



## Eliminacja bakterii nitkowatych w osadzie czynnym pod wpływem wybranych koagulantów i związków utleniających

*Katarzyna Budzińska, Marcin Bochenek, Adam Traczykowski,  
Bożena Szejniuk, Rafał Pasela, Anita Jurek  
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz*

### 1. Wstęp

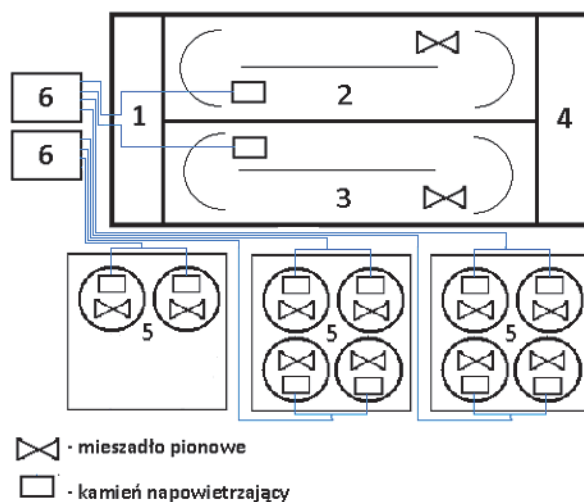
Główną przyczyną złej sedimentacji osadu czynnego jest nadmierny rozwój bakterii nitkowatych, który prowadzi do poważnych zaburzeń technologicznych, takich jak powstawanie osadu spęczniałego, wpływającego, piany przekształcającej się w gęsty kożuch, co w konsekwencji przyczynia się do obniżenia efektywności usuwania zanieczyszczeń ze ścieków [1, 9, 15, 19]. Mikroorganizmy nitkowate należą do naturalnej biocenozy osadu czynnego, jednak w specyficznych warunkach mogą całkowicie zdominować bakterie tworzące kłaczkę [28]. Dotychczas zidentyfikowano 80 rodzajów tych bakterii, przy czym w osadzie czynnym występują z różną częstotliwością. Do najczęściej występujących bakterii nitkowatych w osadzie czynnym należą: *Microthrix parvicella*, *Nostocoida limicola*, *Beggiatoa* spp., *Haliscomenobacter hydrossis*, *Sphaerotilus* spp., *Thiothrix* spp. oraz nieokreślone do rodzaju typy morfologiczne bakterii oznaczone symbolami cyfrowymi: Typ 0041, Typ 0092, Typ 021N, Typ 0581, Typ 0675, Typ 0803, Typ 0961, Typ 1701, Typ 1851 oraz Typ 1863 [6, 8, 14]. W celu poprawy funkcjonowania oczyszczalni ścieków optymalizuje się parametry technologiczne związane z eliminacją nadmiernie rozprzestrzeniających się bakterii nitkowatych. Badania przeprowadzone przez Noutsopoulos i wsp. [20] wykazały, że skrócenie wieku osadu do 6 dób oraz obniżenie temperatury ścieków

poniżej 18°C pozwala wyeliminować problemy związane z nadmiernym rozwojem bakterii *Microthrix parvicella*. Jednak w oczyszczalniach ścieków, zwłaszcza z utrudnioną nityfikacją, nie jest możliwe zastosowanie jedynie technologicznych działań poprawiających pracę osadu czynnego, co powoduje konieczność zastosowania reagentów chemicznych [22]. Od wielu lat prowadzone są badania nad optymalizacją metod chemicznych wykorzystywanych do eliminacji bakterii nitkowatych. Koagulanty żelazowe stanowią czynnik limitujący proliferację bakterii siarkowych, gdyż wchodzi w reakcję z siarkowodorem tworząc FeS i ograniczając zawartość wolnej siarki, która odkładana jest w cytoplazmie *Thiothrix* spp. oraz *Beggiatoa* spp. Związki glinu uważane są za substancje najefektywniej ograniczające nadmierną proliferację niektórych typów bakterii nitkowatych w osadzie czynnym. Mimo licznych badań nad możliwością wykorzystania koagulantów glinowych do niwelowania skutków nadmiernego rozwoju bakterii nitkowatych, mechanizm działania reagenta na komórki tych mikroorganizmów nie został dokładnie poznany [21, 25, 26]. Bott i Love [2] oraz Higgins i Novak [11] wskazują, że stosowanie utleniaczy negatywnie wpływa na mikroorganizmy nitkowane wywołując zjawisko stresu oksydacyjnego, będącego przyczyną zwiększenia stężenia potasu w roztworze, przez co struktura bakteryjnych aglomeratów ulega osłabieniu. Celem przeprowadzonych badań było ustalenie wpływu wybranych koagulantów żelazowych i glinowych (chlorek żelaza i chlorek poliglinu) oraz związków utleniających (ditlenek chloru i podchloryn sodowy) na eliminację bakterii nitkowatych w osadzie czynnym.

## 2. Materiał i metody

Przedmiotem badań był osad czynny pochodzący z mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków pracującej w technologii przepływowej (A/O) w układzie niskoobciążonego osadu czynnego z napowietrzaniem drobnopęcherzykowym. Średniodobowy dopływ ścieków do oczyszczalni kształtuje się na poziomie 2800 m<sup>3</sup>, natomiast równoważna liczba mieszkańców (RLM) wynosi 21000. Obciążenie osadu czynnego ładunkiem zanieczyszczeń w warunkach eksploatacyjnych osiągało wartość 0,024 kg O<sub>2</sub> (BZT<sub>5</sub>)·(kgs.m.)<sup>-1</sup>. Wiek osadu wynosił od 20,43 do 47,48 dób i był wyższy niż zakładany przez projektanta. W warunkach eksploatacji zaleganie starego osadu spowodowane jest zbyt niską wy-

dajnością urządzenia odwadniającego. Niska sprawność tego urządzenia jest przyczyną wydłużenia wieku osadu, wysokiej nieuzasadnionej względami technologicznymi koncentracji osadu czynnego w reaktorze oraz wysokiego zużycia tlenu, które kształtowało się na poziomie 75482 do 87012  $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ . Z komór napowietrzania przedmiotowej oczyszczalni ścieków każdorazowo pobierano 100  $\text{dm}^3$  osadu czynnego i przewożono do laboratorium Katedry Higieny Zwierząt i Mikrobiologii Środowiska UTP w Bydgoszczy, gdzie przeprowadzono doświadczenie w skali laboratoryjnej. Badania prowadzono z wykorzystaniem reaktora własnej konstrukcji o objętości 50  $\text{dm}^3$  (rysunek 1), skalowanego w taki sposób, aby odzwierciedlał parametry technologiczne oczyszczalni ścieków.



**Rys. 1.** Schemat stanowiska badawczego: 1 – komora beztlenowa reaktora biologicznego, 2,3 – komory tlenowo-niedotlenione, 4 – komora odpływu ścieków oczyszczonych, 5 – flokulator, 6 – aerator

**Fig. 1.** Scheme of the research stand: 1 – anaerobic chamber of biological reactor, 2,3 – aerobic-non-oxygenated chambers, 4 – chamber of purified sewage outflow, 5 – floc tank, 6 – aerator

W celu uzupełnienia substancji organicznych do reaktora dodawano ścieki surowe w ilości obliczonej na podstawie średniodobowego dopływu ścieków na oczyszczalnię po uprzednim wymieszaniu z osadem recykulowanym. W trakcie trwania eksperymentu osad czynny nad-

mierny oraz ciecz nadosadową usuwano z układu. W czasie trwania siedmiodobowego cyklu doświadczenia osad czynny napowietrzano drobnopęcherzykowym dyfuzorem akwarystycznym oraz mieszano za pomocą zanurzonych mieszadeł wolnoobrotowych z prędkością 80 obrotów na minutę. Aerację osadu przeprowadzano cyklicznie dostarczając  $45 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ . Do reaktora laboratoryjnego podłączone zostały flokulatory, co umożliwiło jednoczesne wykonywanie analiz po wprowadzeniu reagentów chemicznych w różnych dawkach.

## 2.1. Przebieg doświadczenia

W pierwszym etapie doświadczenia oznaczano parametry fizykochemiczne (zawiesiny ogólne, indeks osadowy, indeks gęstości) oraz przeprowadzono mikroskopową ocenę osadu czynnego (Indeks Biotyczny Osadu, skład ilościowy oraz identyfikacja morfotypów bakterii nitkowatych). W drugim etapie badań dozowano do osadu czynnego wodny roztwór chlorku żelaza ( $A_1$ – $A_5$ ), wodny roztwór chlorku poliglinu ( $B_1$ – $B_5$ ), ditlenek chloru ( $C_1$ – $C_5$ ) i podchloryn sodu ( $D_1$ – $D_5$ ) w dawkach przedstawionych w tabeli 1. Jednocześnie analizowano próbki osadu czynnego bez dodatku reagentów chemicznych ( $A_0$ ,  $B_0$ ,  $C_0$  i  $D_0$ ). Po tygodniu oceniano wpływ zastosowanych związków chemicznych na eliminację bakterii nitkowatych oraz pozostałe elementy biocenozy osadu czynnego. Wykonywano także pomiary parametrów fizykochemicznych po zastosowaniu reagentów chemicznych.

**Tabela 1.** Dawki zastosowanych reagentów chemicznych

**Table 1.** Doses of applied chemical reagents

Grupa badawcza	Dawki reagentów chemicznych				
	1	2	3	4	5
A* [g Fe <sup>2+</sup> ]	A <sub>1</sub> 5,0	A <sub>2</sub> 5,5	A <sub>3</sub> 6,0	A <sub>4</sub> 6,5	A <sub>5</sub> 7,0
B* [g Al <sup>3+</sup> ]	B <sub>1</sub> 2,0	B <sub>2</sub> 2,5	B <sub>3</sub> 3,0	B <sub>4</sub> 3,5	B <sub>5</sub> 4,0
C [mg ClO <sub>2</sub> ·g <sup>-1</sup> s.m.]	C <sub>1</sub> 5,0	C <sub>2</sub> 10,0	C <sub>3</sub> 15,0	C <sub>4</sub> 20,0	C <sub>5</sub> 25,0
D [mg NaOCl·g <sup>-1</sup> s.m.]	D <sub>1</sub> 5,0	D <sub>2</sub> 10,0	D <sub>3</sub> 15,0	D <sub>4</sub> 20,0	D <sub>5</sub> 25,0

\* w przeliczeniu na kg zawiesin ogólnych; per kg of total suspensions

## 2.2. Procedury badawcze

Badania fizykochemiczne osadu czynnego prowadzono zgodnie z metodyką podaną przez Gajkowską-Stefańską i wsp. [10]. W badaniach mikroskopowych korzystano z klucza do oznaczania mikroorganizmów osadu czynnego [6]. W preparatach przyżyciowych identyfikowano: orzęski swobodnie pływające, pełzające oraz osiadłe na kłaczkach, wiciowce, ameby, wrotki i inne wielokomórkowce (nicienie, niesporczaki, skąposzczety), co umożliwiło oznaczenie Indeksu Biotycznego Osadu. Klasę jakości osadu czynnego ustalano na podstawie wartości IBO [8]. W celu identyfikacji bakterii nitkowatych w preparatach mokrych oceniano: typ rozgałęzienia, ruchliwość, ścianki poprzeczne, kształt nitek, porośl, wcięcia, kształt komórek i występowanie pochewki. Preparaty suche wybarwiano metodą Grama i Neissera. Ocenę ilościową mikroorganizmów nitkowatych osadu czynnego przeprowadzono w oparciu o sześciostopniową skalę Jenkinsa [13]. W badaniach wykorzystano mikroskop Zeiss Axiostar Plus.

## 3. Wyniki badań i dyskusja

W oczyszczalniach ścieków wykorzystujących metodę osadu czynnego często występują problemy eksploatacyjne związane z pęcznieniem i pienieniem osadu. Osad spęczniały charakteryzuje się złymi właściwościami sedymentacyjnymi i niską zdolnością do zagęszczenia. Wielu autorów, jako główną przyczynę złej sedymentacji wskazuje zbyt duże zagęszczenie mikroorganizmów nitkowatych w osadzie czynnym [2, 4, 5, 18, 23, 24]. Obserwacje mikroskopowe przeprowadzone w badaniach własnych (tabela 2) wykazały nadmierny rozwój i dominację w osadzie czynnym bakterii *Microthrix parvicella*, które w okresie jesienno-zimowym odnotowano na poziomie 5 kategorii w 6-stopniowej klasyfikacji Jenkinsa we wszystkich powtórzeniach. Nieznacznie mniejsze zagęszczenie nitek *M. parvicella* zaobserwowano w okresie wiosenno-letnim (4–5 kategoria). Wyniki badań potwierdzają fakt, że zmiany w liczebności populacji tych bakterii nitkowatych wskazują na wyraźny rytm sezonowy z maksimum występującym w niższych temperaturach [30]. Jenkins i wsp. [13] również dowodzą, że *Microthrix parvicella* jest wolno rosnącą bakterią nitkowatą, która powoduje puchnięcie osadu oraz powstawanie piany w zimnej porze roku w warunkach niskiego obciąże-

nia substratowego. Wzrost tych bakterii jest uzależniony od obecności w ściekach przede wszystkim długołańcuchowych kwasów tłuszczowych i ich estrów [7]. Na podobne zależności wskazują Fiałkowska i wsp. [8].

**Tabela 2.** Bakterie nitkowate wyizolowane z osadu czynnego w okresie prowadzonych badań

**Table 2.** Filamentous bacteria isolated from the activated sludge during the study

Wyszczególnienie	Okres jesiennie-zimowy				Okres wiosienno-letni			
	IX	X	XII	I	III	V	VII	VIII
Morfotyp dominujący: <i>Microthrix parvicella</i>	5	5	5	5	5	4	4	4
Morfotypy podporządkowane: Typ 0092, Typ 021N, <i>Nostocoida limicola</i> III, Typ 0041, Typ 0581, <i>Sphaerotilus natans</i> , <i>Thiothrix</i> , <i>Beggiatoa</i>	2	2	3	3	2	3	3	3

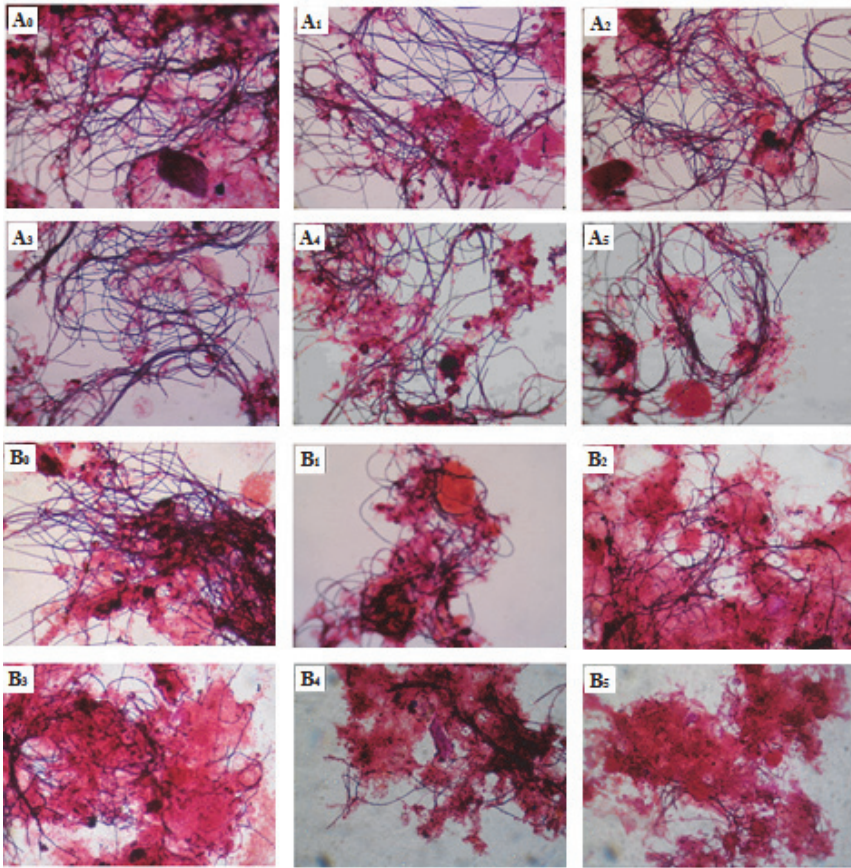
Wyniki badań własnych dotyczące wpływu wybranych reagentów chemicznych na proliferację bakterii nitkowatych oraz wpływ na biocezozę osadu i jego właściwości sedymentacyjne zaprezentowano w tabelach 3–5 oraz na fotografiach 1–2. Dozowanie chlorku żelaza nie wpłynęło na zmianę struktury dominacji bakterii nitkowatych, stanowiło natomiast przyczynę eliminacji morfotypu *Nostocoida limicola* III w próbie A<sub>1</sub> oraz bakterii siarkowych *Thiothrix* i *Beggiatoa*, których liczebność zmniejszała się wraz ze zwiększeniem dawki reagenta, natomiast w próbach A<sub>4</sub> oraz A<sub>5</sub> nie odnotowano ich obecności (tabela 3).

Doniesienia literaturowe wskazują na możliwość zmniejszenia liczby bakterii siarkowych w wyniku ograniczenia ilości dostępnych zredukowanych związków siarki poprzez łączenie się ich z jonami żelaza i wytrącanie FeS. Wskutek ograniczenia dostępności substratów odżywczych liczba nitkowatych *Thiothrix* i *Beggiatoa* w osadzie czynnym ulegała obniżeniu, zarówno w badaniach własnych, jak i analizach przeprowadzonych przez Yamamoto-Ikemoto i wsp. [31].

**Tabela 3.** Analiza mikroskopowa osadu czynnego po zastosowaniu chlorku żelaza (A<sub>0</sub>–A<sub>5</sub>) oraz chlorku poliglinu (B<sub>0</sub>–B<sub>5</sub>)

**Table 3.** Microscopic analysis of activated sludge after the use of iron chloride (A<sub>0</sub>–A<sub>5</sub>) and polyaluminum chloride (B<sub>0</sub>–B<sub>5</sub>)

Próba	IBO	Klasa osadu	Bakterie nitkowate		
			Morfotyp dominujący	Morfotypy podporządkowane	Kategoria
A <sub>0</sub>	7	II	<i>Microthrix parvicella</i>	Typ 0581, Typ 021N, Typ 0092, <i>Thiothrix</i> , <i>Beggiatoa</i> , <i>Nostocoida limicola</i> III, <i>Sphaerotilus natans</i>	5
A <sub>1</sub>	7	II		Typ 0581, Typ 021N, Typ 0092, <i>Thiothrix</i> , <i>Beggiatoa</i> , <i>Sphaerotilus natans</i>	4
A <sub>2</sub>	7	II		Typ 0581, Typ 021N, Typ 0092, <i>Thiothrix</i> , <i>Beggiatoa</i> , <i>Sphaerotilus natans</i>	4
A <sub>3</sub>	7	II		Typ 0581, Typ 021N, Typ 0092, <i>Thiothrix</i> , <i>Sphaerotilus natans</i>	4
A <sub>4</sub>	4	III		Typ 0581, Typ 021N, Typ 0092, <i>Sphaerotilus natans</i>	4
A <sub>5</sub>	5	III		Typ 0581, Typ 021N, Typ 0092, <i>Sphaerotilus natans</i>	3
B <sub>0</sub>	7	I	<i>Microthrix parvicella</i>	Typ 0581, Typ 0092, Typ 0041, <i>Nostocoida limicola</i> III, Typ 021N, <i>Thiothrix</i> , <i>Sphaerotilus natans</i>	5
B <sub>1</sub>	7	I		Typ 0581, Typ 0092, Typ 0041, <i>Nostocoida limicola</i> III, Typ 021N, <i>Thiothrix</i> , <i>Sphaerotilus natans</i>	3
B <sub>2</sub>	7	I		Typ 0581, Typ 0092, Typ 021N, <i>Nostocoida limicola</i> III, <i>Thiothrix</i> , Typ 0041, <i>Sphaerotilus natans</i>	2
B <sub>3</sub>	7	II		Typ 0581, <i>Nostocoida limicola</i> III, Typ 0092, Typ 021N, <i>Thiothrix</i> , Typ 0041	2
B <sub>4</sub>	6	II		Typ 0581, <i>Nostocoida limicola</i> III, Typ 0092, Typ 021N, <i>Thiothrix</i> , Typ 0041	1
B <sub>5</sub>	6	II		Typ 0581, <i>Nostocoida limicola</i> III, Typ 0092, Typ 021N, <i>Thiothrix</i> , Typ 0041	1



**Fot. 1.** Bakterie nitkowate wybarwione metodą Grama po zastosowaniu chlorku żelaza (III) (A) i chlorku poliglinu (B)

**Phot. 1.** Filamentous bacteria dyed with Gram method after the use of iron chloride (III) (A) and polyaluminum chloride (B)

Liczba nitek pozostałych typów, odnotowywanych w osadzie czynnym poddanym analizom, z wyjątkiem *Nostocoida limicola* III, nie uległa obniżeniu, co może świadczyć o selektywnym oddziaływaniu soli żelaza wyłącznie na bakterie siarkowe i stanowić potwierdzenie wyników Walczaka i Cywińskiej [29]. W badaniach własnych symultaniczne 7-dniowe dozowanie chlorku żelaza przyczyniło się do nieznacznej redukcji ilości bakterii nitkowatych w osadzie czynnym. Zastosowanie chlorku żelaza w dawkach od 5 do 6,5 g  $\text{Fe}^{+2}$  w przeliczeniu na kg zawiesin ogólnych ( $A_1$  do  $A_4$ ) spowodowało nieznaczne ograniczenie proli-



feracji mikroorganizmów nitkowatych o jedną jednostkę kategorii rozpuszczenia nitek.

Najwyższa dawka reagenta  $6,5 \text{ g Fe}^{+2} \cdot \text{kg}^{-1}$ , zastosowana w próbie badawczej  $A_5$ , skutkowałą zmianą kategorii proliferacji bakterii nitkowatych z 5 na 3. W próbach  $A_1$ ,  $A_2$ , oraz  $A_3$  nie odnotowano niekorzystnego oddziaływania na biocenozę osadu czynnego, czego odzwierciedleniem była oznaczona wartość IBO oraz klasa jakości osadu. Dwie najwyższe dawki spowodowały zmianę klasy jakości osadu z II na III (tabela 3; fot. 1). Związek ten, pomimo że doprowadził do rozluźnienia struktury kłaczków, nie spowodował wzrostu indeksu osadowego i pogorszenia właściwości sedymentacyjnych (tabela 4).

Wyniki badań własnych (tabela 3) wskazują, że chlorek poliglinu selektywnie oddziaływał na mikroorganizmy nitkowane, efektywnie ograniczając ich nadmierną proliferację i nie wykazując jednocześnie negatywnego wpływu na pozostałe organizmy osadu czynnego, w efekcie czego osiągnęte wartości IBO nie różniły się znacząco od tego parametru w próbie kontrolnej. Chlorek poliglinu spowodował eliminację bakterii *Sphaerotilus natans* oraz znaczne obniżenie liczby mikroorganizmów Typu 0041. Jednocześnie preparat ten przyczynił się do poprawy właściwości sedymentacyjnych osadu czynnego, wskutek czego wartości indeksu osadowego w kolejnych próbach badawczych ulegały obniżeniu, a indeksu gęstości wzrastały (tabela 4). Zastosowany w badaniach własnych koagulant glinowy w dawce  $3,5\text{--}4 \text{ g Al}^{3+} \cdot \text{kg}^{-1}$  zawiesin ogólnych przyczynił się do zmniejszenia liczebności mikroorganizmów nitkowatych z 5 (próba  $B_0$ ) do 1 kategorii (próby  $B_4$  i  $B_5$ ) (tabela 3; fot. 1). Badania przeprowadzone przez Roelsa i wsp. [25] wskazują, że efektywna dawka tego koagulantu wynosi od 1,5 do 4,5  $\text{g Al}^{3+} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Jeszcze wyższą dawkę tego reagenta ( $5 \text{ g Al}^{3+} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) zaleca Paris [21]. Wyniki badań Eikelbooma i wsp. [7] potwierdzają pozytywny wpływ koagulantów glinowych na obniżenie proliferacji bakterii nitkowatych w osadzie czynnym. Optymalizacja dawkowania związków chemicznych jest istotnym czynnikiem mającym wpływ na przebieg procesu oczyszczania ścieków metodą osadu czynnego. Zbyt mała ilość soli glinu nie przynosi efektów w postaci obniżenia liczebności bakterii nitkowatych i będzie stanowiła dodatkowy koszt eksploatacyjny oczyszczania ścieków, natomiast nadmierna zawartość jonów glinu przypadających na jednostkę masy zawiesin ogólnych, wynosząca ponad  $7 \text{ g Al}^{3+}$ , zgodnie z doniesieniami Roelsa

i wsp. [25], może przyczynić się do dyspersyjnego wzrostu bakterii oraz obniżenia aktywności pierwotniaków.

**Tabela 4.** Właściwości sedymentacyjne osadu czynnego po zastosowaniu reagentów chemicznych

**Table 4.** Sedimentation properties of activated sludge after using chemical reagents

Próba	Zawiesiny ogólne	Indeks osadowy	Indeks gęstości
	[g·dm <sup>-3</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ·g <sup>-1</sup> ]	[g·cm <sup>-3</sup> ]
A <sub>0</sub>	7,1	140,1	0,71
A <sub>1</sub>	7,1	138,0	0,72
A <sub>2</sub>	7,3	132,2	0,76
A <sub>3</sub>	7,3	132,2	0,76
A <sub>4</sub>	7,3	132,2	0,76
A <sub>5</sub>	7,4	127,7	0,78
B <sub>0</sub>	5,7	115,8	0,86
B <sub>1</sub>	5,7	120,2	0,83
B <sub>2</sub>	5,7	121,1	0,83
B <sub>3</sub>	5,8	119,0	0,84
B <sub>4</sub>	6,3	83,30	1,20
B <sub>5</sub>	6,4	78,90	1,27
C <sub>0</sub>	5,0	158,0	0,63
C <sub>1</sub>	4,3	211,6	0,47
C <sub>2</sub>	4,2	217,9	0,46
C <sub>3</sub>	4,2	221,4	0,45
C <sub>4</sub>	4,1	235,4	0,42
C <sub>5</sub>	4,1	239,0	0,62
D <sub>0</sub>	5,1	159,8	0,63
D <sub>1</sub>	5,1	185,3	0,54
D <sub>2</sub>	5,0	193,0	0,52
D <sub>3</sub>	4,9	199,0	0,50
D <sub>4</sub>	4,9	199,0	0,50
D <sub>5</sub>	4,8	204,2	0,49

Zastosowany w badaniach własnych ditlenek chloru przyczynił się do znacznego zahamowania proliferacji *M. parvicella* w osadzie czynnym. W próbach C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> oraz C<sub>5</sub> morfotyp ten został zaliczony do bakterii podporządkowanych. Reagent ten stanowił czynnik warunkujący ograniczenie rozwoju *Sphaerotilus natans* i bakterii Typ 0041 w próbach od C<sub>3</sub> do C<sub>5</sub> (tabela 5).

**Tabela 5.** Analiza mikroskopowa osadu czynnego po zastosowaniu ditlenku chloru (C<sub>0</sub>–C<sub>5</sub>) oraz podchlorynu sodu (D<sub>0</sub>–D<sub>5</sub>)

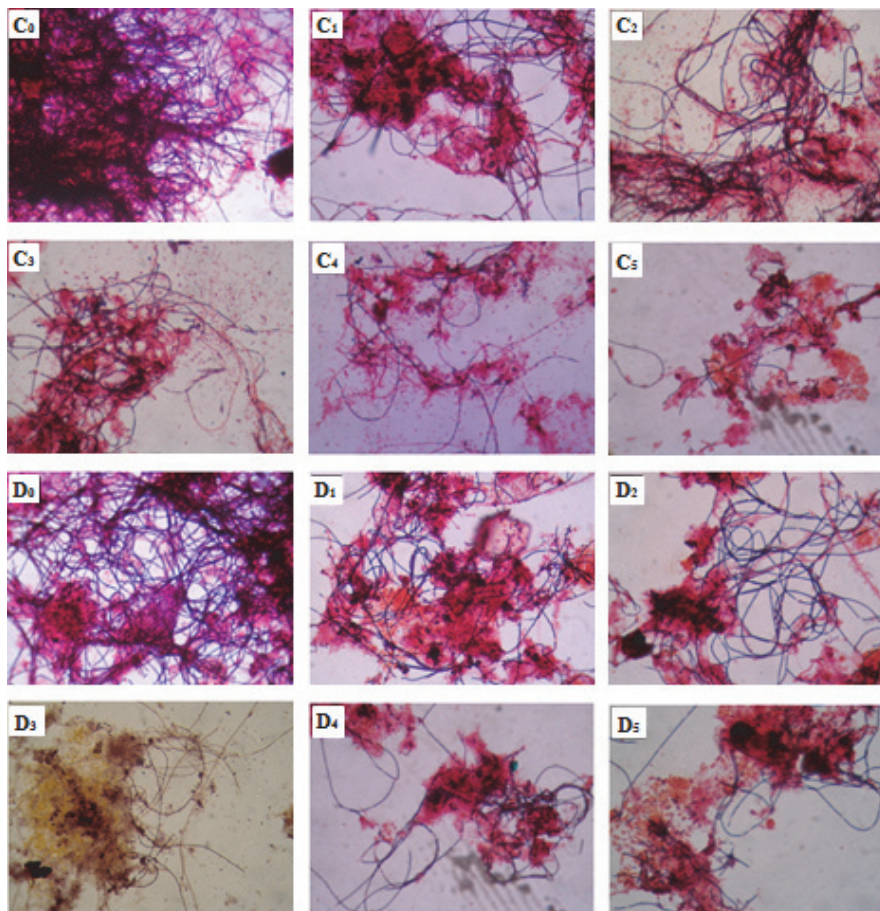
**Table 5.** Microscopic analysis of activated sludge after the use of chlorine dioxide (C<sub>0</sub>–C<sub>5</sub>) and sodium hypochlorite (D<sub>0</sub>–D<sub>5</sub>)

Próba	IBO	Klasa osadu	Bakterie nitkowate		
			Morfotyp dominujący	Morfotypy podporządkowane	Kategoria
C <sub>0</sub>	7	II	<i>Microthrix parvicella</i>	Typ 0581, Typ 0092, Typ 0041, Typ 021N, <i>Nostocoida limicola</i> III, <i>Sphaerotilus natans</i>	5
C <sub>1</sub>	5	III		Typ 0581, Typ 0092, Typ 021N, Typ 0041, <i>Nostocoida limicola</i> III, <i>Sphaerotilus natans</i>	3
C <sub>2</sub>	3	IV		Typ 0581, Typ 0092, Typ 021N, Typ 0041, <i>Nostocoida limicola</i> III, <i>Sphaerotilus natans</i>	2
C <sub>3</sub>	1	IV	-	<i>Microthrix parvicella</i> , Typ 0581, Typ 0092, Typ 021N, <i>Nostocoida limicola</i> III, Typ 0041	2
C <sub>4</sub>	1	IV	-	<i>Microthrix parvicella</i> , Typ 0581, Typ 0092, Typ 021N, <i>Nostocoida limicola</i> III	2
C <sub>5</sub>	1	IV	-	<i>Microthrix parvicella</i> , Typ 0581, Typ 0092, Typ 021N, <i>Nostocoida limicola</i> III	1
D <sub>0</sub>	7	II	<i>Microthrix parvicella</i>	Typ 0581, Typ 0092, Typ 0041, Typ 021N, <i>Nostocoida limicola</i> III, <i>Sphaerotilus natans</i>	5
D <sub>1</sub>	5	III		Typ 0581, Typ 0092, Typ 021N, Typ 0041, <i>Nostocoida limicola</i> III, <i>Sphaerotilus natans</i>	3
D <sub>2</sub>	3	IV		Typ 0581, Typ 0092, Typ 021N, <i>Nostocoida limicola</i> III, Typ 0041, <i>Sphaerotilus natans</i>	3
D <sub>3</sub>	2	IV	-	Typ 0581, Typ 0092, Typ 021N, <i>Nostocoida limicola</i> III, Typ 0041	2
D <sub>4</sub>	2	IV	-	<i>Microthrix parvicella</i> , Typ 0581, Typ 0092, Typ 021N, <i>Nostocoida limicola</i> III	2
D <sub>5</sub>	2	IV	-	<i>Microthrix parvicella</i> , Typ 0581, Typ 0092, Typ 021N, <i>Nostocoida limicola</i> III	1

W wyniku dozowania ditlenku chloru odnotowano znaczny spadek liczebności bakterii nitkowatych w osadzie czynnym. Najniższa dawka  $5 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ s.m.}$  przyczyniła się do obniżenia ilości nitek tych bakterii z 5 ( $C_0$ ) do 3 kategorii ( $C_1$ ). Po zastosowaniu tego reagenta w ilości od 10 do  $20 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ s.m.}$  ( $C_2, C_3, C_4$ ) zaobserwowano zmniejszenie rozpowszechnienia mikroorganizmów nitkowatych do 2 kategorii, natomiast dawka  $\text{ClO}_2$   $25 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ s.m.}$  ( $C_5$ ) skutkowała tym, że bakterie nitkowane były obecne, ale obserwowano je tylko w nielicznych klaczkach (kategoria 1) (fot. 2). Ditlenek chloru przyczynił się jednak do znacznego zubożenia różnorodności mikrofauny osadu czynnego, powodując obniżenie wartości IBO z 7 w próbie kontrolnej ( $C_0$ ) do 1 w trzech próbach doświadczalnych ( $C_2, C_3, C_4$ ), co skutkowało zakwalifikowaniem osadu czynnego do IV klasy jakości (tabela 5). Wykonane analizy wykazały również pogarszanie właściwości sedymentacyjnych osadu wraz ze wzrostem stosowanych dawek  $\text{ClO}_2$  (tabela 4).

Lakay i wsp. [16] oraz Madoni i wsp. [17] donoszą, że stosowanie związków chloru tylko w części przypadków powoduje zahamowanie wzrostu mikroorganizmów nitkowatych, natomiast badania przeprowadzone przez Hwanga i Tanaka [12] wykazały brak wpływu preparatów chlorowych na *Microthrix parvicella*, wskutek czego problem włóknistego puchnięcia osadu czynnego nie został rozwiązany. We wszystkich wymienionych badaniach, podobnie jak w doświadczeniu własnym, odnotowano niekorzystny wpływ chloru na strukturę klaczków oraz obniżenie aktywności organizmów biocenozy osadu czynnego.

W badaniach własnych (tabela 5) dozowanie podchlorynu sodu do osadu czynnego spowodowało obniżenie liczby bakterii nitkowatych z kategorii 5 w próbie kontrolnej ( $D_0$ ) do kategorii 1 przy najwyższej zastosowanej dawce  $25 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ s.m.}$  ( $D_5$ ). Ponadto zastosowanie tego związku w wyższych dawkach przyczyniło się do zmiany struktury dominacji bakterii nitkowatych. Najliczniej występującym typem w próbie kontrolnej oraz dwóch pierwszych próbach badawczych był morfotyp *Microthrix parvicella*. W próbach  $D_3, D_4$  oraz  $D_5$  dostrzeżono znaczne zahamowanie rozwoju i obniżenie liczebności tych bakterii oraz zakwalifikowanie do mikroorganizmów podporządkowanych (tabela 5; fot. 2). Caravelli i wsp. [3] oraz Walczak i Cywińska [29] również wykazali, że podchloryn sodu efektywnie hamuje proliferację bakterii nitkowatych w osadzie czynnym.



**Fot. 2.** Bakterie nitkowane po zastosowaniu ditlenku chloru (C) i podchlorynu sodu (D)

**Phot. 2.** Filamentous bacteria after the use of chlorine dioxide (C) and sodium hypochlorite (D)

Zastosowany w doświadczeniu własnym podchloryn sodowy w dawkach od 10 do 25 mg·g<sup>-1</sup>s.m. spowodował zubożenie biocenozy, obniżenie wartości IBO oraz zakwalifikowanie osadu czynnego do IV klasy jakości (tabela 5). Ponadto dozowanie podchlorynu sodu niekorzystnie wpłynęło na właściwości sedymentacyjne osadu (tabela 4). Stwierdzono wzrost wartości indeksu osadowego do 204,2 cm<sup>3</sup>·g<sup>-1</sup> (D<sub>5</sub>), który był wyższy o 44,4 cm<sup>3</sup>·g<sup>-1</sup> od wartości tego parametru w próbce

kontrolnej ( $D_0$ ). Martins i wsp. [18] oraz Jenkins i wsp. [13] udowodnili, że stosowanie nieselektywnych związków utleniających, takich jak chlor i podchloryn sodu przyczyniają się do utleniania związków organicznych, ograniczając w ten sposób ich dostępną ilość, zarówno dla bakterii nitkowatych, jak również pozostałych organizmów biocenozy osadu. Ponadto chlor negatywnie oddziałuje na proces flokulacji osadu czynnego oraz hamuje rozwój bakteriożernych pierwotniaków, powodując w ten sposób pogorszenie właściwości sedymentacyjnych oraz obniżenie różnorodności biologicznej tego ekosystemu [27].

Reasumując należy stwierdzić, że istnieją substancje, których zastosowanie przyczynia się do ograniczenia liczebności bakterii nitkowatych w osadzie czynnym, jednak nie wszystkie mogą zostać wykorzystane z uwagi na niekorzystny wpływ na pozostałe elementy biocenozy tego ekosystemu.

#### 4. Wnioski

1. Osad czynny poddany analizom charakteryzował się niekorzystnymi właściwościami sedymentacyjnymi, powodowanymi głównie nadmierną proliferacją bakterii nitkowatych, wśród których dominował morfotyp *Microthrix parvicella*.
2. Najlepsze efekty w eliminacji bakterii nitkowatych odnotowano po zastosowaniu chlorku poliglinu oraz ditlenku chloru i podchlorynu sodowego.
3. Stosowanie chlorku poliglinu nie wpłynęło negatywnie na skład ilościowy i różnorodność organizmów tworzących biocenozę osadu czynnego w przeciwieństwie do ditlenku chloru i podchlorynu sodu.
4. Stwierdzono, że dozowanie ditlenku chloru i podchlorynu sodu do reaktora osadu czynnego przyczyniło się do podwyższenia wartości indeksu osadowego, co pogorszyło właściwości sedymentacyjne.

#### Literatura

1. **Andreasen K., Nielsen P.H.:** *Growth of Microthrix parvicella in nutrient removal activated sludge plants: Studies of in situ physiology.* Water Research 34, 5, 1559–1569 (2000).
2. **Bott C.B., Love N.G.:** *Implicating the glutathione-gated potassium efflux system as a cause of electrophile induced activated sludge flocculation.* Applied and Environmental Microbiology 70, 9, 5569–5578 (2004).

3. **Caravelli A., Contreras E.M., Giannuzzi L., Zaritzky N.:** *Modeling of chlorine effect on flock forming and filamentous microorganisms of activated sludge.* Water Research 37, 9, 2097–2105 (2003).
4. **Chua H., Tan K.N., Cheung M.W.L.:** *Filamentous growth in activated sludge.* Applied Biochemistry and Biotechnology 57–58, 1, 851–856 (1996).
5. **Daims H., Taylor M.W., Wagner M.:** *Wastewater treatment: a model system for microbial ecology.* Trends Biotechnology 24, 11, 483–489 (2006).
6. **Eikelboom D., van Buijsen H.J.J.:** *Podręcznik mikroskopowego badania osadu czynnego.* Wyd. Seidel-Przywecki, Szczecin 1999.
7. **Eikelboom D.H., Andreadakis A., Andreassen K.:** *Survey of filamentous populations in nutrient removal plants in four European countries.* Water Science and Technology 37, 4–5, 281–289 (1998).
8. **Fijałkowska E., Fyda J., Pajdak-Stós A. Wiąckowski K.:** *Osad czynny – biologia i analiza mikroskopowa.* Wyd. Seidel-Przywecki, Piaseczno, 2010.
9. **Foot R.J.:** *The effects of process control parameters on the composition and stability of activated sludge.* Journal of the Institution of Water and Environmental Management, 6, 2, 215–228 (1992).
10. **Gajkowska-Stefańska L., Guberski S., Gutowski W., Mamak Z., Szperliński Z.:** *Laboratoryjne badania wody, ścieków i osadów ściekowych. Cz. II.* Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2001.
11. **Higgins M., Novak J.T.:** *The effect of cations on the settling and dewatering of activated sludge: Laboratory results.* Water Environment Research, 69, 215–224 (1997).
12. **Hwang Y., Tanaka T.:** *Control of Microthrix parvicella foaming in activated sludge.* Water Research 32, 1678–1686 (1998).
13. **Jenkins D., Richard M.G., Daigger G.T.:** *Manual on the causes and control of activated sludge bulking, foaming and other solids separations problems.* IWA Publishing, Londyn 2003.
14. **Jin B., Wilén B.M., Lant P.:** *Impacts of morphological, physical and chemical properties of sludge flocs on dewaterability of activated sludge.* Chemical Engineering Journal 98, 1–2, 115–126 (2004).
15. **Kocwa-Haluch R., Woźniakiewicz T.:** *Analiza mikroskopowa osadu czynnego i jej rola w kontroli procesu technologicznego oczyszczania ścieków.* Czasopismo Techniczne. Środowisko 2-Ś, 108, 6, 141–162 (2011).
16. **Lakay T.M., Wentzel M.C., Ekama G.A., Marais G.R.:** *Bulking control with chlorination in a nutrient removal activated sludge system.* Water SA 14, 1, 35–42 (1988).

17. **Madoni P., Davoli D, Gibin G.:** *Survey of filamentous microorganisms from bulking and foaming activated-sludge plants in Italy.* Water Research 34, 6, 1767–1772 (2000).
18. **Martins A.M.P., Pagilla K., Heijnen J.J., van Loosdrecht M.C.M.:** *Filamentous bulking sludge – a critical review.* Water Research 38, 793–827 (2004).
19. **Nielsen P.H., Roslev P., Dueholm T.E., Nielsen J.L.:** *Microthrix parvicella, a specialized lipid consumer in anaerobic-aerobic activated sludge plants.* Water Science and Technology 46, 1–2, 73–80 (2002).
20. **Noutsopoulos C., Mamais D., Andreadakis A.D.:** *Effect of solids retention time on Microthrix parvicella growth.* Water SA, 32 (3), 315–321 (2006).
21. **Paris S., Lind G., Lemmer H., Wilderer P.A.:** *Dosing aluminium chloride to control of Microthrix parvicella.* Acta hydrochimica et hydrobiologica. Special Issue: Scum in Biological Wastewater Treatment 33, 3, 247–254 (2005).
22. **Przybyła C., Bykowski J., Filipiak J.:** *Efektywność funkcjonowania gminnych oczyszczalni ścieków.* Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set the Environmental Protection) 11, 231–239 (2009)
23. **Richard M.:** *Activated sludge microbiology problems and their control.* [http://www.dec.ny.gov/docs/water\\_pdf/DrRichard.pdf](http://www.dec.ny.gov/docs/water_pdf/DrRichard.pdf) (2003).
24. **Rittmann B.E.:** *Microbial ecology to manage processes in environmental biotechnology.* Trends Biotechnology 24, 6, 261–266 (2006).
25. **Roels T., Dauwe F., Van Damme S., De Wilde K., Roelandt F.:** *The influence of PAX-14 on activated sludge systems and in particular on Microthrix parvicella.* Water Science and Technology 46, 1–2, 487–490 (2002).
26. **Rossetti S., Tomei M.C., Nielsen P.H., Tandoi V.:** *“Microthrix parvicella”, a filamentous bacterium causing bulking and foaming in activated sludge systems: a review of current knowledge.* FEMS Microbiology Reviews 29, 1, 49–64 (2005).
27. **Séka M.A., Hammes F., Verstraete W.:** *Predicting the effects of chlorine on micro-organism of filamentous bulking activated sludges.* Applied Microbiology and Biotechnology 61, 5–6, 562–568 (2003).
28. **Traczewska M.:** *Biotyczne i abiotyczne uwarunkowania pęcznienia osadu czynnego.* Ochrona Środowiska 65, 2, 29–32 (1997).
29. **Walczak M., Cywińska A.:** *Application of selected chemical compounds to limit the growth of filamentous bacteria in activated sludge.* Environment Protection Engineering 33, 2, 221–230 (2007).
30. **Wanner J.:** *Activated sludge bulking and foaming control.* Technomic Publishing Co., Lancaster, Basel. (2002).



31. Yamamoto-Ikemoto R., Matsui S., Komori T., Bosque-Hamilton E.K.: *Control of filamentous bulking and interactions among sulfur oxidation-reduction and iron oxidation-reduction in activated sludge using an iron coagulant*. Water Science and Technology 38, 8–9, 9–17 (1998).

## **Elimination of Filamentous Bacteria in Activated Sludge as Affected by Selected Coagulants and Oxidizing Compounds**

### **Abstract**

The activated sludge method is most frequently used at the stage of biological waste water treatment. The main reason for improper sludge sedimentation is the excessive growth of filamentous bacteria leading to disturbances in technological processes of sewage treatment plants, such as formation of swollen, flowing out sludge, foam transforming in to a thick surface scum, which consequently contributes to a decrease in the effectiveness of removing pollutions from sewage. There is a growing tendency to make attempts aiming at optimizing the chemical methods used to eliminate filamentous bacteria which often constitute a factor limiting proliferation of those bacteria. Accordingly, research was undertaken to estimate the effect of some iron and aluminum coagulants and oxidizing compounds (chlorine dioxide and sodium hypochlorite) on the elimination of filamentous bacteria in the activated sludge in the aspect of sewage treatment effectiveness. Activated sludge was collected from the mechanical and biological sewage treatment plant situated in the Kuyavian-Pomeranian voivodeship. The study was carried out using a laboratory biological reactor graduated to reflect the technological parameters of the sewage treatment plant. Analyses involved determination of physicochemical parameters (total suspensions, sludge volumetric index, sludge density index) and the microscopic evaluation of activated sludge (floc parameters, the composition of microfauna, the Sludge Biotic Index, the quantitative and species composition of filamentous bacteria). At the next stage of the experiment, water solution of iron chloride, water solution of polyaluminum chloride, chlorine dioxide and sodium hypochlorite were proportioned to the activated sludge. At the same time, samples of activated sludge were analyzed without chemical reagents. After a week, the effect of applied reagents on the quantitative and species composition of filamentous bacteria and the other components of activated sludge biocenosis was evaluated.

It was proved that activated sludge subjected to analyses was characterized by poor sedimentation properties, resulted from the excessive proliferation

of filamentous bacteria of which the most numerous, dominant group was the species *Microthrix parvicella*. Best effects of filamentous bacteria elimination were recorded after the use of aluminum coagulant, which selectively affected filamentous microorganisms, effectively limiting their excessive proliferation and at the same time not exerting the negative impact on the other organisms of activated sludge. The preparation affected favorable values of the Sludge Biotic Index, which did not substantially differ from that parameter in the control sample. Polyaluminum chlorite caused elimination of the bacteria *Sphaerotilus natans* and a considerable decrease in the numbers of type 0041 micro-organisms. At the same time that preparation contributed to improving sedimentation properties of activated sludge flocs, as a result of which the volumetric index values were decreased in successive research samples, whereas the density index increased. The applied sodium hypochlorite contributed to the elimination of filamentous bacteria, and at the same time it slightly decreased the other parameters of activated sludge. It was indicated that chlorine dioxide contributed to a considerable decrease in diversity of activated sludge microfauna, causing a decrease in the number of crawling ciliates on the flocs and sedentary forms of those macroorganisms. Moreover an increase in the number of bacteriocidal free-floating protozoa and small flagellates resulted in a substantial decrease in the IBO value. The highest doses of reagent caused impoverishment of the biocenosis, which resulted in a decrease in the biotic index values by 7 units in relation to the control sample, activated sludge in those samples was qualified as IV class of sludge quality. The best effects in filamentous bacteria elimination were recorded after the use of aluminum preparation and chlorine compounds (chlorine dioxide, sodium hypochlorite).

**Słowa kluczowe:**

bakterie nitkowate, osad czynny, eliminacja, koagulanty, związki utleniające

**Keywords:**

filamentous bacteria, activated sludge, elimination, coagulants, oxidizing compounds