 1,0 g ChZT/gsmo.d stwierdzono wyraźny wpływ obciążenia osadu na wzrost potencjału jego kłaczków (rys. 1 i 2).

Według McKinney'a [1] w warunkach dużego przyrostu biomasy nie cała powierzchnia komórek bakteryjnych zdąży pokryć się biopolimerami, co prowadzi do zwiększenia się efektywnego potencjału bakterii. Zdaniem innych autorów [2] niedostatek polimerów naturalnych może doprowadzić do zakłócenia przebiegu mostkowania komórek przez ppolielektrolity, co może tłumaczyć obserwowany w badaniach wzrost potencjału elektrokinetycznego. Zjawisku temu towarzyszy wzrost indeksu objętościowego osadu (rys. 2), co wskazuje na pogorszenie się jego własności sedymentacyjnych. Próba ustalenia bezpośredniej korelacji pomiędzy indeksem objętościowym osadu a jego potencjałem elektrokinetycznym (rys. 3) potwierdza tę zależność pomimo iż wyznaczające ją punkty wartości średniej wykazują tendencję do znacznego rozrzutu. Natomiast krótkookresowe zmiany obciążenia osadu uzyskane w periodycznych badaniach biodegradacji substratu nie powodowały zauważalnych zmian własności elektrycznych kłaczków (rys. 7). Można zatem założyć, że zmiany potencjału elektrokinetycznego kłaczków jako jeden z przejawów fizycznej adaptacji osadu do zmian warunków jego hodowli będą następowały znacznie wolniej niż adaptacja biochemiczna układu.

Powyższe założenie tłumaczyć może również fakt, że badania poszczególnych frakcji osadu uzyskane w wyniku analizy altowej wskazują na brak zróżnicowania wartości potencjału dla kłaczków o średniej wielkości od 44  $\mu\text{m}$  do 148  $\mu\text{m}$  (rys. 8). Wszystkie frakcje osadu hodowano bowiem w tych samych warunkach, a rozpad i flokulacja kłaczków w komorze napowietrzania powinna dodatkowo sprzyjać ujednocnieniu ich własności elektrycznych.

Kilkugodzinna sedymentacja osadu czynnego wpływa w niewielkim stopniu na elektryczny potencjał jego kłaczków. Natomiast przedłużone do 4 dni odstawanie osadu czynnego w warunkach beztlenowych powodowało już bardzo wyraźne obniżenie wielkości tego potencjału (rys. 4,5,6), czemu towarzyszyła również wyraźna poprawa własności sedymentacyjnych.



Na podstawie wykreślonych zależności nie można jednak powiązać obserwowanych zmian w warunkami hodowli badanych osadów. Należałoby bowiem przypuszczać, że wzrost obciążenia osadu powinien powodować coraz większe zmiany jego potencjału elektrokinetycznego w trakcie odstawiania, tak jak jest to widoczne w przypadku zmian indeksu objętościowego.

Przeprowadzone badania nie wyczerpują całego zagadnienia, jakim jest rola powierzchniowych własności elektrycznych kłaczków w procesie oczyszczania ścieków metodą osadu czynnego. Pozwalają jednak zauważyć, że w bardziej zróżnicowanych warunkach, w jakich prowadzono doświadczenia, potencjał elektrokinetyczny jest jednak jednym ze znaczących czynników w procesie flokulacji i sedymentacji osadu czynnego.

### Wnioski

1. Wzrost obciążenia osadu czynnego ładunkiem zanieczyszczeń powoduje zwiększenie potencjału elektrokinetycznego jego kłaczków.
2. Podwyższenia się potencjału elektrokinetycznego osadu wraz ze wzrostem jego obciążenia jest związane z pogorszeniem własności sedymentacyjnych osadu.
3. Przebywanie osadu w warunkach anaerobowych powoduje zmiany własności elektrycznych kłaczków osadu obniżając ich potencjał elektrokinetyczny z równoczesną poprawą własności sedymentacyjnych osadu.
4. Potencjał elektrokinetyczny nie jest związany z wielkością kłaczków osadu hodowanego w tych samych warunkach.
5. Wyniki przeprowadzonych doświadczeń wskazują, że potencjał elektrokinetyczny jest jedną z cech związaną ściśle z procesem flokulacji i sedymentacji kłaczków.

### LITERATURA

- [1] Szulicka J.: Mikrobiologiczne wskaźniki w procesach samoczyszczenia się wód powierzchniowych i oczyszczania ścieków na drodze biologicznej. Wyd. PAN, Warszawa 1980.
- [2] Pavoni J.L. i inni: Bacterial Exocellular Polymers and Biological Flocculation. JWPCF, 44, 3, 1972, 414.
- [3] Steiner A.E. i inni: The Nature of Activated Sludge Flocs. Water Research, 10, 1, 1976, 25.
- [4] Magara Y., Nambu S.: Biochemical and Physical Properties of an Activated Sludge on Settling Characteristics. Water Research, 10, 1 1976, 71.
- [5] Adams R.M., Asano T.: Removal Mechanism and Designs Suggestions for Activated Sludge. JWPCF, 50, 8 1978, 1931.
- [6] Gancarczyk J., Kosarewicz O.: Rozdrabnianie kłaczków osadu czynnego. GWiTS, 35, 1961, 19.
- [7] Gancarczyk J.: Oczyszczanie ścieków metodą osadu czynnego. "Arkady", Warszawa 1969.

ИЗМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОСВОЙСТВ ЗГУСТОК В ЗАВИСИМОСТИ  
ОТ УСЛОВИЙ ВЫРАЩИВАНИЯ АКТИВНОГО ОСАДКА

Р е з ю м е

В работе представлены результаты лабораторных исследований по определению влияния условий выращивания активного осадка на поверхностные электро-свойства згусток. Показано, что в определённых условиях работы аэрокамеры поверхностный электропотенциал згусток не изменяется. Рост нагрузки активного осадка зарядом загрязнений вызывает увеличение электрокинетического потенциала згусток с одновременным ухудшением седиментационных свойств осадка. Пребывание осадка в условиях анаэробии, вызывает изменения электро-свойств згусток, уменьшая их электрокинетический потенциал, что содействует улучшению седиментационных свойств осадка. Результаты эксперимента показали, что электрокинетический потенциал является одним из факторов тесно связанным с процессом флокуляции и седиментации згусток.

SURFACE CHANGES OF ELECTRICAL PROPERTIES OF FLOCCULES  
IN DEPENDENCE ON THE CONDITIONS OF ACTIVATED SLUDGE CULTURE

S u m m a r y

Results of laboratory experiments on the effect of conditions of activated sludge culture on the surface electrical properties of floccules are presented. In the given working conditions for aeration tank the surface charge of floccules remains unchangeable. Sludge load increase caused by impurities causes electrokinetic potential increase for floccules with parallel deterioration of sedimentation properties. It has been proved that electrokinetic potential is closely connected with flocculation and sedimentation processes.