

Do wykorzystania na lekcjach:  
chemii, biologii i ochrony środowiska.

# Mali czyściciele w wielkiej oczyszczalni

Bartłomiej Batkowski, Izabela Łukaszuk-Dziuba



*Oblicze Sawy, s. 107.*

## WIDZĘ

Komory wypełnione cieczą, najprawdopodobniej wodą, pogrupowane w zespoły zbiorników. Jeden z bloków komór nie jest w tym momencie wypełniony (kolor rdzy). Komory wypełnione substancją płynną można podzielić na dwie grupy: z wodą stojącą (lub z niewidocznym przepływem) oraz silnie napowietrzaną. W obu przypadkach zwraca uwagę zróżnicowanie kolorystyczne powierzchni wody świadczące o obecności (lub braku) zawiesiny, różnym składzie chemicznym, być może różnych lepkościach. Na powierzchni cieczy, przy brzegach zbiorników dostrzegam żółto-zielone płyty.

## ANALIZUJĘ

Komory są stalowe (w pustej pojawiła się rdza). Zastanawiam się nad układem komór i ich wewnętrznymi powiązaniem: czy komory są ze sobą połączone, czy nie, to znaczy, czy baseny są kolejnymi etapami w jakimś cyklu przepływu, czy nie. Zakładam, że tak jest, i próbuję ocenić kierunek przepływu wody, miejsce wpływu i wypływu płynów do zbiorników. Dostrzegam komory napowietrzające. Intensywne napowietrzanie świadczy o dużym zapotrzebowaniu na tlen, a więc pośrednio o dużej ilości zredukowanych związków chemicznych. Dowodzi nie tylko obecności związków zredukowanych, ale również tego, że użytkownikowi zależy na ich utlenieniu. Intensywność napowietrzania oraz obecność obiektów inżynierskich świadczą o działaniu na skalę przemysłową. Na podstawie analizy obrazu rozróżniam przynajmniej dwa rodzaje procesów. Staram się wywnioskować kolejność.

Intensywne napowietrzanie wody występuje przede wszystkim w procesie oczyszczania wód, mamy więc do czynienia z oczyszczalnią ścieków. Na podstawie zdjęcia nie możemy jednak określić rodzaju zanieczyszczeń.

Żółto-zielone płyty to prawdopodobnie kożuchy glonów zepchnięte w naroża (najspokojniejsze miejsce) wskutek mieszania wody. Obecność glonów świadczy o żyzności wody, a ich barwa (analiza spektralna) na ogół pozwala określić dominanty gatunkowe, a pośrednio rodzaj i skład chemiczny podłoża.

## DZIAŁAM

Zaznajamiam się z funkcjonowaniem systemu miejskiej kanalizacji i oczyszczalni ścieków, zarówno teoretycznie, jak i praktycznie. Przeprowadzam samodzielnie eksperymenty chemiczne i biologiczne, odtwarzając przebieg reakcji zachodzących w przemysłowym oczyszczaniu ścieków komunalnych. Kolory wody i zawiesiny widoczne na zdjęciu lotniczym porównuję z ich obrazem mikroskopowym. Oceniam rolę oczyszczalni, skuteczność oczyszczania i jego wpływ na środowisko.

### Metody pracy uczniów podczas lekcji

- zapoznanie się z funkcjonowaniem sieci wodociągów i kanalizacji w mieście oraz z rodzajami i przebiegiem procesów chemicznych i technologiami przemysłowymi, rolą mikroorganizmów w naturalnym obiegu materii w środowisku;
- obserwacje terenowe i działania praktyczne, m.in. pobranie prób do badań;
- ćwiczenia laboratoryjne m.in. przeprowadzenie własnych analiz chemicznych i obserwacji biologicznych, opracowaniu wyników w postaci graficznej, pisemnej czy formach plastycznych;
- dyskusje dotyczące m.in. porównania procesów naturalnych oczyszczania wód z technologiami przemysłowymi stosowanymi w oczyszczalniach, ocen wyników analiz laboratoryjnych i wpływających z nich wniosków, określenie roli i skuteczności oczyszczalni w ochronie środowiska.

Przedstawione poniżej opracowanie jest wprowadzającym materiałem teoretycznym, na podstawie którego nauczyciele biologii i chemii we współpracy z wyznaczonymi dydaktycznymi pracownikami oczyszczalni wybierają interesujące ich zagadnienia i opracowują własne scenariusze lekcji według projektu dr. Ostrowskiego.

Materiał badawczy to próbki wody pobrane z Wisły powyżej Warszawy, na wysokości miasta (w tym poniżej ujścia kolektora ścieków) oraz kilkanaście kilometrów poniżej Warszawy, a także z kolejnych etapów oczyszczania ścieków w oczyszczalni.

## WPROWADZENIE TEORETYCZNE Bartłomiej Batkowski

### Kod oznaczeń

- część opisowa, informacyjna
- część opisowa, definicje
- część opisowa, zdjęcia (Z) i schematy (S)
- część praktyczna, doświadczenia, eksperymenty
- część praktyczna, analityczna
- ważne informacje
- lokalizacja na fotomapie Warszawy

1. Rola i funkcjonowanie sieci wodnej i kanalizacyjnej oraz oczyszczalni ścieków w strukturze Warszawy.
2. Wprowadzenie do tematyki: czym są ścieki, jak są klasyfikowane, co można z nimi zrobić, jak oczyszczać wodę.
3. Rodzaje zanieczyszczeń obecne w ściekach: mechaniczne, biologiczne, chemiczne, sposoby ich usuwania.
4. Zaznajomienie się ze schematem funkcjonowania oczyszczalni i jej strukturą. Wizja lokalna: jakie procesy zachodzą w oczyszczalni.
5. Teledetekcyjna analiza i ocena funkcjonalności oczyszczalni na podstawie obrazów lotniczych i satelitarnych.
6. Ocena działania oczyszczalni przez określenie stężenia zawiesin metodą analizy wagowej.
7. Próba strącania chemicznego zawiesin z użyciem PE (polielektrolitów).
8. Pomiar prędkości poboru tlenu (PPT) przez osad czynny.

### ad. 1

Słucham wykładu na temat charakterystyki wodociągów i kanalizacji w strukturze miasta. Elementem wykładu jest krótka prezentacja ilustrowana zdjęciami dotyczącymi wykładu o historii warszawskich wodociągów i kanalizacji (naziemnych i podziemnych). Pokazane na zdjęciach kanały są przedstawione jako dzieło inżynierskiego przeznaczenia wraz z zasadami funkcjonowania. Omówiona jest także rola kanałów podczas Powstania Warszawskiego i ich obecność w literaturze i filmie. Omawia się współczesną rolę kanalizacji (odprowadzanie ścieków i nadmiaru wód burzowych z ulic; hydrotransport, strumień wody nośnikiem substancji organicznych i nieorganicznych).

Ścieki to zanieczyszczenia mineralne i organiczne transportowane z wykorzystaniem strumienia wody. Transport zanieczyszczeń dotyczy ich postaci rozpuszczonej (związki chemiczne nieorganiczne i organiczne) oraz nierozpuszczonej (zawiesiny, koloidy, przedmioty i ich fragmenty).

Produkty działalności człowieka zbierane z powierzchni miasta są transportowane rzekami do zbiorników docelowych (jezior, morza) – końcowych odbiorników wody odprowadzanej systemem kanalizacji. Często z tego samego odbiornika pobierana jest woda na potrzeby miasta – dla mieszkańców, zwierząt, przemysłu. Jest to obieg zamknięty – przesunięty w sensie funkcjonalnym (pobór wody powinien odbywać się powyżej strefy zrzutu ścieków), ale zamykający się w skali całej rzeki.

- mapa miasta z nałożoną siecią kanalizacyjną i kierunkami spływu (Z-1)
- zdjęcia i film z warszawskich kanałów i kolektorów
- zdjęcia Wisły w okolicach wylotu kolektora ściekowego z lewego i prawego brzegu rzeki (Z-2)
- „Wyspa Pomidorowa” – przykład transportu hydraulicznego zanieczyszczeń (Z-3).

Zaznaczam na fotomapie Warszawy położenie warszawskich oczyszczalni, łącznie ze znanymi mi oczyszczalniami lokalnymi, a także wyloty kolektorów do Wisły. Zaznaczam, które kolektory odprowadzają do rzeki wodę nieoczyszczoną (tzw. ścieki surowe), a które po oczyszczeniu w oczyszczalniach.

Zaznaczam również wybrane obiekty, np. wejście do podziemnych kanałów w rejonie rotundy PKO, muzeum kanalizacji, na placu Krasińskich, przy ul. Długiej.

Porównuję stan rzeki poniżej ujścia kolektora ścieków surowych (lewy brzeg) i kolektora ścieków oczyszczonych (np. wylot z OŚ Południe) – jakie różnice daje się zaobserwować?

## ad. 2

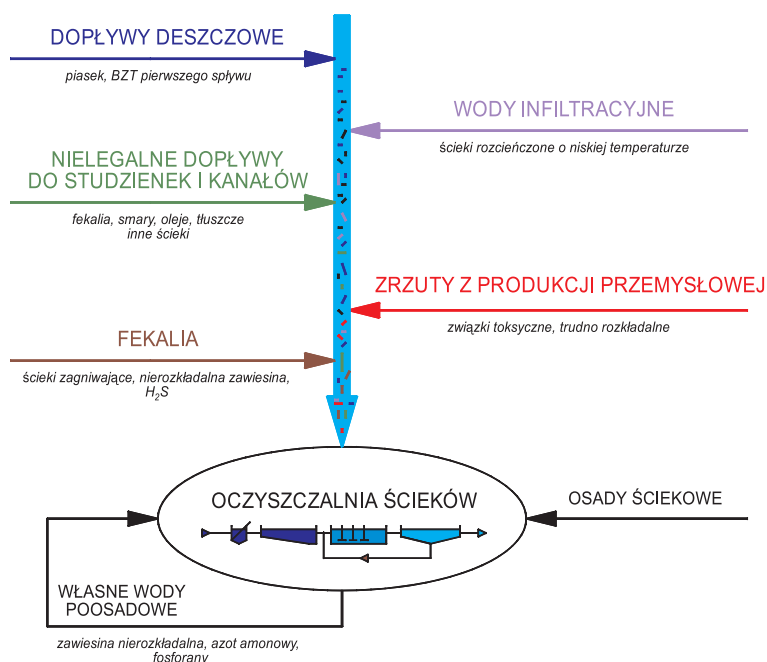
Ścieki – wody zużyte w trakcie działalności człowieka (życiowej, produkcyjnej), wody infiltracyjne (pochodzące z odwodnienia terenu lub dostające się do kanalizacji przez nieszczelności) oraz wody opadowe biorące się z deszczu lub topniejącego śniegu.

### Rozróżniamy:

- ścieki bytowo-gospodarcze – powstające w gospodarstwach domowych
- ścieki przemysłowe – powstające w zakładach przemysłowych
- ścieki opadowe – biorące się z topniejącego śniegu, opadów deszczu, mycia ulic
- wody infiltracyjne – przedostające się do kanalizacji przez nieszczelności instalacji kanalizacyjnej.

Ścieki te mają bardzo różną charakterystykę, stąd też muszą być oczyszczane różnymi sposobami, zależnie od rodzaju i stężenia zawartych w nich zanieczyszczeń oraz ładunku (ilości) ścieków.

## DOPŁYWY DO OCZYSZCZALNI



Schemat 1. Rodzaje dopływów – źródła ścieków

W ciągu kilkunastu-kilkudziesięciu godzin oczyszczalnia musi uzyskać taki stan surowych ścieków, aby możliwe było wprowadzenie ich do odbiornika (rzeki, stawu) bez istotnego zaburzenia równowagi ekosystemu tego odbiornika.

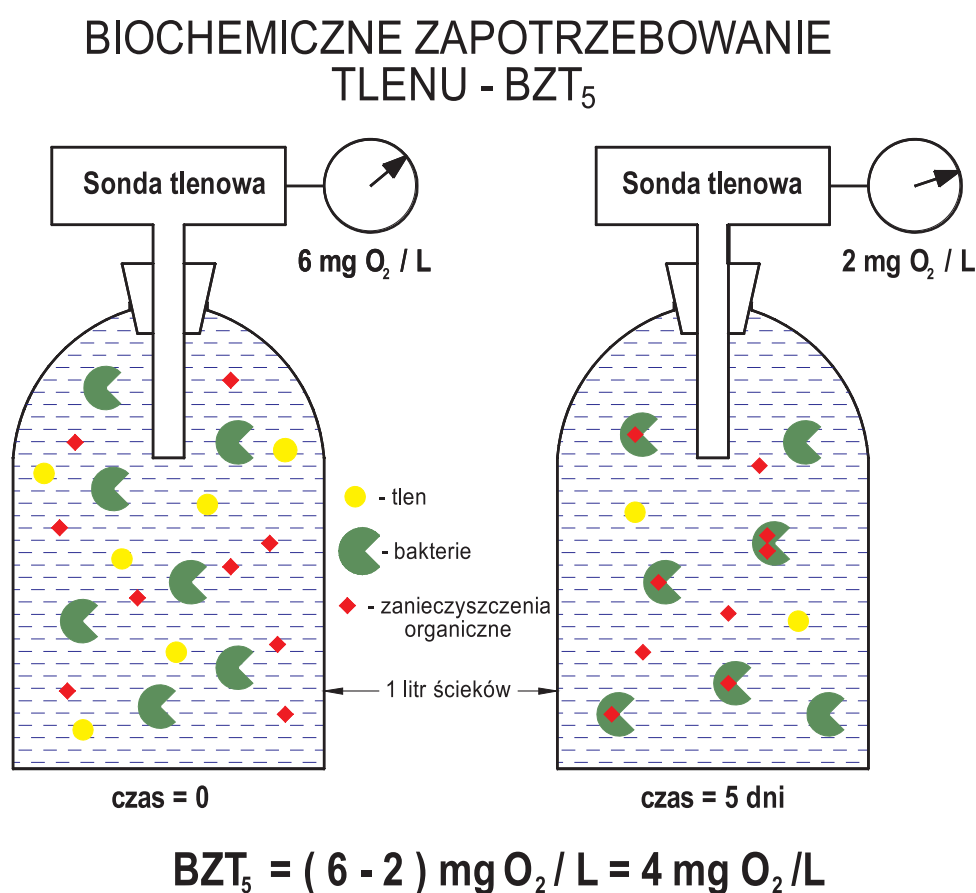
ad. 3

Rodzaje zanieczyszczeń obecne w ściekach:

- **fizyczne** – zanieczyszczenia stałe,
- **chemiczne** – zanieczyszczenia rozpuszczone (związki organiczne i nieorganiczne),
- **biologiczne** – bakterie, wirusy, inne mikroorganizmy, pierwotniaki, robaki.

Wskaźniki zanieczyszczeń:  $BZT_5$ , ChZT, OWO, zawiesiny, N, P, metale

$BZT_5$  – określa podatność związków organicznych na rozkład biologiczny, w tym wypadku w ciągu 5 dni.



Schemat 2. Zasady określania  $BZT_5$  – schemat idealny – oznaczanie ilości tlenu potrzebnego do rozkładu związków organicznych w ciągu 5 dni

Zanieczyszczenia biogenne • azot, fosfor i ich związki • (dlaczego ważne?) • podstawowe pierwiastki i sole mineralne potrzebne do rozwoju żywych organizmów. Związki te wprowadzone wraz ze ściekami do odbiornika zwiększają jego żyzność, co prowadzi do eutrofizacji (przeżyźnienia) wód, co w konsekwencji powoduje przedwczesne starzenie (wyfływanie i zarastanie) rzek i jezior.

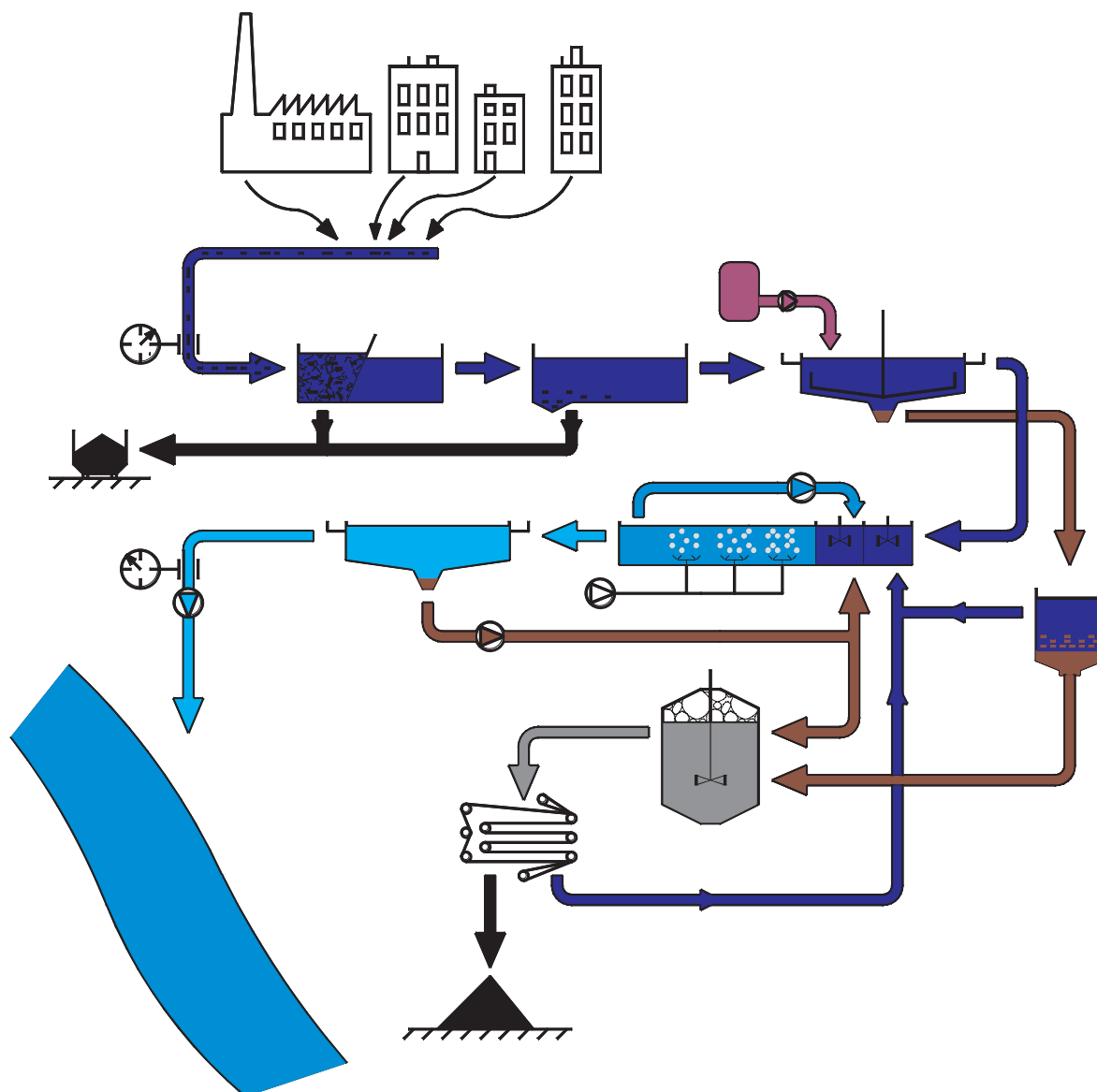
– zdjęcia zbiornika wodnego w czasie zakwitnięcia glonów, zdjęcia lotnicze zbiornika oligotroficznego i zeutrofizowanego (Z-4)

Porównanie wyglądu próbki ścieków surowych z dopływu do oczyszczalni, ścieków wstępnie oczyszczonych po osadnikach wstępnych oraz ścieków oczyszczonych na wylocie z oczyszczalni.

**ad. 4**

**Oczyszczalnia ścieków jako funkcjonujący „organizm”**

Oczyszczanie ścieków jest procesem wieloetapowym, w którym każdy etap odgrywa określoną rolę. Nie ma tu etapów i procesów mniej bądź bardziej ważnych, gdyż oczyszczalnia działa jak złożony organizm i zmiana któregośkolwiek parametru jej pracy wpływa na działanie całego układu! Nawet chwilowa zmiana np. składu ścieków, nie mówiąc o zwiększeniu się, choćby krótkotrwałym, zawartości związków toksycznych, powoduje trudno odnawialne, niekiedy trwałe, zaburzenia zdolności oczyszczania. Stąd tak ważne jest kontrolowanie poszczególnych etapów procesu.



Schemat 3. Schemat ideowy oczyszczalni ścieków komunalnych – omówienie podstawowych jednostek funkcjonalnych i zachodzących w nich procesów

#### 4.1. Oczyszczanie wstępne

**Oczyszczanie wstępne** ma na celu pozabawienie ścieków wszelkich zanieczyszczeń, które można usunąć za pomocą operacji mechanicznych (cedzenie, opadanie grawitacyjne, flotacja).

Oczyszczanie wstępne pozwala przygotować strumień ścieków do właściwego procesu oczyszczania w reaktorach biologicznych.

Wykorzystywane są proste operacje mechaniczne i procesy fizyczne:

- **cedzenie** – strumień ścieków przepływa przez płaską przegrodę perforowaną, na której zatrzymywane są cząstki stałe o dużych rozmiarach;
- **flotacja** – zanieczyszczenia w postaci cząstek stałych i rozproszonej fazy ciekłej (tłuszcze) wynoszone są na powierzchnię za sprawą różnicy ich gęstości. Proces wspomagany jest przez wprowadzenie do strumienia ścieków rozproszonej fazy gazowej (np. powietrza) – pęcherzyki powietrza wynoszą na powierzchnię tłuszcze, oleje, zawiesiny;
- **sedymencja** – cząstki stałe o gęstości większej od gęstości wody opadają na dno pod wpływem siły grawitacji.

Zanieczyszczenia o dużych rozmiarach oddzielane są na kratkach. Powstający odpad to skratki. Są one prasowane i poddawane przeróbce.

Cząstki mineralne usuwane są w procesie sedymencacji w piaskownikach, w których odbywa się oddzielenie piasku i innych cząstek mineralnych od zawiesin organicznych. Piasek wydobywany z dna piaskowników jest następnie płukany i odwadniany. W piaskownikach oddzielane są również tłuszcze, oleje i substancje ropopochodne (flotacja).

Łatwo opadające zawiesiny organiczne wydzielane są w osadnikach wstępnych (sedymencja) i jako osad wstępny kierowane do przeróbki.

#### 4.2. Oczyszczanie biologiczne i chemiczne

**Oczyszczanie biologiczne** polega na wprowadzeniu do ścieków osadu czynnego (biomasy mikroorganizmów) i wykorzystaniu bakterii oraz innych organizmów do usunięcia rozpuszczonych związków organicznych i nieorganicznych. Zanieczyszczenia organiczne zawarte w ściekach są przekształcane przez organizmy osadu czynnego w proste związki chemiczne: wodę, produkty gazowe oraz biomasę. W przebiegu procesu istotne jest to, że mikroorganizmy żywią się zanieczyszczeniami, w wyniku czego wzrasta biomasa tychże mikroorganizmów i zmniejsza się ilość biogenów zawartych w ściekach.

**Oczyszczanie chemiczne** to przede wszystkim procesy strącania, neutralizacji i redukcji chemicznej. Procesy strącania umożliwiają zmianę postaci zanieczyszczeń zawartych w ściekach – z formy rozpuszczonej (lub rozproszonej – tzw. koloidów) do postaci łatwo opadającej zawiesiny, którą można łatwo wydzielić ze strumienia ścieków.

Oczyszczanie biologiczne jest najczęściej drugim, po wstępnym oczyszczaniu mechanicznym, stopniem oczyszczania. Proces oczyszczania biologicznego może odbywać się w obecności tlenu pochodzącego z powietrza (proces tlenowy) lub też w warunkach beztlenowych. Redukcja zanieczyszczeń w ściekach wymaga zapewnienia właściwych warunków bytowych biomasy zawartej w układzie, w tym odpowiedniego mieszania, napowietrzania, regularnego odbioru nadmiaru biomasy („osadu nadmiernego”) wytworzonej w procesach oczyszczania mikrobiologicznego.

Oczyszczanie biologiczne to po prostu adaptacja procesu samooczyszczania wód zachodzącego naturalnie w środowisku. W oczyszczalni jest on odpowiednio zmodyfikowany – przede wszystkim zintensyfikowany. Szczepy mikroorganizmów są selekcionowane pod względem zdolności wykorzystywania związków zawartych w ściekach, zdolności do adaptacji na zmiany warunków i pojawiających się nowych obciążeń chemicznych, a także pod względem wydajności przeprowadzanych procesów. Wykorzystywany w procesie oczyszczania osad czynny to ekosystem wrażliwy na czynniki zewnętrzne i wymagający stałej troski.

Reaktor biologiczny to układ zaprojektowany z myślą o tym, aby proces przebiegał w odpowiednich warunkach (odpowiednie stężenie tlenu w każdej strefie, mieszanie, reagenty chemiczne).

Większość mikroorganizmów występujących w oczyszczalniach pochodzi ze źródeł zewnętrznych – ścieków, powietrza, gleby, zwierząt. Często dokonuje się również szczepień wyselekcjonowanymi gatunkami. Organizmy w oczyszczalni biologicznej można podzielić na: bakterie, grzyby, glony, pierwotniaki (protozoa) i tkankowce (metazoa).

W oczyszczaniu biologicznym najważniejszą rolę odgrywają bakterie. Pozostałe organizmy regulują i ograniczają populację bakterii, konkurując z nimi o dostęp do pożywienia lub też traktując je jako pożywienie.

- mikroorganizmy osadu czynnego – galeria najczęściej występujących oraz najbardziej charakterystycznych organizmów tworzących osad czynny w różnych jego fazach i w zależności od rodzaju pokarmu, czyli składu chemicznego doprowadzonych ścieków (Z-8)

Procesy biologicznego oczyszczania ścieków to:

- **mineralizacja** – rozkład związków organicznych przez mikroorganizmy, sprowadzanie ich do prostych, nieszkodliwych związków nieorganicznych
- **biokumulacja** – pobieranie ze ścieków i gromadzenie w komórkach mikroorganizmów różnych związków chemicznych i jonów. Niektóre związki mogą stanowić materiał zapasowy i być ponownie wykorzystane przez komórkę w innych warunkach środowiska, inne są zaś jedynie odkładane w komórkach w formie nieczynnej biologicznie. Naturalne procesy biokumulacji są wykorzystywane przez człowieka również w procesach biohydrometalurgicznych, takich jak mikrobiologiczne ługowanie i gromadzenie w komórkach bakterii znacznych ilości metali, m.in. złota, platyny, uranu, srebra, cynku, miedzi i wielu innych. W ten sposób bakterie tworzą biomasę o znacznej zawartości danego pierwiastka – wartą już przeróbki hutniczej. Pozyskując rozmaite pierwiastki ze środowiska, jednocześnie je oczyszczają. Biomasa mikroorganizmów z dużym ładunkiem metali ciężkich, która nie zostanie wykorzystana przemysłowo, może stać się pokarmem dla wyższych organizmów i wprowadzać metale ciężkie do łańcucha troficznego.

Podstawowe przemiany biochemiczne zachodzące w oczyszczalniach:

- **wzrost biologiczny** – bakterie wykorzystują do budowy komórek proste molekuly (kwas octowy, metanol, etanol, kwas propionowy, glukozę, amoniak, azotyny);
- **hydroliza** – przemiana złożonych związków organicznych (rozpuszczonych i zawieszonych) na proste, łatwo przyswajalne;
- **rozkład** – obumierające mikroorganizmy podlegają hydrolizie i są przyswajane przez następne pokolenia organizmów.

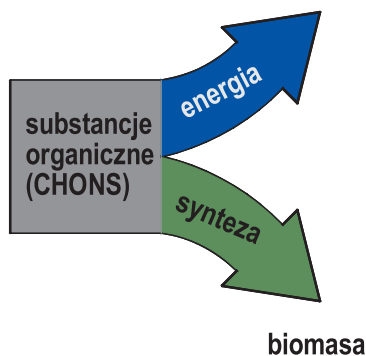


## RODZAJE METABOLIZMU SUBSTANCJI ORGANICZNYCH

### a) tlenowy

KATABOLITY:

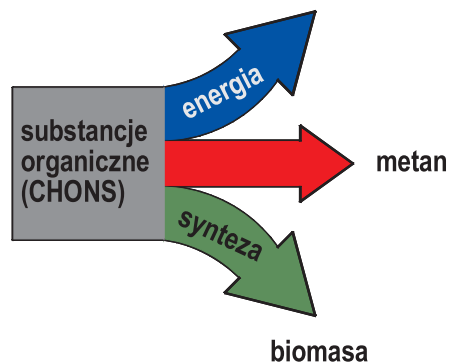
dwutlenek węgla, woda  
azotany, siarczany



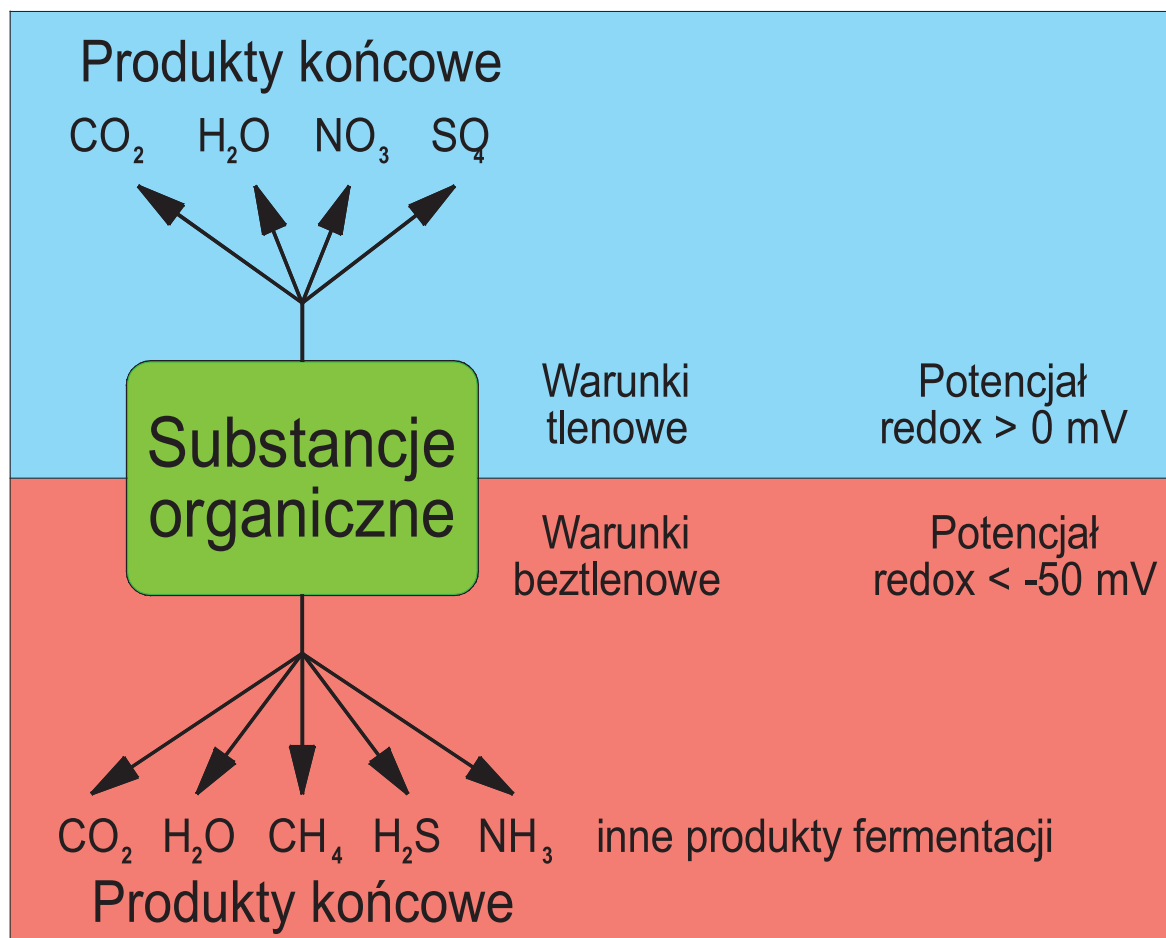
### b) beztlenowy

KATABOLITY:

kwasy organiczne  
aldehydy, alkohole



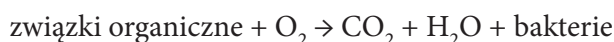
## Rozkład substancji organicznych



Schematy 4 i 5. Przemiany metaboliczne substancji organicznych – proces tlenowy, beztlenowy.

Proces prosty w realizacji, redukcja BZT<sub>5</sub>, ChZT, zawiesiny – stare oczyszczalnie (Czajka)

**Biologiczne utlenianie substancji organicznych** można opisać równaniem:



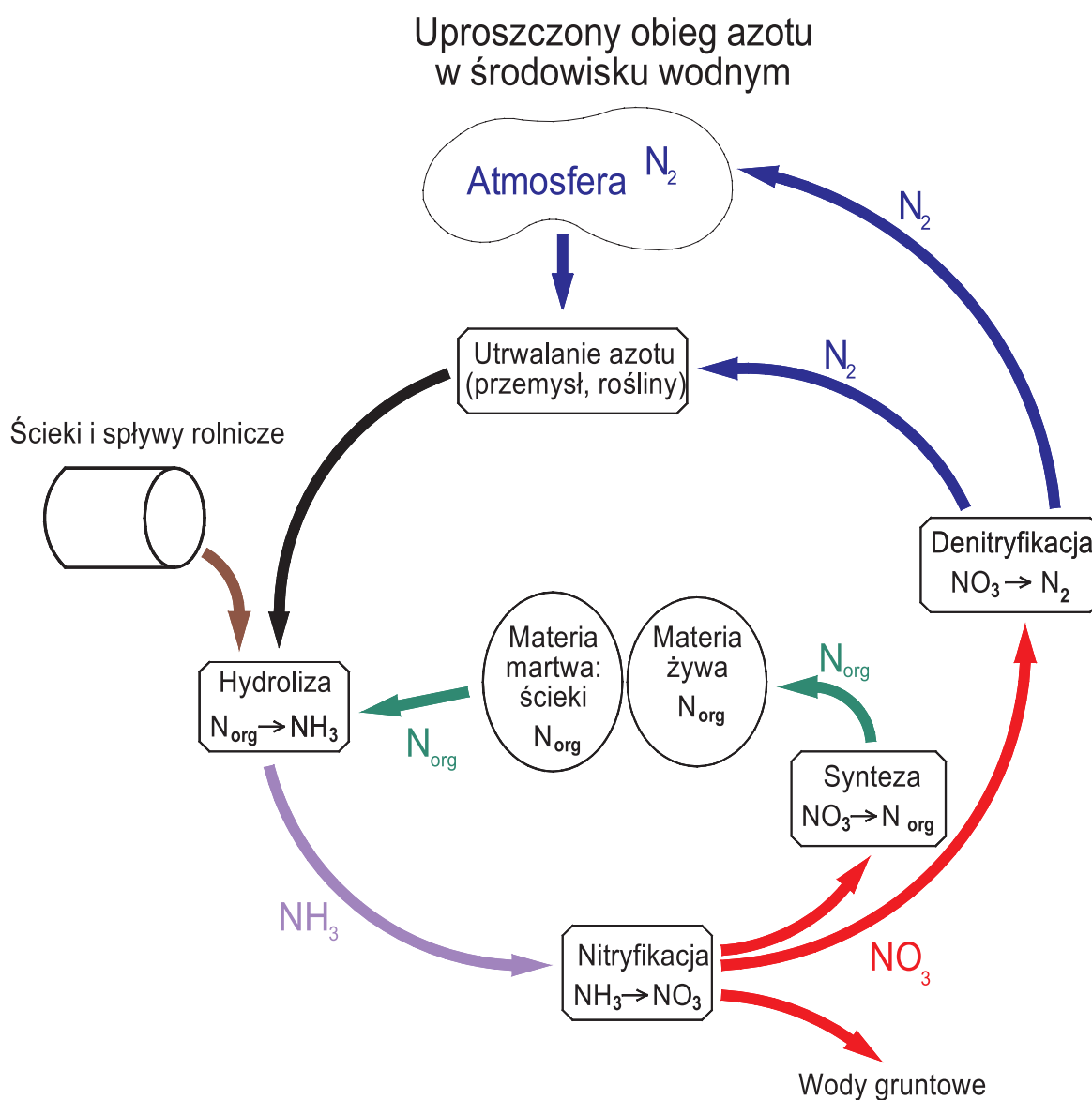
lub:



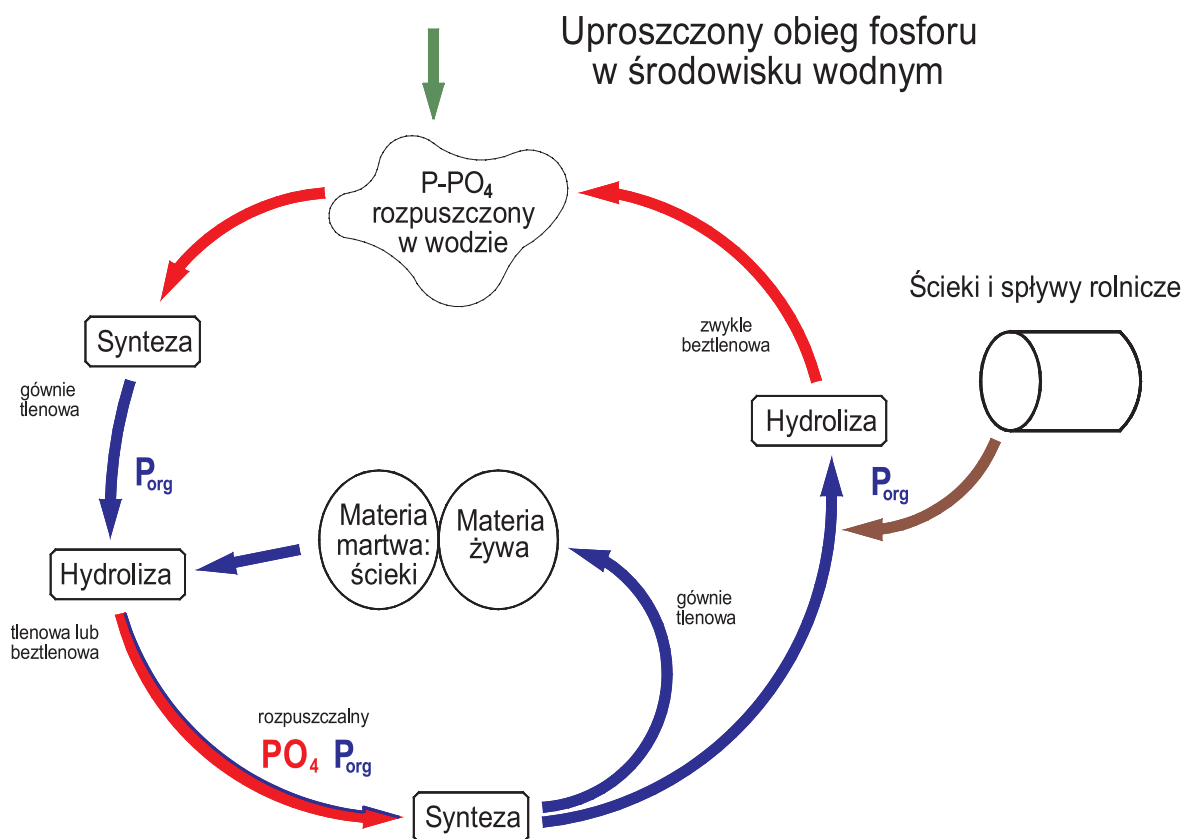
Natomiast **rozkład beztlenowy**:



Proces **beztlenowej stabilizacji ścieków** połączony z produkcją metanu znajduje zastosowanie w wypadku ścieków przemysłowych, charakteryzujących się wysokim stężeniem zanieczyszczeń. Ścieki zawierające związki organiczne przetwarzane przez mikroorganizmy pojawiają się jako następujące produkty końcowe: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> oraz H<sub>2</sub>O.



Schemat 6. Cykl obiegu azotu w przyrodzie i w tym kontekście procesy zachodzące w oczyszczalni, jako jeden z etapów przemian w środowisku naturalnym.



Schemat 7. Cykl obiegu fosforu w przyrodzie i w tym kontekście procesy zachodzące w oczyszczalni, jako jeden z etapów przemian w środowisku naturalnym.

Azot i fosfor – pierwiastki biogenne umożliwiające i przyspieszające wzrost biomasy; a w nadmiarze powodują eutrofizację zbiorników wodnych. Okresowe zakwity glonów, wywołane zwiększonym napływem biogenów, prowadzą do powstania deficytu tlenowego, a w skrajnej sytuacji do całkowitego wyczerpania tlenu. Konsekwencją tego procesu jest początkowo zamieranie innych organizmów zasiedlających zbiornik (np. ryb), po dłuższym czasie zaś „śmierć biologiczna” samego zbiornika wodnego.

Należy wskazać, które procesy zachodzą w oczyszczalni – analiza materiału fotograficznego.

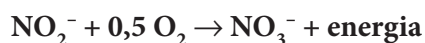
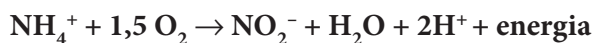
#### Usuwanie azotu – biologiczne

Związki azotu mogą być usuwane ze ścieków tylko biologicznie. Proces biochemicznego usuwania azotu opiera się na wykorzystaniu związków azotu obecnych w ściekach jako pożywki ( $\text{NH}_4$ ) dla mikroorganizmów, a następnie źródła tlenu ( $\text{NO}_3$ ):



Pierwszym etapem jest **amonifikacja**. Proces ten rozpoczyna się już w kanałach. W jego wyniku do reaktorów biologicznych dopływa azot amonowy  $\text{NH}_4$ .

Drugim etapem jest **nitryfikacja** – utlenianie amoniaku do azotynów  $\text{NO}_2$  przez bakterie *Nitrosomonas sp.*, a następnie do azotanów  $\text{NO}_3$  przez bakterie *Nitrobacter sp.*



Ostatnim etapem jest redukcja azotanów  $\text{NO}_3$  do azotu cząsteczkowego  $\text{N}_2$ , czyli **denitryfikacja** (bakterie z rodzajów *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Achromobacter*, *Aerobacter*, *Bacillus*). Uwolniony azot cząsteczkowy wraca do atmosfery i nie zaruwa środowiska naturalnego (jak dzieje się to w wypadku azotu amonowego).



Amoniak uwolniony w wyniku rozkładu związków amonowych jest silną trucizną zarówno dla organizmów wodnych, jak i lądowych. Pożądanym jest więc całkowite utlenienie azotu amonowego do azotanów.



Bakteriom uczestniczącym w procesach nitryfikacji i denitryfikacji należy zapewnić odpowiednie warunki, na które się składają:

- odpowiednie źródła pokarmu (dla bakterii nitryfikacyjnych źródłem węgla jest  $\text{CO}_2$  lub węglany, dla bakterii denitryfikacyjnych – proste związki organiczne);
- właściwa temperatura;
- odczyn pH;
- stężenie tlenu (bakterie denitryfikacyjne są beztlenowcami!);
- wyeliminowanie substancji toksycznych np. metali (ważne w wypadku ścieków przemysłowych).

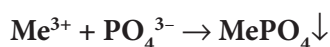
#### Usuwanie fosforu – biologiczne i chemiczne

Związki fosforu mogą być usuwane ze ścieków zarówno biologicznie, jak i chemicznie. Aby zagwarantować odpowiednie stężenie fosforu, jego pozostałość po strąceniu początkowym powinna wynosić od 1,2 do 2,5 mg/l fosforanów. Chemiczne strącanie ma wady: wysokie koszty odczynników, wtórne zasolenie ścieków, obciążenie osadu metalami ciężkimi.

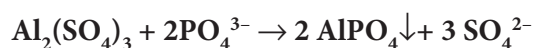
Za usuwanie biologiczne fosforu ze ścieków odpowiadają przede wszystkim bakterie z rodzaju *Acinetobacter*. Te mikroorganizmy są zdolne do gromadzenia we wnętrzu swoich komórek znacznych ilości polifosforanów. Fosfor usuwany jest wraz z komórkami mikroorganizmów, które go przyswoiły.

Proces biologicznego usuwania fosforu ma charakter cykliczny – zachodzi zarówno w **strefie tlenowej**, jak i **beztlenowej**. W strefie beztlenowej bakterie pobierają substraty (produkty fermentacji związków organicznych zawartych w ściekach) i korzystając z energii zmagazynowanej w polifosforanach, przekształcają je w procesach biochemicznych w PHB (kwas poli- $\beta$ -hydroksymasłowy). W **strefie tlenowej** następuje utlenianie skumulowanego PHB, a nadmiar uwalnianej energii jest ponownie kumulowany w polifosforanach. Kumulowanie reszt kwasu octowego w warunkach beztlenowych umożliwia intensywny rozwój bakterii w warunkach tlenowych. W związku z tym proces usuwania fosforu należy prowadzić tak, aby nie dopuścić do uwalniania znacznych ilości już zasymilowanego fosforu. Oddzielenie ścieków oczyszczonych od osadu czynnego następuje po fazie aerobowej, a więc dochodzi do eliminacji netto, tzn. zmniejszenia stężenia fosforu całkowitego w odpływie oraz podwyższenia stężenia fosforu w osadzie nadmiernym.

**Chemiczne usuwanie fosforu** polega na strącaniu trudno rozpuszczalnych soli fosforu za pomocą związków wapnia, żelaza lub glinu, zgodnie z reakcjami:



na przykład:



Powstałe sole kwasu fosforowego w postaci łatwo sedymentującego osadu są następnie wydzielane w osadnikach wtórnych.

Teraz należy zbilansować reakcję strącania fosforanów za pomocą siarczanu żelazowego  $\text{Fe}_3(\text{SO}_4)_2$  i chlorku żelazowego  $\text{FeCl}_3$ . Co pojawi się w ściekach zamiast fosforanów? (Siarczany oraz chlorki).

**Oczyszczanie chemiczne** tak jak w przedstawionym powyżej przykładzie polega na wykorzystaniu odpowiednich reagentów chemicznych w celu przeprowadzenia pożądanego procesu, prowadzącego do wyseparowania zanieczyszczeń ze strumienia ścieków lub przejścia tychże zanieczyszczeń do postaci nieszkodliwej.

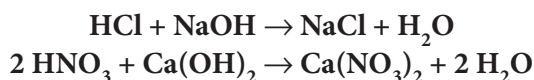
Najważniejsze procesy to:

- neutralizacja ścieków kwaśnych i zasadowych;
- utlenianie chlorem i jego związkami;
- utlenianie ozonem;
- redukcja chemiczna jonów metali (np.  $\text{Cr}^{6+}$  do  $\text{Cr}^{3+}$ );
- strącanie chemiczne i koagulacja;
- wymiana jonowa;
- ekstrakcja (np. usuwanie ropopochodnych).

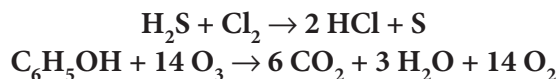
**Neutralizacja** to proces chemicznego zobojętniania ścieków o odczynie kwaśnym lub zasadowym, zgodnie z równaniem:



Przykładowo:



**Utlenianie** prowadzone jest najczęściej z użyciem chloru lub ozonu jako utleniacza:

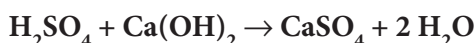


**Redukcja chemiczna** polega na obniżeniu stopnia utlenienia metalu (np.  $\text{Cr}^{6+} \rightarrow \text{Cr}^{3+}$ ) w celu zmniejszenia jego toksyczności i ułatwienia usunięcia go ze ścieków:



**Redukcja chemiczna** polega na obniżeniu stopnia utlenienia metalu (np.  $\text{Cr}^{6+} \rightarrow \text{Cr}^{3+}$ ) w celu zmniejszenia jego toksyczności i ułatwienia usunięcia go ze ścieków:

**Strącanie chemiczne** połączone jest najczęściej z koagulacją – wytrącaniem koloidów w postaci zawiesin kłaczkowatych. Funkcję koagulantów pełnią najczęściej sole glinu (III) i żelaza (III), niekiedy żelaza (II) i wapnia (II). Za pomocą wodorotlenku wapniowego  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  można usunąć związki organiczne w stanie zawieszonym, fosforany, metale ciężkie, węglany, siarczany, fluorki.



**Wymiana jonowa** znajduje zastosowanie w usuwaniu niektórych anionów i kationów, np.  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{CN}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  a także związków organicznych takich jak kwasy karboksylowe i sulfonowe, aminy, detergenty anionowe i kationowe. Wymiana jonowa polega na wykorzystaniu zdolności **jonitów** do wymieniania jonów z roztworem. Jonity to najczęściej polimery wielkocząsteczkowe, formowane w postaci ziaren, usypywanych w postaci złoża.

Wymiana kationu:



Wymiana anionu:



**Ekstrakcja** polega na wykorzystaniu różnicy rozpuszczalności substancji stanowiącej zanieczyszczenie w ściekach i w odpowiednim rozpuszczalniku organicznym. Rozpuszczalnik ten musi być nierozpuszczalny w ściekach, aby można go było łatwo oddzielić od oczyszczanego strumienia ścieków w odpowiednim separatorze.

Użycie reagentów chemicznych wiąże się z możliwością pojawienia się w oczyszczanych ściekach zanieczyszczeń wtórnych, takich jak chlorki lub siarczany, często prowadzi też do zmiany, nie zawsze pożądanej, odczynu ścieków. Z tego powodu dąży się do ograniczania stosowania reagentów chemicznych, co wynika również z konieczności ograniczania kosztów prowadzenia procesu.

Oczyszczalnia to nie „czarna dziura” – to, co zostanie doprowadzone do oczyszczalni w postaci ścieków bądź wprowadzone do procesu, opuści ją w innej formie chemicznej i fizycznej – jako osad, gaz ( $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2$ ), roztwór.

#### 4.3. Przeróbka i unieszkodliwianie osadów

Procesy oczyszczania ścieków powodują powstawanie dużej ilości osadów wymagających dalszego unieszkodliwiania i zagospodarowania. W osadach gromadzą się zanieczyszczenia w postaci związków organicznych i nieorganicznych – w tym metali ciężkich. Osady są wstępnym produktem działalności oczyszczalni.

Osady pochodzące z osadników wstępnych („osad wstępny”) i reaktorów biologicznych („osad nadmierny”) kierowane są do węzłów zagęszczania osadu, a następnie poddawane stabilizacji (czym jest stabilizacja – czytaj dalej). Ustabilizowane osady, o ile nie zagrażają środowisku, są usuwane z terenu oczyszczalni (wykorzystanie rolnicze, kompostowanie, składowanie na wysypiskach) w postaci odwodnionej, wysuszonej lub w formie popiołów, szkliwa.

**Odwadnianie i zagęszczanie osadów** – procesy fizyczne wspomagane reagentami chemicznymi. W wyniku tych procesów otrzymujemy osady nieustabilizowane. Osady przed wywiezieniem lub dalszą przeróbką należy poddać zagęszczaniu, aby zmniejszyć zawartość wody z 95-98% do 70-80%.

Nieustabilizowane osady stanowią potencjalne źródło organizmów chorobotwórczych. Nie mogą być zatem usuwane z terenu oczyszczalni bez ich ustabilizowania lub unieszkodliwiania.

**Stabilizacja** ma na celu likwidację zdolności osadów do zagniwania oraz eliminację organizmów chorobotwórczych. Procesy stabilizacji można podzielić na:

- biochemiczne – fermentacja metanowa, stabilizacja tlenowa, kompostowanie;
- chemiczne – wapnowanie;
- termiczne – spalanie, piroliza, zeszkliwienie.

Jaki sposób wykorzystania lub przekształcania osadów wydaje się najkorzystniejszy? Dlaczego nie można po prostu wywozić osadów poza teren oczyszczalni? – temat do dyskusji

#### 4.4. Dezynfekcja

Dezynfekcja to proces niszczenia drobnoustrojów, w szczególności chorobotwórczych, pochodzących głównie z wydalini i odpadków ludzkich i zwierzęcych. W procesach oczyszczania ścieków i stabilizacji osadów likwidowana jest znaczna część organizmów chorobotwórczych. Dalsza eliminacja następuje w procesach dezynfekcji.

Dezynfekcję można prowadzić metodami chemicznymi (chlorowanie, ozonowanie) lub fizycznymi (promieniowanie UV, pasteryzacja).

W procesach biologicznego i chemicznego oczyszczania ze ścieków usuwana jest większość mikroorganizmów chorobotwórczych (85-98%). Znaczne ilości mikroorganizmów przedostają się jednak do osadów ściekowych, stąd konieczne jest poddawanie dezynfekcji:

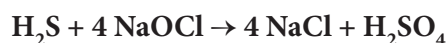
- ścieków i osadów ściekowych przed wykorzystaniem rolniczym;
- ścieków zakaźnych;
- ścieków przemysłowych (rzeźnie, garbarnie, zakłady utylizacyjne);
- skratek i piasku usuwanych z piaskowników.

#### 4.5. Dezodoryzacja

Procesy oczyszczania ścieków wiążą się nie tylko z usuwaniem zanieczyszczeń i zagospodarowywaniem osadów, ale również z ograniczaniem uciążliwości zapachowej. Nowoczesne oczyszczalnie (*Południe* od 2006 roku, *Czajka* po rozbudowie i modernizacji po 2010 roku) to obiekty całkowicie hermetyczne i praktycznie nieuciążliwe dla otoczenia.

Źródłem uciążliwości zapachowych są związki chemiczne, zarówno nieorganiczne (amoniak  $\text{NH}_3$ , siarkowodór  $\text{H}_2\text{S}$ ), jak i organiczne (merkaptany np.  $\text{CH}_3\text{-SH}$ ). Za „typowy” zapach ścieków surowych odpowiedzialny jest przede wszystkim siarkowodór – gaz palny i trujący.

Powietrze odsysane z nad powierzchni ścieków poddawane jest procesom oczyszczania, a substancje zapachowe niszczone i neutralizowane w procesie:



Całkowita hermetyzacja obiektów ogranicza również rozprzestrzenianie się w okolicy oczyszczalni rozmaitych związków chemicznych i mikroorganizmów w postaci **bioaerozoli** – drobnych kropeł cieczy (ścieków), łatwo unoszonych przez wiatr, a przez to podatnych na rozprzestrzenianie się w okolicach oczyszczalni.

##### ad. 5

Porównanie zdjęcia oczyszczalni ze schematem funkcjonalnym – jakie funkcje pełnią poszczególne obiekty?

Próba analizy stanu oczyszczalni – wskazanie pracujących obiektów, obiektów wyłączonych z pracy.

- zdjęcia lotnicze oczyszczalni – np. *CZAJKA (Z-6)*, *PRUSZKÓW*, *POŁUDNIE* (przykryta!)

Rozpoznaję, analizuję i zaznaczam (widzę, analizuję, działam) na fotoplane Warszawy poszczególne obiekty znajdujące się na terenach wybranych oczyszczalni i opisuję ich funkcje.

Wycieczka na teren oczyszczalni – próba samodzielnego określenia funkcji danego obiektu na podstawie jego umiejscowienia w oczyszczalni i cech charakterystycznych.

##### ad. 6

Pobór próbek z oczyszczalni:

- ścieki surowe;
- ścieki po oczyszczaniu mechanicznym (po piaskownikach);
- ścieki po oczyszczaniu wstępnym (po osadnikach wstępnych);
- ścieki oczyszczone (po osadnikach wtórnych);
- w celu porównania wody pobranej z Wisły powyżej Warszawy, w centrum i poniżej Warszawy, za ujściem kolektora oczyszczonych ścieków odprowadzanych z oczyszczalni.

Wykonanie analiz:

- przesączenie odmierzonej objętości próbki przez sączek
- wysuszenie sączka
- oznaczenie przyrostu masy na sączku metodą wagową
- obliczenie stężenia zanieczyszczeń
- oznaczenie stężenia biogenów

Ocena skuteczności usuwania zanieczyszczeń w oczyszczalni na podstawie przeprowadzonej analizy stężenia zawiesin w próbkach ścieków.

**ad. 7**

Pobór próbek z oczyszczalni

- ścieki po oczyszczaniu mechanicznym

Wykonanie doświadczenia – próba strącenia zawiesin za pomocą przygotowanych roztworów PE (polielektrolitów).

Ocena skuteczności działania polielektrolitu na podstawie obserwacji wizualnych

Pobór próbek z oczyszczalni – analiza stanu osadu czynnego

- osad czynny z reaktorów biologicznych

Analiza mikroskopowa – próba rozróżnienia i sklasyfikowania organizmów osadu czynnego oraz określenie roli i aktywności mikroorganizmów w oczyszczaniu ścieków.

- fotografie mikroorganizmów osadu czynnego (Z-7), np. z Czajki

Porównanie obrazu mikroskopowego z materiałem fotograficznym, razem z mikrobiologiem zatrudnionym w oczyszczalni. Ocena stanu osadu czynnego (osad „zdrowy” i „chory”).

**ad. 8**

Pobór próbek z oczyszczalni

- ścieki po oczyszczaniu mechanicznym;
- osad czynny.

Wykonanie doświadczenia – oznaczenie prędkości poboru tlenu (PPT).



## Osad czynny

Izabela Łukaszuk-Dziuba

Osad czynny to aktywna biologicznie zawiesina składająca się z żywych bakterii, orzęsków, wiciowców, wrotków, nicieni, ameb, niesporczaków, brzuchorzęsków, skąposzczetów. Jej zadaniem jest poprzez własny metabolizm, w odpowiednich warunkach, oczyszczenie ścieków wpływających do oczyszczalni.

Wbrew potocznemu rozumieniu tego terminu osad w początkowej fazie unosi się swobodnie w roztworze w postaci zawiesiny kłaczków. Są to posklejane śluzową zooglenalną substancją skupiska przede wszystkim bakterii heterotroficznych. Owe skupiska nazywa się kłaczkami. Skład gatunkowy występujących w nich bakterii, wielkość pojedynczych kłaczków, struktura, kształt i stopień ich rozproszenia w zawiesinie ścieków świadczą o kondycji osadu czynnego i decydują o skuteczności procesu oczyszczania. Bakterie heterotroficzne to najważniejsze organizmy spośród wchodzących w skład osadu czynnego – właśnie one są odpowiedzialne za oczyszczanie ścieków. Przetwarzają związki organiczne zawarte w ściekach w neutralne dla środowiska i proste związki: wodę, dwutlenek węgla.

W dużym uproszczeniu można to przedstawić w formie zapisu:

**mikroorganizmy + substancje odżywcze (ścieki) + tlen = wzrost biomasy mikroorganizmów + CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O**

Ich skład gatunkowy nie jest stały i zależy od warunków środowiskowych: pH, temperatury, natlenienia, składu chemicznego ścieków, w których się rozwijają i którymi się żywią. Ścieki z dużą ilością białek aktywują wzrost bakterii z rodzajów *Alcaligenes* czy *Bacillus* (żywiących się nimi i mających odpowiednie enzymy do ich rozkładu). Duża ilość wielocukrów i tłuszczów w ściekach sprzyja z kolei wzrostowi populacji *Pseudomonas*.

Bakteriom towarzyszą liczne pierwotniaki, zwłaszcza orzęski, wiciowce, ameby. Są one ważnym wskaźnikiem jakości osadu i jakości jego funkcjonowania.

Występowanie poszczególnych grup pierwotniaków wskazuje na jakość i kondycję osadu czynnego, natlenienie środowiska, a także na stężenie związków organicznych. Duża liczba orzęsków, np. *Vorticella* czy *Aspidisia costata*, świadczy o dobrej kondycji kłaczków bakteryjnych i aktywnym procesie oczyszczania. Orzęski oraz ich liczebność to jedne z podstawowych wskaźników pracy oczyszczalni. Spadek liczebności orzęsków i wypieranie ich przez coraz liczniejsze wiciowce (zwłaszcza z rodzajów *Bodo*) świadczą o złej kondycji osadu. Przyczyną zmiany składu mikroflory bakteryjnej i pierwotniaczej jest często przeciążenie nadmiarem ścieków organicznych, zmianą ich składu lub pojawieniem się związków toksycznych niszczących mikroflorę. Wiele gatunków jest tak wybiórczo uzależnionych od rodzaju i stężenia związków występujących w ściekach, że ich obecność stanowi dobry wskaźnik zarówno rodzaju zanieczyszczeń, jak i sposobu radzenia sobie z nimi. Pierwotniaki ze względu na swoją wrażliwość są lepszymi organizmami wskaźnikowymi niż bakterie wytrzymujące (często dzięki adaptacji) znacznie większe stężenia związków, także toksycznych. Pierwotniaki nie tylko uczestniczą w procesach tworzenia kłaczków i są organizmami wskaźnikowymi, ale żywiąc się bakteriami (również wolnopływającymi), również odmładzają populacje mikroorganizmów i utrzymują osad czynny w dobrej kondycji.

Pojawienie się bakterii nitkowatych i grzybów – wskaźników m.in. silnego zakwaszenia – świadczy o „chorobie” osadu czynnego (niekiedy śmiertelnej). Ich obecność bowiem nie tylko zakłóca jego funkcjonowanie, ale prowadzi także do jego zamierania. Rozproszone dotąd kłaczkami osadu czynnego, o dużej powierzchni czynnej, zanikają w roztworze, zmieniają swoją konsystencję bądź zbijają się w większe konglomeraty. Kozuchy osadu nagle wypływają na powierzchnię i przestają uczestniczyć w oczyszczaniu. Jednocześnie odcinają dostęp tlenu do głębszych warstw, w których jeszcze mogłyby zachodzić procesy konsumpcji ścieków. Bakterie nitkowate przedostają się do kolejnych urządzeń technologicznych i zakłócają prawidłowy proces etapów oczyszczania.

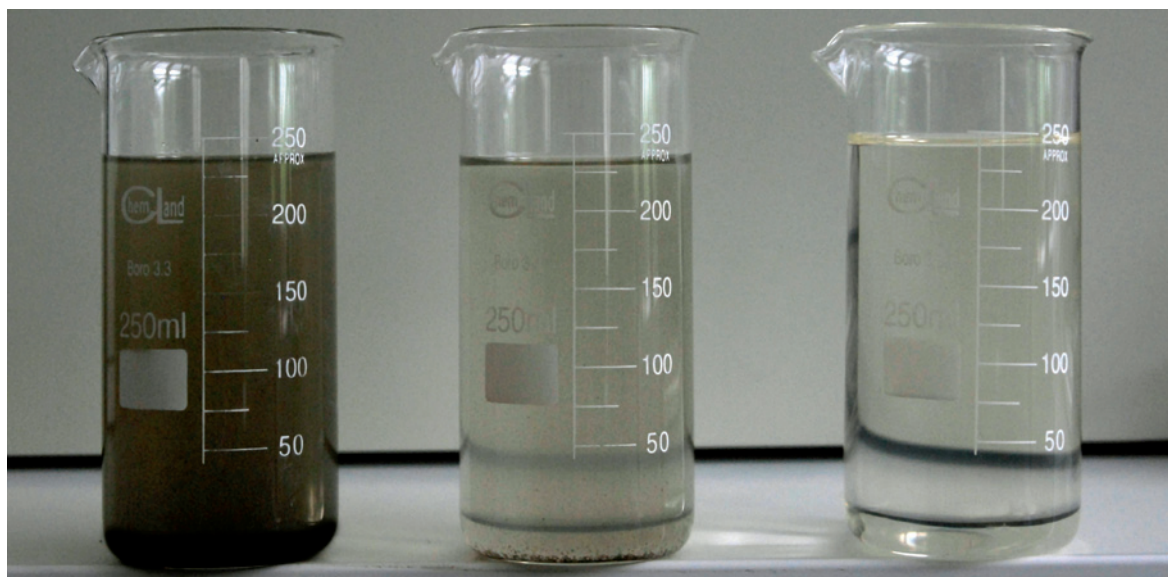
Badanie mikroskopowe, jeden z podstawowych sposobów obserwacji, dostarcza informacji o osadzie i pozwala ocenić przebieg i skuteczność oczyszczania. To badanie umożliwi wcześnie reagowanie na ewentualne problemy technologiczne.

Przeglądając preparat pobrany z określonego miejsca i porównując z poniższą tabelą, mogę sam dokonać podstawowej oceny jakości osadu i przebiegu oczyszczania.

Tym razem uniwersalna procedura poznawcza: WIDZĘ – ANALIZUJĘ – DZIAŁAM jest przeprowadzana w odniesieniu do obserwacji mikroskopowych.

Klasyfikacja osadu czynnego	Obraz mikroskopowy
Osad czynny w dobrej kondycji	Duża liczba bakterii zooglealnych i licznych orzęsków osiadłych, przy jednocześnie ograniczonej liczebności wiciowców i ameb oraz bakterii nitkowatych <i>Sphaerotilus</i> , <i>Beggiatoa</i> i <i>Thiotrix</i> oraz grzybów. Rozmiary kłaczków poniżej 100 mikrometrów.
Osad czynny w średniej kondycji	Spadek liczby orzęsków i jednocześnie wzrost liczby wiciowców, ameb. Pojawiają się bakterie nitkowate, także grzyby.
Osad czynny w złej lub bardzo złej kondycji	Bardzo mała liczebność orzęsków. Dominacja wiciowców, ameb, bakterii nitkowatych, często przerastających całe pole obserwacji, także grzybów. Bakterie zooglealne wymierają. Wypierane są przez bakterie spiralne. Przeważają kłaczkami o nietypowej strukturze i w dużych rozmiarach.

### Obserwacje makroskopowe



Na zdjęciu widzimy trzy naczynia z roztworem pobranym z oczyszczalni ścieków Czajka w Warszawie.

1. Ścieki surowe, nieoczyszczone, pobrane z komory zbiorczej, czyli to, co dopływa do oczyszczalni. Już po kilku minutach na dnie naczynia gromadzi się kilku-, kilkunastomilimetrowa warstwa sedymentującej zawiesiny.

2. Ścieki po wstępnym oczyszczeniu.

W tym wypadku z roztworu po kilkunastu minutach na dno opadają jedynie resztki zawiesiny. Jest jej już niewiele, a roztwór nad osadem jest znacznie bardziej klarowny. W roztworze znajdują się jednak nadal znaczne ilości niedostrzegalnych makroskopowo rozpuszczonych związków organicznych i nieorganicznych. Ścieki po wstępnym oczyszczeniu są kierowane do komór napowietrzania, w których oczyszczane są przez mikroorganizmy (osad czynny).

3. Ostatnia zlewka zawiera ścieki oczyszczone, czyli to, co wypływa z oczyszczalni bezpośrednio do Wisły. Wylot zlokalizowano na 527 kilometrów biegu rzeki. Roztwór jest klarowny, a zawartość rozpuszczonych w wodzie związków organicznych i nieorganicznych jest często mniejsza niż w rzece. Woda odprowadzana z oczyszczalni do rzeki może być więc czystsza niż w samej rzece.

## Obserwacje mikroskopowe

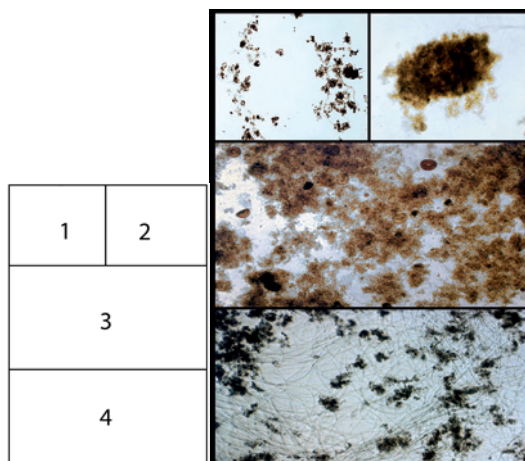
### Plansza 1

Fot. 1. Osad czynny; kłaczkki są jeszcze niewielkie i rozproszone. Jest to pierwsza faza wzrostu osadu czynnego. Przeważnie są to zlepione bakterie heterotroficzne, dla których ścieki stanowią pożywkę. Ważnymi cechami kłaczkka oprócz wielkości są również kształt, struktura i spójność.

Fot. 2. Pojedynczy olbrzymi kłaczek osadu czynnego powyżej 1000  $\mu\text{m}$ . Komórki mikroorganizmów nie rozpraszają się w podłożu, ale pozostają zlepione, co może też świadczyć o lokalnych różnicach gęstości i żyzności podłoża.

Fot. 3. Liczne zlepione ze sobą komórki bakterii zooglealnych (śluzowych) tworzą kłaczkki (aglomeraty) osadu czynnego, wypełniające równomiernie całe pole obserwacji. Korzystny dla oczyszczania przykład wzrostu mikroorganizmów osadu czynnego.

Fot. 4. Do oczyszczalni dopływają ścieki o różnym składzie chemicznym i biologicznym, niekiedy również toksyczne. Zmieniające się warunki środowiskowe w komorach napowietrzania mogą powodować masowy rozwój bakterii nitkowatych, co prowadzi do zaburzenia procesu sedymentacji. Osad spęczniały zwiększa swoją objętość i wyflotowuje na powierzchnię osadnika.



Na obrazie mikroskopowym widoczne jest masowe występowanie bakterii nitkowatych typu 021N. Przerastają one kłaczkki, wypełniają przestrzeń międzykłaczkową i wypierają osad czynny (mikroorganizmy). Pojawienie się grzybów nitkowatych powoduje zanikanie właściwego osadu czynnego biorącego udział w oczyszczaniu ścieków.

### Plansza 2

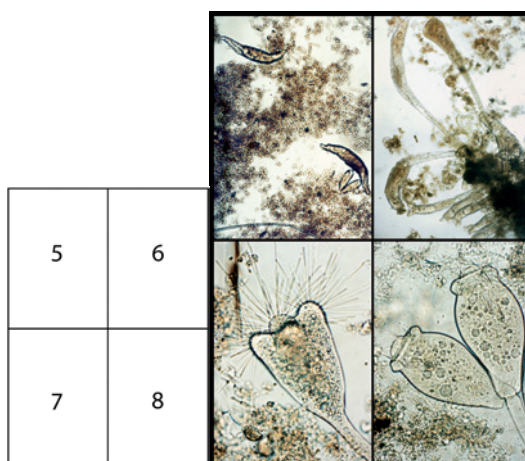
Fot. 5. W polu obserwacji widoczne są kłaczkki osadu czynnego z wolno pływającymi bakteriami oraz większe od nich mikroorganizmy: wrotki *Rotatoria* i orzęski osiadłe *Ciliata*.

Fot. 6. Liczne wrotki osiadłe na jednym z kłaczków. Może to sugerować, że ścieki są ubogie w związki odżywcze i drobnoustroje i dlatego „trzymają się” zasobnych w związki odżywcze kłaczków, unosząc się wraz z nimi.

Fot. 7. Orzęsek *Tokophyra quadripar-tita* jest jednym z organizmów wskaźnikowych charakteryzujących osad czynny i ścieki.

Występuje często w osadzie o niskim obciążeniu BZT5.

Fot. 8. Orzęsek *Epistylis sp.* występuje powszechnie w osadach czynnych. Jego cechą charakterystyczną są często występujące rozgałęzienia dychotomiczne (rozdwojenia).



### Plansza 3

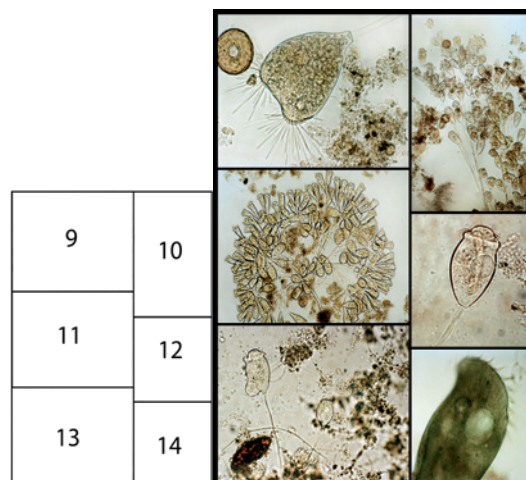
Fot. 9. Kłaczki osadu czynnego i mikroorganizmy: *Arcella sp.*, *Tokophyra sp.*

Fot. 10. Liczne orzęski.

Fot. 11. Bardzo duża kolonia *Epistylis sp.* Pierwotniaki te są wskaźnikiem właściwej i stabilnej pracy osadu czynnego.

Fot. 12. Wirczyk (*Vorticella sp.*) często występuje w ustabilizowanym i dobrze natlenionym osadzie.

Fot. 13. Obserwując pod mikroskopem osad czynny, zwracamy uwagę na jego kondycję. Bardzo dobrze jest, gdy widzimy proces rozmnażania. Obecność *Vorticella sp.* w trakcie podziału interpretujemy jako istnienie korzystnych warunków do rozwoju, a osad czynny jest w dobrej kondycji.



### Plansza 4

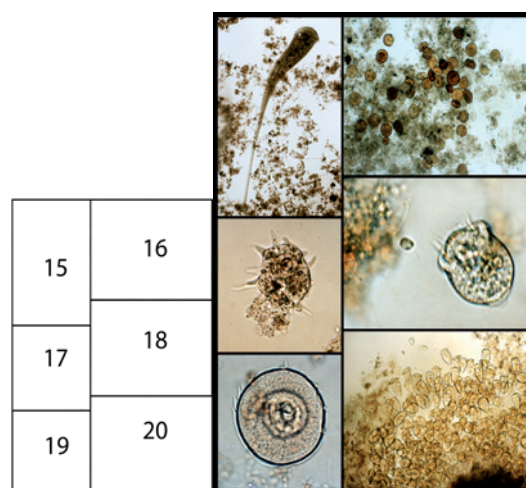
Fot. 15. Trąbik (*Stentor sp.*), kurczliwy orzęsek w kształcie trąbki. Występuje w nisko obciążonych i natlenionych ściekach.

Fot. 16. Liczne ameby domkowe (*Arcella sp.*). Mają długi cykl życiowy, spotykane są w osadzie stabilnym, dobrze natlenionym i nisko obciążonym.

Fot. 17. Ameba. Cytoplazmatyczne wypustki ułatwiają poruszanie i zdobywanie pokarmu. Duża liczba tych pierwotniaków występuje w osadzie nieustabilizowanym.

Fot. 18. Wirczyk bez nóżki.

Fot. 18 i 19. Każdy organizm ma swoje optimum bytowania. W warunkach niesprzyjających, spowodowanych choćby chwilową zmianą składu dopływających ścieków, pierwotniaki starają się zaadaptować do środowiska lub szukają nowego. Możemy wówczas zaobserwować, jak u orzęsków osiadłych zanika nóżka łącząca je dotąd trwale z podłożem (fot. 18) lub pojawiają się formy migracyjne (fot. 19).



#### Bartłomiej Batkowski

Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji w Warszawie SA  
e-mail: b.batkowski@mpwik.com.pl

#### Izabela Łukaszuk-Dziuba

Laboratorium Badawcze Ścieków „Czajka” MPWiK  
e-mail: i.lukaszuk-dziuba@mpwik.com.pl

Współpraca:

**Marek Ostrowski, Hanka Boszczyk-Maleszak**

Uniwersytet Warszawski

