

ZASTOSOWANIE PAX-16 DO ZWALCZANIA PUCHNIĘCIA I PIENIENIA OSADU CZYNNEGO W WIELOFAZOWYCH REAKTORACH OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW GDAŃSK - WSCHÓD

Autorzy: *Mieczysław GIELERT*
Saur Neptun Gdańsk S.A.
Urszula KUBICKA - FORMELA
Politechnika Gdańska
Wydział Budownictwa Wodnego i Inżynierii Środowiska

Streszczenie

W uruchomionym w 1999 roku, po trzyletnim okresie budowy i rozruchu, biologicznym stopniu usuwania zanieczyszczeń w oczyszczalni ścieków „Gdańsk-Wschód”, już podczas rozruchu zimą wystąpił nadmierny wzrost bakterii nitkowatych w komorach osadu czynnego reaktorów MUCT oraz intensywne powstawanie kożucha w osadnikach wtórnych. Zjawisk pienienia występujących z nieregularną intensywnością w czterech eksploatowanych reaktorach, udało się prawie całkowicie uniknąć w roku 2001, stosując z wyprzedzeniem regulację wieku osadu oraz zraszanie komór wodą. Ponowne nasilenie tych samych zjawisk w 2002 roku i mała efektywność zabiegów ograniczających, skłoniło eksploatatora do zlecenia wykonania badań mikrobiologicznych w specjalistycznym laboratorium „EKOKLAR” w Pile-Leszkowie, w celu zidentyfikowania organizmów odpowiedzialnych za zakłócenia i w następstwie do zastosowania znanej z doniesień europejskich i krajowych metody chemicznej. Okazało się, że przyczyną tych zjawisk jest masowy rozwój bakterii nitkowatych, głównie *Microthrix parvicella* i zgodnie z sugestią dla ich wyeliminowania przyjęto symultaniczne dozowanie do reaktora 3-04 soli glinu Al^{+3} - preparatu PAX-16, a dla porównania efektów także soli żelaza (do reaktora 3-05), wykorzystując do tego celu PIX-113. W referacie przedstawiono wyniki efektywności zastosowanych preparatów do likwidacji pienienia komór i puchnięcia osadu oraz dla poprawy jakości ścieków.

Słowa Kluczowe: osad czynny
pienie i puchnięcie osadu czynnego
indeks osadu
Microthrix parvicella

Wprowadzenie

Efektywność biologicznych oczyszczalni ścieków z osadem czynnym zależy od własności sedymentacyjnych osadu. Jeżeli mikroorganizmy nitkowate pojawiają się w nadmiernych ilościach, powoduje to problemy z separacją osadu czynnego, znane jako puchnięcie i pienienie, a efektywność oczyszczania może zostać znacznie obniżona, co m.in. doświadczone w okresie zimy 2002 roku w oczyszczalni „Gdańsk-Wschód”.

Osad czynny może być sklasyfikowany według szybkości sedymentacji strefowej i objętościowego indeksu osadu (*Sludge Volume Index* - SVI), jak przedstawiono w tabeli 1 (1).

Tabela 1. Rodzaje osadu w zależności od własności sedymentacyjnych.

Rodzaj osadu	SVI, [cm ³ /g]	Szybkość sedymentacji, [m/h]
Dobrze sedymentujący	< 100	> 3
„Lekki”	100 - 200	2 -3
Spuchnięty	> 200	< 1,2

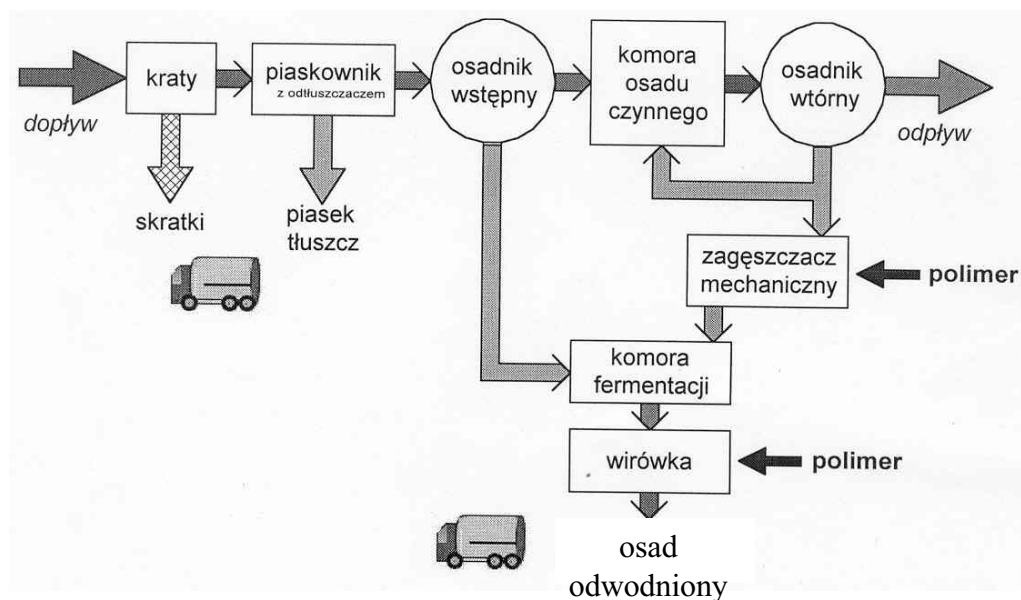
Problemy z masowym występowaniem w osadzie nadmiernym bakterii nitkowatych, np. z rodzaju *Microthrix parvicella*, powodują również pienienie w komorach fermentacyjnych oraz trudności z utrzymaniem procesu i produkcji biogazu (3). W takim przypadku obciążenie komór fermentacyjnych powinno być zmniejszone np. o ok.30%, jak wykazują doświadczenia z oczyszczalni ścieków w Gdańsku. Efekt pienienia i tworzenia kożucha powodowany produkcją biologicznych środków powierzchniowo czynnych wspomagany jest hydrofobową powierzchnią komórek, które zatrzymują pęcherze powietrza i kropelki oleju uwiecznione w pianie. Wśród ok. 30 rodzajów obecnie spotykanych organizmów nitkowatych, *Microthrix parvicella* jest przedstawicielem dominującym w osadzie czynnym oczyszczalni usuwających azot (2), a jej uciążliwość polega na tym, że wywołuje także pienienie osadu czynnego.

W zaproponowanym przez Wannera i Grau (cyt. za Wanner, 2000) podziale mikroorganizmów nitkowatych na cztery grupy, *Microthrix parvicella* podobnie jak inny „twórca piany biologicznej” *Nostocoida limicola*, zakwalifikowana jest do tzw. grupy A; tj. mikroorganizmów wzrastających we wszystkich strefach - tlenowej, beztlenowej i niedotlenionej. Utrudnia to wypracowanie efektywnych metod likwidacji tej bakterii w reaktorze. W przypadku, jeśli dominuje ona wśród organizmów osadu czynnego, to ogólnie akceptowalna strategia jej kontroli, tj. regulacja wieku osadu, nie jest zbyt

efektywna. W badaniach przeprowadzonych w karuzelowych oczyszczalniach holenderskich stwierdzano natomiast wyraźne zmniejszenie się populacji *Microthrix parvicella* w przypadku, gdy do komór napowietrzania dozowano sole glinu.

Nadmierny wzrost określonych gatunków bakterii nitkowatych może być wskaźnikiem specyficznych problemów technologicznych w oczyszczalni i wskaźnikiem takich parametrów, jak: niska zawartość tlenu rozpuszczonego, niski stosunek substratów pokarmowych do biomasy mikroorganizmów - F/M (niskie obciążenie osadu, wysoki wiek), zagniłe ścieki i wysoka zawartość w nich związków siarki, deficyt azotu i fosforu oraz niskie pH (4, 5). Dominacja *Microthrix parvicella* oraz Typu 0041 i innych bakterii nitkowatych łączona jest z niskim obciążeniem osadu.

Problemy puchnięcia i pienienia osadu czynnego w oczyszczalni „Wschód” w Gdańsku.



Rysunek 1. Schemat technologiczny oczyszczalni.

Układ technologiczny stopnia biologicznego oczyszczalni.

Biologiczny stopień oczyszczalni, obliczony dla przepływu 180 000m³/d, składa się z 6 wielofazowych reaktorów MUCT, współpracujących z 12 osadnikami wtórnymi. Klasyczny układ reaktora MUCT wyposażony został w dodatkową komorę przejściową, która w zależności od potrzeb może pełnić funkcję komory nityfikacji, lub denityfikacji. W komorach beztlenowej

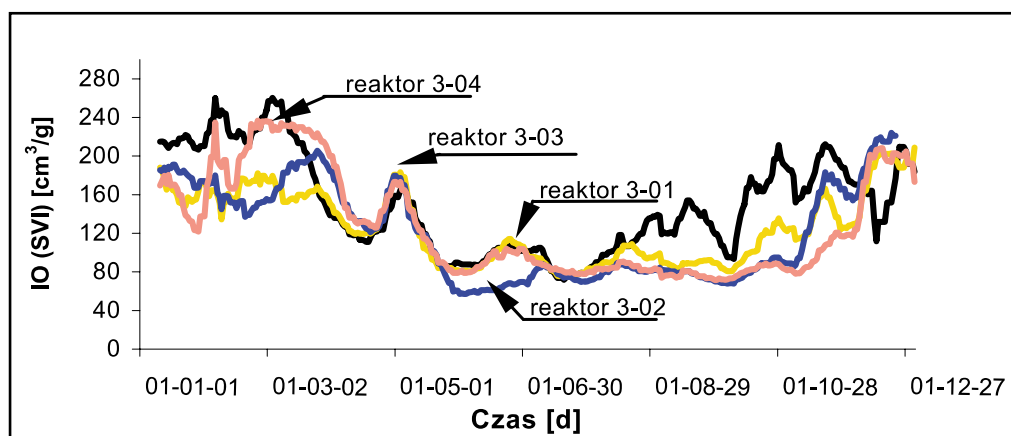
i niedotlenionych zaprojektowano przepływ cyrkulacyjny, a w strefie tlenowej zrealizowano tłokową komorę napowietrzania. W stopniu mechanicznym oczyszczalni, dla wzbogacania ścieków w lotne kwasy tłuszczowe, zrealizowano fermenter osadu wstępnego, którego eksploatację zastąpiono użytkowaniem osadników wstępnych, tzw. „aktywnych”, tj. pracujących z podwyższonym poziomem osadu (6).

Tabela 2. Parametry technologiczne procesu oczyszczania za rok 2001.

Parametr	Jednostka	Podstawowe parametry technologiczne procesu		
		Lato	Zima	Zakładane w projekcie
Stężenie osadu czynnego	$\text{g}_{\text{s.m.}}/\text{dm}^3$	2,7	3,6	3,5
Indeks osadu czynnego	$\text{cm}^3/\text{g}_{\text{s.m.}}$	80	240	140
Obciążenie osadu ładunkiem	$\text{g BZT}_5/\text{g}_{\text{s.m.}} \cdot \text{d}$	0,070	0,062	0,078
Wiek osadu	d	13	18	18
Przyrost osadu	$\text{g}_{\text{s.m.}}/\text{g BZT}_5 \text{ us.}$	1,0	0,62	-
Prędkość nityfikacji	$\text{g N}/\text{kg}_{\text{s.m.o.}} \cdot \text{d}$	26	25	-
Prędkość denityfikacji	$\text{g N}/\text{kg}_{\text{s.m.o.}} \cdot \text{d}$	39	41	48
Temperatura ścieków	$^{\circ}\text{C}$	20	12,8	10

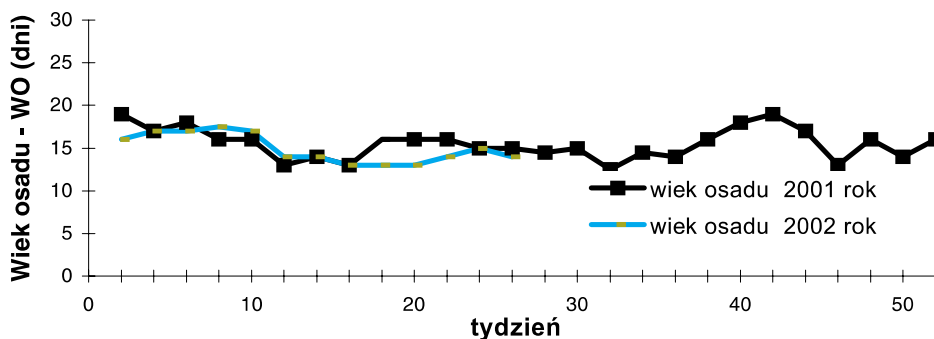
Problemy eksploatacyjne związane z powstawaniem piany i wzrostem indeksu osadu czynnego.

W oczyszczalni ścieków „Gdańsk - Wschód” obserwowane są co roku regularne trendy zmian indeksu osadu (SVI), zachodzące w określonych porach roku. Można zauważyć (rys. 2), że w roku 2001 najwyższe wartości SVI wystąpiły w okresie zimowym: styczeń/marzec - z maksimum 260 cm^3/g na przełomie styczeń/luty w reaktorze 3-04, natomiast najniższe w okresie maj/czerwiec w reaktorze 3-01 z minimum 60 cm^3/g .



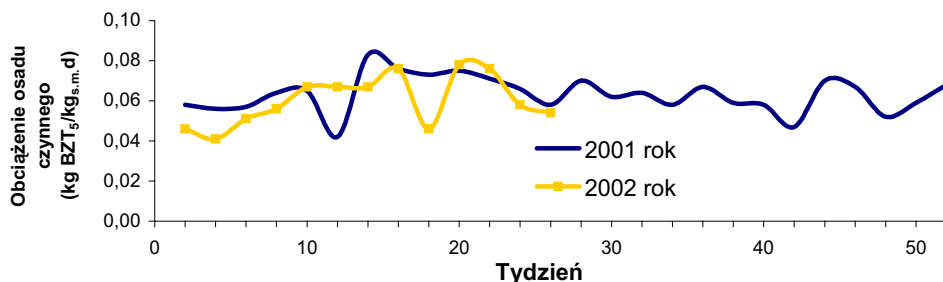
Rysunek 2. Indeks osadu na odpływie z reaktorów w roku 2001.

Zmiany wartości SVI w roku 2002 są prawie identyczne. Wykonywane równocześnie oznaczenia rozcieńczonego indeksu osadu (*Dissolved Sludge Volume Index* - DSVI) osiągały wartości dwukrotnie niższe od SVI i nie wskazywały na wystąpienie pienienia. Charakterystyka własności sedymentacyjnych układała się symetrycznie względem osi kanałów doprowadzających ścieki do reaktorów (zgodnie z rysunkiem 3 zamieszczonym w załączniku 1). Najgorszy indeks charakteryzował osad z bioreaktora 3-04, następnie 3-03, najlepszy z reaktorów 3-01 i 3-02. W tej samej kolejności pojawiało się pienienie komór napowietrzania w bioreaktorach. W roku 2000 pienienie dotyczyło tylko reaktorów z najwyższymi wartościami SVI, a w 1999 i 2002 roku wystąpiło na wszystkich. W 2001 roku udało się uniknąć całkowicie pienienia, obniżając zdecydowanie wiek osadu (do poniżej 15 dni) w okresie miesiąca poprzedzającego spodziewane jego wystąpienie. Korzystny, jak się wydaje, był tu brak większych opadów deszczu w okresie jesiennym. Analizując charakterystyczny rozkład i intensywność pienienia w komorach napowietrzania oraz rozdział ścieków zasilających reaktory, stwierdzono, że reaktory o najwyższej intensywności i częstotliwości powstawania piany biologicznej były zawsze zasilane zwiększoną ilością (10-15%) ścieków, dopływających podczas opadów deszczu, lub wzmoczonych dopływów wód roztopowych. Być może powodowało to zaszczerpienie osadu mikroorganizmami nitkowatymi, lub przyspieszało ich rozwój. Uśredniony wiek osadu dla okresów dwutygodniowych 2001 - 2002 r. nie wskazywał na realizację strategii najniższego wieku w oczyszczalni z powodu wielokrotnych problemów z funkcjonowaniem instalacji zagęszczania osadu.



Rysunek 3. Wiek osadu czynnego w latach 2001 - 2002.

Dość niskie obciążenie osadu czynnego, szczególnie zimą 2002 r., podczas prowadzonych rozruchów reaktorów po awariach i przy niskich temperaturach ścieków: średnio 12°C, prawdopodobnie przyspieszyło wystąpienie pienienia na powierzchni komór napowietrzania, powodując problemy z pienieniem jednocześnie na wszystkich reaktorach. Obciążenie osadu nie przekraczało zakładanego projektowo, lecz w okresie bardzo intensywnego pienienia było wyraźnie niższe.



Rysunek 4. Obciążenie osadu ładunkiem w latach 2001 -2002.

Od połowy stycznia 2002 r. procesy pienienia w komorach napowietrzania oraz powstawanie kożucha w osadnikach wtórnych występowały z największą intensywnością i utrzymywały się na najwyższym dotychczas poziomie. Piana i kożuch zajmowały od 70 do 100% powierzchni komór napowietrzania wszystkich reaktorów, przy czym w największym stopniu pokrywały reaktor 3-04. Prowadzone próby regulacji wieku osadu nie były skuteczne i zakłócały nityfikację. Zraszanie końcowych sekcji wybranych komór napowietrzania dla ograniczenia intensywności pienienia i zapobiegania tworzeniu się flotatu w osadnikach, przynosiło zauważalne efekty przy małej intensywności pienienia, tj. przy ok. 50 % zaleganiu piany na powierzchni komór, podobnie jak zraszanie flotującego osadu we wszystkich osadnikach wtórnych.

W ekstremalnych sytuacjach intensywne zraszanie osadników wtórnych nie zapobiegało „ucieczkom” osadu do odpływu. Poza tym, w niskich temperaturach, poniżej 5°C, przyrastający kożuch w osadnikach ulegał powierzchniowemu zamarzaniu, co hamowało, lub niekiedy wstrzymywało pracę zgarniaczy osadu. „Ucieczki” osadu (flotatu) z osadników wtórnych i dodatkowo destabilizacja procesów biologicznych usuwania azotu, spowodowały pogorszenie się jakości odpływu w styczniu i lutym, nawet 2-3 krotnie, w odniesieniu do ChZT, BZT₅, zawiesiny ogólnej i fosforu, oraz o ok. 30 % odnośnie azotu ogólnego. Zdecydowano o zastosowaniu PAX-16 do zwalczania piany i kożucha w jednym z wytypowanych reaktorów (3-04), w oparciu o doświadczenia krajowe oraz szwedzkie i holenderskie. Przed podjęciem prac technologicznych zlecono przeprowadzenie badań mających na celu identyfikację mikroorganizmów odpowiedzialnych za pienienie i tworzenie kożucha.

Identyfikacja bakterii nitkowatych w osadzie czynnym

Badania próbek kożucha pobranego z komory napowietrzania i komory denityfikacji wykonane zostały w Laboratorium Badawczo - Analitycznym „EKOKLAR” w Pile-Leszku. W obydwu wypadkach zaobserwowano masowe występowanie mikroorganizmów nitkowatych, nie posiadających

specyficznych wymagań odnośnie stężeń tlenu (zasiedlających równie chętnie środowisko tlenowe jak i beztlenowe). Ciągły wzrost tych bakterii uznano za przyczynę pienienia i flotacji osadu. Nie stwierdzono obecności grzybów. Wśród bakterii występujących w postaci skłębionych skupisk wyizolowano organizm z rodzaju *Microthrix parvicella* jako dominujący, tworzący silnie splecione kłębki wewnątrz i na zewnątrz kłaczek osadu czynnego. Nitki te nie wytwarzały pochewek, były Gram – dodatnie. Test siarkowy dawał wynik negatywny; czasem obserwowano granulki polifosforanów. Komórki tych bakterii mogły magazynować znaczne ilości substancji zapasowych i wykorzystywać je w warunkach anoksydacyjnych. Stwierdzono również sporadyczne występowanie Gram – dodatnich bakterii *Nostocoida limicola* w formie kulistych komórek.

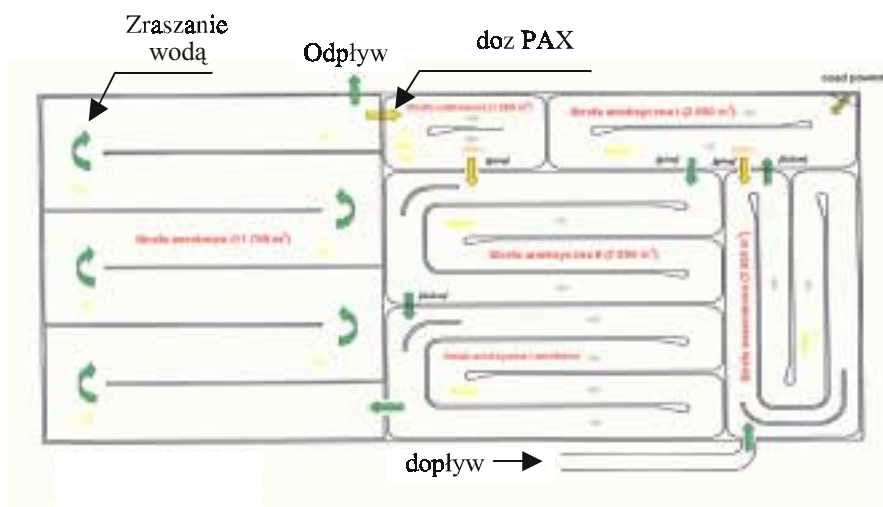
Nostocoida wykazuje zdolność do produkowania substancji powierzchniowo czynnych, przez co przyczynia się do powstawania piany. Pojedynczo zidentyfikowano sinicopodobne *Cyaanophyceae*, oraz należący do Gram – ujemnych Typ 021N. Bakterie sinicopodobne tworzą proste nitki, nie gromadzą substancji zapasowych w postaci granul siarki. Zalecenie wynikające z badań dotyczyło obniżania wieku osadu, mechanicznego zgarbiania kożucha, oraz dozowania związków glinu, lub związków żelaza. Proponowano dawki; glin: $3 \text{ g Al}^{+3}/\text{kgs.m.d}$, żelazo: $20 - 30 \text{ mg Fe}^{+3}/\text{dm}^3$.

Badania technologiczne nad zastosowaniem PAX-16 i PIX-113 do zwalczania piany i obniżenia indeksu osadu

Metodyka badań

- Do prób wytypowano reaktor 3-04 o najwyższej intensywności pienienia i tworzenia najgrubszej warstwy kożucha (ponad 90 % powierzchni), który od początku marca 2002 r. był w największym stopniu odpowiedzialny za pogorszenie jakości odpływu.
- Próby efektywności dozowania przeprowadzono koagulantem PAX-16; wodny roztwór chlorku poliglinu o zawartości 8,2% Al^{+3} i gęstości $1,33 \text{ g/cm}^3$, w okresie 7- 23 marca, przy dobowych przepływach ścieków 20000 - 26000 m^3/d i stężeniu osadu czynnego w tym okresie 4 g/dcm^3 . Dawkę dla każdej doby obliczano z ilorazu zużycia PAX i strumienia suchej masy odpływającego do osadnika wtórnego.
- Stosowano dawki 1,7 - 4,7 $\text{g Al}^{+3}/\text{kgs.m.d}$, zmniejszające się w czasie prób. Natężenie dozowania było stałe, dawka zmieniała się w funkcji przepływu.
- Dozowanie prowadzono do komory przelewowej na odpływie ścieków z komory napowietrzania do osadników wtórnych (symultanicznie).
- Do dozowania wykorzystano istniejącą instalację do wspomaganie defosfatacji; zbiornik z włókna poliestrowego (28 m^3), pompa dozująca Dosapro - Milton Roy 2 x 210 l/h, tłokowa, z regulacją wydajności falownikiem; przewody tłoczne giętkie z PVC o średnicy 20mm.

- W trakcie próby codziennie oznaczano stężenie i indeks osadu czynnego oraz, co dwa, lub trzy dni: ChZT, BZT₅, zawiesinę ogólną, azot ogólny i fosfor ogólny w odpływie ścieków z reaktora.



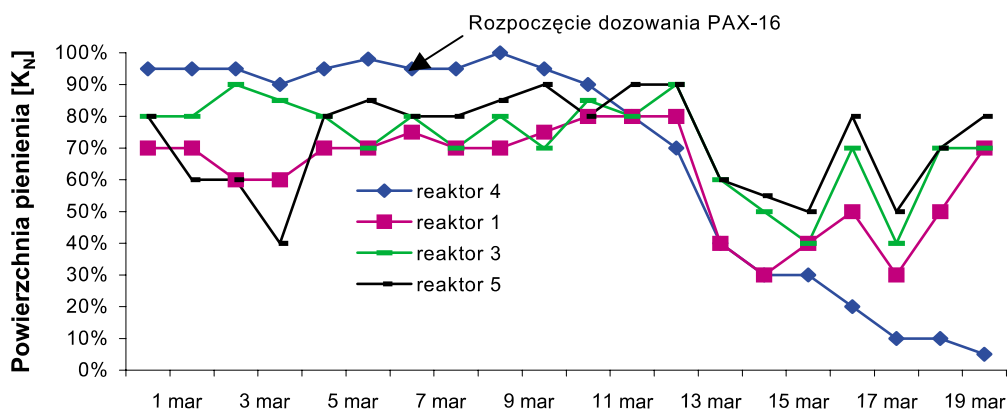
Rysunek 5. Lokalizacja punktu dozowania PAX-16 i zraszania powierzchni reaktora wodą.

Wyniki badań technologicznych

Skuteczność działania chlorku poliglinu.

- Bezpośrednio przed rozpoczęciem dozowania, powierzchnia pokrycia pianą komory napowietrzania była największa i przekraczała 90%; indeks osadu przyjmował wartości ok. 200 cm³/g, a w pozostałych trzech reaktorach średnio ok. 220 cm³/g; nityfikacja zachodziła ze zmiennym efektem ze względu na obniżanie wieku osadu; ścieki oczyszczone zawierały zawiesinę pochodzącą z flotującego osadu.
- W trakcie 18-dniowego okresu dozowania już w piątym dniu zaobserwowano sukcesywne zanikanie piany, a w 9 dniu jej redukcja obejmowała prawie 90% powierzchni komory napowietrzania. Typowa piana, spowodowana obecnością zidentyfikowanych organizmów nitkowatych, była widoczna na ok. 5-10% powierzchni komory napowietrzania, podobnie jak kożuch w osadnikach wtórnych. Całkowicie zniknął kożuch z komór denitryfikacji (I i II).
- Po 12 dniach indeks osadu obniżył się do poziomu zadowalającego, tj. 150 cm³/g, gdy tymczasem indeks osadu na pozostałych reaktorach wzrósł do 245 cm³/g, lub pozostawał na poprzednim poziomie tj. 220 cm³/g.
- Nieznaczny wzrost indeksu osadu o ok. 30 cm³/g stwierdzono po upływie miesiąca od zakończenia dozowania, a w połowie maja indeksy osadu na wszystkich reaktorach były porównywalne i osiągały wartość ok. 180 cm³/g.

- Prawdopodobnie zadziałała zależność sezonowa rytmu życia *Microthrix parvicella*, której liczebność zmniejsza się samoczynnie w okresie wiosny (7).
- Na pozostałych reaktorach zaczęto obserwować częściowe ustępowanie piany już w drugiej połowie marca, lecz w kwietniu, a nawet w I połowie maja, obserwowano jeszcze znaczną intensywność pienia na dwóch reaktorach (3-03 i 3-05), podczas gdy ilość piany na powierzchni komory napowietrzania reaktora, do którego wcześniej dozowano PAX-16, wzrosła tylko nieznacznie, tj. do ok. 25%.
 - Także wzrost temperatury ścieków do ok. 15°C przyczynił się do likwidacji procesów pienia, co również obserwowano w latach ubiegłych.
 - W obserwacjach mikroskopowych, prowadzonych w oczyszczalni według czterostopniowej skali rozpowszechniania nitkowatych (pojedyncze, nie-liczne, liczne, bardzo liczne), przed dozowaniem w kłaczkach stwierdzano bardzo liczne bakterie nitkowate i bardzo liczne kłęby porzrzucanych nitki poza kłaczkami. Wartość indeksu nitkowatych, według subiektywnej skali rozpowszechniania nitkowatych (Jenkins i in., 1986 - cyt. za Wannner, 2000) była zbliżona do 5 (FI=5). Po okresie dozowania bakterie nitkowate skupione były również bardzo licznie w kłaczkach osadu, poza kłaczkami nitki występowały licznie i były krótsze (FI =4).



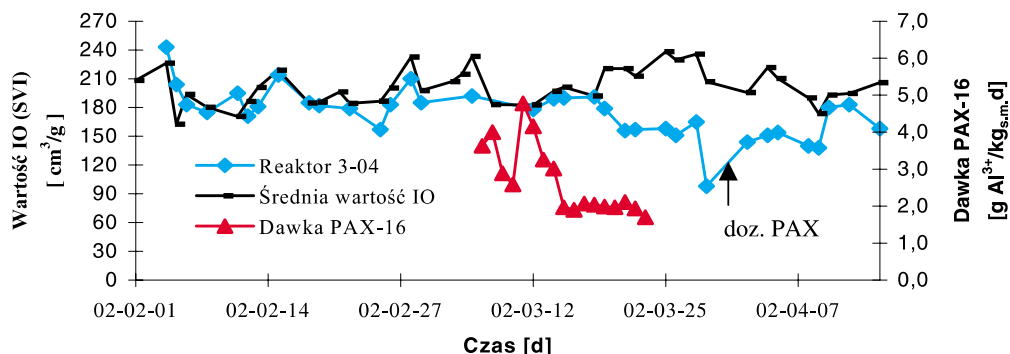
Rysunek 6. Ustępowanie pienia w reaktorze 3-04 pod wpływem dozowania PAX-16.

Analizując zmiany wartości innych wskaźników, jak ChZT, BZT₅ można zauważyć, że po upływie 7-8 dni od rozpoczęcia dozowania, wartości te nieznacznie wzrosły (o ok. 10 %).

Zanotowano również minimalny wzrost azotu amonowego, a także spodziewany, niewielki spadek fosforu na odpływie z osadników wtórnych.

Zbyt krótki okres prób i niewystarczająca ilość pomiarów nie pozwala na stwierdzenie wpływu chlorku poliglinu na procesy biologicznego usuwania

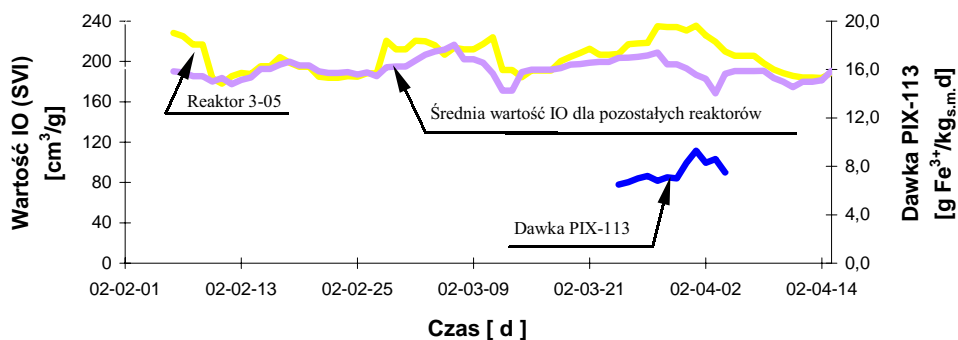
węgla, lub azotu, tym bardziej, że dotychczasowe doniesienia literaturowe tego wpływu nie potwierdzają.



Rysunek 7. Obniżenie indeksu osadu w reaktorze 3-04 pod wpływem dozowania PAX-16.

Próba likwidacji pienienia z wykorzystaniem koagulantu żelazowego PIX-113.

Dla porównania skuteczności działania preparatu żelazowego na tle efektów uzyskiwanych z PAX-16, w okresie od 24 marca do 10 kwietnia dozowano PIX-113 do reaktora 3-05, na którym utrzymywała się stosunkowo intensywna piana biologiczna. Warunki przeprowadzania próby były identyczne jak w przypadku dozowania chlorku poliglinu. W całym okresie dozowania PIX-113 (dawka wahała się 6,5-9,3 g $\text{Fe}^{3+}/\text{kg}_{\text{s.m.}}\text{d}$) nie uzyskano poprawy indeksu osadu i intensywności pienienia



Rysunek 8. Zmiany indeksu osadu podczas dozowania PIX - 113

Ponieważ podczas ok. dwukrotnie dłuższego okresu dozowania PIX-113 nie zaobserwowano widocznych efektów poprawy, tak jak w przypadku stosowania PAX-16, uznano, że przedłużanie tej próby mogłoby przynieść jedynie wynik pozytywny, ale ekonomicznie niezasadniony. Odstąpiono od kontynuowania próby po 2 tygodniach dozowania PIX-u.

Wnioski

1. Dozowanie PAX-16 (chlorku poliglinu) do komór napowietrzania reaktora MUCT okazało się skutecznym zabiegiem w gdańskiej oczyszczalni ścieków „Wschód” dla zwalczania pienienia osadu czynnego i kożucha wywołanego nadmiernym rozwojem bakterii nitkowatych z rodzaju *Microthrix parvicella*.
2. Już po pięciu dniach dozowania PAX-u, w ilości 1,7 - 4,7 g Al.⁺³/kg_{s.m.} d, procesy pienienia zaczęły ustępować, a po 8 dniach, zostały prawie całkowicie zlikwidowane; podobnie ustępował kożuch z powierzchni osadników wtórnych. Wyraźną poprawę indeksu osadu zaobserwowano po dwóch tygodniach dozowania koagulantu.
3. Niewielki wzrost wartości ChZT i BZT₅ w ściekach oczyszczonych, który wystąpił w końcowej fazie dozowania, nie znajduje potwierdzenia w dotychczasowych doniesieniach literaturowych, w związku z czym wymaga wyjaśnienia w dalszych obserwacjach i badaniach.
4. Dwutygodniowy okres dozowania wodnego roztworu siarczanu żelaza (PIX-113) w dość znacznej ilości 6,5-9,3 g Fe⁺³/kg_{s.m.} d nie przyniósł zauważalnej poprawy w zmniejszeniu intensywności pienienia w komorze napowietrzania oraz w likwidacji kożucha zalegającego w osadnikach wtórnych i komorach denitryfikacji.

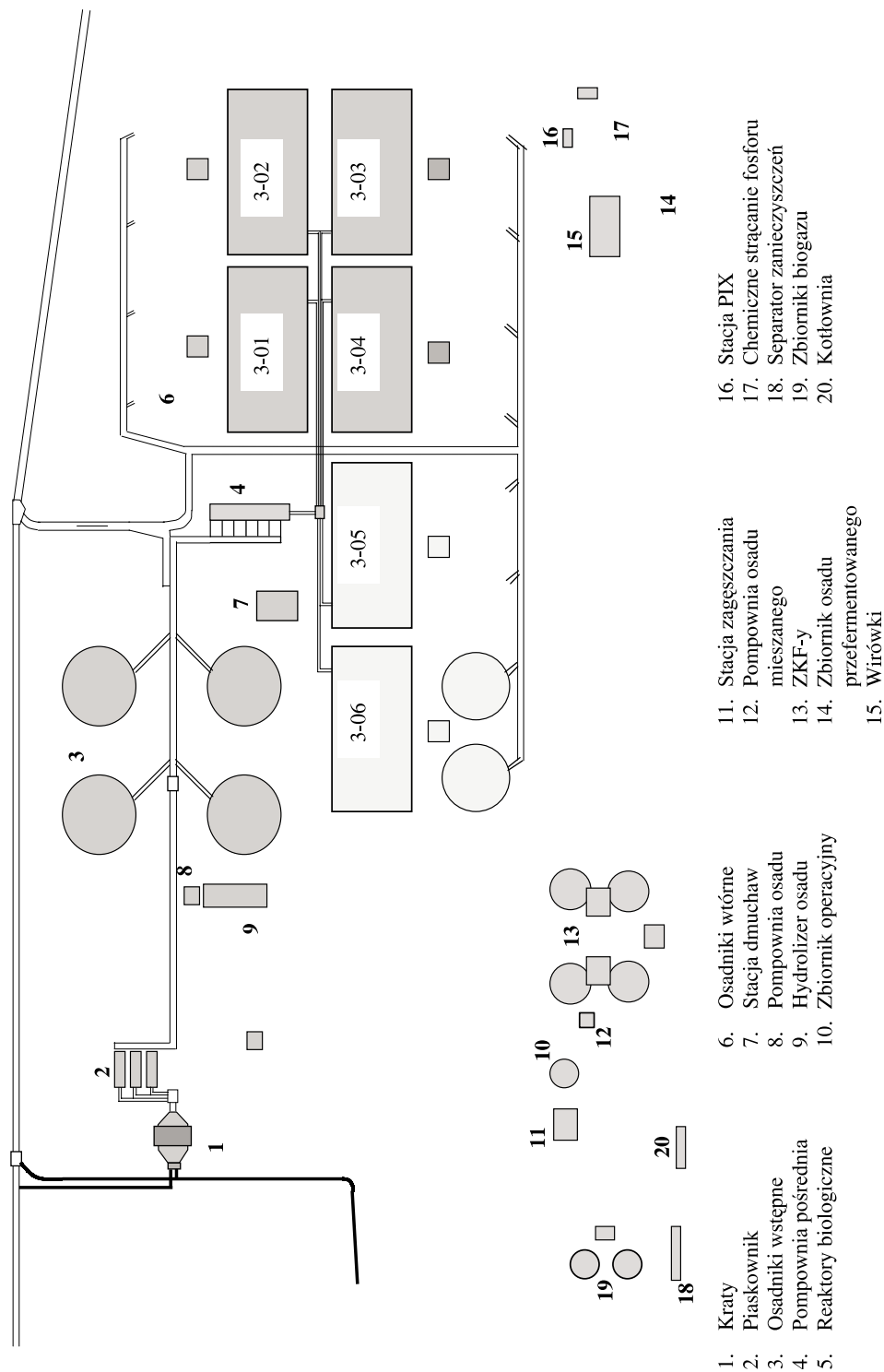
Literatura

1. Wanner J. (2000): Kontrola puchnięcia osadu czynnego, powodowanego przez bakterie nitkowate. Materiały seminarium szkoleniowego: Filozofia projektowania a eksploatacja oczyszczalni ścieków, Kraków 28 - 29.06.2000, 143 -170.
2. Eikelboom, D. H. (1997): Control of *Microthrix parvicella* by addition of PAX-14. TNO-report. TNO-MEP - R 97/305. TNO Institute of Environmental Sciences, Energy Research and Process Innovation.
3. Rothman M. (2000): Doświadczenia eksploatacyjne z oczyszczalni Bromma w Sztokholmie: Nitryfikacja przy krótkim wieku osadu i zwalczanie puchnięcia osadu. Materiały seminarium szkoleniowego: Filozofia projektowania a eksploatacja oczyszczalni ścieków, Kraków 28 - 29.06.2000, 77 - 83.
4. Traczewska, T. M. (1997): Biotyczne i abiotyczne uwarunkowania pęcznienia osadu czynnego. Ochrona Środowiska.
5. Bazeli M. (2001): Biologiczne kryteria oceny procesu oczyszczania ścieków (mikroskopowe obserwacje osadu czynnego). Gdańska Fundacja Wody, Gdańsk 2001.
6. Geneja M., Gielert M., Swinarski M., (2000): Efektywność usuwania zanieczyszczeń w oczyszczalni „Wschód” w okresie wstępnej eksploatacji. Konferencja naukowo - techniczna: Oczyszczalnia Ścieków „Wschód” w Gdańsku największą inwestycją ochrony Bałtyku u progu 21 wieku. Politechnika Gdańska, Wydział Budownictwa Wodnego i Inżynierii Środowiska.

7. Kubicka - Formela U. (2002): Praca dyplomowa: Technologiczne aspekty występowania mikroorganizmów nitkowatych w wielofazowych systemach osadu czynnego. Politechnika Gdańska, Wydział Budownictwa Wodnego i Inżynierii Środowiska.

Tabela 3. Zestawienie wyników dozowania PAX-16 i PIX-113 do reaktorów biologicznych.

L.p.	Rok 2002	Dawka PAX-16 kg Al ⁺³ /kgs.m.*d	Indeks osadu cm ³ /g	ChZT mgO ₂ /dm ³	BZT ₅ mgO ₂ /dm ³	Zaw.og. mg/dm ³	Azot og. mgN/dm ³	P og. mgP/dm ³
1	styczeń	-	191	80	20	51	18	2,0
2	lut	-	216	66	17	28	16	1,1
3	reaktor 3-04 marzec 01-06.03	-	192	107	27	41	17	1,62
4	marzec							
5	07.03	3,63		56	14	10	17	0,29
6	08.03	4,00		44	7,5	8	14	0,45
7	09.03	2,89						
8	10.03	2,59						
9	11.03	4,78	178	65	7,4	12	15	0,33
10	12.03	4,16		58	11,5	14	13	0,4
11	13.03	3,26	189	72	8,3	10	12	0,41
12	14.03	3,02	190	107	16,8	15	16	0,91
13	15.03	1,97		31	15,2	18	12	0,33
14	16.03	1,90						
15	17.03	2,07	191					
16	18.03	2,04	179					
17	19.03	1,99		40		22	13	0,92
18	20.03	1,97						
19	21.03	2,11	156					
20	22.03	1,94	157	39		21	13	0,54
21	23.03	1,70						
22	reaktor 3-05	dawka PIX-113 kg Fe ⁺³ /kgs.m.*d						
23	24.03	6,5	245					
24	25.03	6,7	221	39		14	11	8,3
25	26.03	6,9						
26	27.03	7,1						
27	28.03	6,8	239	44	13,0	21	12	0,28
28	29.03	7,1	232					
29	30.03	7,0						
30	31.03	8,3						
31	01.04	9,3						
32	02.04	8,3	207	51	14,6	-	15	0,45
33	03.04	8,6						
34	04.04	7,5	213					



Rysunek 9. Schemat technologiczny Oczyszczalni Ścieków „Gdańsk-Wschód”.