



Instytut Badań Systemowych
POLSKIEJ AKADEMII NAUK

Jan Studziński

**IDENTYFIKACJA, SYMULACJA
I STEROWANIE
OCZYSZCZALNIAMI ŚCIEKÓW**



**IDENTYFIKACJA, SYMULACJA
I STEROWANIE
OCZYSZCZALNIAMI ŚCIEKÓW**

INSTYTUT BADAŃ SYSTEMOWYCH • POLSKA AKADEMIA NAUK

Seria: BADANIA SYSTEMOWE

tom 35

Redaktor naukowy:

Prof. dr hab. inż. Jakub Gutenbaum

Warszawa 2004

Jan Studziński

**IDENTYFIKACJA, SYMULACJA
I STEROWANIE
OCZYSZCZALNIAMI ŚCIEKÓW**

Publikację opiniowali do druku:

Prof. dr hab. inż. Krzysztof Kuczewski

Prof. dr hab. inż. Andrzej Straszak

Copyright © by Instytut Badań Systemowych PAN
Warszawa 2004

Komputerowa edycja tekstu: Anna Gostyńska

ISBN 83-85847-88-X

ISSN 0208-8029

Druk i oprawa: ARGRAF Sp. z o.o.
03-301 Warszawa, ul. Jagiellońska 76
tel. (22) 811 51 11, (22) 614 53 31

2. OCZYSZCZALNIE ŚCIEKÓW

2.1. Procesy biologicznego oczyszczania ścieków

Procesy biologiczne zachodzące w oczyszczalni zależą od tak zwanych *warunków tlenowych* ustalanych w zbiornikach oczyszczalni oraz od rodzaju mikroorganizmów uczestniczących w tych procesach. Wyróżnia się trzy rodzaje warunków tlenowych: *aerobowe*, *anoksydacyjne* i *anaerobowe*. Warunki *aerobowe* charakteryzują się znacznym stężeniem tlenu w ściekach, warunki *anoksydacyjne* charakteryzują się małym stężeniem tlenu i znacznym stężeniem azotanów, natomiast warunki *anaerobowe* charakteryzują się małymi stężeniami tlenu i azotanów.

Jednocześnie istnieją dwa podstawowe rodzaje mikroorganizmów wytwarzających osad czynny: bakterie *heterotroficzne* i *autotroficzne*. Bakterie *autotroficzne* są samożywne i mają zdolność wytwarzania w procesach chemosyntezy *związków organicznych*, czyli złożonych związków węgla, ze *związków nieorganicznych*, czyli związków wszystkich pierwiastków z wyłączeniem związków węgla z wodorem, czyli *węglowodorów*. Natomiast bakterie *heterotroficzne* są cudzożywne i przetwarzają związki organiczne na inne związki organiczne.

W oczyszczalniach mogą występować następujące procesy oczyszczania biologicznego:

- rozkład złożonych substancji organicznych pod wpływem wody nazywany *hydrolizą*, zachodzący w każdych warunkach tlenowych przy udziale enzymów zwanych *hydrolazami*;
- redukcja węgla organicznego z prostych związków organicznych, zachodząca w warunkach aerobowych przy udziale bakterii heterotroficznych;
- redukcja związków azotowych w postaci amoniaku i azotynów nazywana *nitryfikacją*, zachodząca w warunkach aerobowych przy udziale bakterii autotroficznych zwanych też *nitryfikacyjnymi*;
- redukcja związków azotowych w postaci azotanów nazywana *denitryfikacją*, zachodząca w warunkach anoksydacyjnych przy udziale bakterii heterotroficznych;
- redukcja związków fosforowych nazywana *defosfatacją*, zachodząca w warunkach anaerobowych z udziałem bakterii heterotroficznych.

Pełny proces oczyszczania biologicznego obejmuje redukcję węgla organicznego, nitryfikację, denitryfikację i defosfatację w warunkach odpowiednio aerobowych, anoksydacyjnych i anaerobowych. Jednak nie we wszystkich oczyszczalniach z osadem czynnym realizuje się wszystkie wymienione procesy

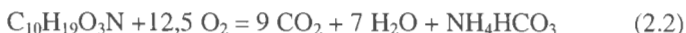
oczyszczania biologicznego. Często realizuje się tylko część tych procesów, na przykład redukcję węgla organicznego i nityfikację w warunkach aerobowych lub redukcję węgla organicznego, nityfikację i denityfikację w warunkach aerobowych i anoksycznych. Jest to spowodowane tym, że każdy kolejny proces biologiczny wymaga dodatkowych zbiorników i ustalenia w nich innych warunków tlenowych, co zwiększa koszty oczyszczalni i komplikuje także sterowanie procesem technologicznym.

Podstawowe reakcje biochemiczne zachodzące podczas procesów nityfikacji i denityfikacji są przedstawione poniżej.

Przyjmuje się na podstawie badań laboratoryjnych, że średnie proporcje pierwiastków zawartych w ściekach i uczestniczących w tych procesach, to znaczny węgla, wodoru, tlenu i azotu, bez uwzględniania fosforu, opisuje wzór [Szetela, 1990]



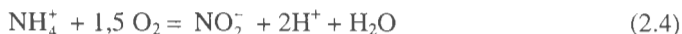
Bakterie heterotoficzne w obecności tlenu rozpuszczonego w ściekach przetwarzają ten związek następująco



w wyniku czego powstaje woda i wydziela się dwutlenek węgla. Proces ten nazywa się *dekarbonizacją*. Podczas tej reakcji powstają również jony amonowe NH_4^+ , dlatego proces nazywa się także *amonifikacją* ścieków. Część azotu wbudowuje się w komórki rozwijających się bakterii heterotroficznych, co zapisuje się zależnością



Dalsze reakcje zachodzą również przy udziale tlenu, jednak pod wpływem bakterii autotroficznych, przede wszystkim bakterii o nazwie *Nitrosomonas*. Przetwarzają one związki amonowe w azotynowe, co oznacza *nitryfikację pierwszego stopnia*

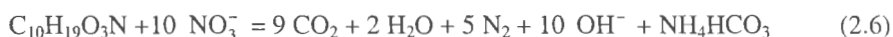


Następnie, przede wszystkim pod wpływem bakterii o nazwie *Nitrobacter*, związki azotynowe są przetwarzane w związki azotanowe, co oznacza *nitryfikację drugiego stopnia*



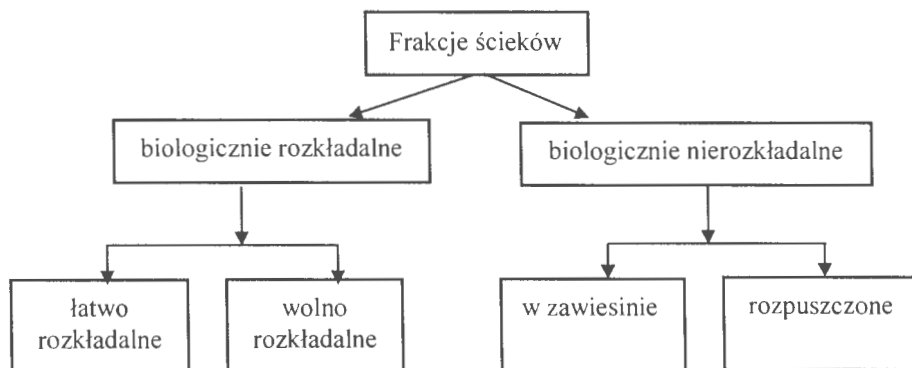
Wzrost bakterii autotroficznych jest wolniejszy od wzrostu bakterii heterotroficznych i wymaga dłuższych czasów przetrzymania ścieków w zbiorniku z osadem czynnym. Ponadto wzrost bakterii autotroficznych silnie zależy od zmian temperatury i znacznie się spowalnia przy spadku temperatury o kilka stopni od optymalnej temperatury reakcji.

Związki azotanowe są rozkładane przez bakterie heterotroficzne w anoksydacyjnych warunkach niedotlenienia w procesie *denitryfikacji dysymilacyjnej*



W rezultacie powstaje azot gazowy ulatniający się do atmosfery, co kończy pełny cykl redukcji azotu w ściekach.

Podstawową sprawą w badaniach procesów oczyszczania i przy tworzeniu modeli matematycznych oczyszczalni jest podział ścieków na *frakcje*, których stężenie i zmianę tego stężenia w czasie opisuje się oddzielnymi równaniami. Istniejące modele oczyszczalni różnią się przede wszystkim właśnie liczbą frakcji uwzględnianych w ściekach i rodzajem zachodzących z ich udziałem procesów. *Frakcje ścieków* nazywa się czasami zamiennie *frakcjami zanieczyszczeń* a podział ścieków na frakcje nazywa się podziałem zanieczyszczeń na frakcje.



Rys. 2.1. Podstawowe frakcje ścieków

Ogólny podział ścieków na frakcje pokazano na rys. 2.1. Ścieki składają się z c i e c z y i pływającej w niej z a w i e s i n y. Przyjmuje się, że dzielą się one na frakcje *rozpuszczone*, zawarte w cieczy, i frakcje *nierozpuszczone*, zawarte w zawiesinie. Kolejny podział dotyczy frakcji *biologicznie rozkładalnych*

i *biologicznie nierozkładalnych*. Jednocześnie frakcje rozkładalne dzielą się na *wolno rozkładalne* i *łatwo rozkładalne*, przy czym o tym podziale decyduje szybkość zachodzenia reakcji rozkładu. Ponadto przyjmuje się, że frakcje rozpuszczone biologicznie nierozkładalne przechodzą przez cały proces oczyszczania bez zmian, natomiast frakcje w zawiesinie biologicznie nierozkładalne ulegają sedymentacji i jako składnik osadu nadmiernego są usuwane ze zbiorników oczyszczalni. Stanowią one później surowiec tak zwanej *gospodarki osadowej*, której celem jest odpowiednie przetworzenie osadu i jego zagospodarowanie [Szetela, 1990; Schmidt, 1994; Łomotowski, 1996; Reichert, 1998].

Frakcje biologicznie rozkładalne w ściekach, to przede wszystkim związki organiczne, w których skład wchodzi węgiel, wodór i tlen, oraz związki azotowe i fosforowe. W skład frakcji biologicznie rozkładalnych wchodzi również bakterie autotroficzne i heterotroficzne wytwarzające osad czynny.

Aby określić stan procesów zachodzących w ściekach, mierzy się okresowo stężenia podstawowych składników ścieków. Ponieważ bezpośredni pomiar stężeń związków organicznych jest bardzo kłopotliwy, więc zastępuje się go pomiarem BZT (*Biologiczne Zapotrzebowanie Tlenu*), ustalającym zapotrzebowanie ścieków na tlen niezbędny do utlenienia związków organicznych w warunkach tlenowych na drodze biochemicznej. Wyznaczana wartość BZT zależy od rodzaju i stężenia substancji organicznych w ściekach, od ilości, rodzaju i aktywności drobnoustrojów w badanej próbce, oraz od temperatury i zasadowości ścieków, czyli ich odczynu pH. Ponieważ wiarygodny pomiar BZT wymaga długiego czasu, do 25 dni, więc w praktyce zastępuje się go pomiarem BZT₅ (*Biologiczne Zapotrzebowanie Tlenu w okresie pięciodniowym*), przy czym BZT₅ jest równoważne około 70 % BZT [Łomotowski, 1998b].

Ocena stanu procesu oczyszczania na podstawie pomiaru BZT₅ jest jednak często obciążona błędami i dlatego lepszym wskaźnikiem zapotrzebowania tlenu jest pomiar ChZT (*Chemiczne Zapotrzebowanie Tlenu*). ChZT oznacza ilość tlenu równoważną z ilością dwuchromianu potasu niezbędną do utlenienia związków organicznych i nieorganicznych w badanej próbce ścieków i ten pomiar jest stosunkowo szybki, przy czym wartości ChZT są zawsze większe od BZT₅.

Na jakość realizowanego w oczyszczalni procesu oczyszczania w istotny sposób wpływają parametry ścieków surowych dopływających do oczyszczalni. Charakterystyczne parametry ścieków surowych, to natężenie dopływu, skład ścieków, stężenia poszczególnych składników oraz własności fizyko-chemiczne ścieków: temperatura, zasadowość, wartości BZT₅ i ChZT.

Prowadząc badania oczyszczalni wyróżnia się w szczególności następujące podstawowe parametry ścieków surowych [Łomotowski, 1996; Skaskiewicz, 1997; Szetela, 1997]:

- stężenia związków organicznych rozpuszczonych, w tym:
 - związków biologicznie łatwo rozkładalnych,
 - związków biologicznie wolno rozkładalnych,
 - związków biologicznie nierozkładalnych;
- stężenia związków organicznych zawartych w zawieszynie, w tym:
 - związków biologicznie rozkładalnych,
 - związków biologicznie nierozkładalnych;
- stężenie zawiesiny ogólnej,
- wartość BZT₅,
- wartość ChZT,
- stężenie azotu ogólnego,
- stężenie azotu organicznego,
- stężenie azotu amonowego,
- stężenie azotu azotynowego,
- stężenie azotu azotanowego,
- stężenie fosforu ogólnego,
- stężenie tlenu rozpuszczonego,
- zasadowość pH,
- temperatura,
- natężenie dopływu.

Wartości tych parametrów, które mogą być mierzone lub obliczane, określają jakość dopływających ścieków surowych i oddziałując na proces oczyszczania wpływają w konsekwencji na jakość ścieków oczyszczonych.

Wszystkie te parametry zmieniają się w czasie. Zmiany występują na ogół w cyklach: d o b o w y m, t y g o d n i o w y m, s e z o n o w y m i r o c z n y m. Jednak często parametry ścieków surowych zmieniają się także sporadycznie i gwałtownie, na przykład w przypadku opadów deszczu, ponieważ większość miejskich systemów kanalizacyjnych doprowadzających ścieki do oczyszczalni ma charakter ogólnospławny. Oznacza to, że wody opadowe mieszają się ze ściekami komunalnymi powodując gwałtowny przyrost ilości ścieków surowych wprowadzanych do oczyszczalni. Intensywny dopływ wód opadowych powoduje często przeciążenia hydrauliczne zbiorników oczyszczalni, zaburzenia pracy osadu czynnego ze względu na znaczne rozcieńczenie ścieków, pogorszenie się własności sedymentacyjnych osadu a nawet wynoszenie osadu z komór z osadem czynnym.

2.2. Ogólny schemat oczyszczalni

Podstawowym zadaniem oczyszczalni ścieków jest redukcja zanieczyszczeń wpływających negatywnie na ekosystem wodny, do którego ścieki oczyszczone są odprowadzane [Łomotowski, 1996]. W oczyszczalni realizuje się następujące podstawowe procesy:

- usunięcie ze ścieków zawieszin łatwo sedymentujących; zawiesiny znajdujące się w ściekach odprowadzanych do zbiornika wód powierzchniowych tworzą na jego dnie osad, który powoduje odtlenienie wody i w konsekwencji zanik życia biologicznego;
- usunięcie ze ścieków związków organicznych biologicznie łatwo rozkładalnych; odprowadzenie tych związków do wód powierzchniowych powoduje również odtlenianie wody;
- utlenienie azotu amonowego; azot amonowy odprowadzony do wód powierzchniowych utlenia się, pogarszając znacznie ich warunki tlenowe; utlenienie 1 g amoniaku zużywa 4,6 g tlenu;
- usunięcie ze ścieków *związków biogennych*: azotowych w postaci azotynów i azotanów, oraz fosforowych; odprowadzenie związków biogennych, zwanych *biogenami*, do wód powierzchniowych powoduje zakwitanie glonów zużywających znaczne ilości tlenu; na przykład 1 g fosforu powoduje rozrost glonów zużywających 138 g tlenu.

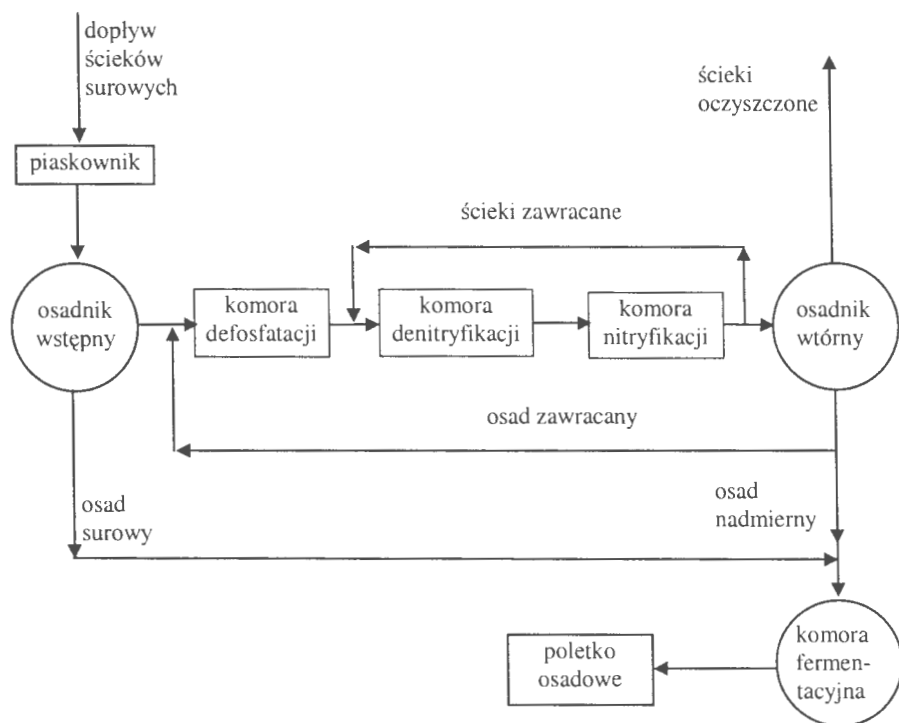
W zależności od tego, które procesy oczyszczania realizuje się w danej oczyszczalni, stosuje się w niej różne układy technologiczne. Złożony układ technologiczny, uwzględniający wszystkie elementy mechaniczno-biologicznego procesu oczyszczania ścieków, przedstawiono na rys. 2.2. Składa się on z następujących elementów: kanału dopływu ścieków surowych, piaskownika osadnika wstępnego, trzech komór z osadem czynnym do defosfatacji, denitryfikacji i nitryfikacji, osadnika wtórnego, układu recyrkulacji ścieków oraz układu recyrkulacji osadu.

Ten złożony układ technologiczny może występować również w wersjach uproszczonych, realizujących procesy oczyszczania częściowego. Są to na przykład: układ z usuwaniem ze ścieków związków organicznych i częściowym usuwaniem związków azotowych, to znaczy układ z rys. 2.2 bez komór defosfatacji i denitryfikacji, oraz układ z usuwaniem związków organicznych i pełnym usuwaniem związków azotowych, to znaczy układ z rys. 2.2 bez komory defosfatacji.

Z tego przeglądu możliwych procesów oczyszczania biologicznego widać, że współczesna oczyszczalnia ścieków jest skomplikowanym systemem wymagającym również złożonych układów sterowania. Dwie podstawowe zmienne sterujące, to

poziom tlenu rozpuszczonego w zbiornikach oczyszczania biologicznego oraz natężenie strumienia osadu zawracanego, czyli stopień *recyrkulacji zewnętrznej*.

W bardziej złożonych procesach technologicznych część ścieków już oczyszczonych biologicznie ponownie doprowadza się do zbiorników oczyszczania biologicznego i wtedy mamy do czynienia z zawracaniem ścieków oraz dodatkową zmienną sterującą w postaci *natężenia strumienia ścieków zwracanych*, czyli ze stopniem *recyrkulacji wewnętrznej*.



Rys. 2.2. Ogólny schemat oczyszczalni z osadem czynnym

W wyniku realizowanego w oczyszczalni procesu oczyszczania powstają produkty końcowe, które są poddawane dalszemu przetwarzaniu zwanemu *gospodarką osadową*. Te produkty końcowe, to *osad nadmierny* usuwany z osadników wtórnych oraz *osad surowy* usuwany z osadników wstępnych. Oba strumienie osadów są ze sobą mieszane a ich dalsze przetwarzanie polega na

wstępnym zagęszczeniu osadów w urządzeniach zagęszczających zwanych zagęszczarkami, poddaniu ich procesowi fermentacji w komorach fermentacyjnych i odwodnieniu przy użyciu pras lub wirówek. Zagęszczanie osadów następuje zwykle w sposób grawitacyjny. Następne dwie podstawowe technologie gospodarki osadowej, to stosowanie poletek osadowych lub spalarni osadu.

Przetwarzanie osadów pościekowych jest trudnym zagadnieniem i zwykle niedocenianym, ponieważ za ważniejsze uważa się samo oczyszczenie ścieków. Jednocześnie w wielkich oczyszczalniach miejskich produkuje się dziennie wielkie ilości tego osadu, rzędu kilkudziesięciu czy nawet kilkuset ton. Jego zagospodarowanie jest wówczas niezwykle trudne, przede wszystkim ze względu na ilość oraz ponieważ może on być bardzo toksyczny i zawierać znaczne ilości związków metali ciężkich.

Poniżej zostaną opisane podstawowe zbiorniki i układy mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków oraz zachodzące w nich procesy oczyszczania.

- **Piaskowniki**

Piaskownik służy do oczyszczania mechanicznego ścieków. Do piaskowników, mających często kształt wydłużonego prostopadłościanu, tłoczy się sprężone powietrze powodując wstępne utlenianie ścieków. W piaskowniku następuje sedymentacja dużych cząstek mineralnych o średnicy ponad 0,2 mm. Takie cząstki tworzą *piasek* i stąd pochodzi nazwa *piaskownik*. Szybkość sedymentacji zawiesiny mineralnej opisuje wzór Stokesa [Szetela, 1997]

$$v_s = \frac{gd^2(\rho - 1)}{18\nu} \quad (2.1)$$

gdzie: v_s – szybkość sedymentacji, g – przyspieszenie ziemskie, d – średnica cząstek, ρ – gęstość zawiesiny, ν – lepkość kinematyczna zawiesiny.

Przepływ ścieków przez piaskownik jest bardzo szybki i trwa zwykle kilka minut. Jeżeli jest zbyt wolny, to z piaskiem będą osadzać się również cząstki organiczne, natomiast jeżeli jest zbyt szybki, to piasek nie zdąży sedymentować i będzie wprowadzany ze ściekami do kolejnych zbiorników oczyszczalni. Oba przypadki są niekorzystne dla dalszego procesu oczyszczania i należy je eliminować, zmniejszając lub zwiększając długość piaskownika, na ogół poprzez odłączenie lub dołączenie dodatkowych jego komór [Skaskiewicz, 1996].

- **Osadniki wstępne**

Osadniki wstępne, podobnie jak piaskowniki, służą do oczyszczania mechanicznego ścieków. Zachodzi w nich mieszanie ścieków i sedymentacja zanieczyszczeń stałych i organicznych. Mają one zwykle postać zbiorników prostopadłościennych lub w kształcie walca. W wyniku sedymentacji zmniejsza się stężenie zanieczyszczeń w ściekach przepływających z osadników wstępnych do komór z osadem czynnym. Przy podziale zanieczyszczeń w ściekach na dwie podstawowe frakcje: związków *rozpuszczonych* i związków *nierozpuszczonych*, czyli tworzących zawiesinę i sedymentujących, następuje w osadnikach wstępnych częściowa redukcja jedynie związków nierozpuszczonych. Natomiast związki rozpuszczone ulegają wymieszaniu i bez zmiany stężenia opuszczają osadniki. Osad gromadzący się w dolnej części zbiorników jest, jako tak zwany *osad surowy*, odprowadzany z oczyszczalni.

Dwa podstawowe równania opisujące zmianę stężeń w ściekach związków rozpuszczonych wskutek mieszania i związków nierozpuszczonych wskutek mieszania i sedymentacji, mają postać [Lessard i Beck, 1988]:

$$\frac{ds}{dt} = \frac{Q}{V}(s_d - s) \quad (2.2)$$

$$\frac{dx}{dt} = \frac{Q}{V}(x_d - x) - v_s \frac{A}{V} x^B \quad (2.3)$$

gdzie: s , x – stężenia związków rozpuszczonych i nierozpuszczonych na wyjściu osadnika wstępnego, Q – natężenie dopływu ścieków surowych, V – objętość osadnika, s_d , x_d – stężenia związków rozpuszczonych i nierozpuszczonych na wejściu osadnika wstępnego, A , B – współczynniki stałe wyznaczone eksperymentalnie, v_s – szybkość sedymentacji związków nierozpuszczonych, wyznaczana również zwykle laboratoryjnie.

Przepływ ścieków przez osadniki trwa dłużej niż przez piaskowniki i wynosi zwykle kilka godzin, zależąc od objętości czynnej osadników i natężenia dopływu. Osad surowy, gromadzący się na dnie osadników, jest z nich odprowadzany nie w sposób ciągły a cyklicznie, co może być przyczyną zakłóceń w pracy osadników. Dwa takie niekorzystne zjawiska, to *wypływanie osadu* na powierzchnię lub *zagniwanie ścieków* w osadnikach [Skaskiewicz, 1996]. Oba zjawiska są zwykle spowodowane zbyt długim zaleganiem osadu na dnie osadników i należy wówczas zwiększyć częstotliwość jego usuwania. W drugim przypadku przyczyną może być także zbyt słabe napowietrzanie ścieków w piaskownikach i wówczas należy zintensyfikować dopływ powietrza.

- **Komory z osadem czynnym**

W komorach z osadem czynnym realizuje się procesy oczyszczania biologicznego ścieków, które wstępnie oczyszczono mechanicznie w osadnikach wstępnych. Procesy te zachodzą przy udziale dwóch podstawowych rodzajów bakterii wytwarzających osad czynny: bakterii autotroficznych i heterotroficznych, oraz w zróżnicowanych warunkach tlenowych: aerobowych, anoksycznych oraz anaerobowych. Do komór z osadem czynnym, w których dla zajścia określonych procesów są wymagane warunki aerobowe, doprowadza się tlen poprzez napowietrzanie ścieków, dlatego nazywa się je także *komorami napowietrzania*.

Podstawowe procesy biochemiczne zachodzące w komorach z osadem czynnym, to: *hydroliza*, *nitryfikacja*, *denitryfikacja* i *defosfatacja*, przy czym ich zachodzenie jest warunkowane ilością tlenu, rodzajem obecnych bakterii oraz ilością i rodzajem związków organicznych i nieorganicznych występujących w ściekach. Dodatkowe procesy biologiczne w komorach dotyczą rozwoju i obumierania bakterii wytwarzających osad czynny i zależą one od wieku bakterii, warunków tlenowych i tak zwanego *ładunku zanieczyszczeń*, mierzonego ilością zanieczyszczeń w ściekach. Proces obumierania bakterii, powodujący zmniejszenie masy osadu czynnego, czyli *biomasy bakterii*, nazywa się *lizą*, przy czym materia organiczna powstała z obumarłych bakterii ulega następnie hydrolizie [Łomotowski, 1997a; Skaskiewicz, 1997].

Proces *hydrolizy* polega na rozkładzie złożonych związków organicznych na proste związki organiczne, stanowiące następnie pokarm bakterii heterotroficznych. Proces hydrolizy zachodzi w każdych warunkach tlenowych pod wpływem enzymów zwanych hydrolazami. Wyróżnia się trzy rodzaje hydrolizy: hydrolizę organicznych związków rozpuszczonych, hydrolizę organicznych związków nierozpuszczonych z adsorpcją produktów hydrolizy na powierzchni bakterii tworzących osad czynny, oraz hydrolizę organicznych związków nierozpuszczonych bez adsorpcji produktów hydrolizy na powierzchni bakterii tworzących osad czynny.

Proces pełnej *nitryfikacji* składa się z dwóch faz: *nitryfikacji pierwszego stopnia*, gdy związki amonowe z jonami NH_4^+ są przekształcane do związków azotynowych z jonami NO_2^- , oraz *nitryfikacji drugiego stopnia*, gdy związki azotynowe są przekształcane do związków azotanowych z jonami NO_3^- . Obie fazy nitryfikacji zachodzą w warunkach aerobowych przy udziale bakterii autotroficznych. Jednak w różnych fazach nitryfikacji uczestniczą różne rodzaje bakterii autotroficznych: w nitryfikacji pierwszego stopnia uczestniczą bakterie *Nitrosomonas*, *Nitrosolubus* i *Nitrosospira*, natomiast w nitryfikacji drugiego stopnia uczestniczą bakterie *Nitrobacter*, *Nitrosocystis*, *Nitrosolubus* i *Nitrosospira*. Mają one różną wrażliwość na skład ścieków i różne szybkości reakcji, co znacznie

komplikuje proces dekompozycji związków azotowych. Bakterie *Nitrobacter* są bardzo wrażliwe na poziom stężenia amoniaku w ściekach i jego wzrost działa hamująco na drugą fazę nityfikacji. Jednocześnie szybkość utleniania amoniaku do azotynów, czyli pierwsza faza nityfikacji, jest znacznie wolniejsza od szybkości utleniania azotynów do azotanów, czyli od drugiej fazy nityfikacji. Te uwarunkowania mogą stwarzać sytuacje, że stężenia amoniaku w ściekach będą znaczne a azotynów niewielkie, co może prowadzić do zahamowania lub całkowitego zatrzymanie drugiej fazy nityfikacji.

Proces *denityfikacji* polega na przekształcaniu związków azotanowych w azot gazowy w warunkach anoksycznych i przy udziale bakterii heterotroficznych. Azot gazowy jest słabo rozpuszczalny w wodzie i łatwo uwalniany do atmosfery. Bakterie uczestniczące w procesie należą do tak zwanych bakterii *fakultatywnych*, które mogą rozwijać się zarówno w aerobowych warunkach tlenowych, jak i w anoksycznych warunkach niedotlenienia, przy czym w warunkach anoksycznych powodują one redukcję azotanów, a także azotynów, do azotu gazowego. Rozwój bakterii heterotroficznych nie zależy od warunków tlenowych, natomiast jest wrażliwy na temperaturę i wartość pH ścieków. Temperatura optymalna procesu denityfikacji wynosi 20 °C, jej wzrost nie przyspiesza procesu a spadek powoduje jego znaczne spowolnienie. Z kolei optymalna wartość pH wynosi 7 i proces ulega zahamowaniu, jeżeli wartość pH spadnie poniżej 6 lub wzrośnie powyżej 8.

Zasadnicza faza procesu *defosfatacji*, dotyczącego redukcji związków fosforowych, zachodzi w beztlenowych warunkach anaerobowych przy udziale bakterii *Acinetobacter* i *Arthrobacter* z rodziny fakultatywnych bakterii heterotroficznych. Pełny proces defosfatacji zachodzi, podobnie jak nityfikacja, również w dwóch fazach różniących się warunkami tlenowymi. W fazie pierwszej, beztlenowej, bakterie uwalniają zakumulowane w nich fosforany, natomiast w fazie drugiej procesu następuje intensywne akumulacja związków fosforowych, w postaci polifosforanów, w komórkach tych samych bakterii, ale już w warunkach tlenowych.

W ściekach przepływających przez komory z osadem czynnym rozróżnia się następujące podstawowe *frakcje ścieków*:

- związki organiczne rozpuszczone biologicznie nierozkładalne,
- zawiesiny organiczne biologicznie nierozkładalne,
- związki organiczne biologicznie łatwo rozkładalne,
- związki organiczne biologicznie wolno rozkładalne,
- azot organiczny biologicznie nierozkładalny,
- azot organiczny rozpuszczony biologicznie rozkładalny,
- azot organiczny w zawiesinie biologicznie rozkładalny,
- azot amonowy,
- azot azotanowy,

- biomasa heterotroficzna,
- biomasa autotroficzna,
- produkty obumierania biomasy biologicznie nierozkładalne,
- zawiesiny mineralne,
- fosforany,
- polifosforany,
- tlen rozpuszczony.

Podstawowe równanie opisujące zmianę stężenia danej frakcji w komorze ma postać liniowego równania różniczkowego zwyczajnego [Grady i in., 1986]

$$\frac{dc}{dt} = \frac{1}{V} (L_{dc} - Q_o c) + v_{rc} \quad (2.4)$$

gdzie: c – stężenie frakcji zanieczyszczeń, V – objętość komory osadu czynnego, L_{dc} – sumaryczny ładunek danej frakcji dopływający do komory, Q_o – natężenie odpływu ścieków z komory, v_{rc} – wypadkowa szybkość reakcji dla danej frakcji.

Przy tym sumaryczny ładunek L_{dc} uwzględnia stężenia danej frakcji we wszystkich strumieniach dopływających do komory, to znaczy

$$L_{dc} = Q_d c_d + Q_p c_p + Q_r c_r \quad (2.5)$$

gdzie Q_d , Q_p , Q_r są to natężenia odpowiednio strumienia ścieków, osadu zawracanego i ścieków zawracanych, natomiast c_d , c_p , c_r są to stężenia badanej frakcji w tych strumieniach.

Dwa podstawowe zakłócenia pracy komór z osadem czynnym, to tak zwane *puchnięcie osadu*, czyli nadmierny wzrost jego objętości, oraz *powstawanie piany* na powierzchni ścieków [Skaskiewicz, 1996]. Pierwsze zjawisko jest spowodowane zbyt niskim obciążeniem osadu ładunkiem zanieczyszczeń lub zbyt długim wiekiem osadu, natomiast przyczyną drugiego zjawiska jest zbyt niskie stężenie osadu czynnego. W pierwszym przypadku należy zintensyfikować usuwanie osadu nadmiernego z oczyszczalni, czyli zmniejszyć stopień recyrkulacji zewnętrznej, zaś w drugim przypadku odwrotnie – należy wstrzymać usuwanie osadu nadmiernego poprzez zwiększenie stopnia recyrkulacji zewnętrznej.

- **Osadniki wtórne**

W osadnikach wtórnych zachodzą dwa procesy związane z oczyszczaniem mechanicznym: *klarowanie ścieków* w wyniku grawitacyjnej sedymentacji osadu

czynnego oraz *zagęszczanie sedymentującego osadu*. Kształt osadników wtórnych jest zwykle w kształcie walca. W osadniku można wyróżnić dwie strefy: górną – *klarowania*, i dolną – *zagęszczania względnie sedymentacji*. Mniej więcej na granicy tych stref znajduje się dopływ ścieków z komór z osadem czynnym, na poziomie powierzchni strefy klarowania znajduje się odpływ ścieków oczyszczonych, zaś w dnie zbiornika, w dolnej części strefy zagęszczania, jest umieszczony odpływ osadu. Ścieki oczyszczone odprowadza się do rzeki przepływającej zwykle obok oczyszczalni, natomiast część osadu zawraca się do komór z osadem czynnym a pozostałą część, w postaci *osadu nadmiernego*, usuwa się z ciągu technologicznego i poddaje utylizacji, jako surowiec *gospodarki osadowej*.

Równania stosowane przy opisie osadnika wtórnego dotyczą wielkości i szybkości strumieni zawieszin opadających na dno osadnika [Takacs i in., 1991]. Wyróżnia się dwa strumienie sedymentującej zawiesiny: strumień wywołany grawitacją oraz strumień wywołany zawracaniem, czyli recyrkulacją osadu.

Przyjmuje się następujące równania:

$$G_c = G_g + G_r \quad (2.6)$$

$$G_g = cv \quad (2.7)$$

$$G_r = cu \quad (2.8)$$

$$v = v_o e^{-Bc} \quad (2.9)$$

gdzie: G_c , G_g , G_r – strumienie zawiesiny: całkowity, spowodowany grawitacją i wywołany recyrkulacją osadu; c – stężenie osadu; v – szybkość sedymentacji osadu spowodowana grawitacją; u – szybkość sedymentacji spowodowana recyrkulacją osadu i proporcjonalna do natężenia recyrkulacji; v_o , B – stałe empiryczne.

Podstawowe zakłócenia w pracy osadników wtórnych polegają na [Skaskiewicz, 1996]: *wyływaniu osadu* na powierzchnię osadników, czyli przechodzeniu osadu do strefy klarowania i pogorszeniu się jakości oczyszczonych ścieków; *podnoszeniu się poziomu osadu* w osadniku, czyli przesuwaniu się w górę granicy między strefą klarowania i zagęszczania, co grozi wynoszeniem osadu na powierzchnię osadnika; *zmętnieniu ścieków* oczyszczonych wpływających z oczyszczalni. W pierwszym i drugim przypadku przyczyną zjawiska jest przekroczenie dopuszczalnego obciążenia hydraulicznego osadników osadem i aby temu zaradzić, należy zwiększyć stopień recyrkulacji zewnętrznej lub zintensyfikować odprowadzanie osadu nadmiernego. W trzecim przypadku przyczyną jest zbyt niskie stężenie osadu czynnego w komorach napowietrzania

i wówczas należy się wstrzymać z usuwaniem osadu nadmiernego z osadników wtórnych.

- ***Układy recyrkulacji***

W oczyszczalniach ścieków z pełną redukcją związków azotowych, czyli nityfikacją pierwszego i drugiego stopnia oraz denityfikacją, stosuje się dwa układy recyrkulacji: *wewnętrznej* – ścieków, i *zewnętrznej* – osadu czynnego, natomiast w oczyszczalniach bez denityfikacji stosuje się jedynie układy recyrkulacji zewnętrznej. Recyrkulacja, czyli zawracanie osadu jest konieczne, aby nie dopuścić do usunięcia bakterii z komór z osadem czynnym, gdzie uczestniczą one w procesach oczyszczania biologicznego. Bez recyrkulacji osadu bakterie przepływające wraz ze ściekami z komór do osadników wtórnych byłyby usuwane z oczyszczalni jako osad nadmierny. Natomiast recyrkulację, czyli zawracanie ścieków z wyjścia komory nityfikacji na wejście komory denityfikacji, stosuje się aby zapewnić warunki anoksyczne w komorze denityfikacji, bez dodatkowego napowietrzania tej komory i jedynie za pomocą tlenu, który w znacznej ilości dostarczono do komory nityfikacji (rys. 2.2).

- ***Komory fermentacyjne***

Komory fermentacyjne, czyli tak zwane WKF – *Wydzielone Komory Fermentacyjne*, stosuje się do biostabilizacji osadów pościekowych, której celem jest usunięcie z osadów łatwo rozkładalnych związków organicznych i zanieczyszczeń biologicznych [Łomotowski, 1997b]. W komorach następuje fermentacja materii organicznej pod wpływem temperatury utrzymywanej na poziomie około 36 °C. W wyniku fermentacji powstaje biogaz metan, wykorzystywany zwykle jako źródło energii cieplnej dla potrzeb oczyszczalni. Podczas fermentacji ulega rozkładowi od 60 do 70 % związków organicznych. W zależności od składu osadów zawartość metanu w wytwarzanym biogazie wynosi od 55 do 70 %, zawartość dwutlenku węgla od 27 do 44 %, zawartość wodoru około 1 % i zawartość siarkowodoru około 3 %. Wartość opałowa biogazu wynosi od 20 do 25 MJ/m².

- ***Poletka osadowe***

Jedną z technologii przetwarzania osadów pościekowych jest stosowanie poletek osadowych. Osad po fermentacji i odwodnieniu wylewa się na specjalnie wyznaczone place pod gołym niebem, zwane *poletkami*, gdzie wysycha on w sposób naturalny, a następnie jest usuwany dla zwolnienia miejsca dla kolejnych porcji

osadu. Ta forma utylizacji jest bardzo prosta i nie wymaga specjalnych inwestycji, jednak jest również bardzo niewygodna. Powstała w czasie, gdy oczyszczalnie nie miały jeszcze wielkich wydajności a ścieki nie były bardzo zanieczyszczone związkami toksycznymi. Wtedy osad z poletek osadowych mógł być stosowany do celów rolniczych. Obecnie, w wielkich oczyszczalniach miejskich, ilości produkowanego osadu przekraczają zwykle możliwości dostępnych poletek osadowych a znaczna toksyczność tego osadu uniemożliwia jego dalsze zagospodarowanie.

- ***Spalarnie osadu***

Nową formą przetwarzania osadu, w Polsce praktycznie nie stosowaną, jest jego spalanie. Aby osad mógł być spalony, musi po sfermentowaniu być dobrze odwodniony i do tego celu stosuje się wydajne prasy komorowe. Energię cieplną w spalarni uzyskuje się zwykle z biogazu produkowanego w komorach fermentacyjnych. Jest to technologia bardzo efektywna, ponieważ powstający po spaleniu popiół zajmuje bardzo mało miejsca. Jednocześnie jest to technologia stosunkowo droga i dlatego rzadko stosowana. W Polsce spalanie osadów stosuje się na przykład w oczyszczalni ścieków w Dębogórze koło Gdyni. Ta technologia jest bardzo obiecująca również z tego powodu, że umożliwia także utylizację śmieci miejskich poprzez spalanie osadów razem z odpowiednio przetworzonymi komunalnymi odpadami organicznymi. Łączne spalanie osadów pościekowych i śmieci organicznych stosuje się na przykład w gospodarce osadowej oczyszczalni miejskich w Kopenhadze.

2.3. Przykłady oczyszczalni z osadem czynnym

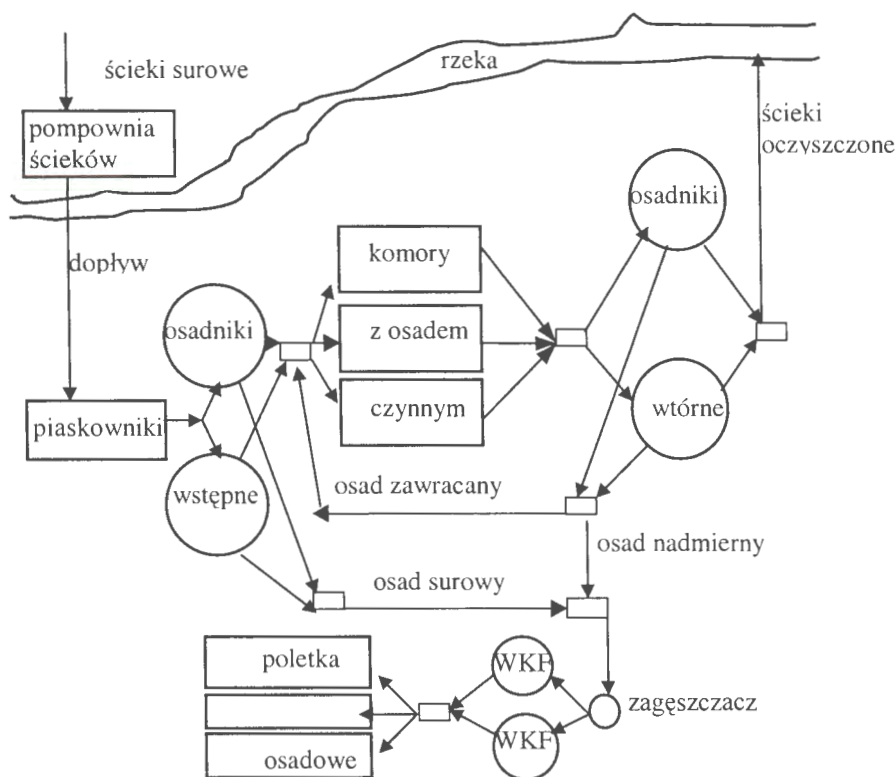
Oczyszczanie ścieków przy użyciu osadu czynnego jest obecnie standardową formą procesu technologicznego realizowanego w oczyszczalniach, przy czym nowe lub modernizowane obecnie oczyszczalnie w Polsce uzyskują już zwykle pełny zakres oczyszczania biologicznego, uwzględniający usuwanie związków organicznych, azotowych i fosforowych. Taka sytuacja istnieje jednak dopiero od kilku lat, mniej więcej od połowy lat 1990-ych. W oczyszczalniach miejskich budowanych w Polsce w latach 1970-ych, 1980-ych i również później uwzględniano jedynie użycie osadu czynnego w warunkach aerobowych, co umożliwia redukcję związków organicznych oraz azotowych w procesie nityfikacji. W dalszym ciągu spora liczba oczyszczalni krajowych ma możliwość jedynie takiego ograniczonego oczyszczania ścieków.

Poniżej zostaną omówione procesy technologiczne realizowane w kilku przykładowych oczyszczalniach z osadem czynnym, z którymi zapoznano się

dokładnie w trakcie prowadzenia badań. Oczyszczalnie te różnią się między sobą stosowaną technologią oczyszczania, wielkością i również osiąganymi wynikami.

- **Oczyszczalnia ścieków w Rzeszowie**

Jest to oczyszczalnia ścieków komunalnych i przemysłowych o nominalnej przepustowości hydraulicznej 62.000 m³/d [Krawczak, 1995; Skaskiewicz, 1995]. Schemat oczyszczalni jest pokazany na rys. 2.3. Dotyczy on okresu prowadzonych w niej badań, wyniki których są ilustracją przedstawianych dalej rozważań.



Rys. 2.3. Schemat oczyszczalni w Rzeszowie

Realizowany w oczyszczalni proces technologiczny składa się z następujących elementów: dopływu ścieków surowych dostarczanych do

oczyszczalni cyklicznie z pompowni ścieków, piaskowników, osadników wstępnych, aerobowych komór z osadem czynnym, osadników wtórnych, układu recyrkulacji osadu, odpływu ścieków oczyszczonych, systemu gospodarki osadowej złożonego z zagęszczacza mieszaniny osadu surowego z osadników wstępnych i nadmiernego z osadników wtórnych oraz z wydzielonych komór fermentacyjnych i poletek osadowych.

Jest to dwustopniowy proces oczyszczania ścieków, przy czym pierwszy stopień oczyszczania mechanicznego zachodzi w piaskownikach i osadnikach wstępnych, natomiast drugi stopień oczyszczania biologicznego zachodzi w komorach z osadem czynnym. Ścieki w komorach są utleniane za pomocą systemu napowietrzania drobnopęcherzykowego. W komorach panują warunki aerobowe, dlatego zachodzące w nich procesy, to utlenianie związków węgla i nityfikacja. Zmieniając stężenie tlenu w komorach oraz ilość i wiek znajdującego się w nich osadu poprzez zmianę stopnia recyrkulacji zewnętrznej, można wpływać na skład osadu czynnego i w konsekwencji na procesy redukcji związków organicznych i nityfikacji, do zatrzymania procesu nityfikacji włącznie.

- ***Oczyszczalnia ścieków w Dębogórz***

Jest to oczyszczalnia ścieków komunalnych obsługująca Gdynię, Redę, Rumię i Wejherowo, o nominalnej przepustowości 86.000 m³/d [Krawczak i Studziński, 1996]. W dopływie do oczyszczalni przeważają ścieki bytowo-gospodarcze a udział ścieków przemysłowych wynosi około 20 %.

Oczyszczalnia w Dębogórz, to oczyszczalnia mechaniczno-biologiczna z dwustopniowym procesem oczyszczania, podobnie jak przedstawiona wyżej oczyszczalnia w Rzeszowie. Podstawowe elementy realizowanego w oczyszczalni procesu, to: dopływ ścieków surowych, piaskowniki, komora wstępnego napowietrzania, osadniki wstępne, komora uspokojenia, aerobowe komory z osadem czynnym, osadniki wtórne, układ recyrkulacji zewnętrznej osadu czynnego z osadników wtórnych do komór napowietrzania.

Nowe elementy procesu w stosunku do oczyszczalni w Rzeszowie, to komory wstępnego napowietrzania i uspokojenia. Napowietrzanie wstępne ścieków odbywa się za pomocą systemu napowietrzania drobnopęcherzykowego, natomiast napowietrzanie w komorach z osadem czynnym realizują aeratory powierzchniowe.

Inaczej niż w Rzeszowie jest natomiast w Dębogórz rozwiązana gospodarka osadowa. Osad surowy z osadników wstępnych zmieszany z osadem nadmiernym z osadników wtórnych jest zagęszczany w zagęszczaczu, fermentowany w komorach fermentacyjnych a następnie ponownie zagęszczany, odwadniany mechanicznie

w prasach komorowych, suszony w suszarce i spalany w spalarni osadów. Otrzymany popiół jest składowany na składowisku popiołów.

Oczyszczalnia w Dębogórze, dzięki równomiernemu napowietrzaniu komór z osadem czynnym, jest przeznaczona do usuwania związków organicznych w procesie utleniania związków węgla, i azotowych w postaci amoniaku i azotynów w procesie nityfikacji, natomiast nie jest dostosowana do pełnego usuwania związków biogenych, czyli azotanów i fosforanów. Jednak rozbudowa standardowego ciągu technologicznego o komory napowietrzania wstępnego i uspokojenia powoduje, że w pewnych miejscach procesu powstają anoksydacyjne warunki niedotlenienia, w których może zachodzić denityfikacja. Są to osadniki wstępne i komora uspokojenia znajdujące się za komorą napowietrzania wstępnego. Komora napowietrzania wstępnego pełni również funkcję zbiornika buforowego dla dopływających ścieków. W rezultacie dopływ ścieków do dalszych zbiorników oczyszczalni staje się dosyć równomierny, co dodatnio wpływa na stabilizację procesu. Z kolei zastosowanie spalarni osadu w gospodarce osadowej w sposób istotny zmniejsza ilość produkowanych odpadów.

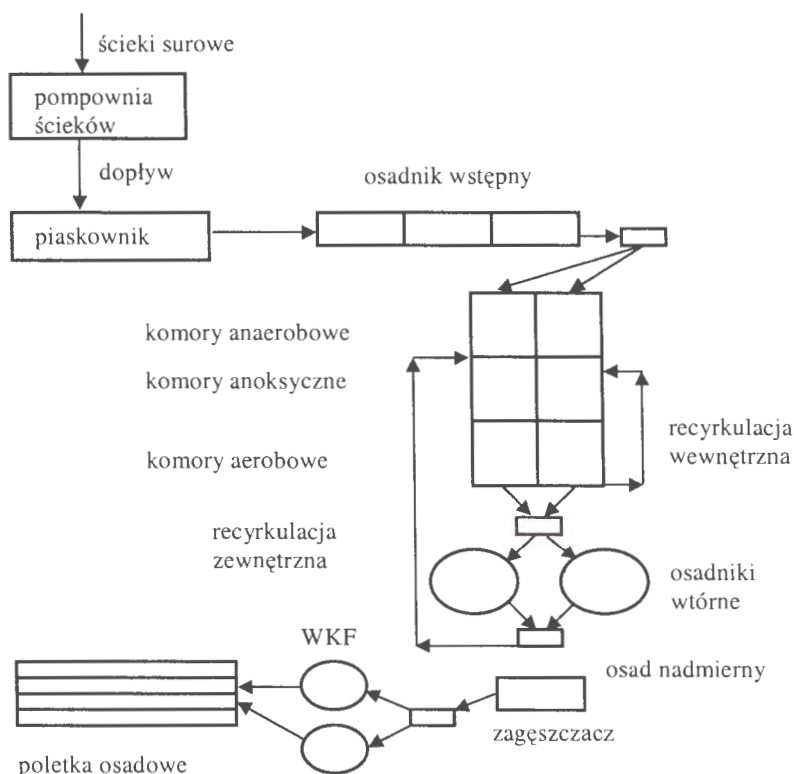
- ***Oczyszczalnia ścieków w Pile***

Jest to oczyszczalnia ścieków komunalnych i przemysłowych o nominalnej przepustowości 28.000 m³/d [Krawczak i Studziński, 1996]. Schemat oczyszczalni jest pokazany na rys. 2.4.

W oczyszczalni zachodzi proces pełnego oczyszczania mechaniczno-biologicznego z usuwaniem związków biogenych a ciąg technologiczny procesu oczyszczania składa się z następujących elementów: dopływ ścieków surowych, piaskownik, osadniki wstępne, wielofunkcyjne reaktory biologiczne złożone z komór anaerobowych defosfatacji, anoksydacyjnych denityfikacji i aerobowych nityfikacji, układ recyrkulacji wewnętrznej ścieków między komorami nityfikacji i denityfikacji, osadniki wtórne, układ recyrkulacji zewnętrznej osadu czynnego między osadnikami wtórnymi i komorami denityfikacji. Napowietrzanie osadu czynnego zachodzi w komorach aerobowych za pomocą systemu napowietrzania drobnopęcherzykowego.

System gospodarki osadowej realizowany w oczyszczalni składa się z zagęszczacza osadu, komór fermentacyjnych i poletek osadowych.

W oczyszczalni w Pile stosuje się nowoczesną technologię oczyszczania ścieków i jednocześnie mało skuteczny sposób przetwarzania osadów pościekowych z użyciem tradycyjnych poletek osadowych.



Rys. 2.4. Schemat oczyszczalni w Pile

- *Oczyszczalnia ścieków w Swarzewie*

Mechaniczno-biologiczna oczyszczalnia ścieków w Swarzewie oczyszcza ścieki komunalne z Pucka, Władysławowa i części Półwyspu Helskiego. Przepustowość nominalna oczyszczalni wynosi $12.000 \text{ m}^3/\text{d}$ [Studziński, 1995a]. Ciąg technologiczny oczyszczalni zawiera: dopływ ścieków surowych, piaskownik, biooxyblok, staw stabilizacyjny i poletko osadowe, przy czym biooxyblok jest standardowym reaktorem biologicznym złożonym z dwóch połączonych szeregowo komór napowietrzania i osadnika osadu czynnego. Między osadnikiem osadu czynnego i pierwszą komorą reaktora odbywa się recykulacja osadu czynnego w układzie recykulacji zewnętrznej. W tym ciągu technologicznym nie ma osadników wstępnych a osadniki osadu czynnego pełnią funkcję osadników wtórnych standardowej oczyszczalni ścieków. W obu komorach biooxybloku napowietrzanie

ścieków odbywa się za pomocą aeratorów. W ten sposób oczyszczalnia jest dostosowana do usuwania ze ścieków związków organicznych i azotowych w procesie nityfikacji, natomiast nie realizuje pełnego usuwania związków biogenych. Staw stabilizacyjny uśrednia wahania podstawowych wskaźników oczyszczania, takich jak ChZT, BZT₅, zawiesina ogólna, natomiast tradycyjna gospodarka osadowa z użyciem poletek osadowych nie stwarza problemów z utylizacją odpadów, ponieważ ich ilość jest stosunkowo mała.

- ***Oczyszczalnia ścieków w Jastrzębiej Górze***

Jest to oczyszczalnia mechaniczno-biologiczna o przepustowości nominalnej 8.000 m³/d [Studziński, 1995a]. W ciągu technologicznym oczyszczalni znajdują się: dopływ ścieków surowych, piaskownik, osadnik wstępny, komora z osadem czynnym, osadnik wtórny, układ recyrkulacji zewnętrznej, otwarta komora fermentacyjna osadu i poletka osadowe. Komora z osadem czynnym składa się z trzech stref: defosfatacji, denitryfikacji i nityfikacji, przy czym w strefie nityfikacji ścieki są napowietrzane za pomocą systemu napowietrzania drobnopęcherzykowego. Osad z osadników wtórnych jest częściowo recyrkulowany do strefy denitryfikacji komory z osadem czynnym. Zastosowany ciąg technologiczny umożliwia oczyszczanie biologiczne ścieków z pełnym usuwaniem związków biogenych. Oczyszczalnia charakteryzuje się równomiernym dopływem ścieków surowych, jest w pełni zautomatyzowana i praktycznie bezobsługowa a jedyny problem dotyczy utylizacji osadów pościekowych, których produkcja przekracza wydajność istniejących poletek osadowych.

- ***Oczyszczalnia ścieków w Brückeru koło Berlina***

Jest to oczyszczalnia mechaniczno-biologiczna, w której realizuje się technologię oczyszczania symultanicznego Schreiberera [ATV, 1991]. Przepustowość nominalna oczyszczalni wynosi 8.000 m³/d [Studziński, 1996]. W ciągu technologicznym oczyszczalni znajdują się: dopływ ścieków surowych, zbiornik buforowy, piaskownik, okrągła komora z osadem czynnym, osadnik wtórny, układ recyrkulacji zewnętrznej osadu z osadnika wtórnego do komory z osadem czynnym, system gospodarki osadowej złożony z zagęszczacza osadu nadmiernego, stacji odwadniania osadu zagęszczonego i poletek osadowych. Ten ciąg technologiczny umożliwia pełne oczyszczanie biologiczne, czyli usuwanie ze ścieków organicznych związków węglowych i związków biogenych. W oczyszczalni nie ma osadnika wstępnego.

Technologia oczyszczania symultanicznego polega na realizacji kilku faz procesowych w sposób szeregowy w jednym zbiorniku. Technologia symultaniczna

Schreibera uwzględnia wszystkie trzy fazy pełnego oczyszczania biologicznego: nityfikację, denityfikację i defosfatację, a ich przebieg i czas trwania są sterowane pomiarem mętności ścieków w komorze z osadem czynnym. Proces przebiega następująco:

- Faza pierwsza - nityfikacji - charakteryzuje się na początku maksymalnym zadanyim stopniem mętności ścieków. W tej fazie ścieki są napowietrzane, co powoduje utlenianie związków organicznych i azotowych. Związki amonowe łączą się z tlenem, tworząc związki azotanowe a następnie azotanowe. Jednocześnie bakterie osadu czynnego wchłaniają związki fosforowe w postaci ortofosforanów. W wyniku tych procesów w ściekach zmniejszają się stężenia BZT₅ i ChZT i stopniowo maleje mętność ścieków, osiągając na końcu fazy minimalny zadany stopień mętności.
- Faza druga - denityfikacji - charakteryzuje się minimalnym stopniem mętności ścieków. W tej fazie zaprzestaje się napowietrzania ścieków. Bakterie osadu wykorzystują do rozwoju tlen związany w związkach azotanowych, produkując azot a w postaci gazowej, który przechodzi do atmosfery. W dalszym ciągu w ściekach zmniejszają się stężenia BZT₅ i ChZT, jednak stopień mętności ścieków nie zmienia się i jest minimalny.
- W fazie trzeciej - defosfatacji - stopień mętności ścieków stopniowo wzrasta, osiągając po pewnym czasie ponownie wartość maksymalną. W dalszym ciągu ścieków nie napowietrza się a tlen związany w związkach azotanowych jest już wyczerpany. Bakterie wydzielają wchłonięty wcześniej, w fazie nityfikacji, fosfor i wskutek braku tlenu przeżywają okres stresu. Trwa on do chwili, kiedy mętność ścieków osiągnie wartość maksymalną i ponownie włączy się napowietrzanie, rozpoczynając kolejną fazę nityfikacji. W fazie nityfikacji, w wyniku przeżytego właśnie stresu, bakterie będą wchłaniały znacznie więcej fosforu, niż gdyby tego stresu nie przeżyły, to znaczy gdyby nie było fazy defosfatacji.

Charakterystyczną cechą technologii Schreibera jest ocena jakości ścieków na podstawie pomiaru ich mętności, podczas gdy standardowo robi się to na podstawie pomiarów BZT₅ i ChZT. Z badań eksperymentalnych wynika, że stopień mętności ścieków jest wprost proporcjonalny do stężenia w ściekach BZT₅ i ChZT, współczynnik korelacji między mętnością a BZT₅ wynosi około 0,9 a w obszarze wartości BZT₅ ≤ 15 mg/l można pomiar BZT₅ jednoznacznie zastąpić pomiarem mętności. Zaletą takiego postępowania jest dokładność i szybkość pomiaru mętności w porównaniu z pomiarem BZT₅, gdyż pomiar mętności trwa tylko kilka minut.

Oczyszczalnia w Brückeru jest w pełni zautomatyzowana i praktycznie bezobsługowa. Przy stabilnym dopływie ścieków surowych do oczyszczalni oraz stabilnym ładunku zanieczyszczeń uzyskuje ona bardzo dobre wyniki oczyszczania.

Jan Studziński

**IDENTYFIKACJA, SYMULACJA I STEROWANIE
OCZYSZCZALNIAMI ŚCIEKÓW**

Monografia dotyczy problematyki modelowania i sterowania mechaniczno-biologicznymi oczyszczalnymi ścieków. Przedstawione badania obejmują opracowanie modeli matematycznych oczyszczalni, ich identyfikację oraz zastosowanie do celów sterowania. Omówiono aktualny stan badań oraz wskazano pożądane kierunki ich rozwoju. Opisano szczegółowo zagadnienia związane z wykonywaniem eksperymentów pomiarowych, opracowywaniem modeli przepływowych wydzielonych zbiorników oczyszczalni, wyznaczeniem modelu fizycznego oczyszczalni oraz modeli neuronowych. Wszystkie rozważania są ilustrowane wynikami przykładowych badań wykonanych pod kierunkiem autora w miejskiej oczyszczalni ścieków w Rzeszowie.

ISSN 0208-8029
ISBN 83-85847-88-X