



**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

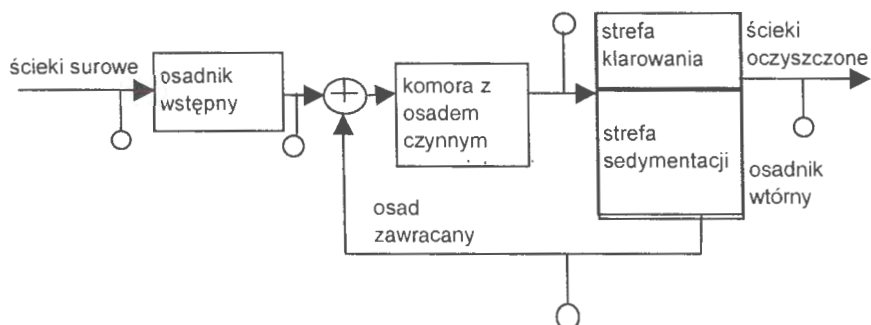
ISSN 0208-8029

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

## 4. POMIARY W OCZYSZCZALNIACH

### 4.1. Badania laboratoryjne i automatyczne systemy pomiarowe

W krajowych oczyszczalniach ścieków prowadzi się przede wszystkim pomiary wymagane przez wojewódzkie inspektoraty ochrony środowiska. Są one niezbędne dla stwierdzenia, że w konkretnej oczyszczalni nie są przekraczane zawartości zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych, które zostały ustalone przy dopuszczaniu obiektu do eksploatacji. Są to pomiary wykonywane rutynowo w laboratorium oczyszczalni, zwykle w cyklu dobowym, i dotyczą prób chwilowych wykonywanych o określonej godzinie doby.



**Rys. 4.1.** Schemat połączeń podstawowych zbiorników oczyszczalni ścieków  
(kółkami oznaczono punkty pomiarowe)

Podstawowe mierzone w ten sposób parametry ścieków, to [Dymaczewski i Sozański, 1995; Łomotowski i Szpindor, 1999] (rys. 4.1):

- dobowe ładunki zanieczyszczeń w ściekach surowych, określone poprzez stężenie BZT<sub>5</sub> i stężenie zawiesiny (w [kg O<sub>2</sub>/doba]),
- stężenia zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych: BZT<sub>5</sub> i zawiesiny (w [g O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>]) oraz azotu amonowego i fosforu ogólnego (w [g/m<sup>3</sup>]),
- parametry osadu w komorach z osadem czynnym: stężenie osadu (w [g/m<sup>3</sup>]) i indeks objętościowy osadu (w [ml/g]),
- stężenie osadu zawracanego (w [g/m<sup>3</sup>]).

Jednocześnie jednak w latach 1990-ych zaczęto instalować w polskich oczyszczalniach komputerowe systemy zbierania, wizualizacji i archiwizacji pomiarów, zwane w skrócie *systemami wizualizacji* lub *monitoringu*. Systemy te współpracują również z programowalnymi sterownikami, pełniącymi funkcje regulatorów i umożliwiającymi stabilizację wybranych wielkości procesowych na zadanym poziomie względnie ich zmianę według z góry zadanych trajektorii. Podstawowe stabilizowane wielkości, to poziom tlenu w komorach napowietrzania i stopień recyrkulacji zewnętrznej osadu czynnego.

W Polsce istnieje kilka firm zajmujących się instalacją takich systemów, przy czym zwykle są to rozwiązania zagraniczne zaadoptowane do polskich warunków, rzadziej programy własne. Do najbardziej popularnych w kraju systemów wizualizacji należą WIZCON i PROCON [Studziński, 1995b]. Program WIZCON jest produktem izraelskim, współpracuje ze sterownikami szwajcarskiej firmy SAIA i jest rozprowadzany przez firmę amerykańską PC SOFT INTERNATIONAL. Jest on zainstalowany na przykład w oczyszczalni w Szczecinie. Program PROCON jest produktem firmy SIEMENS, współpracuje ze sterownikami SIMATIC firmy SIEMENS i został zaadoptowany do polskich warunków oraz jest rozprowadzany przez firmę INFOPROD z Poznania. Jest on zainstalowany na przykład w oczyszczalniach w Pile, Poznaniu i Rzeszowie.

Systemy wizualizacji zbierają i archiwizują pomiary na bieżąco, przy czym podstawowe mierzone w ten sposób parametry, to:

- stężenie tlenu rozpuszczonego w komorach napowietrzania z osadem czynnym (w  $[g/m^3]$ ),
- temperatura ścieków w komorach napowietrzania (w  $[^{\circ}C]$ ),
- podstawowe przepływy ścieków między zbiornikami oczyszczalni: dopływ ścieków surowych i odpływ ścieków oczyszczonych, przepływy osadu zawracanego i nadmiernego (w  $[m^3/godz]$ ).

Chociaż jest to możliwe, to jednak praktycznie nie wykonuje się w sposób ciągły pomiarów stężeń podstawowych zanieczyszczeń w ściekach, czyli związków azotowych i fosforowych, ze względu na bardzo wysokie koszty niezbędnych do tego odczynników chemicznych. Te pomiary w dalszym ciągu wykonuje się laboratoryjnie.

Pomiary wykonywane rutynowo w oczyszczalni, zarówno laboratoryjne jak i przy użyciu komputerowych systemów wizualizacji, nie dostarczają dostatecznej informacji umożliwiającej opracowanie dokładnych modeli matematycznych procesu. Taką możliwość daje odpowiednio zaplanowana i przeprowadzona *szarża pomiarowa*. Na podstawie pomiarów uzyskanych w wyniku szarży pomiarowej można dopiero identyfikować wyznaczać modele umożliwiające symulację i sterowanie obiektem.

W szczególności cele takiej szarży pomiarowej są następujące:

- przeprowadzenie *eksperymentu czynnego*, polegającego na podaniu na wejście oczyszczalni odpowiedniego sygnału wymuszającego a następnie zmierzeniu odpowiedzi obiektu;
- na podstawie pomiarów z eksperymentu czynnego wykonanie identyfikacji dynamiki przepływu ścieków przez obiekt;
- przeprowadzenie tak zwanego *eksperymentu biernego*, polegającego na dostatecznie częstym i długim wykonywaniu analiz laboratoryjnych dla możliwie pełnego zestawu standardowych parametrów ścieków;
- na podstawie pomiarów z eksperymentu biernego i czynnego opracowanie modeli umożliwiających symulację i sterowanie obiektem.

Dla wykonania szarży pomiarowej opracowuje się plany eksperymentu czynnego i biernego, przy czym w eksperymencie biernym należy uwzględnić pomiary tych parametrów ścieków, które będą uwzględnione w tworzonych modelach oczyszczalni.

#### 4.2. Plan eksperymentu czynnego

Przy planowaniu eksperymentu czynnego, mającego na celu badanie dynamiki obiektu, należy uwzględnić następujące zagadnienia:

- dobór rodzaju sygnału wymuszającego wprowadzanego do obiektu,
- wybór punktu podania sygnału na wejście obiektu,
- wybór punktów pomiarowych w obiekcie, umożliwiających wyznaczenie charakterystyki dynamicznej obiektu,
- określenie kształtu wprowadzanego sygnału,
- określenie kroku próbkowania pomiarów,
- określenie pojedynczego okresu sygnału wymuszającego,
- określenie liczby okresów sygnału wymuszającego,
- określenie amplitudy sygnału wymuszającego,
- określenie czasu trwania eksperymentu.

W każdym przypadku plan eksperymentu musi uwzględniać postać wyznaczanego modelu i jednocześnie możliwości techniczne i technologiczne badanego obiektu.



- ***Dobór rodzaju sygnału wymuszającego wprowadzanego do obiektu***

Dobór rodzaju sygnału, w przypadku badania dynamiki oczyszczalni ścieków, oznacza dobór znacznika, który należy wprowadzić do ścieków. Powinien on spełniać kilka następujących warunków:

- nie być toksyczny,
- nie mieć wpływu na proces technologiczny,
- nie reagować z osadem czynnym,
- być łatwo mierzalny.

- ***Wybór punktu podania sygnału na wejście obiektu***

Znacznik wprowadza się na wejście obiektu. Wejściem w oczyszczalni jest zwykle kanał dopływowy ścieków przed piaskownikiem lub przed osadnikami wstępnymi (rys. 4.1).

- ***Wybór punktów pomiarowych w obiekcie***

Punkty pomiarowe zawartości znacznika w ściekach należy ustalić w ten sposób, aby można było wyznaczyć na podstawie pomiarów modele wszystkich podstawowych zbiorników oczyszczalni, to znaczy osadników wstępnych, komór z osadem czynnym i osadników wtórnych. Pomiary powinny więc być zdejmovane w następujących punktach procesu (rys. 4.1):

- przed osadnikami wstępnymi, dla dokonania pomiarów w ściekach surowych,
- po osadnikach wstępnych, dla dokonania pomiarów w ściekach oczyszczonych mechanicznie,
- po komorach z osadem czynnym,
- po osadnikach wtórnych, dla dokonania pomiarów w ściekach oczyszczonych biologicznie,
- w zbiorniku z osadem zawracanym, dla dokonania pomiarów w osadzie czynnym sedymentującym w osadniku wtórnym.

- ***Określenie kształtu wprowadzanego sygnału***

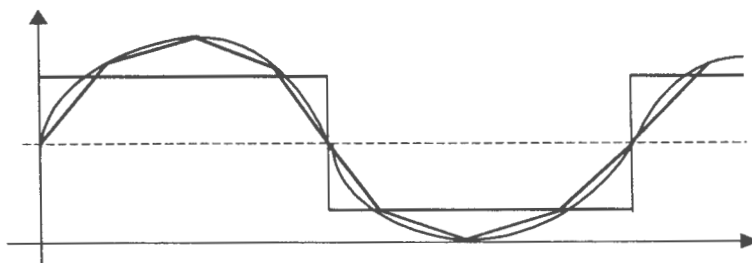
Określenie kształtu funkcji wymuszającej zależy od możliwości technicznych oczyszczalni, podobnie jak ma to miejsce przy wyznaczaniu punktu wprowadzania znacznika. Ze względów technicznych nie można podać na wejście oczyszczalni sygnału impulsowego, jednak równie dobrym sygnałem testującym jest sinusoida [Goodwin i Payne, 1977]. Ponieważ realizacja ciągłego sygnału sinusoidalnego

wymaga podawania znacznika w postaci roztworu, co z przyczyn technicznych w oczyszczalni jest trudne i rzadko możliwe, to przyjmuje się zwykle aproksymację sinusoidy *funkcją odcinkami stałą*, zwaną inaczej *funkcją schodkową* (rys. 4.2).

Przy ustalaniu własności sygnału wymuszającego należy uwzględnić postać wyznaczanego modelu. Jeżeli wyznaczamy modele dynamiki przepływu ścieków przez zbiorniki oczyszczalni, to można na przykład przyjąć, że są to zbiorniki z idealnym mieszanym opisane następującym równaniem bilansowym

$$V \frac{dc(t)}{dt} = Q(c_{we}(t) - c(t)) \quad (4.1)$$

gdzie:  $V$  – objętość czynna zbiornika wpływająca na czas przetrzymania ścieków w zbiorniku,  $Q$  – natężenie przepływu ścieków,  $c_{we}(t)$ ,  $c(t)$  – stężenia znacznika, odpowiednio, w dopływie i odpływie ścieków ze zbiornika.



**Rys. 4.2.** Aproksymacje sinusoidy funkcją odcinkami liniową i funkcją schodkową

Przy identyfikacji modelu (4.1) nieznanym i szukanym parametrem jest objętość czynna  $V$ . W obliczeniach można założyć, że zmiany stężenia wprowadzanego znacznika są ograniczone, to znaczy

$$c_{\min} \leq c_{we}(t) \leq c_{\max} \quad (4.2)$$

Rozwiązaniem analitycznym tego równania jest funkcja

$$c(t) = C e^{-\frac{t}{V/Q}} + \frac{Q}{V} \int_{t_0}^t e^{-\frac{t-\tau}{V/Q}} c_{we}(\tau) d\tau \quad (4.3)$$

Ponieważ pomiary w oczyszczalni mogą być prowadzone jedynie w sposób dyskretny, co wynika z możliwości technicznych obiektu, więc można przyjąć, że  $t_1, t_2, \dots, t_N$  będą kolejnymi chwilami pomiarów, oraz  $t_n - t_{n-1} = \Delta = \text{const}$  będzie stałym krokiem próbkowania pomiarów dla  $n = 1, 2, \dots, N$ . Zakłada się także, że stężenie znacznika w dopływie jest stałe między dwoma kolejnymi pomiarami.

Uwzględniając we wzorze (4.3) czas dyskretny zamiast ciągłego i dokonując pewnych przekształceń [Nahorski, 1997; Bogdan i in., 2002b], otrzymujemy

$$\begin{aligned} c(t_n) &= C e^{-\frac{t_n}{V/Q}} + \frac{Q}{V} \int_{t_0}^{t_n} e^{-\frac{t_n-\tau}{V/Q}} c_{we}(\tau) d\tau = \\ &= C e^{-\frac{t_n-t_{n-1}}{V/Q}} e^{-\frac{t_{n-1}}{V/Q}} + \frac{Q}{V} \int_{t_0}^{t_n} e^{-\frac{t_n-\tau}{V/Q}} e^{-\frac{t_{n-1}-\tau}{V/Q}} c_{we}(\tau) d\tau = \\ &= e^{-\frac{\Delta}{V/Q}} \left( C e^{-\frac{t_{n-1}}{V/Q}} + \frac{Q}{V} \int_{t_0}^{t_{n-1}} e^{-\frac{t_{n-1}-\tau}{V/Q}} c_{we}(\tau) d\tau \right) + \frac{Q}{V} \int_{t_{n-1}}^{t_n} e^{-\frac{t_n-\tau}{V/Q}} d\tau c_{we}(t_n) \end{aligned} \quad (4.4)$$

Po obliczeniu całki z funkcji wykładniczej w równaniu (4.4) otrzymuje się wyrażenie

$$c(t_n) = e^{-\frac{\Delta}{V/Q}} c(t_{n-1}) + (1 - e^{-\frac{\Delta}{V/Q}}) c_{we}(t_n) \quad (4.5)$$

które można zapisać w postaci równania różnicowego

$$c_n = a c_{n-1} + b c_{we n} \quad (4.6)$$

gdzie:  $c_n = c(t_n)$ ,  $c_{n-1} = c(t_{n-1})$ ,  $c_{we n} = c_{we}(t_n)$ ,  $a = e^{-\frac{\Delta}{V/Q}}$ ,  $b = 1 - e^{-\frac{\Delta}{V/Q}} = 1 - a$ .

Można i należy przyjąć, że pomiary stężeń znacznika są wykonywane z błędem, to znaczy

$$y_n = c_n + \varepsilon_n \quad (4.7)$$

gdzie  $\{\varepsilon_n\}$  jest ciągiem niezależnych liczb losowych o rozkładzie normalnym  $N(0, \sigma^2)$ .

Na podstawie (4.6) i (4.7) otrzymuje się następujące równanie opisujące przepływ ścieków w wybranym zbiorniku oczyszczalni

$$y_n = a y_{n-1} + b c_{we n} + \varepsilon_n - a \varepsilon_{n-1} \quad (4.8)$$

Równanie (4.8) można zapisać jeszcze w innej postaci, wprowadzając operator różnicowy opóźnienia  $z^{-1}$  taki, że  $z^{-1} y_n = y_{n-1}$ . Wtedy otrzymuje się z (4.8) równanie operatorowe postaci

$$(1 - a z^{-1}) y_n = b c_{we n} + (1 - a z_{-1}) \varepsilon_n \quad (4.9)$$

lub postaci

$$y_n = \frac{b}{1 - a z^{-1}} c_{we n} + \varepsilon_n \quad (4.10)$$

Jeżeli mamy równanie pomiarów wyjścia modelu postaci (4.7)

$$y_n(p) = c_n(p) + \varepsilon_n \quad (4.11)$$

gdzie  $p$  jest wektorem szukanych parametrów modelu, to dokładność estymacji parametrów ocenia się za pomocą macierzy kowariancji

$$\text{cov}(p) = E[(p - E(p))(p - E(p))^T] \quad (4.12)$$

przy czym na podstawie twierdzenia Cramera-Rao jest prawdziwa nierówność

$$\text{cov}(p) \geq M(p)^{-1} \quad (4.13)$$

w której  $M^{-1}$  jest tak zwaną macierzą informacyjną Fishera. W planowaniu eksperymentu tak dobiera się sygnał wymuszający, aby zminimalizować wariancję parametrów, przy czym minimalizację wariancji parametrów zastępuje się minimalizacją pewnej funkcji określonej na  $M^{-1}$  lub maksymalizacją funkcji określonej na  $M$ . Można tak zrobić w przypadku, gdy wyznaczone estymatory parametrów są efektywne [Mańczak, 1976].

Jednak biorąc pod uwagę równanie (4.10) modelu zbiornika oczyszczalni widać, że w modelu jest tylko jeden parametr  $a$ , ponieważ  $b = 1 - a$ . Stąd zamiast macierzy kowariancji  $\text{cov}(p)$  mamy wariancję parametru  $\text{var}(a)$  i zamiast macierzy  $M(p)$  mamy skalar  $m(a)$ .

Na podstawie (4.10) otrzymuje się więc

$$\frac{d \varepsilon_n}{d a} = \frac{1 - z^{-1}}{1 - 2a z^{-1} + a^2 z^{-2}} c_{we n} \quad (4.14)$$

i jednocześnie przyjmuje się [Mańczak i Nahorski, 1983], że

$$m(a) = \frac{1}{\sigma^2} \sum_{n=1}^N \left( \frac{d\varepsilon_n}{dt} \right)^2 \quad (4.15)$$

gdzie  $\sigma^2 = E(\varepsilon_n^2)$  jest wariancją błędów modelu.

Wtedy zadanie minimalizacji wariancji parametru  $a$  sprowadza się do następującego zadania maksymalizacji względem sygnału wymuszającego  $c_{we n}$  pewnej funkcji  $F(a)$  określonej na  $m(a)$

$$\max_{c_{we n}} F(a) = \max_{c_{we n}} \sum_{n=1}^N v_n^2 \quad (4.16)$$

gdzie  $F(a) = m(a)\sigma^2$  oraz  $v_n = \frac{d\varepsilon_n}{da}$ , przy uwzględnieniu ograniczeń (4.2) na zakres zmian stężenia znacznika  $c_{we}$ . Na podstawie (4.14) otrzymuje się następujące równanie dla  $v_n$

$$v_n = 2av_{n-1} - a^2v_{n-2} + c_{we n} - c_{we n-1} \quad (4.17)$$

Zadanie (4.16) jest liniowo-kwadratowym zadaniem sterowania optymalnego z czasem dyskretnym, które można rozwiązać metodą programowania dynamicznego lub metodą optymalizacji statycznej. Można pokazać, że optymalnym rozwiązaniem zadania (4.16) dla modelu postaci (4.10) jest sygnał w postaci funkcji schodkowej, przy czym wartościami tej funkcji są dolne i górne ograniczenie sygnału wymuszającego [Nahorski, 1997]. Oznacza to, że właściwą aproksymacją funkcji sinusoidalnej będzie funkcja odcinkami stała w postaci schodkowej (rys. 4.2).

- **Określenie kroku próbkowania pomiarów**

Wybór kroku próbkowania w eksperymencie pomiarowym jest ważnym elementem w procesie modelowania, mającym wpływ na wyniki późniejszej identyfikacji. Ogólna obowiązująca tutaj zasada jest taka, że krok próbkowania powinien być jak najkrótszy, aby nie utracić informacji o dynamice badanego obiektu, które mogłyby zaniknąć pomiędzy zbyt oddalonymi od siebie momentami pomiarów. Wynika z tego, że ustalenie kroku próbkowania zależy od rodzaju badanego obiektu i od wartości jego stałych czasowych. Dlatego nie ma tutaj ogólnych zasad wskazujących, jak należy dobrać krok próbkowania, i w każdym przypadku należy się kierować aktualną wiedzą o obiekcie.

Optymalny krok próbkowania zależy również od wyboru sygnału wymuszającego i istnieje wiele zaleceń dotyczących przybliżonego wyboru kroku próbkowania dla sygnałów sinusoidalnych, a więc również przypadku omawianego obecnie. Z tym, że te zalecenia są mało dokładne i wynikają głównie z intuicji i praktycznego doświadczenia autorów. Do tych zaleceń należą między innymi takie [Gustavsson, 1971], że krok próbkowania powinien być równy najmniejszej stałej czasowej obiektu, względnie 1/10 największej stałej czasowej, lub umożliwić zebranie 3 do 6 pomiarów w czasie jednej oscylacji sygnału wymuszającego. Inne z zaleceń mówi [Sargan, 1976], że krok próbkowania nie powinien być większy od 1/3 najmniejszej stałej czasowej obiektu.

Wydaje się, że najrozsądniejszym postępowaniem przy wyborze kroku próbkowania jest próba oszacowania stałych czasowych obiektu i dobór takiego kroku, aby był on mniejszy od najmniejszej stałej czasowej i jednocześnie był realizowalny w praktyce, co musi uwzględniać uwarunkowania techniczne badanego obiektu [Studziński, 1994a].

- ***Określenie pojedynczego okresu sygnału wymuszającego***

Aby ustalić długość okresu sygnału wymuszającego, który jest w postaci funkcji schodkowej aproksymującej sinusoidę (rys. 4.2), przyjmijmy na wstępie następujące założenie dla stężeń znacznika wprowadzanego do obiektu

$$c_{\min} = 0 \text{ oraz } c_{\max} = 1$$

To założenie nie ogranicza ogólności i jednocześnie znacznie upraszcza dalsze rozważania. Obecnie należy więc określić, ile czasu będzie trwała połowa okresu funkcji schodkowej, kiedy do obiektu wprowadza się znacznik. Należy przy tym ustalić jednostkę czasu, na przykład równą 1 godz, odpowiadającą długości przyjętego kroku próbkowania pomiarów.

Można teraz sformułować następujące zadanie optymalizacyjne [Nahorski, 1997]: Wyznaczyć maksymalną liczbę  $m$  godzin wprowadzania znacznika taką, dla której wartość wskaźnika jakości (4.16) będzie większa, niż wartość tego wskaźnika dla  $m-1$  godzin wprowadzania znacznika, czyli wyznaczyć największą wartość  $m$  spełniającą warunek

$$P(a) = \sum_{n=1}^m v_n^2 - \sum_{n=1}^{m-1} v_n^2 > 0 \quad (4.18)$$

Rozwiązaniem analitycznym równania różnicowego (4.17) występującego w warunku (4.18), dla wymuszenia  $c_{we}$  przyjmującego tylko dwie wartości 0 oraz 1, jest funkcja

$$v_n = a^n \sum_{l=1}^n a^{-l} (1 + (n-l)(1-a^{-1})) \quad (4.19)$$

Podstawiając (4.19) do (4.18) otrzymuje się

$$\begin{aligned} P(a) &= \sum_{n=1}^m \left( \sum_{l=1}^n a^{n-l} (1 + (n-l)(1-a^{-1})) \right)^2 - \\ &- \sum_{n=1}^{m-1} \left( \sum_{l=1}^n a^{n-l} (1 + (n-l)(1-a^{-1})) \right)^2 = \\ &= \sum_{l=1}^m a^{m-l} (1 + (m-l)(1-a^{-1}))^2 > 0 \end{aligned} \quad (4.20)$$

Można pokazać, że [Nahorski, 1997]

$$\sum_{l=1}^m a^{m-l} (1 + (m-l)(1-a^{-1}))^2 = a^{m-1} m \quad (4.21)$$

skąd oraz z (4.20) wynika nowa postać warunku (4.18)

$$P(a) = a^{m-1} m > 0 \quad (4.22)$$

w którym  $a = e^{-\frac{\Delta}{V/Q}}$ .

Szukana wartość  $m$  zależy od  $a$ , które jest parametrem modelu zbiornika oczyszczalni, a z kolei  $a$  zależy od kroku próbkowania  $\Delta$  i od stałej czasowej zbiornika  $V/Q$ . Czyli ustalenie długości okresu sygnału wymuszającego zależy od własności dynamicznych badanego obiektu.

Ogólna zasada jest taka, że im stosunek  $\gamma = \frac{\Delta}{V/Q}$  jest większy, czyli im jest mniejsza stała czasowa obiektu, tym również mniejszy powinien być okres sygnału wymuszającego.

- **Określenie liczby okresów sygnału wymuszającego**

Funkcja celu  $F(a) = m(a)\sigma^2$  w zadaniu optymalizacji (4.16) jest określona dla pojedynczego okresu sygnału wymuszającego. Jeżeli chce się ustalić liczbę okresów  $K$  tego sygnału, można funkcję celu zapisać w postaci [Nahorski, 1997]

$$F(a) = m(a)\sigma^2 K \quad (4.23)$$

skąd wynika zależność

$$\sigma^2(K) = \frac{F(a)}{m(a)K} \quad (4.24)$$

Ze wzoru (4.24) widać, co wydaje się oczywiste, że wariancja  $\sigma^2$  błędów modelu, czyli oceny parametru  $a$ , jest odwrotnie proporcjonalna do  $K$ , czyli maleje ze wzrostem liczby okresów sygnału wymuszającego i jednocześnie to zmniejszanie się  $\sigma^2$  jest coraz mniejsze z upływem czasu.

Można wyznaczyć  $K$  w funkcji zadanego poziomu zmniejszania się wariancji  $\sigma^2$  po każdym kolejnym okresie wymuszenia, formułując zależność

$$\frac{\sigma^2(K) - \sigma^2(K+1)}{\sigma^2(K)} = \frac{1}{K+1} \leq \varepsilon \quad (4.25)$$

skąd wynika

$$K \geq \frac{1}{\varepsilon} - 1 \quad (4.26)$$

Z zależności (4.26) widać, że jeżeli na przykład chcemy, aby zmniejszenie się wariancji  $\sigma^2$ , po czasie równym czasowi trwania sygnału wymuszającego, było na poziomie 24 %, to sygnał ten powinien składać się co najmniej z trzech okresów.

- **Określenie amplitudy sygnału wymuszającego**

Ustalenie amplitudy sygnału wymuszającego zależy przede wszystkim od możliwości technicznych obiektu, chociaż obowiązuje przy tym ogólna zasada, że im poziom wymuszenia jest większy, tym lepiej. Szczególnie jest ważna wartość ilorazu poziomu szumu, względnie tła pomiarowego, do poziomu sygnału, która powinna być odpowiednio mała i wynosić na przykład 0,1.



- **Określenie czasu trwania eksperymentu**

Czas trwania eksperymentu czynnego obejmuje czas podawania wymuszenia i czas bezpośrednio następujący, kiedy są zbierane już tylko pomiary odpowiedzi obiektu. Ten drugi czas, zwany *czasem stabilizacji* obiektu, powinien być na tyle długi, aby stan obiektu ustabilizował się, to znaczy aby praktycznie zaniknął wpływ sygnału wymuszającego. Tutaj również obowiązuje ogólna zasada, że im ten czas jest dłuższy, tym jest lepiej z punktu widzenia badań.

### 4.3. Eksperyment czynny w oczyszczalni w Rzeszowie

Powyżej omówiono zagadnienia związane ze zbieraniem pomiarów dla celów badawczych związanych z modelowaniem oczyszczalni. Problemy związane z praktyczną realizacją pozyskiwania pomiarów są omawiane poniżej na przykładzie eksperymentów pomiarowych wykonanych w mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków w Rzeszowie [Studziński, 1994b; Studziński i Skaskiewicz, 1997]. Eksperymenty te były elementem prac badawczych prowadzonych pod kierunkiem autora od połowy lat 1990-ych w wodociągach rzeszowskich [Umowy KBN nr 8T11A 01016 i nr 6T11O 532001C/5535; Studziński, 1997 i 2002]. Schemat badanej oczyszczalni pokazano na rys. 4.1.

Opisany tutaj przykład zbierania pomiarów uzmysławia, że praktyczna realizacja teoretycznych ustaleń bardzo często napotyka na ograniczenia, spowodowane możliwościami technicznymi badanego obiektu lub innymi uwarunkowaniami obiektywnymi, których w rozważaniach teoretycznych na ogół się nie uwzględnia. Zebrane pomiary były użyte do opracowania modeli matematycznych oczyszczalni.

- **Dobór rodzaju sygnału wymuszającego wprowadzanego do obiektu**

Rozważano dwa możliwe znaczniki: sól i barwniki. Wszelkie barwniki są bardzo wygodne jako znaczniki, ponieważ są łatwo mierzalne, wystarczy mała ich ilość do wykonania pomiarów i nie wpływają na proces oczyszczania. Jednak są one w znacznym stopniu absorbowane przez osad czynny, co miałoby istotny wpływ na dokładność pomiarów. Dlatego zdecydowano się użyć soli do wytworzenia sygnału wymuszającego.

- **Wybór punktu podania sygnału na wejście obiektu**

Rozważano możliwość rozpuszczenia soli w wodzie i wlewania roztworu do kanału wejściowego oczyszczalni (rys. 4.1). W tym celu należało obliczyć ilości soli

i roztworu niezbędne do uzyskania wystarczająco silnego sygnału oraz ocenić możliwości techniczne oczyszczalni odnośnie podania sygnału na wejście obiektu. Przeprowadzono następujące rozważania [Bogdan i in., 2002d]:

- Użycie soli jako znacznika powoduje, że na wyjściu obiektu można mierzyć stężenie chlorków w ściekach. Jednocześnie chlorki są naturalnym składnikiem ścieków, tworząc tak zwane tło pomiarowe. Wprowadzony sygnał powinien być istotnie większy od tła, aby mógł być zauważony. W oczyszczalni w Rzeszowie naturalny poziom chlorków w ściekach wynosił w okresie badań 0,01 %, to znaczy  $100 \text{ g Cl/m}^3$  ścieków. Przyjęto, że średni dopływ ścieków do oczyszczalni wynosi  $1.800 \text{ m}^3/\text{godz}$  co oznacza, że w ciągu 1 godz do oczyszczalni dopływa 180 kg Cl.
- Ustalenie poziomu sygnału wymuszającego zależy od jego kształtu. Jeżeli wymuszenie byłoby w postaci funkcji impulsowej Diraca, to jego wartość powinna być co najmniej kilkakrotnie większa od wartości tła. Oznacza to, że należy wtedy wprowadzić do ścieków jednorazowo, na przykład w ciągu kilkunastu minut, około 1.800 kg Cl, przyjmując dla sygnału wymuszającego dziesięciokrotną wartość tła pomiarowego. Ponieważ sól kuchenna zawiera 60 % Cl a użyty roztwór soli z wodą powinien mieć proporcje 1:1, to w rezultacie należałoby w stosunkowo krótkim czasie wlać do ścieków 6.000 kg roztworu zawierającego 4.000 kg soli. Z przyczyn technicznych jest to jednak niemożliwe. Ponadto istnieje obawa, że tak wielka ilość soli zakłóciłaby przebieg procesu technologicznego.
- Jeżeli przyjąć alternatywnie, że wymuszenie będzie w postaci funkcji sinusoidalnej, to wtedy wartość sygnału może być mniejsza w stosunku do poziomu tła, niż przy funkcji Diraca. Jeżeli założyć, że poziom wymuszenia wynosi od 30 do 100 % poziomu tła, to wtedy do ścieków należy wprowadzać od 60 do 180 kg Cl/godz przez okres co najmniej kilkunastu godzin. Uwzględniając stężenie chlorków w soli kuchennej i wymagane stężenie roztworu otrzymuje się, że ilości wlewanego roztworu wynosiłyby odpowiednio od 200 do 600 kg/godz a ilości zawartej w nim soli od 100 do 300 kg/h. Takie ilości soli nie zakłócą procesu technologicznego, jednak w oczyszczalni nie było również możliwości technicznych, aby przygotować kilka ton roztworu dla co najmniej kilkunastogodzinnego okresu trwania wymuszenia i wlewać go w sposób ciągły do ścieków. Stąd wynika, że znacznik należało wprowadzać do ścieków w postaci nierozpuszczonej i w sposób dyskretny, aproksymując sinusoidę funkcją odcinkami stałą.
- Wsypywanie soli do ścieków bezpośrednio na wejściu oczyszczalni, w obliczonej ilości od 100 do 300 kg/h, nie jest celowe, ponieważ sól nie zdąży rozpuścić się w ściekach przepływając przez piaskownik i krótki odcinek kanału między piaskownikiem i osadnikami wstępnymi.

W rezultacie tych rozważań wybrano jako punkt wprowadzania znacznika przepompownię ścieków, oddaloną o kilkaset metrów od oczyszczalni. Sól wsypywana w tamtym miejscu całkowicie rozpuści się w ściekach na drodze do oczyszczalni i dlatego można ją wsypywać w stanie stałym a nie w postaci wodnego roztworu.

- ***Wybór punktów pomiarowych w obiekcie***

Punkty pomiarowe stężenia chlorków w ściekach ustalono w ten sposób, aby można było wyznaczyć na podstawie pomiarów modele dynamiki przepływu ścieków dla wszystkich badanych zbiorników oczyszczalni, to znaczy osadników wstępnych, komór napowietrzania i osadników wtórnych. Pomiarzy były zdejmowane w pięciu punktach procesu pokazanych na rys. 4.1.

- ***Określenie kształtu wprowadzanego sygnału***

Przyjęto sygnał w postaci funkcji schodkowej będącej aproksymacją funkcji sinusoidalnej (rys. 4.2).

- ***Określenie kroku próbkowania pomiarów***

W przypadku badanej oczyszczalni ścieków modelowanymi obiektami są jej podstawowe zbiorniki, czyli osadniki wstępne, komory napowietrzania i osadniki wtórne. Stałym czasowym tych obiektów odpowiadają średnie czasy przebywania ścieków w zbiornikach.

Objętości geometryczne zbiorników badanej oczyszczalni w Rzeszowie były następujące:

- |                           |  |
|---------------------------|--|
| - 2 osadniki wstępne      | - objętość łączna $V = 4.820 \text{ m}^3$  |
| - 3 komory napowietrzania | - objętość łączna $V = 14.500 \text{ m}^3$ |
| - 2 osadniki wtórne       | - objętość łączna $V = 11.060 \text{ m}^3$ |

Uwzględniając średni przepływ ścieków przez oczyszczalnię ( $Q = 1.800 \text{ m}^3/\text{godz}$ ), otrzymuje się następujące czasy przebywania ścieków w zbiornikach:

- |                             |  |
|-----------------------------|--|
| - w osadnikach wstępnych    | - czas przebywania wynosi około 4 godz   |
| - w komorach napowietrzania | - czas przebywania wynosi około 7,5 godz |
| - w osadnikach wtórnych     | - czas przebywania wynosi około 6 godz.  |

Kierując się teraz wymienionymi wyżej zaleceniami Gustavssona i Sargana [Gustavsson, 1971; Sargan, 1976] otrzymujemy, że wybrany jednolity dla

wszystkich obiektów krok próbkowania pomiarów powinien wynosić od 45 minut, co oznacza 1/10 największej stałej czasowej, do 80 minut, co oznacza 1/3 najmniejszej stałej czasowej. Biorąc pod uwagę możliwości techniczne oczyszczalni ustalono krok próbkowania równy 1 godz.

- **Określenie pojedynczego okresu sygnału wymuszającego**

Dla badanych obiektów oczyszczalni iloraz  $\gamma = \frac{\Delta}{V/Q}$  przyjmuje następujące

wartości:

- w osadnikach wstępnych -  $\gamma = 0,23$
- w komorach napowietrzania -  $\gamma = 0,13$
- w osadnikach wtórnych -  $\gamma = 0,16$ .

Wartość  $m$  w (4.22) można wyznaczyć w zależności od  $\gamma$  numerycznie [Nahorski, 1997]. Dla danych dotyczących badanej oczyszczalni otrzymuje się, że dla  $\gamma = 0,1$  wartość  $m = 46$  oraz dla  $\gamma = 0,2$  wartość  $m = 19$ . Ponieważ to mniejsza stała czasowa limituje długość okresu sygnału wymuszającego, więc przyjęto, że wartość  $m$  jest zbliżona do 19, co oznacza, że podczas pojedynczego okresu sygnału wymuszającego należy przez około 19 godz wprowadzać znacznik do obiektu.

Jednocześnie jednak należało uwzględnić ograniczenia na ilość wprowadzanego jednorazowo znacznika, wynikające z możliwości procesu technologicznego do przyjęcia określonej ilości soli bez szkodliwych konsekwencji dla osadu czynnego. Z ustaleń dokonanych przy określaniu punktu wprowadzania znacznika do obiektu wynikało, że bez szkody dla procesu można wprowadzić do ścieków w ciągu 1 godz od 100 do 300 kg soli. Biorąc pod uwagę poziom tła odnośnie chlorków zawartych w ściekach, wynoszący  $100 \text{ g/m}^3$ , oraz objętości geometryczne zbiorników otrzymuje się, że w zbiornikach ciągle znajdują się następujące ilości chlorków:

- w osadnikach wstępnych - ilość chlorków z tła wynosi 780 kg
- w komorach napowietrzania - ilość chlorków z tła wynosi 1.350 kg
- w osadnikach wtórnych - ilość chlorków z tła wynosi 1.100 kg.

Przyjęcie czasu wprowadzania znacznika równego 19 godz i ilości wprowadzanego znacznika równej 100 kg soli - co odpowiada 60 kg Cl - w każdej z 19 chwil czasowych, daje w rezultacie ilość chlorków wprowadzonych do obiektu podczas jednego okresu sygnału wymuszającego równą 1.140 kg. Odpowiada to mniej więcej 100 % wartości tła w największych zbiornikach. Z kolei wprowadzanie

w każdej chwili czasowej znacznika w ilości równej 300 kg soli zwiększa wartość sygnału do 300 % wartości tła w największych zbiornikach. Można zatem przyjąć, że czas 19 godz dla połowy okresu sygnału wymuszającego jest poprawny w odniesieniu do wielkości stałych czasowych obiektu, natomiast ostateczne określenie amplitudy sygnału musi uwzględniać uwarunkowania techniczne obiektu. Ostatecznie przyjęto czas wprowadzania znacznika w czasie jednego okresu sygnału wymuszającego równy 20 godz.

- ***Określenie liczby okresów sygnału wymuszającego***

W przypadku pomiarów w oczyszczalni w Rzeszowie ustalono, że czas wprowadzania znacznika wynosi 20 godz a okres wymuszenia 40 godz, biorąc pod uwagę quasi-sinusoidalny charakter sygnału. Uwzględniając ponownie możliwości oczyszczalni w zakresie wykonania pomiarów i przeprowadzenia następnie odpowiednich badań laboratoryjnych dotyczących oznaczenia stężenia chlorków w ściekach przyjęto, że wymuszenie będzie się składać tylko z jednego okresu, skąd wynika, że zmniejszenie się wariancji błędu będzie na jeszcze stosunkowo wysokim poziomie równym 50 %.

- ***Określenie amplitudy sygnału wymuszającego***

W przypadku oczyszczalni ścieków ustalenie zalecanego wysokiego poziomu sygnału w stosunku do tła w proporcji 10:1, przy wyborze chlorków jako znacznika wprowadzanego do obiektu, nie jest możliwe ze względu na niebezpieczeństwo zatrucia osadu czynnego. Ze względów technicznych związanych z koniecznością operowania wielkimi ilościami soli, nie było również możliwe w przypadku oczyszczalni w Rzeszowie ustalenie znacznie mniejszego poziomu sygnału wymuszającego, na przykład takiego, aby jego stosunek do poziomu tła wynosił 1. Ostatecznie ustalono, że jest bezpieczne i jednocześnie technicznie możliwe, aby amplituda wymuszenia była na poziomie 30 % poziomu tła pomiarowego, czyli średniej zawartości chlorków w ściekach, co znacznie odbiegało od zaleceń literaturowych. Biorąc pod uwagę średni dopływ ścieków do oczyszczalni i średni poziom tła odnośnie chlorków oznaczało to, że w cyklu jednogodzinnym należy wysypywać do ścieków 100 kg soli, co wprowadzi dodatkowo do ścieków 60 kg Cl/godz.

- ***Określenie czasu trwania eksperymentu***

Uwzględniając objętości czynne zbiorników, odpowiadające im czasy przebywania równoważne stałym czasowym oraz możliwości techniczne oczyszczalni w zakresie wykonania pomiarów ustalono, że będzie możliwe do

realizacji a jednocześnie wystarczające z punktu widzenia jakości badań, jeżeli czas stabilizacji obiektu będzie 2-3 razy dłuższy, niż czas podawania wymuszenia wynoszący 20 godz. Ustalony ostatecznie czas trwania eksperymentu czynnego wyniósł 3 doby, czyli 72 godz.

Reasumując powyższe rozważania, ustalono następujące parametry eksperymentu czynnego:

- znacznikiem pomiarowym jest sól, wprowadzana do ścieków w postaci stałej w pewnej odległości od oczyszczalni,
- sygnał wymuszający jest w postaci funkcji schodkowej aproksymującej sinusoidę,
- krok próbkowania pomiarów jest równy 1 godz,
- znacznik jest wprowadzany do ścieków przez okres 20 godz,
- jednorazowo wsypuje się do ścieków 100 kg soli,
- całkowity czas trwania eksperymentu wynosi 72 godz,
- pomiary stężenia chlorków wykonuje się w 4 punktach oczyszczalni.

Zgodnie z tym planem należało przez 3 dni wykonać łącznie 360 analiz laboratoryjnych wyznaczania stężenia chlorków w ściekach [Studziński i Skaskiewicz, 1997].

#### 4.4. Eksperyment bierny

Koncepcja eksperymentu biernego, którego celem jest zwykle opracowanie modelu do symulacji oczyszczalni, musi uwzględniać wymagania tworzonego modelu, to znaczy jego strukturę i uwzględniane w nim procesy oczyszczania. Ten plan musi również uwzględniać własności obiektu, w którym eksperyment jest przeprowadzany, i jego możliwości techniczne. Te uwarunkowania decydują o wyborze punktów pomiarowych w obiekcie i wyborze mierzonych parametrów ścieków.

Jeżeli w tworzonym modelu matematycznym będą na przykład uwzględniane jedynie procesy przemian związków organicznych i azotowych w ściekach a modelowana oczyszczalnia będzie standardowym obiektem, w którym zachodzą procesy sedymentacji osadu w osadnikach wstępnych i wtórnych oraz procesy amonifikacji i nityfikacji zanieczyszczeń w napowietrzanych komorach z osadem czynnym, to wtedy wzorcowy plan eksperymentu biernego mógłby być postaci:

1. natężenie dopływu ścieków surowych mierzy się przed osadnikami wstępnymi;
2. pomiary stężeń wykonuje się w 4 newralgicznych punktach procesu (rys. 4.1):
  - przed osadnikami wstępnymi dla badanie ścieków surowych,

- po osadnikach wstępnych dla badanie ścieków oczyszczonych mechanicznie,
  - po komorach z osadem czynnym,
  - po osadnikach wtórnych dla badanie ścieków oczyszczonych biologicznie;
3. w każdym punkcie pomiarowym mierzy się stężenie w ściekach siedmiu następujących frakcji:
- tlen rozpuszczony,
  - BZT<sub>5</sub>,
  - CHZT,
  - zawiesina ogólna,
  - zawiesina mineralna,
  - azot ogólny,
  - azot amonowy;
4. pomiary wymienionych parametrów w punktach pomiarowych wykonuje się z możliwie minimalnym krokiem próbkowania pomiarów, na przykład 1 godz. w całym okresie eksperymentu;
5. eksperyment trwa dostatecznie długo, co najmniej 1 tydzień, dla uwzględnienia możliwie wielu różnych warunków pracy obiektu.

Przedstawioną koncepcję eksperymentu biernego zrealizowano w oczyszczalni w Rzeszowie, uwzględniając możliwości obiektu i potrzeby prowadzonych badań. Przyjęto następujące założenia:

1. natężenie dopływu ścieków surowych mierzy się przed osadnikami wstępnymi;
2. dla dokładnego zbadania obiektów oczyszczalni pomiary ścieków wykonuje się w czterech punktach procesu (rys. 4.1):
  - przed osadnikami wstępnymi dla badania ścieków surowych,
  - po osadnikach wstępnych dla badania ścieków oczyszczonych mechanicznie,
  - po komorach napowietrzania,
  - po osadnikach wtórnych dla badania ścieków oczyszczonych biologicznie,
  - w zbiorniku z osadem zawracanym;
3. w każdym z punktów pomiarowych mierzy się stężenia w ściekach dziewięciu następujących frakcji (uwzględniono dwie dodatkowe frakcje ścieków):
  - tlen rozpuszczony,
  - BZT<sub>5</sub>,
  - CHZT,

- zawiesina ogólna,
  - zawiesina mineralna,
  - azot ogólny,
  - azot amonowy,
  - fosfor ogólny,
  - fosfor ortofosforanowy;
4. pomiary wymienionych parametrów w ściekach surowych, to znaczy w punkcie przed osadnikami wstępnymi, są wykonywane co dwie godziny w całym okresie eksperymentu;
  5. pomiary parametrów w trzech pozostałych punktach procesu są pomiarami uśrednionymi w okresie dobowym, otrzymywanymi na podstawie tak zwanych prób zlewanych;
  6. eksperyment trwa dwa tygodnie.

Lokalizacja punktów pomiarowych wynika ze struktury badanej oczyszczalni, natomiast wybór mierzonych parametrów wynika z zamiaru wykorzystania pomiarów, na przykład z zamierzonych funkcji tworzonych modeli matematycznych. W prezentowanym przykładzie sposób przeprowadzania pomiarów w postaci prób chwilowych lub prób zlewanych, częstotliwość pomiarów ustalona krokiem próbkowania równym 2 godz lub 24 godz, a także ustalony czas eksperymentu równy 2 tygodnie, wynikały z możliwości technicznych oczyszczalni w zakresie wykonania badań. W badanej oczyszczalni jedynie pomiary natężenia dopływu ścieków surowych mogły być mierzone automatycznie za pomocą zainstalowanego w oczyszczalni systemu monitoringu, natomiast wszystkie pomiary stężeń zanieczyszczeń w ściekach mogły być wykonywane tylko w bardzo czasochłonny sposób laboratoryjny. Dlatego nie było możliwe ustalenie krótszego kroku próbkowania pomiarów. Z tego też powodu określono stosunkowo długi czas trwania eksperymentu, aby w ten sposób uzyskać dostateczną liczbę danych do obliczeń modelu.

Zgodnie z ustalonym planem należało wykonać 135 pomiarów dziennie przez 14 dni, to znaczy w czasie eksperymentu trzeba było przeprowadzić łącznie 1.890 analiz laboratoryjnych. Dla każdego parametru należało wykonać 210 analiz, w tym 168 analiz chwilowych i 42 analizy uśrednione [Studziński i Skaskiewicz, 1997].

#### 4.5. Ocena warunków wykonywania pomiarów w praktyce

Podstawowy wniosek, jaki nasuwa się przy planowaniu eksperymentów pomiarowych, dotyczy konieczności uwzględniania w takim przypadku trzech zagadnień:



- celu przeprowadzania pomiarów,
- wymagań obliczeniowych,
- uwarunkowań technicznych obiektu, w którym dokonuje się pomiarów.

W omawianych w rozdziale przykładach eksperymentów pomiarowych ich celem było wyznaczenie modeli matematycznych pewnych procesów: dynamiki przepływu cieczy w zbiornikach oczyszczalni oraz procesu mechanicznego i biologicznego oczyszczania ścieków w ciągu technologicznego oczyszczalni. Ten cel warunkuje dobór punktów pomiarowych oraz wybór mierzonych parametrów procesów: natężenia przepływu ścieków i stężenia zawartego w nich znacznika w pierwszym przypadku oraz stężeń wybranych zanieczyszczeń w ściekach w drugim przypadku.

Z kolei wymagania obliczeniowe związane z wyznaczaniem modeli pozwalają określić takie parametry eksperymentu, jak kształt i charakterystyka sygnału wymuszającego w przypadku eksperymentu czynnego oraz długość kroku próbkowania pomiarów i czasu trwania pomiarów w przypadku obu eksperymentów.

Jednak ostatecznie wszystkie te ustalenia muszą być zweryfikowane przez możliwości techniczne obiektu i w praktyce bardzo często okazuje się, że te uwarunkowania stanowią bardzo silne ograniczenia, często uniemożliwiające przeprowadzenie eksperymentu lub stwarzające warunki niezgodne z wymaganiami obliczeniowymi [Bogdan i in., 2003].

W omawianych przypadkach silna ingerencja możliwości technicznych badanego obiektu dotyczyła zarówno eksperymentu czynnego, jak i biernego. W pierwszym przypadku możliwości obiektu zadecydowały o wyborze znacznika, co wpłynęło na wybór możliwego do realizacji kształtu sygnału wymuszającego a w konsekwencji także na ograniczenie ilości okresów podawania wymuszenia na obiekt i ograniczenie amplitudy sygnału.

Z kolei w eksperymencie biernym możliwości techniczne wykonywania pomiarów w obiekcie i pomiarów w laboratorium zadecydowały o wyborze stosunkowo długich i zróżnicowanych w zależności od punktu pomiarowego kroków próbkowania, i w rezultacie również o długości trwania eksperymentu.

Niestety, często uwarunkowania techniczne badanego obiektu w ogóle nie są brane pod uwagę przy opracowywaniu planów eksperymentów, co prowadzi do sytuacji, że opracowane plany wykonania pomiarów nie są realizowalne w praktyce. Częściej należy się jednak godzić z faktem, że eksperymenty są przeprowadzane w sposób znacznie odbiegający od wymagań obliczeniowych, co w konsekwencji może prowadzić do niepoprawnych wyników następującego potem modelowania matematycznego.

Jan Studziński

**IDENITYFIKACJA, 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**