

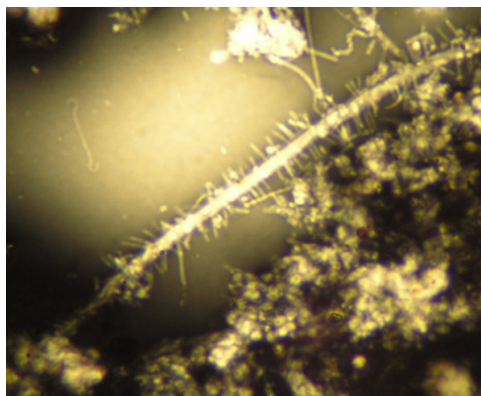
KRYTERIA SELEKCJI BAKTERII NITKOWATYCH W OCZYSZCZALNIACH KOMUNALNYCH I PRZEMYSŁOWYCH

Autor: dr Monika Bazeli

Pracownia Biologiczna „BIOM”, Piła

1. WSTĘP

Zaburzenia oczyszczania ścieków wynikające z nadmiernego rozwoju bakterii nitkowatych pojawiają się zarówno w oczyszczalniach komunalnych jak i przemysłowych. O ile w tych pierwszych problemy występują zazwyczaj okresowo i bardzo często są związane z porą zimowo-wiosenną, to w przypadku oczyszczalni przemysłowych nadmierny rozwój nitkowatych uzależniony jest od składu ścieków oraz prowadzonej technologii produkcji i może występować przez cały rok. Ponadto w opisanych oczyszczalniach obserwuje się wyraźne różnice dotyczące dominacji poszczególnych typów bakterii, a co za tym idzie różnice w zaburzeniach technologii oczyszczania ścieków. Jak wiadomo, większość wysoko-sprawnych oczyszczalni komunalnych posiada spuchnięty osad czynny, który okresowo „wypienia się” tworząc pływający po powierzchni kożuch. W oczyszczalniach przemysłowych natomiast problem piany spotykany jest sporadycznie, a głównym zmartwieniem operatorów jest brak sedimentacji osadu. Walka zarówno z puchnięciem jak i pienieniem osadu jest możliwa dopiero po rozpoznaniu typu bakterii odpowiedzialnych za te zjawiska, po zapoznaniu się z ich biologią oraz ustaleniu rzeczywistych przyczyn masowego rozwoju.



2. WPŁYW RÓŻNYCH CZYNNIKÓW SPRZYJAJĄCYCH DOMINACJI ORGANIZMÓW NITKOWATYCH

Wiadomo, że w osadzie czynnym panuje silne współzawodnictwo pomiędzy bakteriami kłaczkującymi a nitkowatymi. Dominują zawsze te typy, dla któ-

rych panujące warunki hodowli zbliżone są do optymalnych. Warunki te są uzależnione od:

- Konfiguracji oczyszczalni (np. całkowite wymieszanie, przepływ tłokowy, obecność stref beztlenowych i anoksydacyjnych),
- Czynników zewnętrznych (skład ścieków, temperatura, odczyn pH),
- Czynników wewnętrznych (wiek osadu, stężenie biogenów, stężenie tlenu).

W przypadku oczyszczalni z całkowitym wymieszaniem zarówno tych niskoobciążonych (np. komunalnych) oraz wysoko obciążonych (np. przemysłowych) dochodzi znacznie częściej do nadmiernego rozwoju nitkowatych niż w przypadku oczyszczalni z przepływem tłokowym posiadających strefy beztlenowe i niedotlenione. Jednak należy pamiętać, że za zjawisko puchnięcia osadu w tych oczyszczalniach o odmiennym obciążeniu odpowiedzialne są różne bakterie nitkowane charakteryzujące się innymi preferencjami substratowymi. W przypadku oczyszczalni o niskim obciążeniu (wymieszanie substratu z całą objętością reaktora) spotykane są bakterie nitkowane, które kolonizują układ rosnąc już przy małych stężeniach pokarmu (Typ 0041, Typ 0803). W przypadku oczyszczalni z wysokimi stężeniami znowu pojawiają się nitkowane, ale tym razem są to typy rosnące szybko jedynie przy dużej ilości pokarmu (np. *Sphaerotilus natans*, Typ 021N, Typ 1701). Bakterie te z pewnością nie będą dominowały w układach posiadających strefy beztlenowe i niedotlenione. W to miejsce mogą natomiast pojawić się typy posiadające urozmaicony aparat enzymatyczny umożliwiając im wykorzystanie substratów we wszystkich warunkach oczyszczania (np. *Microthrix parvicella*, Typ 0092).

Tab.1. Wpływ pochodzenia ścieków na dominacje bakterii nitkowatych

Pochodzenie ścieków	Dominujące bakterie nitkowane
Komunalne	<i>M. parvicella</i> , Actinomycetes, 0041
Przemysł mięsny	021N, <i>Thiothrix</i> sp., 0041, <i>Nostocoida limicola</i>
Gorzelnia	021N, 0041, <i>N. limicola</i>
Przemysł owocowo-warzywny	021N, <i>S. natans</i> , 0041, 021N, <i>Thiothrix</i> sp., <i>Beggiatoa</i>
Browar	<i>S. natans</i> , 021N, 1701
Przerób mleka	0092, 021N, <i>H. hydrossis</i> , <i>Nostocoida</i> sp.
Przemysł papierniczy	0041, 021N, Actinomycetes, <i>Thiothrix</i> sp.

Dość istotnym czynnikiem wpływającym na nadmierny rozwój nitkowatych jest skład ścieków. Szczególnie problematyczne są ścieki przemysłowe, zwa-

szcza pochodzące z branży spożywczej oraz przetwórstwa owocowo-warzywnego, głównie z powodu dużych ładunków zanieczyszczeń łatwo rozkładalnych. Obejmują one przede wszystkim substancje rozpuszczone oraz substancje koloidalne, zawiesiny reprezentowane przez związki organiczne oraz nieorganiczne. Szczególnie uciążliwe obok łatwo rozkładalnych związków białkowych są tłuszcze i ich produkty hydrolizy. Przy dopływie substancji tłuszczowych masowo może pojawić się *Microthrix parvicella*, promieniowce *Actinomyces* oraz Typ 1863. Przy dopływie cukrów można spodziewać się dominacji Typu 021N czy Typu 1701, natomiast w przypadku wysokich stężeń aminokwasów, białek pojawiają się bakterie *Nostocoida limicola*. Niekorzystny jest dopływ ścieków zgnitych, dość często spotykany w oczyszczalniach przemysłowych, ponieważ wywołuje on nadmierny wzrost bakterii nazywanych siarkowymi (*Beggiatoa* sp. *Thiothrix* sp.) oraz Typu 021N czy 0914. Zagniwaniu sprzyja podwyższona temperatura ścieków. Dodatkowo w wyniku procesów fermentacji zintensyfikowanych podwyższoną temperaturą może dochodzić do spadku odczynu pH i wówczas w osadzie pojawiają się grzyby.

Duże znaczenie dla niektórych bakterii nitkowatych ma wiek osadu, stężenie biogenów czy stężenie tlenu. Część z omawianych bakterii w układach niskiego obciążenia rośnie bardzo wolno, stąd też unikanie długiego wieku osadu wpływa na ograniczenie ich liczebności (*Actinomyces*). W oczyszczalniach przemysłowych często obserwuje się duży udział związków węglowych z niedoborem azotu i/lub fosforu. Przy jednocześnie występującym, nawet okresowo, deficycie tlenowym dochodzi do wzrostu takich bakterii nitkowatych jak Typ 021N, *Thiothrix* sp, *Sphaerotilus natans*.

Dodatkowo należy zwrócić uwagę na obecne w ściekach przemysłowych zanieczyszczenia powstające w wyniku mycia i dezynfekcji linii technologicznych. Związki te mogą odgrywać dość istotną rolę w ograniczaniu liczebności wielu organizmów osadu czynnego, tym samym faworyzować występowanie typów bakterii odpornych na ich działanie.

Jak widać bardzo wiele różnych czynników wpływa na dominację poszczególnych typów bakterii. Dodatkowo często czynniki te dopiero „nakładają się” tworząc warunki korzystne dla ich masowego rozwoju.

Tab.2. Przyczyny występowania organizmów nitkowatych wg. Jenkinsa uzupełnione obserwacjami własnymi.

Czynniki sprzyjające dominacji organizmów nitkowatych	Organizm nitkowaty
1. Niskie stężenia tlenu	Beggiatoa sp., Thiothrix sp. Spaerotilus natans, Typ 1701, Haliscomenobacter hydrossis
2. Niskie obciążenie osadu	Typ 0041, Typ 0675, Typ 1851, Typ 0803, Microthrix parvicella, Nocardia sp.
3. Dopływ ścieków zgniłych / Obecność zredukowanych form siarki	Typ 021N, Thiothrix I i II, Typ 0914, Typ 0411, Typ 0961, Typ 0581,
4. Dopływ substancji tłuszczowych	Nocardia spp. Microthrix parvicella, Typ 1863
5. Deficyt biogenów <ul style="list-style-type: none"> • Azotu • fosforu 	Typ 021N, Thiothrix I i II Nostocoida limicola III, Haliscomenobacter hydrossis, Spaerotilus natans
6. Niskie wartości pH	grzyby

3. PROBLEMY IDENTYFIKACYJNE BAKTERII NITKOWATYCH

Identyfikacja organizmów nitkowatych jest już w Polsce prowadzona dość systematycznie nie tylko przez wyspecjalizowane laboratoria, ale i przez operatorów wielu oczyszczalni ścieków zarówno komunalnych jak i przemysłowych. Metodyka badań jest powszechnie znana i wykorzystywana raczej z powodzeniem. Problemy pojawiają się niekiedy na etapie identyfikacji wyizolowanych bakterii, zwłaszcza typów rzadziej spotykanych. Dużym ułatwieniem są wówczas opracowane dla oczyszczalni komunalnych klucze umożliwiające prowadzenie identyfikacji analizowanych bakterii.

Niestety w przypadku oczyszczalni przemysłowych nadal jeszcze występują typy jak do tej pory nieopisane, o nieznannej biologii. Brakuje klucza do ich identyfikacji. Dodatkowo należy pamiętać, że stan wiedzy na temat nitkowatych zmienia się i pojawiają się nowe doniesienia dotyczące pewnych typów. Odmienne dane dotyczące na przykład kwestii wybarwienia się określonych typów zmuszają analityków do zmiany podejścia podczas procesu identyfikacyjnego. Przykładem jest *Nostocoida limicola*, która została przedstawiona przez Eikelbooma jako trzy morfotypy. Ważnym elementem identyfikacyjnym w tym wypadku był dodatni wynik barwienia Neissera. Jak się jednak okazuje bakterie *Nostocoida limicola* mogą w pewnych warunkach barwić się Neisser ujemnie lub też posiadać jedynie Neisser dodatnie ściany komórkowe. Dodatkowo okazuje się, że bakterie te pomimo podobieństw w budowie należą do różnych grup filogenetycznych i mogą różnić się fizjologicznie. A więc, wśród *Nostocoida limicola* występują osobniki typowe dla oczyszczalni ko-

munalnych z nityfikacją oraz takie, które spotykane są dopiero przy dopływie ścieków bogatych w cukry.

Innym przykładem jest Typ 0041, który w oczyszczalniach komunalnych posiada zazwyczaj obfitą porośl natomiast w oczyszczalniach przemysłowych (np. przemysłu spożywczego) zbudowany jest z nagich nici.

Bardzo różnie zachowuje się także Typ 021N, którego nitki w jednym osadzie mogą posiadać różną średnicę i są zbudowane z komórek o odmiennych kształtach.

Stąd jak widać sam proces identyfikacji nie zawsze jest prosty i w wielu przypadkach wymaga doświadczenia specjalisty ciągle podnoszącego swoje kwalifikacje.

Dlatego też wydaje się, że każde nowe, opublikowane opracowanie wraz z dokumentacją fotograficzną, spotkania szkoleniowe, wymiana doświadczeń są szczególnie cenne i podnoszą stan wiedzy na temat bakterii nitkowatych.

4. METODY OGRANICZAJĄCE LICZEBNOŚĆ ORGANIZMÓW NITKOWATYCH CHARAKTERYSTYCZNYCH DLA OCZYSZCZALNI KOMUNALNYCH I PRZEMYSŁOWYCH

W oczyszczalniach komunalnych i przemysłowych, jak wynika z pierwszej części referatu, obserwuje się wyraźne różnice dotyczące występowania różnych typów bakterii nitkowatych, głównie z powodu panowania w nich odmiennych warunków hodowli. Stąd też również i walka z nitkowatymi będzie opierała się na różnych rozwiązaniach technicznych, aplikacji środków chemicznych bądź zmianach w technologii. Dodatkowo jeszcze należy pamiętać, że warunki na oczyszczalniach są bardzo różne, i wybór odpowiedniego środka zwalczającego często wymaga indywidualnego podejścia do problemu.

Wysokosprawne oczyszczalnie komunalne

Osad w takich oczyszczalniach jest dobrze natleniony, nisko obciążony i charakteryzuje go odpowiednio długi wiek. Z uwagi na prowadzoną technologię posiada strefy beztlenowe i niedotlenione. Ścieki są bogate w azot oraz fosfor, często występuje deficyt węglowy. W takich warunkach można wykluczyć występowanie bakterii siarkowych (*Thiothrix* sp. *Beggiatoa* sp. Typ 0914) oraz bakterii rozwijających się dopiero przy dużych stężeniach substratów (*Spaerotilus natans*, *Haliscomenobacter hydrossis*, Typ 170, Typ 021N, Typ 1863). Najczęściej pojawia się, jako dominant *Microthrix parvicella*, *Actino-*

mycetes, Typ 0041/0675. Są to bakterie Gram dodatnie, dla których nisko obciążone warunki z nityfikacją i biologiczną eliminacją fosforu są szczególnie korzystne do nadmiernego rozwoju, w wyniku czego sprzyjają puchnięciu osadu. Dodatkowo bakterie te w pewnych warunkach z powodu hydrofobowych powierzchni nici przyczyniają się do tworzenia piany zarówno w reaktorach napowietrzanych jak i osadnikach wtórnych, czy też częściach niedotlenionych. Do ograniczenia liczebności tych bakterii już od dawna z powodzeniem stosowane są związki glinu oraz wykonuje się czynności zmierzające do obniżenia wieku osadu. Należy dodać, że dla uniknięcia występowania piany i kożucha prowadzi się działania prewencyjne, w wyniku, których odpowiednio wcześniej zastosowane wyraźnie mniejsze dawki preparatów oraz utrzymywanie wieku na odpowiednim poziomie uniemożliwiają nadmierny rozwój nitkowatych a tym samym nie dochodzi do problemów puchnięcia oraz pienienia osadu. Dość powszechne są też działania techniczne polegające na zgarnianiu lub zatapianiu kożucha, ale bez dozowania związków glinu nie przynoszą one długotrwałych rezultatów.

Oczyszczalnie komunalne z dopływem ścieków przemysłowych

Z powodu dopływu ścieków przemysłowych wzrasta zdecydowanie stężenie węgla, co korzystnie wpływa na proces defosfatacji i denitryfikacji. Jednak z drugiej strony może wywoływać okresowy wzrost takich bakterii jak: Typ 0092 (substancje białkowe), *Nostocoida limicola* (substancje białkowe, cukry), *Microthrix parvicella* (substancje tłuszczowe). Działania zmierzające w takich warunkach do ograniczenia liczebności bakterii powinny polegać na wyeliminowaniu uderzeniowych dawek ścieków przemysłowych oraz aplikacji koagulantów glinowo-żelazowych.

Oczyszczalnie przemysłowe

W takich układach, oczywiście w zależności od prowadzonej technologii produkcji osad jest narażony na duże dawki obciążenia, okresowy deficyt tlenu, brak biogenów z nadwyżką związków węglowych oraz podwyższoną temperaturę ścieków. Są to warunki korzystne dla rozwoju bakterii Gram ujemnych takich jak: *Spaerotilus natans*, Typ 021N, *Haliscomenobacter hydrophillus*, Typ 1701, Typ 1863.

Dodatkowo w przypadku oczyszczalni z łatwo rozkładalnym substratem, w których zachodzą procesy zagniewania dość poważnym problemem jest ma-

sowy rozwój bakterii siarkowych (*Thiothrix* sp.). Walka z tymi bakteriami jest często bardzo trudna i wymaga przede wszystkim optymalizacji wszystkich etapów technologii oczyszczania ścieków. W pewnych warunkach niestety może się to wiązać nawet z działaniem inwestycyjnym związanym ze zmianą konfiguracji oczyszczalni.

W układach konwencjonalnych mając na celu stworzenie dogodnych warunków dla bakterii kłaczkujących zmierza się do zmniejszenia obciążenia osadu oraz zwiększenia napowietrzania. Obniżenie ładunku uzyskuje się poprzez chemiczne strącanie wstępne przy wykorzystaniu dostępnych koagulantów glinowych i żelazowych. Podczas takiego działania przy jednoczesnym zwiększeniu napowietrzania stwarza się korzystne warunki do wzrostu bakterii kłaczkujących konkurujących o łatwo rozkładalny substrat z bakteriami nitkowatymi.

Dość dobre wyniki uzyskuje się poprzez stosowanie stref beztlenowych czy niedotlenionych opierając się na selekcji metabolicznej. Ponieważ większość bakterii nitkowatych w układach przemysłowych to organizmy tlenowe (021N, *Sphaerotilus natans*), więc wprowadzanie stref niedotlenionych wyraźnie ogranicza ich tempo wzrostu. Takie rozwiązanie w walce z Typem 021N z powodzeniem było wykorzystane w reaktorach SBR.

Dodatkowo w celu eliminacji przyczyn występowania bakterii nitkowatych stosuje się także stałą kontrolę związków biogennych i ewentualne ich uzupełnienie.

W przypadku wzrostu stężenia zredukowanych form siarki podejmuje się czynności ograniczające proces zagniwania poprzez wzrost napowietrzania, wiązanie siarki poprzez dostępne koagulanty żelazowe.

W oczyszczalniach charakteryzujących się produkcją kampanijną do poprawienia procesu sedymentacji stosowane są koagulanty modyfikowane polielektrolitami.

Niestety, gdy inne środki zawodzą w sytuacjach ekstremalnych stosuje się związki silnie utleniające jak chlor, nadtlenek wodoru czy też wapno. Należy jednak pamiętać, że środki te nie działają wybiórczo i wraz z bakteriami nitkowatymi, które są zazwyczaj najbardziej odporne na ich działanie giną pozostałe organizmy w osadzie czynnym. Dlatego też przed podjęciem decyzji ważna jest dokładna analiza morfologiczna osadu, ocena miejsca dominacji bakterii nitkowatych oraz ostrożność w doborze dawki i czasu kontaktu.

5. PODSUMOWANIE

Problemy związane z nadmiernym występowaniem bakterii nitkowatych nie są dla nas tematem nowym. Niestety jednak jak do tej pory nie została opracowana jedna metoda umożliwiająca walkę z wszystkimi typami bakterii nitkowatych. Dlatego zarówno badania naukowe, mające na celu opis budowy i biologię bakterii jak i techniczne z wykorzystaniem różnych rozwiązań technologicznych oraz aplikacyjnych są nadal szczególnie potrzebne. W związku z problemami identyfikacji bakterii w oczyszczalniach przemysłowych rodzi się potrzeba opracowania nowych kluczy, oraz technik analizy. Opis nowatorskich rozwiązań, sprawozdania z aplikacji nowych środków chemicznych daje obraz poszukiwań zmierzających do opracowania metod skutecznej walki z nitkowatymi.

Literatura

1. Eikelboom D.,H.: *Filamentous Organisms Observed In Activated Sludge*, Water Res. 9. 365-388, 1975.
2. Wanner J., Grau P.: *Identification of filamentous microorganisms from activated sludge, A compromise between wishes, needs and possibilities*, Water Res.23, 883-891, 1989.
3. Jenkins, D., Richard, M. G., Daigger, G. T. *Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking and Foaming*. Water Research Commission, Pretoria, SA, 1986
4. Konieczny P., *Ścieki przemysłu spożywczo-charakterystyka, zagrożenia, korzyści*, Materiały na seminarium naukowo-techniczne, Dźwirzyno, 2004.
5. Wanner, J. *Activated Sludge Bulking and Foaming Control.*, TECHNOMIC Publishing Co., Inc., Lancaster, 1994.
6. Richard, M., *Activated sludge microbiology problems and their control, Presented at the 20th Annual USEPA National Operator Trainers Conference Buffalo*, 2003.
7. Lemmer H.: *Przyczyny powstawania i zwalczanie osadu spęczniałego*, Warszawa, 2000.
8. Bazeli M.: *Mikroskopowa analiza organizmów nitkowatych*, Piła, 2007.