

Ewa LIWARSKA-BIZUKOJC
Izabela DONIEC
Politechnika Łódzka

PORÓWNANIE OSADÓW CZYNNYCH Z TRZECH RÓŻNYCH OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW WOJEWÓDZTWA ŁÓDZKIEGO

W pracy porównano zdolności sedymentacyjne, aktywność biochemiczną, morfologię i skład mikrobiologiczny trzech osadów czynnych pochodzących z różnych oczyszczalni ścieków komunalnych województwa łódzkiego. Skoncentrowano się głównie na sprawdzeniu, czy istnieją zależności między morfologią kłaczków osadu a właściwościami sedymentacyjnymi badanych osadów czynnych. Osad czynny pobierano z części aerobowej ciągu biologicznego oczyszczalni ścieków. Do oceny morfologii kłaczków osadu czynnego wykorzystano cyfrową analizę obrazu, a aktywność biochemiczną oceniono na podstawie aktywności dehydrogenaz. Przeprowadzone badania potwierdziły brak związku między aktywnością biochemiczną osadów a zdolnościami sedymentacyjnymi. Istnieje natomiast zależność między wielkością kłaczków a zdolnościami sedymentacyjnymi osadu czynnego, jak również między liczbą bakterii nitkowych a zdolnościami sedymentacyjnymi osadu czynnego. Silne rozdrobnienie kłaczków i dominacja kłaczków o średnicy poniżej 100 μm przyczyniają się do pogorszenia zdolności sedymentacyjnych osadu czynnego. Przedstawione w pracy wyniki badań, jak również wcześniejsze prace badawcze wskazują, że liczba obiektów na obrazie może być uzupełniającym, w stosunku do średnicy kłaczków, wskaźnikiem zdolności sedymentacyjnych osadu czynnego.

1. Wprowadzenie

Osad czynny to najczęściej stosowana technologia biologicznego oczyszczania ścieków. Pomimo że jej początki sięgają drugiego dziesięciolecia XX w., jest ona wciąż przedmiotem badań wielu naukowców. Badania te mogą dotyczyć zagadnień mikrobiologicznych (np. składu osadu czynnego), biochemicznych (np. aktywności metabolicznej), matematycznych (np. kinetyki wzrostu biomasy osadu) czy wreszcie inżyniersko-technologicznych (np. zdolności sedymentacyjnej osadu).

Pod względem mikrobiologicznym osad czynny składa się głównie z bakterii i pierwotniaków. Szczególną uwagę należy zwrócić na duże zróżnicowanie gatunkowe mikroorganizmów osadu czynnego. W identyfikacji wybranych ga-

tunków bakterii niezwykle przydatne są metody biologii molekularnej [2, 22]. Pozwalają one stwierdzić, czy np. w osadzie obecne są niezbędne do utleniania azotu amonowego bakterie nitryfikujące *Nitrosomonas sp.* czy *Nitrospira sp.* [3]. Oprócz identyfikacji gatunkowej ważna jest też morfologia kłaczek osadu czynnego. Dotychczas najbardziej przydatne były pomiary wielkości kłaczek, a zwłaszcza ich średnicy [1]. Kłaczki ze względu na średnicę dzieli się na małe ($d < 100 \mu\text{m}$), średnie ($100 < d < 500 \mu\text{m}$) i duże ($d > 500 \mu\text{m}$). Współczesne techniki cyfrowej analizy obrazu umożliwiają ocenę kształtu kłaczek, oszacowanie liczby bakterii nitkowych oraz określenie udziału bakterii zdolnych do akumulacji fosforanów (PAO) na podstawie zgromadzonego wewnątrzkomórkowo poli- β -hydroksymaślanu (PHB) [19].

W ocenie ogólnego stanu aktywności biochemicznej osadu najczęściej stosuje się oznaczenie aktywności oddechowej poprzez pomiar szybkości zużycia tlenu przez osad oraz oznaczenie aktywności dehydrogenaz. Dehydrogenazy to enzymy z klasy oksydoreduktaz katalizujące początkowe odwodorowanie substratu. Zasada oznaczania aktywności dehydrogenaz oparta jest na redukcji biologicznie czynnych substancji soli tetrazoliowych do trójfenyloformazanu. Sole tetrazoliowe pełnią rolę biorcy wodoru podczas procesów oksydoredukcyjnych i z substancji bezbarwnych przechodzą w barwny trójfenyloformazan. Do oznaczenia aktywności dehydrogenaz stosowanych jest kilka różnych soli tetrazoliowych. Historycznie najstarszym związkiem tetrazoliowym jest chlorek 2, 3, 5 trójfenylotetrazoliowy (TTC). Następnie stosowano chlorek 2-(p-jodofenylo)-3-(p-nitrofenylo)-5-fenylo-2,3,4-tetrazoliowy (INT) oraz chlorek 5-cyano-2,3-ditolilolo-2,3,4-tetrazoliowy (CTC) [15, 17]. Ten ostatni charakteryzuje się (podobną do INT) strukturą molekularną, jednakże podczas chemicznej lub biologicznej redukcji powstaje formazan o właściwościach fluorescencyjnych. Dlatego też CTC ma częstsze zastosowanie niż TTC i INT, np. do określania liczby aktywnych komórek za pomocą mikroskopu epifluorescencyjnego [21].

Spośród matematycznych opracowań na temat osadu czynnego warto wymienić modele opisujące usuwanie ze ścieków związków węgla, azotu i fosforu. Obecnie do najczęściej stosowanych należą modele osadu czynnego (ASM), opracowane przez grupę zadaniową International Water Association (IWA). Na rozwiązanie równań zawartych w tych modelach, a tym samym na ich zdolność predykcyjną, mają wpływ przyjęte postacie równań kinetycznych oraz oszacowane wartości parametrów kinetycznych i współczynników stechiometrycznych związanych ze wzrostem różnych frakcji biomasy osadu czynnego [10].

W codziennej eksploatacji oczyszczalni ścieków kluczowe znaczenie mają właściwości sedymentacyjne osadu. Można wyróżnić kilka niekorzystnych zjawisk, których wystąpienie pogarsza zdolności sedymentacyjne osadu, utrudniając bądź nawet uniemożliwiając separację biomasy osadu czynnego od oczyszczonych ścieków. Są to [2]:

- wystąpienie kłaczków typu *pin-point*, czyli kłaczków o małej średnicy,
- wzrost dyspersyjny bakterii wolno pływających,
- puchnięcie osadu wywołane dużą ilością bakterii nitkowych,
- pienienie osadu wywołane na ogół obecnością trudno degradowalnych surfaktantów lub nadmiernym przyrostem niektórych bakterii nitkowych, np. *Microthrix parvicella*,
- pojawienie się kożucha osadowego.

Wystąpienie tych zjawisk zależy od składu mikrobiologicznego osadu, morfologii kłaczków osadu czynnego, a także od parametrów technologicznych i warunków panujących w komorach osadu czynnego. Wiele źródeł literaturowych podaje, że osad czynny o dobrych zdolnościach sedymentacyjnych charakteryzuje się indeksem objętościowym Mohlmana w przedziale od 50 do 150 $\text{ml} \cdot \text{g Z}_{\text{og}}^{-1}$ lub poniżej 150 $\text{ml} \cdot \text{g Z}_{\text{og}}^{-1}$ [9, 10, 16]. Należy jednak wspomnieć, że nie tylko indeks objętościowy Mohlmana bądź inne tego typu indeksy, m.in. indeks Donaldsona, indeks DSVI (ang. *diluted sludge volume index*), mogą być wskaźnikami właściwości sedymentacyjnych osadu. W najbliższej przyszłości bardzo przydatne mogą okazać się niektóre parametry morfologiczne kłaczków oraz/lub obliczona obiektywnie, za pomocą programu komputerowego do cyfrowej analizy obrazu, liczba bakterii nitkowych.

W pracy porównano zdolności sedymentacyjne, aktywność biochemiczną, morfologię i skład mikrobiologiczny trzech osadów czynnych pochodzących z różnych oczyszczalni ścieków komunalnych województwa łódzkiego. Głównym celem pracy jest sprawdzenie zależności między właściwościami sedymentacyjnymi a morfologią i składem mikrobiologicznym badanych osadów czynnych.

2. Materiały i metody

Badane osady czynne

Osady pobierano z trzech różnych mechaniczno-biologicznych oczyszczalni ścieków położonych na terenie województwa łódzkiego. W każdym przypadku ciąg biologiczny, choć zrealizowany według różnych technologii, umożliwiał usuwanie ze ścieków związków węgla, azotu i fosforu. Oczyszczalnie różnią się między sobą przepustowością: oczyszczalnia A oczyszcza średnio 195 000 m^3/d ścieków, oczyszczalnia B – 11 500 m^3/d , oczyszczalnia C – 5 000 m^3/d . Osad czynny pobierano z części aerobowej ciągu biologicznego w ilości 3 l. Pobór osadu z każdej oczyszczalni ścieków był przeprowadzony kilkakrotnie w okresie od października do grudnia 2009 r. W tabeli 1. porównano układy i parametry technologiczne w trzech badanych oczyszczalniach ścieków.

Tabela 1. Układy i parametry technologiczne w trzech badanych oczyszczalniach ścieków

Parametr	Oczyszczalnia A	Oczyszczalnia B	Oczyszczalnia C
Układ technologiczny części biologicznej	zmodyfikowany UCT (3-stopniowy)	Phoredox (3-stopniowy)	Bardenpho (5-stopniowy)
Średni przepływ dobowy [$\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$]	195 000	11 500	5 000
Średnie obciążenie osadu ładunkiem BZT ₅ [$\text{g BZT}_5 \text{ g s.m.}^{-1}$]	0,07	0,11	0,12
Wiek osadu [d]	8-10	19-22	10-12
s.m. [$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$]	3,5-5,7	3,8-4,5	3,2-5,4
s.m.o. [$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$]	2,1-4,2	2,4-3,1	1,9-3,8
Z_{org} [$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$]	2,9-4,7	3,2-3,9	2,4-4,0
Z_{org} [$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$]	1,9-3,8	2,1-2,8	1,9-3,4
I_O [$\text{ml} \cdot \text{gZ}_{\text{org}}^{-1}$]	134-190	41-49	115-130 + kożuch

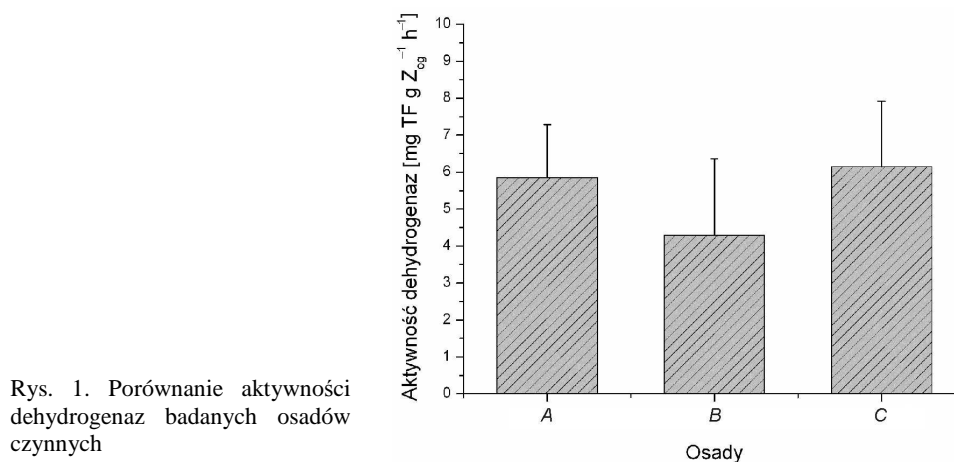
Oznaczenia i pomiary

Oznaczenia i pomiary przeprowadzono, bądź przynajmniej rozpoczęto ich wykonywanie, w ciągu pierwszych dwóch godzin po pobraniu osadu. Każdorazowo wykonywano oznaczenia wagowe: suchej masy (s.m.), suchej masy organicznej (s.m.o.), zawiesiny ogólnej (Z_{og}), zawiesiny organicznej (Z_{org}), oraz indeksu objętościowego Mohlmana według standardowej metodyki [11]. Ponadto oznaczano aktywność dehydrogenaz osadu czynnego, zgodnie z metodyką podaną przez Mikscha [17].

Pomiary parametrów morfologicznych kłaczek osadu czynnego przeprowadzono z zastosowaniem technik cyfrowej analizy obrazu. Pierwszym etapem było przygotowanie przyżyciowych (mokrych), niebarwionych preparatów ze świeżej próby osadu czynnego. Przygotowano trzy niezależne preparaty mikroskopowe. Obserwacje mikroskopowe prowadzono za pomocą mikroskopu świetlnego Olympus BX40 w jasnym polu z niebieskim filtrem przy użyciu apochromatycznego obiektywu 10x. Z każdej próby osadu wykonano co najmniej 40 obrazów kolorowych w modelu RGB (Red, Green, Blue). Zapisane obrazy poddano cyfrowej obróbce w programie Micro Image 4.0 (Media Cybernetics dla Olympus). Mierzono następujące parametry morfologiczne kłaczek osadu czynnego: średnie pole powierzchni rzutu kłaczka (A), średnica (d), obwód (P), obwód wypukły kłaczka (P_w) oraz indeks kolistości (C_X) [18]. Szczegółowy opis analizy obrazu kłaczek osadu czynnego oraz definicje mierzonych parametrów morfologicznych można znaleźć w pracach [13, 14]. Skład mikrobiologiczny oceniono zgodnie z metodyką podaną przez Eikelbooma i van Buijsena [7].

3. Wyniki badań i dyskusja

Przeprowadzone badania wykazały, że wszystkie osady czynne były aktywne pod względem biochemicznym według testu aktywności dehydrogenaz. Co więcej aktywność ta kształtowała się na podobnym poziomie. Dla osadów *A* i *C* wynosiła średnio od 5,8 do 6,15 mg TF g Z_{0g} h⁻¹. Natomiast osad *B* był mniej aktywny od pozostałych dwóch. Aktywność dehydrogenaz dla tego osadu wynosiła średnio ok. 4,3 mg TF g Z_{0g} h⁻¹. Warto zwrócić uwagę na duże przedziały ufności wyznaczone dla poszczególnych osadów, co dobrze ilustruje rys. 1. Świadczą one o dużej zmienności aktywności dehydrogenaz osadu czynnego, a wynikają z tego, że pomiar aktywności dehydrogenaz jest testem enzymatycznym. Aktywność enzymów podlega zwykle dużym fluktuacjom [17].



Rys. 1. Porównanie aktywności dehydrogenaz badanych osadów czynnych

W tabeli 2. zebrano średnie, minimalne i maksymalne wartości mierzonych parametrów morfologicznych. Parametry opisujące wielkość kłaczków jednoznacznie wskazują, że w osadzie *C* dominowały kłaczkiki małe. Średnia średnica kłaczków osadu *C* znajdowała się znacznie poniżej granicy podanej w literaturze dla kłaczków małych, czyli poniżej 100 μ m [7]. Wynosiła ona 59 μ m. Kłaczkiki osadu *A* i *B* należy zakwalifikować, na podstawie wartości średnich średnic, do kłaczków o średniej wielkości (tab. 2.).

Podstawowym i najbardziej obiektywnym parametrem opisującym wielkość kłaczków jest pole powierzchni rzutu kłaczków. Wadą tego parametru jest to, że trudniej posługiwać się nim w praktyce i trudniej porównywać jego wartości. Są to przecież liczby rzędu tysięcy mikrometrów kwadratowych. Najprawdopodobniej dlatego też dotychczas nie określono podziału wielkości kłaczków na podstawie pola powierzchni rzutu, choć od ok. 15 lat można je obiektywnie zmierzyć za pomocą cyfrowej analizy obrazu [4-6, 8]. Nadal obowiązuje, istniejący już od kilkudziesięciu lat, podział wielkości kłaczków na podstawie ich

średnic. Podział ten wprowadzono, gdy średnice kłaczków były mierzone jeszcze za pomocą mikrometru. Porównując wartości średnich pól powierzchni rzutu kłaczków trzech badanych osadów, obserwuje się jeszcze bardziej widoczną różnicę między wielkością kłaczków z osadów *A* i *B* a tymi z osadu *C*, niż w przypadku średnic. Średnie pole powierzchni rzutu wynosiło $23375 \mu\text{m}^2$ dla kłaczków z osadu *A*, $20410 \mu\text{m}^2$ dla kłaczków z osadu *B* i zaledwie $4880 \mu\text{m}^2$ dla kłaczków z osadu *C*. Osad *C* charakteryzował się 4- i 5-krotnie mniejszymi kłaczkami niż pozostałe dwa badane osady.

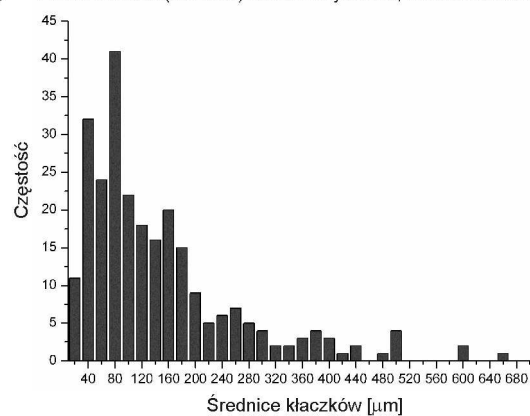
Tabela 2. Zestawienie parametrów morfologicznych dla trzech badanych osadów

Parametr	Osad <i>A</i>	Osad <i>B</i>	Osad <i>C</i>
Średnie pole powierzchni rzutu [μm^2]	23375	20410	4880
Min-max pole powierzchni rzutu	227-256 723	221-289 438	219-172 455
Średnia średnica [μm]	138	131	59
Min-max średnica [μm]	17-657	16-636	15-485
Średni obwód [μm]	824	662	374
Min-max obwód [μm]	87-5117	63-4570	61-3644
Średni obwód wypukły [μm]	567	505	247
Min-max obwód wypukły [μm]	65-3172	56-2840	56-1896
Średni indeks kolistości [-]	3,77	2,91	4,16
Min-max indeks kolistości [-]	1,05-13,51	1,22-11,41	1,17-14,43

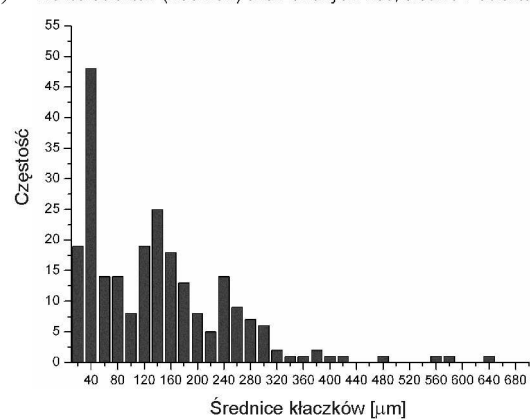
Analizując parametry związane z kształtem kłaczków, czyli indeks kolistości i wypukłość, można stwierdzić, że kłaczki nie są obiektami zbliżonymi do koła. Średnie wartości indeksu kolistości są w przypadku wszystkich trzech osadów znacznie wyższe od granicznej wartości podawanej w literaturze dla obiektów kolistych, a mianowicie od 1,2 [20]. We wszystkich trzech osadach dominowały kłaczki nieregularne, a średnie wartości indeksu kolistości wynosiły 3,77, 2,91 i 4,16, odpowiednio dla osadów *A*, *B* i *C*. Na podstawie tych wartości oraz prowadzonych obserwacji mikroskopowych można stwierdzić, że kłaczki osadu *B* są nieco zaokrąglone, w porównaniu z kłaczkami osadu *A* i *C*. Wypukłość jest to stosunek obwodu wypukłego do obwodu rzeczywistego mierzonego obiektu [13, 20]. Parametr ten służy do oceny gładkości linii brzegowej kłaczka. Im wypukłość jest mniejsza od jedności, tym więcej nierówności ma linia brzegowa kłaczka. Okazało się, że najbardziej gładka jest linia brzegowa osadu *B* (tab. 2.).

Dużo informacji na temat zróżnicowania wielkości kłaczków dostarczają rozkłady ich wielkości, opracowane na podstawie średnic kłaczków mierzonych w każdej z serii pomiarowych, czyli dla każdego, pojedynczego poboru osadu z danej oczyszczalni ścieków. Przykładowe rozkłady wielkości kłaczków dla każdego z badanych osadów przedstawiono na rys. 2a-c.

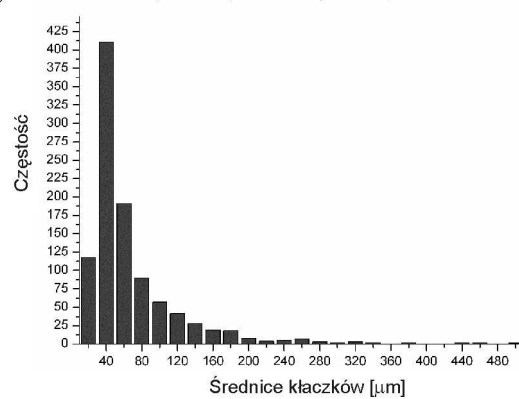
a) Liczba obiektów (kłaczków) analizowanych: 260; średnio 8 obiektów na obraz



b) Liczba obiektów (kłaczków) analizowanych: 239; średnio 7 obiektów na obraz



c) Liczba obiektów (kłaczków) analizowanych: 1014; średnio 27 obiektów na obraz



Rys. 2. Rozkład średnic kłaczków dla osadu czynnego A (a), B (b) i C (c)

Porównując rozkłady wielkości kłaczków z trzech badanych oczyszczalni, nasuwają się dwa zasadnicze spostrzeżenia. Po pierwsze kłaczkosy osadu *A* i *B* są znacznie bardziej zróżnicowane pod względem wielkości niż kłaczkosy osadu *C*. W osadzie *A* obecne są kłaczkosy o średnicach poniżej 20 μm , ale jest też dużo kłaczków o średnicy 200-300 μm , a nawet obecne są kłaczkosy o średnicy 500 μm . Podobnie sytuacja przedstawia się dla osadu *B*. W przypadku zaś osadu *C* najczęściej występującą grupą są kłaczkosy o średnicach od 20 do 40 μm , które stanowią 40% wszystkich analizowanych kłaczków. Kłaczkosy o średnicach powyżej 500 μm nie były w ogóle obecne w osadzie *C*. Górne granice średnic zmierzonych dla kłaczków osadu *A* i *B* wynosiły odpowiednio 660 i 640 μm .

Drugie spostrzeżenie wynikające z porównania rozkładów wielkości kłaczków dotyczy liczby analizowanych obiektów. We wszystkich seriach pomiarowych przeprowadzonych dla osadów *A* i *B* liczba analizowanych obiektów w pojedynczej serii wynosiła między 200 a 300. Natomiast w przypadku osadu *C* było zawsze powyżej 1000 obiektów. Należy dodać, że w każdej serii pomiarowej wykonywano tyle samo obrazów. Duża liczba obiektów na obrazie świadczy o rozdrobnieniu kłaczków. W przypadku dwóch osadów (*A* i *B*) liczba analizowanych obiektów na obrazie wynosiła między 6 a 8, a dla osadu czynnego *C* było to średnio 27 obiektów na obraz. Wydaje się, że liczba obiektów na obrazie może być pomocniczym wskaźnikiem do oceny wielkości kłaczków. Nie zastąpi ona oczywiście średnicy i pola powierzchni rzutu kłaczków, ale ze względu na swoją prostotę może być uwzględniana w ocenie morfologii tych kłaczków. Na podstawie zebranych w pracy danych oraz doświadczeń zdobytych we wcześniejszych badaniach (w latach 2003-2007) można stwierdzić, że graniczna liczba kłaczków na obrazie, powyżej której obserwuje się nadmierne rozdrobnienie kłaczków, wynosi między 14 a 16 obiektów na obraz.

W tabeli 3. porównano skład mikrobiologiczny badanych osadów czynnych. Wszystkie trzy osady charakteryzowały się dużą różnorodnością mikrobiologiczną. Obecne były w nich licznie różne gatunki pierwotniaków, w tym orzęski osiadłe. Obecność tych ostatnich świadczy o właściwym, nie za wysokim obciążeniu osadu ładunkiem zanieczyszczeń i prawidłowym przebiegu biologicznego oczyszczania ścieków [12].

W osadzie *C* zaobserwowano, że – pomimo obecności orzęskosy osiadłych i wrotkosy – liczba bakterii wolno pływających była nieznacznie większa niż w osadach *A* i *B* (tab. 3.). W osadach *A* i *C* było więcej bakterii nitkowosy niż w osadzie *B*, w którym występowały sporadycznie. Osad *B* odpowiadał kategorii 0, a pozostałe dwa osady kategorii 2., według klasyfikacji podanej przez Eikelboom i van Buijsena [7]. Znalazło to odzwierciedlenie w wartościach indeksu objętościowego poszczególnych osadów. Osad *B* charakteryzował się niskim indeksem objętościowym w przedziale od 41 do 49 $\text{ml} \cdot \text{g } Z_{\text{og}}^{-1}$, podczas gdy indeksy objętościowe dwóch pozostałych osadów wynosiły powyżej 115 $\text{ml} \cdot \text{g } Z_{\text{og}}^{-1}$. Dodatkowo w czasie sedymentacji osadu *C* na powierzchni tworzył

się kożuch. Osad C charakteryzował się zatem najgorszymi właściwościami sedimentacyjnymi spośród trzech badanych osadów. Świadczy o tym nie tylko flotujący kożuch osadu pojawiający się podczas jego sedimentacji, ale także duża liczba bakterii nitkowych i duże rozdrobnienie kłaczek osadu czynnego. Jedynie aktywność dehydrogenaz osadu C była duża i nie odbiegała od aktywności pozostałych dwóch badanych osadów.

Tabela 3. Zestawienie ważniejszych obserwacji mikroskopowych dla trzech badanych osadów

Cecha	Osad A	Osad B	Osad C
Kształt i wygląd kłaczek	mocne, nieregularne	mocne, nieco zaokrąglone	słabe, nieregularne
Struktura	zwarta	zwarta	luźna, często brak wyraźnej linii brzegowej
Różnorodność mikrobiologiczna	duża; obecne orzęski osiadłe z rodzaju <i>Vorticella</i> , <i>Opercularia</i> , pojedyncze ameby	bardzo duża; do najczęściej występujących pierwotniaków należały orzęski osiadłe z rodzaju <i>Vorticella</i> , <i>Carchesium</i> , <i>Epistylis</i> oraz orzęski pełzające z rodzaju <i>Aspidisca</i> ; pojedyncze ameby i nicienie	bardzo duża, obecne orzęski osiadłe, ameby, a nawet wrotki
Mikroorganizmy nitkowe	osad odpowiada kategorii 2*	osad odpowiada kategorii 0*	osad odpowiada kategorii 2*
Wolno pływające bakterie	przeciętnie kilkanaście w polu widzenia	przeciętnie kilkanaście w polu widzenia	przeciętnie od kilkunastu do kiludziesięciu w polu widzenia
<i>Zooglea</i>	sporadycznie	sporadycznie	sporadycznie
<i>Spirochetæ</i>	przeciętnie od kilku do kilkunastu w polu widzenia	przeciętnie od kilku do kilkunastu w polu widzenia	przeciętnie od kilku do kilkunastu w polu widzenia
<i>Spirillæ</i>	sporadycznie	brak	sporadycznie
Włókna organiczne	sporadycznie	sporadycznie	sporadycznie

*według pracy [7]

Na podstawie dostępnych podstawowych parametrów technologicznych (tab. 1.) nie sposób jednoznacznie podać przyczyn złego stanu osadu czynnego C. Można jedynie zauważyć, że osad ten poddawany jest stosunkowo dużym obciążeniom ładunku zanieczyszczeń, być może zbyt wysokim, biorąc pod uwagę wiek osadu (10-12 d). Inną przyczyną mogą być warunki tlenowe i/lub wysokie naprężenia ścinające panujące w komorach osadu czynnego oczyszczalni C.

4. Wnioski

Przeprowadzone badania wykazały, że charakterystyka osadu czynnego nie może być oparta jedynie na jednym czy dwóch mierzonych parametrach. Przygotowanie wiarygodnej i pełnej charakterystyki osadu wymaga interdyscyplinarnych badań. Nie wszystkie z nich są niezbędne w codziennej eksploatacji oczyszczalni ścieków, ale z pewnością wielu z nich trzeba użyć do zdiagnozowania zakłóceń w pracy biologicznego ciągu oczyszczalni ścieków. W wyniku przeprowadzonych badań można sformułować kilka wniosków szczegółowych.

1. Istnieje zależność między wielkością kłaczków a zdolnościami sedymentacyjnymi osadu czynnego. Osady *A* i *B*, w których dominowały kłaczki średniej wielkości, charakteryzowały się dobrymi właściwościami sedymentacyjnymi. Osad *C*, w którym przeważały kłaczki małe o średniej średnicy 59 μm , sedymentował gorzej. Rozkład wielkości kłaczków osadu *C* wykazał, że aż 40% kłaczków tego osadu mieściło się w zakresie średnic od 20 do 40 μm . Drobne kłaczki o małej gęstości flotowały na powierzchni, tworząc kożuch, który trudno było oddzielić od ścieków oczyszczonych.
2. Uzupełniającym w stosunku do średnicy kłaczków wskaźnikiem zdolności sedymentacyjnych osadu czynnego może być liczba obiektów na analizowanych obrazach. Duża liczba obiektów (powyżej 15) na obrazie świadczy o rozdrobnieniu kłaczków.
3. Większa liczba bakterii nitkowych na obrazie mikroskopowym przekłada się na wzrost wartości indeksu objętościowego osadu, choć nie stwierdzono tu jednoznacznej ilościowej zależności.

Literatura

1. Barbusiński K., Kościelniak H.: Influence of substrate loading intensity on flocs size in activated sludge process, *Wat. Res.*, no 29(7), 1995, s. 1703-1710.
2. Bitton G.: *Wastewater microbiology*, 3rd ed., John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey 2005.
3. Błaszczak M.K.: *Mikroorganizmy w ochronie środowiska*, Wydaw. Naukowe PWN, Warszawa 2007.
4. Contreras E.M., Gianuzzi L., Zaritzky N.E.: Use of image analysis in the study of competition between filamentous and non-filamentous bacteria, *Wat. Res.*, no 38, 2004, s. 2621-2630.
5. Da Motta N., Pons M.N., Roche N., Vivier H.: Characterisation of activated sludge by automated image analysis, *Biochem. Eng. J.*, no 9, 2001, s. 165-173.
6. Drzewicki A.: Znaczenie morfologii kłaczków w procesie oczyszczania ścieków metodą osadu czynnego, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, nr 9, 2005, s. 26-27.
7. Eikelboom D.H., Van Buijsen H.J.J.: *Podręcznik mikroskopowego badania osadu czynnego*, Wydaw. „Seidel-Przywecki”, Szczecin 1999.
8. Grijspeerdt K., Verstraete W.: Image analysis to estimate the settleability and concentration of activated sludge, *Wat. Res.*, no 31, 1997, s. 1126-1134.

9. Heidrich Z., Witkowski A.: Urządzenia do oczyszczania ścieków. Projektowanie. Przykłady obliczeń, Wydaw. „Seidel-Przywecki”, Warszawa 2005.
10. Henze M., Harremoës P., Jansen J., Arvin E.: Wastewater treatment. Biological and chemical processes, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2002.
11. Hermanowicz W., Dojlido J., Dożańska W., Koziorowski B., Zerbe J.: Fizyczno-chemiczne badanie wody i ścieków, wyd. 2, Arkady, Warszawa 1999.
12. Klimiuk E., Łebkowska M.: Biotechnologia w ochronie środowiska. Wydaw. Naukowe PWN, Warszawa 2003.
13. Liwarska-Bizukojć E.: Application of image analysis techniques in activated sludge wastewater treatment processes, *Biotechnol. Lett.*, no 27, 2005, s. 1427-1433.
14. Liwarska-Bizukojć E., Bizukojć M.: Effect of selected anionic surfactants on activated sludge flocs, *Enz. Microb. Technol.*, no 39, 2006, s. 660-668.
15. Lopez J.M., Koopman B., Bitton G.: INT- Dehydrogenase test for activated sludge process control, *Biotech. Bioeng.*, no 28, 1986, s. 1080-1085.
16. Łomotowski J., Szpindor A.: Nowoczesne systemy oczyszczania ścieków, Arkady, Warszawa 1999.
17. Miksch K.: Auswahl einer Optimalen Methodik für die Aktivitätsbestimmung des Belebtschlammes mit Hilfe des TTC-Testes, *Vom Wasser*, nr 64, 1985, s. 187-198.
18. Olympus MicroImage Reference Guide, Version 4.0 for Windows, 1999.
19. Pandolfi D., Pons M.N., Da Motta M.: Characterization of PHB storage in activated sludge extended filamentous bacteria by automated colour image analysis, *Biotechnol Lett.*, no 29, 2007, s. 1263-1269.
20. Russ J.C.: Computer assisted microscopy: the measurement and analysis of images, Plenum Press, New York 1990.
21. Smith J.J., Mcfeters G.A.: Mechanism of INT and CTC reduction in *Escherichia coli* K-12, *J. Microbiol. Meth.*, no 29, 1997, s. 161-175.
22. Wilderer P.A., Bungartz H.J., Lemmer H., Wagner M., Keller J, Wuertz S.: Modern scientific methods and their potential in wastewater science and technology, *Wat. Res.*, no 36, 2002, s. 370-393.

COMPARISON OF THREE ACTIVATED SLUDGES FROM VARIOUS WASTEWATER TREATMENT PLANTS OF LODZ VOIVODSHIP

Abstract

In this work biochemical activity, morphology, microbiological composition and sedimentary properties of three activated sludges taken from various wastewater treatment plants (WWTPs) located in Lodz voivodship were compared. The work focused on seeking for the correlation between morphology of activated sludge flocs and their sedimentary properties.

Activated sludge was taken from the aeration chamber of WWTP. Digital image analysis was applied in order to measure the morphological parameters of activated sludge flocs. Biochemical activity was estimated on the basis of dehydrogenase activity of sludge microorganisms.

The obtained results confirmed that there was no dependence between dehydrogenase activity and sedimentary properties of activated sludge. At the same time the correlations between the size of sludge flocs and sedimentary properties as well as between the number of filamentous

bacteria and sedimentary properties exist. The significant disintegration of flocs and domination of flocs, whose diameter do not exceed 100 μm contribute to the deterioration of sedimentary properties of sludge. The results of this work and previously obtained data indicate that the number of objects per image can be a supplementary indicator of sedimentary properties apart from flocs diameter.

Złożono w Oficynie Wydawniczej w lipcu 2011 r.