

Rafał BRODZIAK<sup>1</sup>, Wojciech GÓRA<sup>1</sup>,  
Andrzej URBANIAK<sup>2</sup>, Przemysław ZAKRZEWSKI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut Inżynierii Środowiska  
Politechnika Poznańska

<sup>2</sup>Institut Informatyki  
Politechnika Poznańska

## WYKORZYSTANIE ZBIORNIKA UŚREDNIAJĄCEGO DO CELÓW PROCESOWYCH W SYSTEMACH OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW

### APPLICATION OF AN EQUILISATION TANK FOR PROCESS PURPOSES IN WASTEWATER TREATMENT SYSTEMS

*The article presents an algorithm for the control of wastewater pumps and reagent dosing pumps in industrial wastewater treatment plants in which the equalisation tank has been adapted for the purpose of physicochemical processes. A description of the regulation method and control of the process parameters is provided, such as the minimum time of holding wastewater in the tank and the reagent dosage. Analyzed system is equipped with control and measurement apparatus typical of an equalisation tank with a pump, i.e. a wastewater level sensor and an electromagnetic flow meter installed on the wastewater pressure pipeline. The method is presented on the example of a food industry plant.*

## 1. Wprowadzenie

Ścieki odprowadzane z produkcji przemysłowej charakteryzują się często dużą zmiennością przepływu i ładunku zanieczyszczeń. Zakres zmienności zależy m.in. od rodzaju prowadzonej działalności oraz specyfiki i różnorodności procesów produkcyjnych, od stosowanych metod mycia instalacji oraz procesów technologii wody. Ścieki powstające na terenie zakładu mogą być odprowadzane do systemu kanalizacyjnego lub do środowiska. W obydwu przypadkach wymagane jest spełnienie określonych prawem i odpowiednimi umowami uwarunkowań regulujących ilość oraz jakość ścieków oczyszczonych [1][2][3]. Spełnienie wymagań prawnych wiąże się z koniecznością stosowania na terenie zakładu przemysłowego instalacji do oczyszczania ścieków – tzw. podczyszczalni, w przypadku, kiedy odbiornikiem jest system kanalizacyjny lub oczyszczalni – w przypadku odprowadzania ścieków oczyszczonych do środowiska.

W przypadku stosowania w technologii oczyszczania ścieków przemysłowych procesów fizycznych, takich jak: cedzenie, filtracja, flotacja lub sedymentacja, podstawowym parametrem projektowym urządzeń do ich realizacji jest obciążenie hydrauliczne. Obciążenie hydrauliczne jest najczęściej określone jako wielkość przepływu ścieków odniesiona do

jednostkowego wymiaru urządzenia, najczęściej jego powierzchni czynnej lub długości. W warunkach eksploatacyjnych, równomierne obciążenie hydrauliczne części urządzeń, jest warunkiem koniecznym do uzyskania wymaganego efektu ekologicznego. Dodatkowo, w układach zintegrowanych, w których łączy się procesy fizyczne, chemiczne i biologiczne, istotnym czynnikiem wpływającym na jakość ścieków oczyszczonych jest stabilność składu ścieków na dopływie do oczyszczalni. Dla uśrednionego składu ścieków odprowadzanych z zakładu, na podstawie testów technologicznych, dobiera się procesy jednostkowe technologii oraz określa się ich parametry [4]. Znaczące wahania stężeń zanieczyszczeń zawartych w ściekach mogą działać destabilizująco na procesy oczyszczania i powodować okresowe przekroczenia wartości normatywnych wskaźników zanieczyszczeń.

W przypadku dużej zmienności w zakresie ilości oraz składu ścieków odprowadzanych z linii produkcyjnych, konieczne jest stosowanie zbiorników uśredniających. Zbiorniki takie z jednej strony pozwalają na niwelowanie nierównomierności dopływów do oczyszczalni i zasilanie urządzeń oczyszczających stałym strumieniem objętości ścieków, z drugiej strony, poprzez uśrednienie składu ścieków poprawiają efektywność procesów chemicznych, fizyko-chemicznych oraz biologicznych.

## 2. Zastosowanie zbiornika uśredniającego do celów procesowych

W czasie eksploatacji zakładów produkcji przemysłowej mogą mieć miejsce zmiany w zakresie profilu, technologii lub skali produkcji. Zmiany takie skutkują również zmianami w ilości i składzie odprowadzanych ścieków. Sytuacja taka, o ile dotyczy zakładów posiadających eksploatowaną oczyszczalnię ścieków, może nieść za sobą potrzebę modernizacji w zakresie technologii i/lub wielkości urządzeń stosowanych w poszczególnych procesach oczyszczania. Jednym ze sposobów przystosowania oczyszczalni do nowych warunków jest adaptacja istniejącego zbiornika uśredniającego do celów procesowych. Zbiornik pełni wówczas, poza swoją dotychczasową funkcją uśredniania ilości i składu ścieków, zadanie reaktora, w którym można prowadzić procesy chemicznego lub fizyko-chemicznego oczyszczania. W zbiorniku uśredniającym można realizować przykładowo: procesy pogłębionego utleniania, adsorpcji, koagulacji, współstrącania oraz korekty odczynu [5][6]. Zastosowanie zbiornika uśredniającego do celów procesowych wymaga rozwiązania dwóch zadań:

- określenia sposobu sterowania pompami dozującymi reagenty chemiczne,
- zachowania minimalnych czasów reakcji określonych technologią oczyszczania.

### 2.1. Sterowanie pracą pomp dozujących

Podstawowym parametrem w procesach chemicznego oczyszczania ścieków jest dawka reagenta chemicznego. W procesach, gdzie ilość dozowanego reagenta może być regulowana w funkcji parametru innego, niż strumień objętości ścieków, na przykład wartością odczynu pH, system sterowania procesem ogranicza się do zastosowania sondy pomiarowej odczynu ścieków z regulatorem współpracującym z pompą dozującą ten reagent. Natomiast w przypadku, gdy ilość dozowanego reagenta zależy od ilości dopływających ścieków, powstaje trudność związana z opomiarowaniem wielkości

dopływu do zbiornika uśredniającego. W praktyce, urządzenie pomiarowe – przepływomierz, instaluje się na przewodzie tłocznym, odprowadzającym ścieki ze zbiornika do dalszych urządzeń oczyszczających. Tymczasem, w przypadku prowadzenia procesów oczyszczania ścieków w zbiorniku uśredniającym, istnieje potrzeba określenia chwilowych ilości ścieków dopływających do zbiornika. Problem ten można rozwiązać poprzez instalację przepływomierza na kanale doprowadzającym ścieki do zbiornika. Jest to jednak rozwiązanie względnie drogie, i czasem niemożliwe do zastosowania z przyczyn technicznych lub z racji doprowadzenia ścieków do zbiornika za pomocą wielu kanałów zbierających ścieki z różnych linii produkcyjnych.

Do ustalenia ilości dopływających do zbiornika ścieków oraz wymaganej ilości reagenta chemicznego można wykorzystać sygnał z czujnika wypełnienia zbiornika stosowanego do sterowania pracą pomp ściekowych. Ilość ścieków dopływających do zbiornika  $Q_{in}(t)$  można wyznaczyć z równania:

$$Q_{in}(t) = \frac{dV_i(t)}{dt} + Q_{out}(t) \quad (1)$$

gdzie:

$V_i(t)$  – objętość ścieków w zbiorniku wyznaczana na podstawie pomiaru wysokości wypełnienia  $H_i(t)$  oraz znajomości geometrii zbiornika [ $m^3$ ],

$Q_{out}(t)$  – ilość ścieków odpływających ze zbiornika mierzona za pomocą przepływomierza [ $m^3/h$ ].

## 2.2. Czas reakcji

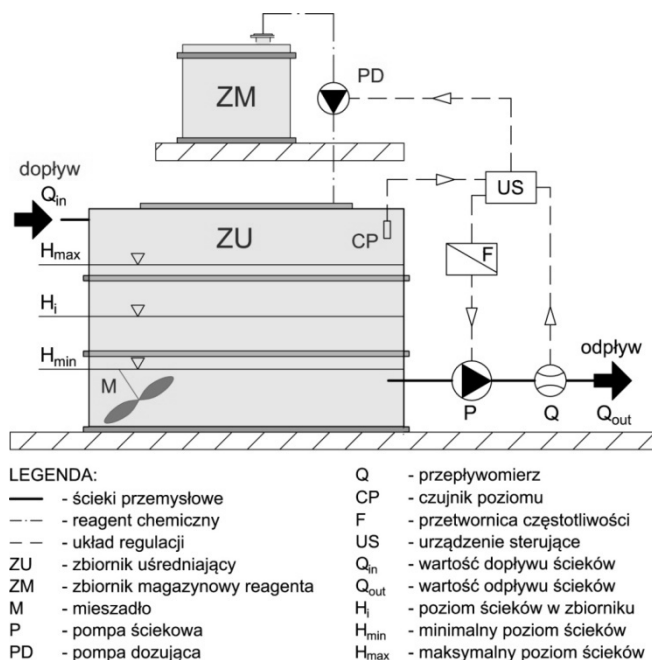
Nadrzędną funkcją zbiornika uśredniającego jest wykorzystanie jego objętości do ujednoczenia składu ścieków oraz kompensowania maksymalnych chwilowych dopływów do oczyszczalni. W przypadku zastosowania zbiorników uśredniających do celów procesowych, istnieje często konieczność jednoczesnego spełnienia dodatkowego warunku: minimalnego lub maksymalnego czasu zatrzymania ścieków. Minimalny czas zatrzymania ścieków w zbiorniku  $t_{min}$  związany jest z czasem reakcji chemicznych lub z czasem niezbędnym do przeprowadzenia innych procesów zachodzących w zbiorniku. Minimalna objętość ścieków w zbiorniku  $V_{min}(t)$ , zapewniająca spełnienie warunku czasu zatrzymania jest zależna od wartości chwilowych dopływów historycznych. Wartość tej objętości można w przybliżeniu wyznaczyć jako sumę objętości ścieków, które dopłynęły do zbiornika w czasie równym wymaganemu czasowi zatrzymania ścieków zgodnie z równaniem:

$$V_{min}(t) = \int_{t-t_{min}}^t Q_{in}(t) dt \quad (2)$$

Algorytm sterowania układem pompowym odprowadzającym ścieki ze zbiornika powinien uwzględniać ograniczenie minimalnej objętości ścieków w zbiorniku  $V_{min}(t)$ . Regulacja wydajności pompy może być realizowana w funkcji wypełnienia zbiornika, w zakresie od  $H_{min}(t)$  do  $H_{max}$ . Wartość  $H_{min}(t)$  jest wartością zmienną, wynikającą z wyznaczonej minimalnej objętości ścieków w zbiorniku  $V_{min}(t)$ . Wartość  $H_{max}$  jest stała dla określonego zbiornika i wynika z jego maksymalnej objętości  $V_{max}$ .

### 3. Przykład rozwiązania

Na rys. 1 przedstawiono schemat instalacji ze zbiornikiem uśredniającym zaadaptowanym do prowadzenia procesów fizyko-chemicznego oczyszczania ścieków w przykładowym zakładzie przemysłu spożywczego, charakteryzującego się średnim dobowym przepływem ścieków w ilości  $180 \text{ m}^3/\text{d}$ . Ścieki z produkcji dopływają kanałem grawitacyjnym do zbiornika uśredniającego o objętości  $8,8 \text{ m}^3$ . Zbiornik ma kształt walca i jest wyposażony w mieszadło mechaniczne oraz czujnik poziomu ścieków.



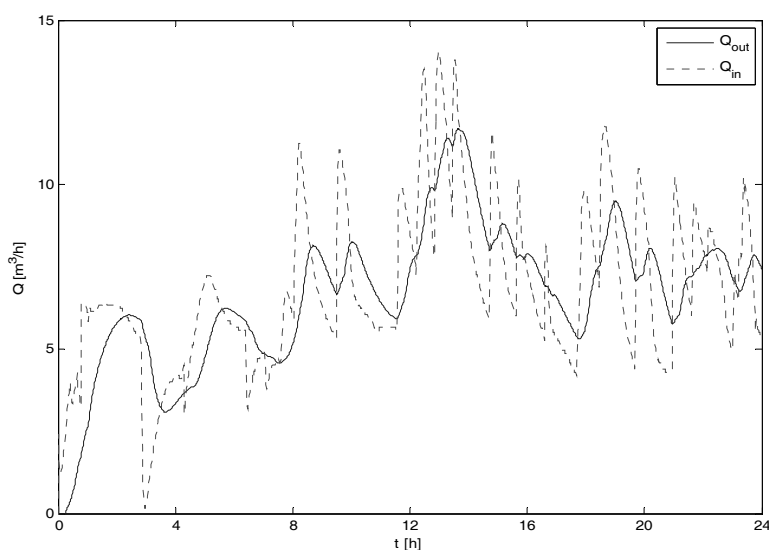
Rys. 1. Schemat instalacji procesowego zbiornika uśredniającego z systemem regulacji [7].

Fig. 1. System scheme of the averaging process tank with the control system [7].

Ścieki przetłaczane są ze zbiornika do dalszych urządzeń oczyszczających za pomocą pompy współpracującej z przetwornicą częstotliwości. Reagent do prowadzenia procesów fizyko-chemicznego oczyszczania ścieków dozowany jest ze zbiornika magazynowego za pomocą pompy dozującej do zbiornika uśredniającego. Układ pomiarowy składa się z czujnika poziomu oraz z przepływomierza elektromagnetycznego.

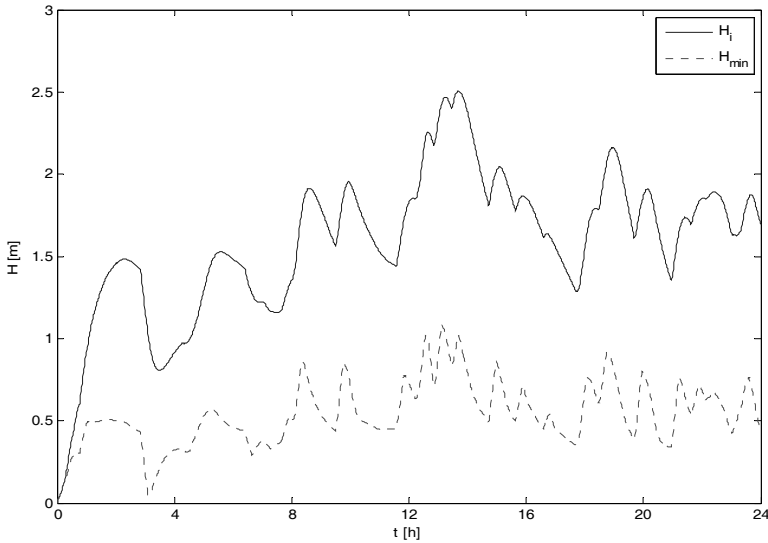
Różnica pomiędzy instalacją przed modernizacją oraz po modernizacji polega jedynie na doposażeniu systemu w zbiornik magazynowy reagenta oraz pompę dozującą. Pozostałe zmiany umożliwiające realizację nowej technologii zostały wprowadzone w warstwie sterowania. Sterowanie procesem dokonuje się z okresem próbkowania  $T_p=1 \text{ min}$ . Chwilowa ilość dopływających ścieków wyznaczana jest w funkcji zmian wypełnienia zbiornika oraz wielkości odpływu na podstawie wprowadzonego równa-

nia (1), przy znanej wielkości odpływu uzyskanej za pomocą przepływomierza elektromagnetycznego. Bieżąca wydajność pompy dozującej wyznaczana jest w funkcji wielkości dopływu ścieków  $Q_{in}$  z uwzględnieniem wymaganej dawki reagenta określonej na drodze testów technologicznych i wynoszącej  $1,2 \text{ kg/m}^3$ . Reagent jest dozowany w postaci roztworu wodnego o stężeniu 5% z wydajnością  $24 \text{ L/m}^3$ . Na podstawie testów technologicznych określono również minimalny czas przetrzymania ścieków w zbiorniku wynoszący  $t_{min} = 15 \text{ min}$ . Dla minimalnego czasu zatrzymania, po każdym kroku obliczeniowym, dla określonej wielkości dopływu ścieków, wyznaczany jest minimalny wymagany poziom ścieków w zbiorniku. Na podstawie wyznaczonej wartości minimalnego poziomu określana jest wartość zadana wydajności pompy ściekowej dla kroku kolejnego. Wydajność pompy ściekowej regulowana jest w sposób proporcjonalny w zakresie wartości od 0 do  $Q_{max}$ , gdzie  $Q_{max}$  jest maksymalną wydajnością pompy. Obliczenia realizowano przy założeniu, że wartość zadana wydajności pompy jest równa wartości mierzonej.



Rys. 2. Przebieg zmian odpływu  $Q_{out}$  w funkcji zmienności  $Q_{in}$  przy zachowaniu minimalnego czasu  $t_{min}$ .

Fig. 2. Changes in outflow  $Q_{out}$  as a function of  $Q_{in}$  variability with maintaining the minimum time  $t_{min}$ .



Rys.3. Przebiegi zmian aktualnego wypełnienia zbiornika  $H_i$  oraz minimalnego wypełnienia zbiornika  $H_{min}$

Fig. 3. Changes in actual wastewater level  $H_i$  and minimal wastewater level  $H_{min}$  in the tank.

Dla dobowej zmienności poziomu ścieków w zbiorniku przedstawiono wyniki symulacji wyznaczania parametrów procesu, to jest wydajności pompy ściekowej, minimalnego wypełnienia zbiornika oraz wymaganą ilość dozowanego reagenta. Na rys. 2 przedstawiono zmienność dopływu  $Q_{in}$  w funkcji odpływu  $Q_{out}$  przy zachowaniu minimalnego czasu zatrzymania  $t_{min}$ . Na rys. 3 przedstawiono zmienność wysokości wypełnienia zbiornika  $H_i$  wraz z uzyskanymi wymaganymi wartościami minimalnego wypełnienia zbiornika  $H_{min}$ . Dobowe zużycie roztworu reagenta wyniosło  $3,94 \text{ m}^3$ .

#### 4. Podsumowanie

W artykule przedstawiono rozwiązanie zadania inżynierskiego polegającego na wyznaczeniu wartości parametrów sterowania procesem fizyko-chemicznego oczyszczania ścieków implementowanym w zbiorniku uśredniającym dla modernizowanych i rozbudowywanych oczyszczalni ścieków przemysłowych. Dla systemu wyposażonego w czujnik poziomu ścieków w zbiorniku, w pompę ściekową oraz przepływomierz istnieje możliwość implementowania algorytmów sterowania pozwalających na realizację następujących zadań:

- wyznaczenie wielkości dopływu ścieków do zbiornika uśredniającego bez konieczności instalacji urządzeń pomiarowych na kanałach doprowadzających ścieki do zbiornika,

- wyznaczenie wymaganej objętości ścieków zapewniającej prawidłowy przebieg procesów oczyszczania realizowanych w zbiorniku uśredniającym,
- sterowanie pracą pompy ściekowej umożliwiające zachowanie podstawowej funkcji zbiornika, czyli uśrednianie składu ścieków i niwelowanie maksymalnych dopływów do dalszych procesów oczyszczania,
- sterowania pompą dozującą reagent do procesu oczyszczania implementowanego w zbiorniku uśredniającym.

Przedstawione rozwiązanie usprawnia przebieg modernizacji poprzez adaptację zbiornika uśredniającego do celów procesowych. Wykorzystanie do sterowania typowej, istniejącej przed modernizacją, aparatury kontrolno-pomiarowej, tj. czujnika poziomu ścieków oraz przepływomierza elektromagnetycznego, ograniczają koszty modernizacji. Przedstawione rozwiązanie nie wymaga ingerencji w zbiornik uśredniający, co ma szczególne znaczenie w zakładach produkcyjnych o pracy ciągłej. Zastosowanie algorytmów wyznaczania wartości parametrów procesu oczyszczania ścieków w oparciu o istniejące urządzenia pomiarowe daje wymierne oszczędności inwestycyjne. Wymagane zmiany w instalacji systemu oczyszczalnia ścieków ograniczają się jedynie do montażu urządzeń magazynujących i dozujących reagenty chemiczne oraz zmiany systemu sterowania. Przedstawione rozwiązanie ze względu na prostotę nie wymaga zastosowania sterowników/mikrokontrolerów o dużej mocy obliczeniowej.

## Bibliografia

- [1] Dz.U. 2006 nr 123 poz. 858, Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 12 czerwca 2006 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków
- [2] Rozporządzenie Ministra Budownictwa z dnia 14 lipca 2006 r. w sprawie sposobu realizacji obowiązków dostawców ścieków przemysłowych oraz warunków wprowadzania ścieków do urządzeń kanalizacyjnych. Dz.U. 2006 nr 136 poz. 964
- [3] Ustawa z dnia 7 czerwca 2001 r. o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków. Dz.U. 2001 Nr 72 poz. 747
- [4] Barbusiński K., Zaawansowane utlenianie w procesach oczyszczania wybranych ścieków przemysłowych. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2013
- [5] Urbaniak, A., Góra, W., and Brodziak, R. Modeling and simulation of technological wastewater neutralization system in the brewing industry. *The European Simulation and Modelling Conference 2011*, EUROSIS – ETI Publ., 2011, 338-340
- [6] Brodziak R., Góra W., Urbaniak A., Zakrzewski P., Symulacyjny model procesu neutralizacji ścieków przemysłowych, *Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód*, Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych, Oddział Wielkopolski, 2012 (T.1), 191-199
- [7] Góra W., Optymalizacja procesu korekty odczynu ścieków przemysłowych, Rozprawa doktorska, Politechnika Poznańska, 2014 – w recenzji

