

Teodora Małgorzata Traczewska

Biotyczne i abiotyczne uwarunkowania pęcznienia osadu czynnego

Jednym z podstawowych problemów technologicznych związanych z oczyszczaniem ścieków metodą osadu czynnego jest uzyskanie klarownych ścieków po osadnikach wtórnych, bowiem często występują różnorodne zaburzenia w procesie sedymentacji biomasy [9]. Dotyczy to przede wszystkim oczyszczalni wysoko obciążonych związkami łatwo ulegającymi biodegradacji, jakie są zawarte np. w ściekach z przemysłu fermentacyjnego (browary, słodownie, gorzelnie, drożdżownie, produkcja antybiotyków, kwasu cytrynowego itp.) [6].

Wysokie biochemiczne zapotrzebowanie na tlen oraz niedobory związków biogennych i mikroelementów prowadzą często do zakłóceń w składzie biocenozy osadu czynnego. Obserwacje zmian jakościowych i ilościowych w populacjach drobnoustrojów oraz morfologii kłaczek pozwalają na wczesne przewidywanie niekorzystnych zmian i trudności technologicznych, dotyczących zwłaszcza procesu sedymentacji. Z uwagi na powszechne występowanie tego typu trudności technologicznych przy oczyszczaniu ścieków metodą osadu czynnego, wydaje się celowe zebranie najistotniejszych informacji dotyczących przyczyn jego pęcznienia oraz przeciwdziałania niekorzystnym zmianom w biocenoze osadu.

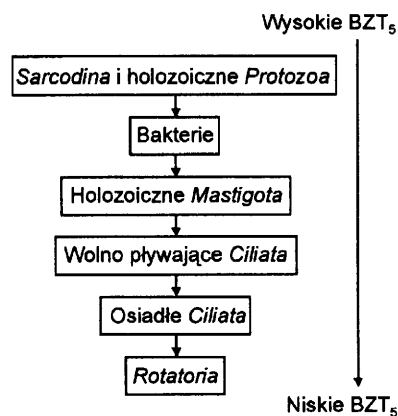
Biocenoza osadu czynnego

Osad czynny jest kłaczkową zawiesiną składającą się głównie z bakterii heterotroficznych. Występuje w nim ponad 300 różnych szczepów tych bakterii. Jako układ ekologiczny osad czynny charakteryzuje się zależnościami troficznymi typowymi dla łańcucha detrytusowego. Drobnoustroje osadu czynnego zdolne są do utleniania materii organicznej i transformacji substratów pokarmowych, a także produkują polisacharydy i inne polimery, które wspomagają flokulację biomasy mikroorganizmów.

Podstawowymi rodzajami bakterii występującymi w kłaczkach osadu czynnego są: *Zooglea*, *Flavobacterium*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Achromobacter*, *Corynebacterium*, *Comomonas*, *Brevibacterium* i *Acinetobacter* [1]. Kłaczki osadu czynnego są także siedliskiem bakterii autotroficznych, jak np. bakterie nityfikacyjne oraz bakterie fototroficzne, jak np. purpurowe bakterie niesiarkowe (*Rhodospirillaceae*), których liczebność wynosi do 10^5 komórek w 1 cm^3 . Również purpurowe i zielone bakterie siarkowe występują w dużych ilościach w kłaczkach osadu czynnego. Bakteriom zoogealnym często towarzyszą pierwotniaki, a z robaków – wrotki. Ponadto w osadzie czynnym spotyka się bakterie nitkowate, takie jak *Sphaerotilus natans*, *Beggiatoa sp.*, nicienie i – wyjątkowo – skąposzczety. Masowy rozwój bakterii nitkowatych w osadzie czynnym powoduje pęcznienie osadu, co z kolei utrudnia jego sedymentację [3].

Grzyby nie stanowią częstego składnika biocenozy osadu czynnego, jednakże okazjonalnie obserwuje się je w jego kłaczkach. Grzyby mogą rosnąć obficie w specyficznych warunkach, takich jak niskie pH, toksyczność ścieków i niedobór azotu w ściekach. Głównymi rodzajami grzybów występujących w osadzie czynnym są: *Geotrichum*, *Penicillium*, *Cephalosporium*, *Cladosporium* i *Alternaria*. Pęcznienie osadu może być rezultatem obfitego wzrostu *Geotrichum candidum*, zwłaszcza w przypadku występowania ścieków o niskim pH [1].

Podczas hodowli osadu czynnego występuje zjawisko sukcesji zespołu organizmów, które określa się jako dojrzewanie układu (rys.1). W pierwszej kolejności pojawiają się bakterie wolno pływające, którym towarzyszą niektóre gatunki wiciowców (*Mastigota*) oraz korzenionózki (*Rhizopoda*). Napowietrzanie ścieków sprzyja szybkiemu namnażaniu bakterii, wzrostowi liczebności skupisk zoogealnych i wytwarzaniu się kłaczek osadu czynnego. Występujące w początkowym okresie grupy pierwotniaków zanikają, a kolejno pojawiają się orzęski wolno pływające i osiadłe (*Ciliata*), żywiące się głównie bakteriami.



Rys. 1. Ekologiczna sukcesja mikroorganizmów w osadzie czynnym [1]

Masowe pojawianie się orzęsków swobodnie pływających i wiciowców uważa się za przejaw słabej jeszcze wydajności układu oczyszczania. Wraz ze wzrostem stopnia sprawności usuwania zanieczyszczeń organicznych, gdy praca osadu czynnego jest stabilna, występują w nim liczne orzęski osiadłe, jak np. *Carchesium sp.*, *Vorticella sp.*, *Epistylis sp.*, *Opercularia sp.* oraz orzęski pełzające po powierzchni kłaczek, jak np. *Aspidisca sp.*, *Euplotes sp.* i *Oxtricha sp.* W osadzie czynnym – poza pierwotniakami – za organizmy wskaźnikowe jego pracy i kondycji uważa się także wrotki. Zjadają one bakterie i drobne cząstki osadu czynnego, a wydalani przez nie śluz pomaga zlepianiu się zanieczyszczeń w kłaczki, co wspomaga klarowanie oczyszczonych ścieków. Duża liczba wrotków wskazuje na dobrą pracę osadu czynnego. Najliczniej pojawiają się one wtedy, gdy obniżka BZT₅ wynosi ponad 93%.

Obserwacje mikroskopowe biocenozy osadu czynnego pozwalają na bardzo szybką ocenę jego kondycji, jak również warunków troficznych i tlenowych panujących w układzie w momencie obserwacji. Niejednokrotnie pozwala to na przewidywanie konsekwencji wpływu zmian ocenianych parametrów na skuteczność oczyszczania ścieków i podjęcie odpowiednich kroków w celu przeciwdziałania ich niepożądanym skutkom. Ponadto obserwacje struktury kłaczków osadu czynnego informują o warunkach tlenowych w komorze napowietrzania. W przypadku przetlenienia na powierzchni skupisk zooglealnych osadu czynnego pojawiają się pojedyncze perforacje, których ilość i rozmiary w czasie ulegają zwiększeniu. W tym okresie znacznie rośnie liczba wolno pływających bakterii cylindrycznych. Przy nadal utrzymującym się przetlenieniu w komorze napowietrzania obserwuje się rozrywanie skupisk zooglealnych, czego konsekwencją jest zdyspersgowanie osadu czynnego, przy równoczesnym stopniowym zaniku bakterii cylindrycznych.

Przy niedotlenieniu osadu czynnego obserwuje się zagęszczenie komórek wewnątrz skupisk zooglealnych, z wyraźnie zaznaczającym się centrum, które przy dalej trwającym niedotlenieniu wyraźnie wyodrębniają się na tle pozostałych części skupiska i zaczynają się obłaniać. W końcowym etapie obserwuje się odrębne skupiska zooglealne bakterii w formie kulistej lub eliipsoidalnej, oddzielone od pozostałej części kłaczka [7].

Przyczyny trudności sedymentacyjnych osadu czynnego

Trudności sedymentacyjne osadu czynnego powoduje cały szereg różnych niekorzystnych zjawisk, takich jak:

- wzrost dyspersyjny,
- pęcznienie beznitkowe,
- kłaczki *pinpoint*,
- wypływający osad,
- spienianie.
- pęcznienie nitkowate.

Wzrost dyspersyjny charakteryzuje się bardzo wysoką liczebnością bakterii wolno pływających i znaczną mętnością odpływających ścieków. Jest to rezultatem wysokiego biologicznego zapotrzebowania na tlen, limitowanego stopniem natlenienia. Również zatrucie osadu czynnego metalami ciężkimi może być przyczyną takiego stanu osadu czynnego.

Pęcznienie beznitkowe bywa również określane jako tzw. pęcznienie zooglealne, które jest wynikiem nadmiernej produkcji egzopolisacharydów przez bakterie osadu czynnego. Rezultatem tego jest obniżenie zawartości kłaczków i ich zdolności do sedymentacji. Ten typ pęcznienia występuje jednak rzadko i można go korygować przez chlorowanie [3].

Kłaczki *pinpoint* powstają w wyniku rozrywania struktur osadu czynnego na bardzo drobne fragmenty. Uważa się, że bakterie nitkowate, w odpowiedniej ilości, konstruują podstawę kłaczków osadu czynnego. Jednakże w tym przypadku bardzo niska ich liczebność w kłaczkach może powodować utratę stabilnej struktury, czego rezultatem jest rozdrobnienie i słabe osiadanie osadu, a tym samym odpowiednia mętność odpływających ścieków.

Wypływający osad jest rezultatem nadmiernej denitryfikacji, która jest spowodowana anoksycznymi warunkami panującymi w osadniku. Cząstki osadu są wynoszone przez pęcherzyki azotu, tworząc na powierzchni dywan osadu. Prowadzi to do zmętnienia odpływających ścieków i wzrostu BZT₅. Jedynym rozwiązaniem w takim przypadku jest zwiększenie czasu retencji (np. wzrost stopnia recyrkulacji osadu czynnego).

Problem tworzenia się piany jest rezultatem proliferacji *Noctardia* i *Microthrix* w komorach napowietrzania osadu czynnego. Przyczyną może być również nierozkładalne źródło węgla, słabo rozkładalny detergent, gwałtowna denitryfikacja czy też wzrost *Actinomyces*, co doprowadza do daleko posuniętych zmian w biocenozie osadu czynnego, a stąd i zmian parametrów fizyczno-chemicznych. W zależności od przyczyny pojawiania się piany, która ma niezwykle zróżnicowaną etiologię, stosuje się odpowiednio dobrane metody zaradcze, których rezultat jest ściśle uzależniony od prawidłowej diagnozy [1].

Pęcznienie nitkowate osadu czynnego

Ten rodzaj pęcznienia osadu czynnego jest wynikiem nadmiernego rozwoju bakterii nitkowatych. Bakterie te są normalnym składnikiem biocenozy osadu czynnego wchodząc w skład kłaczków, lecz w specyficznych warunkach mogą całkowicie zdominować bakterie tworzące kłaczki.

Relacja pomiędzy bakteriami nitkowatymi i bakteriami tworzącymi kłaczki

Podstawą do oceny zależności pomiędzy bakteriami nitkowatymi i bakteriami tworzącymi kłaczki są trzy rodzaje obserwowanych w osadzie czynnym kłaczków:

- kłaczki normalne; równowaga pomiędzy bakteriami tworzącymi kłaczki i bakteriami nitkowatymi w kłaczkach o prawidłowej strukturze utrzymywana jest dzięki prawidłowemu napowietrzaniu i dobrej sedymentacji osadu w osadnikach,
- kłaczki *pinpoint*; w tych kłaczkach bakterie nitkowate są nieobecne lub występują w bardzo małych ilościach, czego rezultatem są tak małe kłaczki, że wcale nie sedymentują. Wtórny efekt jest mętność ścieków przy niskim indeksie osadu,
- kłaczki nitkowate; pęcznienie nitkowate osadu jest rezultatem dominacji bakterii nitkowatych, których zidentyfikowano ponad 25 gatunków. Słabo sedymentujący osad czynny jest obserwowany wówczas, gdy długość wyizolowanych nitków wzrasta powyżej 10⁷ m/mg zawieszonego osadu czynnego [1]. Istotne różnice fizjologiczne pomiędzy bakteriami tworzącymi kłaczki i bakteriami nitkowatymi pozwalają tym drugim na przeżycie przy bardzo niskiej zawartości tlenu i w warunkach prawie głodowych. Podstawowe różnice zestawiono w tabeli 1.

Ścieki o wysokiej zawartości węglowodanów (np. browarniane czy z przetwórstwa kukurydzy) wykazują szczególną zdolność do powodowania pęcznienia osadu. Węglowodany zbudowane z glukozy, maltozy i laktozy, lecz nie z galaktozy, powodują rozwój bakterii nitkowatych [10,11].

Ilość rozpuszczonego tlenu w komorach napowietrzania jest również parametrem sprzyjającym rozwojowi bakterii nitkowatych. Dla uniknięcia dominacji bakterii nitkowatych minimalna ilość tlenu w komorach napowietrzania nie może być niższa niż 2 gO₂/m³. Na podstawie badań laboratoryjnych udowodniono, porównując rozwój bakterii tworzących kłaczki (*Citrobacter* sp.) i bakterii nitkowatych (*Sphaerotilus natans*), że niski poziom tlenu rozpuszczonego jest najważniejszym czynnikiem warunkującym dominację bakterii nitkowatych w osadzie czynnym. Nie obserwuje się tej zależności jedynie w sytuacji, gdy dominującym gatunkiem bakterii nitkowatych jest *Microthrix parvicella*. Również niedobór azotu, fosforu i żelaza oraz pierwiastków śladowych może być przyczyną pęcznienia osadu, np. rozwój *Sphaerotilus natans* i *Thiothrix* sp. jest związany z deficytem azotu i fosforu. Stąd uważa się, że stosunek C/N/P w ściekach powinien wynosić 100/5/1 [10].

Tabela 1. Różnice fizjologiczne pomiędzy bakteriami tworzącymi kłaczkę i bakteriami nitkowatymi

Charakterystyka	Bakterie tworzące kłaczkę	Bakterie nitkowate
Zdolność do maksymalnego wiązania substratu	wysoka	niska
Zdolność do maksymalnego specyficznego wzrostu	wysoka	niska
Endogenna zdolność do zamierania	wysoka	niska
Obniżanie zdolności do specyficznego wzrostu w obecności niskich stężeń substratu	wrażliwe	umiarkowane
Odporność na głód	niska	wysoka
Zanik zdolności do specyficznego wzrostu w wyniku niskiej zawartości tlenu rozpuszczonego	wrażliwe	umiarkowana
Potencjalna zdolność do sorpcji związków organicznych przy ich nadmiernym dostępie	wysoka	niska
Zdolność do wykorzystywania azotanów jako akceptora elektronów	tak	brak
Wykazywanie znacznej zdolności do wiązania fosforu	tak	brak

Bakterie nitkowate jako wskaźniki przyczyn pęcznienia osadu

Nadmierny wzrost określonych gatunków bakterii nitkowatych może być wskaźnikiem specyficznych problemów technologicznych w oczyszczalniach ścieków. Są one wskaźnikiem takich parametrów, jak niska zawartość tlenu rozpuszczonego, niski stosunek substratów pokarmowych do biomasy mikroorganizmów (F/M), wysoka zawartość związków siarki w ściekach, deficyt azotu i fosforu, niskie pH. I tak:

- dominacja *Sphaerotilus natans* oraz bakterie nitkowate typ 021N i 1701 i *Thiothrix* (specjalnie jako indykator wysokiego poziomu siarczków) są wskaźnikami niskiej zawartości tlenu rozpuszczonego w komorach osadu czynnego; dotyczy to zwłaszcza osadu czynnego oczyszczającego ścieki z browarów oraz ścieków zawierających skrobie, a także zmiennych warunków pokarmowych – przede wszystkim stosunku C/N [8],

- typ 021N związany jest z oczyszczaniem specyficznych ścieków komunalnych zawierających łatwo biodegradowalne węglowodany, takie jak cukry proste i kwasy organiczne w systemie o niskim stosunku substratów do biomasy mikroorganizmów ($F/M \leq 0,3$); ten typ pęcznienia osadu jest łączony z deficytem pokarmowym (z deficytem azotu lub fosforu),

- dominacja *Microthrix parvicella*, typ 0041, 0672, 0961, 0803, 0092, jest łączona z niskim stosunkiem F/M [2],

- *Microthrix parvicella* jest również wskaźnikiem niskiej temperatury oczyszczanych ścieków, gdyż mikroorganizm ten wykazuje intensywny wzrost przy niskiej zawartości związków organicznych, głównie w przypadku oczyszczania ścieków zawierających tłuszcz, a zwłaszcza kwasy tłuszczowe, przy równocześnie niskiej zawartości tlenu rozpuszczonego.

Identyfikacja bakterii nitkowatych

Bakterie nitkowate występujące w osadzie czynnym są trudne do identyfikacji metodami klasycznymi. Dotyczy to przede wszystkim nitkowatych bakterii siarkowych. Dobre i skuteczne metody ich izolacji i identyfikacji opracowano dopiero w połowie lat osiemdziesiątych. Identyfikacja pozostałych grup bakterii nitkowatych metodami konwencjonalnymi jest trudna (słaby wzrost) i przede wszystkim długotrwała [11]. Bakterie nitkowate mają wiele charakterystycznych cech, dzięki którym można je rozróżnić stosując jedynie techniki mikroskopowe. Do podstawowych cech należą:

- kształt; nici mogą być proste, krzywe, skrócone, włókniste,
- wielkość i kształt komórek; kształt wewnątrz nici to np. laski, pałeczki,

- rozgałęzienia; grzyby i *Actinomyces*, jak i *Nocardia*, mają nici rozgałęzione. Bakterie nitkowate, takie jak *Sphaerotilus natans*, tworzą fałszywe rozgałęzienia,

- ruchliwość nici; niektóre bakterie mają zdolność ruchu, jak np. *Beggiatoa*, która porusza się w podłożu ruchem ślizgowym,

- obecność pochwów; bakterie nitkowate tworzą otoczki, tzw. tubularne struktury, które otaczają komórki. Pochewki te są trudne do zauważenia w preparatach niebarwionych. Zabarwienie komórek 0,1% roztworem fioletu krystalicznego jest wystarczającą metodą do wykrywania pochwów. Jednakże niektóre szczepy bakterii nitkowatych *Thiothrix* nie wytwarzają otoczek, podczas gdy cecha ta jest charakterystyczna dla tego gatunku [10],

- wielkość i rozmiar nici mogą być użyteczne do rozróżnienia grzybów od bakterii nitkowatych, jak np. *Nocardia*,

- obecność ziarnistości; ziarnistości będące inkluzjami w komórkach bakterii nitkowatych stanowią depozyt materiałów zapasowych. Dotyczy to zwłaszcza rodzajów *Thiothrix* i *Beggiatoa*, które mają ziarnistości siarkowe. Granule siarki otaczają jednowarstwową otoczkę, bez ingerencji w błonę cytoplazmatyczną. W grupie tej znajdują się też bakterie mające ziarnistości zbudowane z polifosforanów,

- obserwacja utrwalonych, barwionych preparatów osadu czynnego; testy te stosuje się z wykorzystaniem zwykłego, transmisyjnego światła. Test barwienia metodą Grama pozwala na rozróżnienie bakterii gram-dodatnich i gram-ujemnych, a bazuje on na różnicach w budowie ich ściany komórkowej. Test barwienia metodą Neissera pozwala na obserwację występowania w komórkach bakterii ziarnistości zbudowanych z polifosforanów. Bakterie Neisser-ujemne przybierają barwę od jasnobrązowej do żółtawej, natomiast bakterie Neisser-dodatnie mają ciemne ziarnistości,

- inne cechy charakterystyczne; jedną z najlepszych i najszybszych metod wykrywania *Sphaerotilus natans* w osadzie czynnym jest zastosowanie fluoryzujących przeciwciał monoklonalnych [5]. Były one stosowane z dużym powodzeniem w Stanach Zjednoczonych do szybkiej identyfikacji bakterii nitkowatych, jednakże w naszych warunkach jest to metoda nadal bardzo kosztowna.

Zapobieganie pęcznieniu osadu czynnego

Istnieje kilka metod pozwalających na technologiczne przeciwdziałanie pęcznieniu osadu czynnego. Należą do nich:

- stosowanie utleniaczy; możliwe jest zwracanie osadu czynnego z chlorem lub nadtlenkiem wodoru jako środkami selektywnie zabijającymi bakterie nitkowate. Chlor może być dodawany do komory napowietrzania lub do osadu recykulowanego. Chlor może być dodawany w postaci gazowej lub jako podchloryn sodu trzy razy na dobę, przy czym stężenie chloru powinno wynosić do $20 \text{ gCl}_2/\text{m}^3$ (wyższe stężenia mogą spowodować

deflokulację lub powstanie kłaczków *pinpoint*). Dawka chloru musi być kontrolowana testem aktywności enzymatycznej poprzez mierzenie aktywności ogólnych dehydrogenaz testem TTC. Nadtlenek wodoru najczęściej dodawany jest do osadu recyrkulowanego w ilości $100+200 \text{ gH}_2\text{O}_2/\text{m}^3$. Podobnie jak w przypadku chloru, nadmiernadtlenku wodoru działa niszcząco na bakterie tworzące kłaczkę. Nadtlenek wodoru może być dodatkowym źródłem tlenu w komorze napowietrzania,

– stosowanie flokulantów; syntetyczne polimery organiczne, wapno oraz sole żelaza mogą być dodawane do osadu czynnego jako obciążniki kłaczków. Dodawanie polimerów kationowych w stężeniu $15+20 \text{ g/m}^3$ jest skuteczne dla spęczniałych ścieków browarnianych,

– biologiczne selektory; rozwiązanie to wymaga zastosowania zbiornika selekcyjnego lub komory o odpowiedniej konstrukcji, gdzie będą zmieniane istotne parametry technologiczne, jak np. stosunek substratów do biomasy mikroorganizmów (F/M) oraz akceptory elektronów. W zbiornikach tych miesza się ścieki z osadem recyrkulowanym w warunkach tlenowych, anoksydacyjnych czy beztlenowych. Każde z tych rozwiązań musi być dobrane do specyfiki danej oczyszczalni,

– kontrola biologiczna; mikroorganizmy, a zwłaszcza bakterie i *Actinomycetes* izolowane z różnych źródeł (osady czynne, komposty, gleby) mają zdolność do lizy bakterii nitkowatych. Również niektóre pierwotniaki (np. *Trithymostoma cucullulus*) mogą obniżać liczebność bakterii nitkowatych, gdyż są one ich pożywieniem. Inokulacja tymi pierwotniakami spęczniałego osadu czynnego powoduje zmniejszenie jego indeksu. Jest to jednak nowa metoda, która zapewne znajdzie szerokie zastosowanie dopiero w przyszłości,

– inne; dotyczą one zwłaszcza ścieków zawierających związki siarki, powodujące nadmierny rozwój bakterii z rodzajów *Thiothrix* i *Beggiatoa*. Okazuje się, że podwyższenie ilości rozpuszczonego tlenu nie zmniejsza ich liczebności. Najważniejszym czynnikiem w tym przypadku jest odpowiednie pH. Obniżenie liczebności bakterii *Thiothrix* i *Sphaerotilus* umożliwia też inhibicja ich oddychania przez dodanie siarczku żelaza lub Fe-cysteiny.

Spośród powyższych metod zaleca się najczęściej dwie, tj. chlorowanie, w celu zabicia bakterii nitkowatych, oraz identyfikację mikroorganizmów powodujących pęcznienie osadu czynnego, w celu podjęcia odpowiednich działań [4].

Podsumowanie

Biologiczne badania osadu czynnego w praktyce eksploatacyjnej są najczęściej niedoceniane. Wydaje się, że przyczyną tego stanu może być niewystarczające przygotowanie specjalistów z zakresu inżynierii sanitarnej do samodzielnego realizowania tego typu analiz. Osad czynny bywa niejednokrotnie traktowany przedmiotowo, podczas gdy jest to układ żywy, w którym w sposób ciągły zaburzana jest równowaga homeo-

statyczna. Z tego też powodu wymaga on stałej kontroli parametrów tak biotycznych jak i abiotycznych.

Opracowanie prostych ankiet z bogatą stroną ilustracyjną, wzorem niektórych oczyszczalni niemieckich, zawierających takie najistotniejsze elementy analizy jak morfologia kłaczków, występowanie najważniejszych orzęsków wskaźnikowych oraz występowanie podstawowych rodzajów bakterii nitkowatych, może być niezwykle pomocne w codziennej kontroli pracy osadu czynnego. Podobnie proste oznaczenia enzymatyczne, jak np. ogólna aktywność dehydrogenazowa, mogą w znacznym stopniu ułatwić zabiegi technologiczne, zwłaszcza w przypadku stosowania silnych utleniaczy.

Niniejsza praca miała na celu zwrócenie uwagi na istotę przyczyn powstawania problemów technologicznych związanych z pęcznieniem osadu czynnego, a będących skutkiem zaburzeń równowagi biologicznej biocenozy heterotroficznej, jaką jest osad czynny, przy czym przedstawione metody kontroli tego procesu opierają się o mechanizmy naturalnej regulacji homeostatycznej.

LITERATURA

- 1 G. BITTON: Wastewater Microbiology. Wiley-Liss, 1994, USA.
- 2 T. G. CASEY et al.: A hypothesis for the cause of low F/M. Filament bulking in nutrient removal activated sludge systems. Water Res., 1992, Vol. 26, No. 6, pp. 867–869.
- 3 J. CHUDOBA: Activated sludge-bulking control. In: Encyclopedia of Environmental Control Technology, Vol. 3, Wastewater Treatment Technology. P.N. Cheremisinoff [Ed], Gulf Publishing Co., Huston 1989, pp. 171–202.
- 4 J. CHUDOBA: Control of activated sludge filamentous bulking. VI: Formation of basic principles. Water Res. 1985, 19, pp. 1017–1022.
- 5 A. R. HOWGREAVE-GRAHAM, P. L. STEYN: Application of the fluorescent-antibody technique for the detection of *Sphaerotilus natans* in activated sludge. Appl. Environ. Microbiol., 1988, 54, pp. 799–802.
- 6 F. MEINCK, H. STOFF, H. KOHLSCHUTTER: Ścieki przemysłowe, Arkady, Warszawa 1975.
- 7 H. PETRYCKA: Ćwiczenia z mikrobiologii środowiskowej. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 1986.
- 8 M. RICHARD, O. HAO, D. JENKINS: Growth kinetics of *Sphaerotilus species* and their significance in activated sludge bulking. Journal WPCF, 1985, 57, 1, pp. 68–81.
- 9 The causes and control of activated sludge bulking and foaming. EPA-625/8-87/012, Cincinnati 1987.
- 10 J. WANNER, P. GRAU: Identification of filamentous microorganisms from activated sludge: a compromise between wishes and possibilities. Water Res., 1989, pp. 1541–1546.
- 11 T. M. WILLIAMS et al.: Ultrastructure of *Thiothrix* sp. and type 021N bacteria. Appl. Environ. Microbiol., 1987, 53, pp. 1560–1570.

Biotic and Abiotic Determinants of Activated Sludge Bulking

The separation of activated sludge quite often raises problems which, in most instances, can be attributed to technological negligence in the operation of the wastewater treatment plant. Continuous control of the condition and biocenosis of the activated sludge (as well as an ecological approach to the problem) makes it possible to take quick preventive measures, whenever undesirable phenomena are observed, e.g. disper-

sional growth or non-filamentous bulking. When strong oxidizing agents are used to control filamentous organisms, enzyme determinations will allow an appropriate choice of chlorine or hydrogen peroxide doses. Thus, a continuous observation of a heterotrophic biocenosis (and such is the activated sludge) enables application of methods which involve mechanisms of natural homeostatic control.