

Jakub MAZURKIEWICZ<sup>1</sup>, Przemysław ZAKRZEWSKI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Katedra Inżynierii Wodnej i Sanitarnej  
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

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

## WYKORZYSTANIE SYMULACJI KOMPUTEROWYCH DO POPRAWY EFEKTYWNOŚCI DZIAŁANIA MAŁYCH OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW TYPU SBR

THE USE OF COMPUTER SIMULATIONS FOR IMPROVING THE  
OPERATION EFFICIENCY OF SMALL WASTEWATER TREATMENT  
PLANT WITH SBR TECHNOLOGY

*In this paper the influence of different factors on effectiveness of small wastewater treatment plant with SBR technology. For the purpose of research a simulation model describing the operation of this type of treatment plants was developed and implemented in MATLAB. The different operational scenarios, taking into account changes in intensity and quality of inflow, were analyzed. In studies the emergency situations such as visiting of guests, leaving residents to vacation or after a longer break in the supply of electricity were tested. The proposals to reduce or eliminate the negative impact of the above mentioned factors, both without the need for changes in the equipment of the plant, as well as with the use of additional sensors, and advanced control system were also identified.*

### 1. Wprowadzenie

Coraz bardziej popularne biologiczne przydomowe oczyszczalnie ścieków POŚ (obiekty obsługujące do 50 RLM), należące do grupy małych oczyszczalni ścieków, to systemy najczęściej wykorzystujące technologię osadu czynnego w układzie SBR. Za takim rozwiązaniem przemawia wiele czynników, takich jak możliwość szybkiej adaptacji procesu oczyszczania do danego typu ścieków oraz przeświadczenie o wysokiej skuteczności oczyszczania i niezawodności działania. Wynika to z dłużejletnich obserwacji dużo większych układów – większość gminnych i miejskich oczyszczalni ścieków w Polsce wykorzystuje bowiem technologię osadu czynnego.

W przeciwieństwie do większych układów, istotny wpływ na przebieg procesu oczyszczania w przydomowych oczyszczalniach ścieków mają [1]:

- duże zmienności dopływu i składu ścieków, na które mogą mieć wpływ sytuacje nietypowe: wizyta gości, wyjazd mieszkańców, itp.,
- brak bieżącej obsługi (stałego serwisu),
- niespodziewane przerwy w dostawie energii elektrycznej, mogące trwać nawet kilka godzin,
- brak laboratoriów przeprowadzających bieżącą kontrolę i ewentualne korekty parametrów procesu oczyszczania ścieków.

W związku z tym, nowoczesną biologiczną przydomową oczyszczalnię ścieków należy wyposażyć w taki układ sterowania, który pozwoliłby zwiększyć efektywność oczyszczania przy relatywnie niskich kosztach inwestycyjnych i eksploatacyjnych. Ze względu na brak ciągłego monitoringu zmienności ilości i jakości ścieków, sensownym rozwiązaniem jest wykorzystanie symulacji komputerowych zarówno na etapie projektu jak i użytkownika. Na podstawie badań symulacyjnych, w stosunkowo krótkim czasie można dobrać właściwe wyposażenie systemu oczyszczania ścieków oraz opracować jego standardowy scenariusz działania.

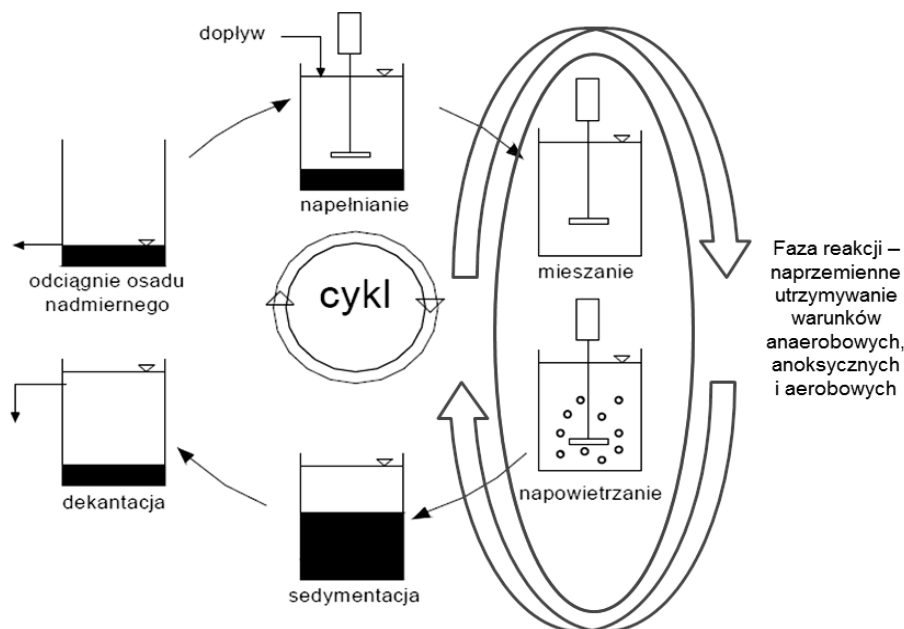
Dalsze usprawnienie takiego systemu, to korekta scenariusza standardowego na podstawie danych zebranych podczas okresowej obserwacji pracy oczyszczalni. Aby ograniczyć liczbę ingerencji użytkownika w scenariusz działania oraz umożliwić reakcję systemu na zmianę warunków pracy należy wykorzystać zaawansowany system sterowania.

Przedstawione w artykule badania nad wybranymi scenariuszami działania oczyszczalni ścieków typu SBR nawiązują do wcześniejszej publikacji autorów dotyczącej zaawansowanego systemu sterowania przydomową oczyszczalnią ścieków (ZSSPOŚ) [2].

## 2. Warunki pracy oczyszczalni typu SBR

W przydomowej oczyszczalni ścieków typu SBR bioreaktor jest najczęściej poprzedzony osadnikiem gnilnym, pełniącym funkcję zbiornika buforowego. Czas zatrzymania w tego typu urządzeniach wynosi kilka dni, a zatem można w uproszczeniu przyjąć, że porcja ścieków dostarczana do bioreaktora nie zmienia znacząco swojego składu jakościowego z cyklu na cykl. Znacznie większy wpływ na pracę oczyszczalni mają zmiany ilości ścieków dopływających do osadnika gnilnego w ciągu doby. Nierównomierność dopływu wynika najczęściej z odwiedzin gości, wyjazdu mieszkańców, czy też przerwy w pracy oczyszczalni. Powoduje to konieczność zmiany objętości porcji oczyszczanych ścieków, bądź wprowadzenie innej liczby cykli w dobie.

W celu zwiększenia efektywności oczyszczania coraz częściej modyfikuje się też typowy cykl pracy oczyszczalni ścieków typu SBR (zobacz rys. 1). Zmiany te dotyczą w dużej mierze fazy reakcji i polegają na naprzemiennym utrzymywaniu warunków anaerobowych, anoksycznych i aerobowych. Pozwala to na znaczny wzrost skuteczności usuwania związków azotu i fosforu ze ścieków [3], często bez konieczności zwiększania sumarycznego czasu napowietrzania, a tym samym bez dodatkowych kosztów.



Rys. 1. Przebieg sekwencji faz procesowych podczas cyklu pracy bioreaktora sekwencyjnego SBR [modyfikacja 4]

Fig. 1. The course of sequent process phases of the working cycle of the Sequencing Batch Reactor (SBR) [modification of 4]

W artykule przedstawiono wpływ dwóch nietypowych sytuacji związanych ze zmianą ilości ścieków dopływających do osadnika gnilnego (wizyta gości – scenariusz G oraz wyjazd na urlop – scenariusz U) na pracę oczyszczalni. W tabeli 1 i na rys. 2 przedstawiono zmiany czasów trwania poszczególnych faz cyklu dla scenariusza G i scenariusza U w odniesieniu do scenariusza standardowego S.

Tab. 1. Zmiany czasów trwania poszczególnych faz cyklu dla różnych scenariuszy

Tab. 1. Durations change of particular cycle phase for different scenarios

Scenariusz	Faza I napelnianie	Faza II reakcja	Faza III sedymencja	Faza IV dekantacja	Faza V postój
S	$t_{n,S}$	$t_{r,S}$	$t_{s,S}$	$t_{d,S}$	$t_{p,S}$
G	$t_n > t_{n,S}$	$t_r = t_{r,S}$	$t_s = t_{s,S}$	$t_d > t_{d,S}$	$t_p < t_{p,S}$
U	$t_n < t_{n,S}$	$t_r < t_{r,S}$	$t_s = t_{s,S}$	$t_d < t_{d,S}$	$t_p > t_{p,S}$

gdzie:  $t_n$  – czas napelniania,  $t_r$  – czas reakcji,  $t_s$  – czas sedymencji,  $t_d$  – czas dekantacji,  $t_p$  – czas postoju.

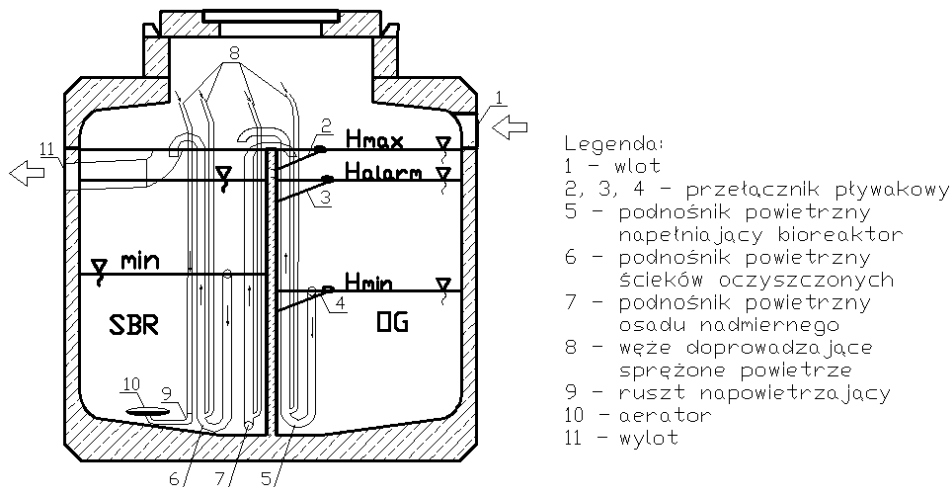


Rys. 2. Graficzna prezentacja zmian czasów trwania poszczególnych faz cyklu dla różnych scenariuszy

Fig. 2. Graphics presentation of duration change of particular cycle phase for different scenarios

Do analizy wykorzystano wyniki badań terenowych prowadzonych przez autorów oraz dane literaturowe dotyczące natężenia i składu ścieków dopływających z osadnika gnilnego do bioreaktora dla oczyszczalni obsługującej sześcioro mieszkańców.

Na rys. 3 przedstawiono schemat badanej oczyszczalni wraz z wyposażeniem osadnika gnilnego (OG) oraz bioreaktora (SBR). Dodatkowo zaznaczono charakterystyczne poziomy zwierciadła ścieków określające charakterystyczne stany, takie jak: minimalny, maksymalny i alarmowy. Objętości osadnika gnilnego i bioreaktora wynosiły odpowiednio  $4,5 \text{ m}^3$  i  $0,43 \text{ m}^3$ . Szczegółowe omówienie badanej oczyszczalni można znaleźć w [2].



Rys. 3. Schemat POŚ typu SBR wraz ze standardowym wyposażeniem

Fig. 3. Scheme of the OWTP with a standard equipment

### 3. Badania symulacyjne

Na potrzeby badań symulacyjnych opracowano i zaimplementowano w środowisku MATLAB model symulacyjny. Do opisu procesów biochemicznych wykorzystano model matematyczny osadu czynnego ASM1, a do opisu procesu sedimentacji wykorzystano model opracowany przez Takacs'a (w przypadku sedimentacji uwzględniono również procesy biochemiczne) [5]. Wartości poszczególnych frakcji modelu ASM1 wyznaczono zgodnie z wytycznymi literaturowymi dla chemicznego zapotrzebowania tlenu ChZT = 596 g O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> oraz azotu całkowitego N<sub>całk</sub> = 75 g N/m<sup>3</sup> ścieków w osadniku gnilnym (czyli przy stosunku ChZT:N<sub>całk</sub> = 8,1).

Badania symulacyjne prowadzono przy zachowaniu stężenia zawiesiny ogólnej w bioreaktorze (podczas faz reakcji) w przedziale 2500 ÷ 4000 g/m<sup>3</sup> oraz wieku osadu od kilku do kilkudziesięciu dni, który umożliwia skuteczne przeprowadzenie procesów nitrifikacji i denitrifikacji.

W pierwszym etapie symulacji metodą przeglądu zupełnego dobrano takie wartości parametrów scenariuszy, aby dla określonych wartości współczynnika dekantacji oraz czasu trwania cyklu, otrzymać jak najwyższy stopień usuwania związków organicznych i związków azotu. W taki sposób określono dla każdego scenariusza wartości następujących parametrów:

- współczynnik dekantacji,
- czas trwania cyklu,
- czas trwania napowietrzania,
- czas trwania braku napowietrzania,
- liczba okresów napowietrzania i braku napowietrzania w cyklu,
- objętość usuwanego osadu nadmiernego.

W tabeli 2 zestawiono wyznaczone w pierwszym etapie symulacji czasy trwania poszczególnych faz cyklu dla scenariusza S, scenariusza G i scenariusza U.

Tab. 2. Czasy trwania poszczególnych faz cyklu dla różnych scenariuszy (w minutach)

Tab. 2. Durations of particular cycle phase for different scenarios (in minutes)

Scenariusz	Faza I napełnianie	Faza II reakcja	Faza III sedymetacja	Faza IV dekantacja	Faza V postój
S	3,5	240	60	3,5	173
G	5,5	240	60	5,5	169
U	2,5	180	60	2,5	475

Wyniki badań symulacyjnych zamieszczone w dalszej części artykułu dotyczą sytuacji, w której każda symulacja poprzedzona była 200 cyklami stanu ustalonego – objętość i jakość dopływających ścieków oraz zachodzące procesy w cyklu były zawsze takie same.

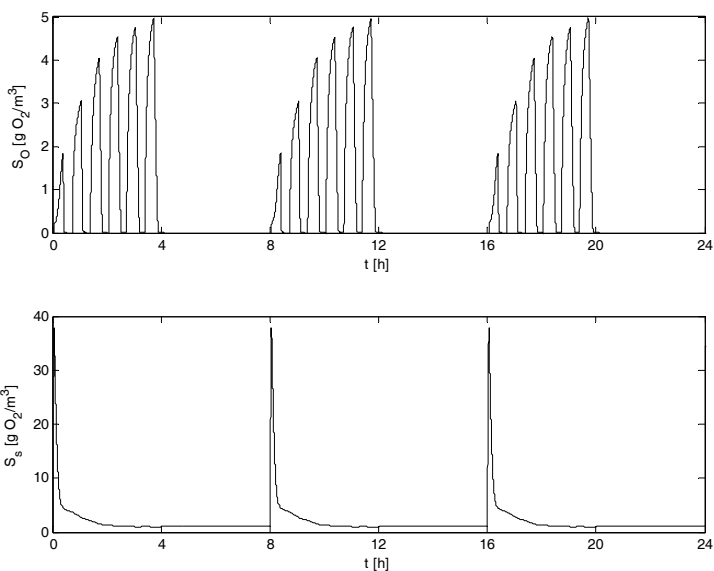
### 3.1. Scenariusz S

Na podstawie wyników z pierwszego etapu symulacji dla scenariusza S określono następujące wartości parametrów:

- współczynnik dekantacji:  $f_d = 0,31$ ,
- czas trwania cyklu:  $t_r = 8$  h,
- czas trwania napowietrzania:  $t_n = 120$  min.,
- czas trwania braku napowietrzania:  $t_{dn} = 120$  min.,
- liczba okresów napowietrzania i braku napowietrzania w cyklu:  $n_p = 6$ ,
- objętość usuwanego osadu nadmiernego:  $V_n = 0,0085$  m<sup>3</sup>.

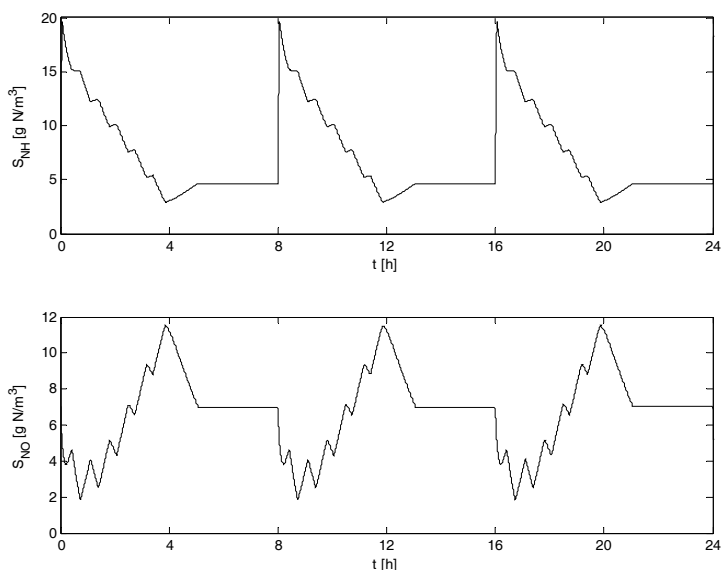
Na rys. 4 i rys. 5 przedstawiono trzy ośmiogodzinne cykle pracy bioreaktora według scenariusza S.

Na rys. 4 przedstawiono przebiegi zmian stężenia tlenu rozpuszczonego  $S_O$  oraz stężenia łatwo dostępnego substratu  $S_s$  w bioreaktorze. Zmienność stężenia tlenu jednoznacznie odzwierciedla okresy napowietrzania oraz braku napowietrzania. Natomiast na rys. 5 przedstawiono przebiegi zmian stężenia azotu amonowego  $S_{NH}$  oraz stężenia tlenków azotu  $S_{NO}$  w bioreaktorze.



Rys. 4. Przebiegi zmian stężenia tlenu rozpuszczonego  $S_O$  oraz stężenia łatwo dostępnego substratu  $S_s$  w bioreaktorze – scenariusz S

Fig. 4. Changes in dissolved oxygen concentration  $S_O$  and readily biodegradable substrate concentration  $S_s$  in bioreactor – scenario S

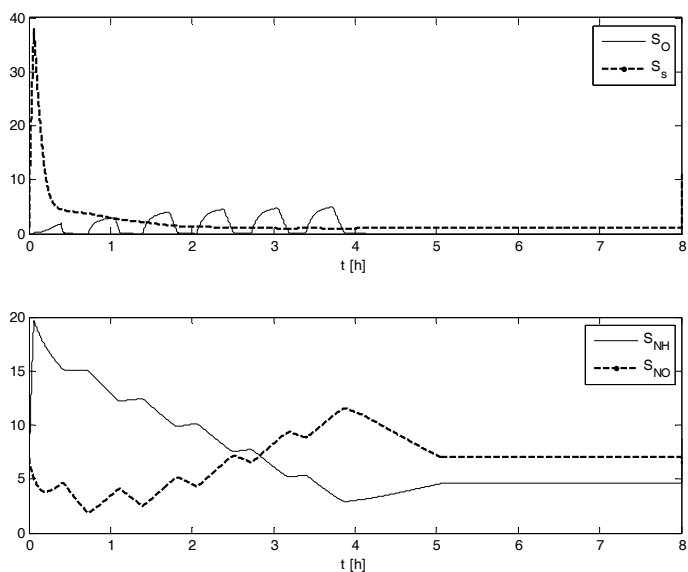


Rys. 5. Przebiegi zmian stężenia azotu amonowego  $S_{NH}$  oraz stężenia tlenków azotu  $S_{NO}$  w bioreaktorze – scenariusz S

Fig. 5. Changes in ammonium nitrogen concentration  $S_{NH}$  and nitrogen oxides concentration  $S_{NO}$  in bioreactor – scenario S

Na rys. 6 przedstawiono jeden ośmiogodzinny cykl pracy bioreaktora według scenariusza S. Na górnym wykresie przedstawiono cykliczne zmiany stężenia tlenu rozpuszczonego  $S_O$  (linia ciągła) podczas fazy reakcji oraz profil spadku stężenia łatwo dostępnego substratu  $S_S$  (linia pogrubiona, przerywana) w bioreaktorze. Natomiast na dolnym wykresie przedstawiono jak, w tym samym czasie, zmieniały się stężenia azotu amonowego  $S_{NH}$  (ciągła linia) oraz tlenków azotu  $S_{NO}$  (linia pogrubiona, przerywana).

Należy zwrócić uwagę, że po zakończeniu fazy reakcji, oprócz procesu sedymentacji zachodzą jeszcze procesy biochemicznej denitryfikacji (źródłem węgla dla osadu czynnego jest wówczas wolno rozkładalny substrat powstający w wyniku obumierania mikroorganizmów). Jest to oczywiście wartość uśredniona z całej objętości, ponieważ zawiesiny opadają na dno reaktora, a tylko w tych warstwach, w których znajduje się osad czynny zachodzą wspomniane procesy denitryfikacji. W fazach dekantacji i postoju przyjęto, że żadne procesy nie zachodzą – stąd linie poziome na wykresach w zakresie od piątej do ósmej godziny cyklu.



Rys. 6. Przebiegi zmian stężenia tlenu rozpuszczonego  $S_O$ , stężenia łatwo dostępnego substratu  $S_s$ , stężenia azotu amonowego  $S_{NH}$  oraz stężenia tlenków azotu  $S_{NO}$  w bioreaktorze – scenariusz S

Fig. 6. Changes in dissolved oxygen concentration  $S_O$ , readily biodegradable substrate concentration  $S_s$ , ammonium nitrogen concentration  $S_{NH}$  and nitrogen oxides concentration  $S_{NO}$  in bioreactor – scenario S

Wprowadzenie naprzemiennego napowietrzania w cyklu (często oczyszczalnie tego typu mają tylko jednokrotne, długie napowietrzanie) umożliwiło bardziej efektywne wykorzystanie łatwo dostępnego źródła energii w postaci tzw. substratów. Obecność właśnie tych związków węgla, w kolejnych fazach braku napowietrzania, stworzyło dogodne warunki dla procesu denitryfikacji. Przy jednokrotnym, długim napowietrzaniu ten łatwo dostępny substrat jest już zazwyczaj całkowicie wykorzystany, a jego niedobór w fazie anoksydycznej znacząco hamuje procesy denitryfikacji.

### 3.2. Scenariusz G

Z punktu widzenia pracy POŚ typu SBR nietypową sytuacją jest zwiększony dopływ ścieków do osadnika gnilnego w stosunkowo krótkim czasie, znacznie przewyższający standardową porcję oczyszczanych ścieków w cyklu.

Jeżeli oczyszczalnia została wyposażona w system monitorujący dopływ ścieków, układ sterowania może odpowiednio zareagować i zmienić wartości parametrów standardowego scenariusza działania. Jedną z możliwych reakcji na osiągnięcie poziomu



alarmowego i/lub maksymalnego ścieków w osadniku gnilnym (zobacz rys. 3), w celu zabezpieczenia oczyszczalni przed przelaniem, może być decyzja o zwiększeniu porcji oczyszczanych ścieków w kilku kolejnych cyklach.

Do dalszych rozważań przyjęto sytuację, w której w godzinach popołudniowych odwiedza mieszkańców grupa gości (np. spotkanie rodzinne). Podobny scenariusz należałoby uruchomić po kilkugodzinnej przerwie w dostawie energii elektrycznej.

Na podstawie wyników z pierwszego etapu symulacji dla scenariusza G określono następujące wartości parametrów (przy zwiększonej porcji ścieków oczyszczanych i nieznacznym zwiększeniu kosztów zużycia energii):

- współczynnik dekantacji:  $f_d = 0,47$ ,
- czas trwania cyklu:  $t_r = 8$  h,
- czas trwania napowietrzania:  $t_n = 120$  min.,
- czas trwania braku napowietrzania:  $t_{dn} = 120$  min.,
- liczba okresów napowietrzania i braku napowietrzania w cyklu:  $n_p = 6$ ,
- objętość usuwanego osadu nadmiernego:  $V_n = 0,0085$  m<sup>3</sup>.

W tabeli 3 przedstawiono jak zmieniały się w wybranych cyklach wartości wskaźników zanieczyszczeń na odpływie, stężenie zawiesiny ogólnej na odpływie  $Z_{og,o}$  oraz stężenie zawiesiny ogólnej w bioreaktorze po fazie reakcji  $Z_{og,r}$  dla scenariusza G.

Tab. 3. Wartości wskaźników zanieczyszczeń – scenariusz G

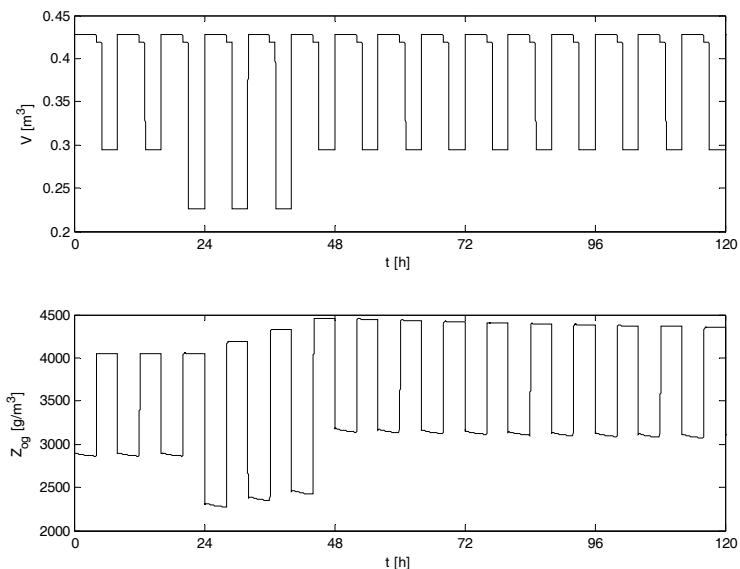
Tab. 3. Pollution indicator values – scenario G

Opis	$S_{NO,o}$ [g N/m <sup>3</sup> ]	$S_{NH,o}$ [g N/m <sup>3</sup> ]	$N_{całk.,o}$ [g N/m <sup>3</sup> ]	$BZT_{5,o}$ [g O <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> ]	$ChZT_o$ [g O <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> ]	$Z_{og,o}$ [g/m <sup>3</sup> ]	$Z_{og,r}$ [g/m <sup>3</sup> ]
Ostatni cykl S	10,91	3,12	15,17	1,89	52,91	7,61	2862
Pierwszy cykl G	6,77	10,62	18,53	1,87	52,74	7,48	2275
Drugi cykl G	5,89	16,77	23,8	1,91	52,92	7,59	2348
Trzeci cykl G	5,61	21,08	27,85	1,95	53,08	7,7	2419
Pierwszy cykl po G	8,44	19,45	29,08	2,03	53,62	8,12	3141
Ostatni cykl 12 dnia po G	10,37	3,56	15,08	1,92	53,13	7,77	2947

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że jakość oczyszczonych ścieków znacznie spadła. Zwiększenie porcji ścieków oczyszczanych w trzech kolejnych cyklach spowodowało zmniejszenie stężenia zawiesiny ogólnej w bioreaktorze, co z kolei spowodowało zmniejszenie efektywności procesów nityfikacji i denityfikacji. Przebieg zmian objętości ścieków  $V$  i stężenia zawiesiny ogólnej  $Z_{og}$  w bioreaktorze przedstawiono na rys. 7.

Warto jednak zwrócić uwagę, że pomimo zwiększenia stężenia azotu całkowitego na odpływie, to jego maksymalna dopuszczalna wartość nie została przekroczona –  $N_{całk.} < 30$  g N/m<sup>3</sup>.

Po oczyszczeniu zwiększonej porcji ścieków, oczyszczalnia wraca do standardowego scenariusza działania. Wartości poszczególnych zanieczyszczeń na odpływie stabilizują się i osiągają poziom sprzed wizyty (ostatni wiersz tabeli 3).



Rys. 7. Przebiegi zmian objętości ścieków  $V$  oraz stężenia zawiesiny ogólnej  $Z_{og}$  w bioreaktorze – scenariusz G

Fig. 7. Changes in wastewater volume  $V$  and total suspended solids concentration  $Z_{og}$  in bioreactor – scenario G

### 3.3. Scenariusz U

Inną nietypową sytuacją z punktu widzenia pracy POŚ typu SBR jest zmniejszony dopływ ścieków do osadnika gnilnego w pewnym okresie, np. wyjazd kilku lub wszystkich mieszkańców na urlop.

W celu zobrazowania jednego z możliwych rozwiązań, polegającego na zmianie wartości parametrów standardowego scenariusza działania, przedstawiono sytuację, w której na dwutygodniowy urlop wyjeżdżają wszyscy mieszkańcy.

Na podstawie wyników z pierwszego etapu symulacji dla scenariusza U określono następujące wartości parametrów (przy zmniejszonej porcji ścieków oczyszczanych i znacznym zmniejszeniu kosztów zużycia energii):

- współczynnik dekantacji:  $f_d = 0,23$ ,
- czas trwania cyklu:  $t_c = 12$  h,
- czas trwania napowietrzania:  $t_n = 90$  min.,

- czas trwania braku napowietrzania:  $t_{dn} = 90$  min.,
- liczba okresów napowietrzania i braku napowietrzania w cyklu:  $n_p = 4$ ,
- objętość usuwanego osadu nadmiernego:  $V_n = 0,0085$  m<sup>3</sup>.

W tabeli 4 przedstawiono jak zmieniały się w wybranych cyklach wartości wskaźników zanieczyszczeń na odpływie, stężenie zawiesiny ogólnej na odpływie  $Z_{og,o}$  oraz stężenie zawiesiny ogólnej w bioreaktorze po fazie reakcji  $Z_{og,r}$  dla scenariusza U.

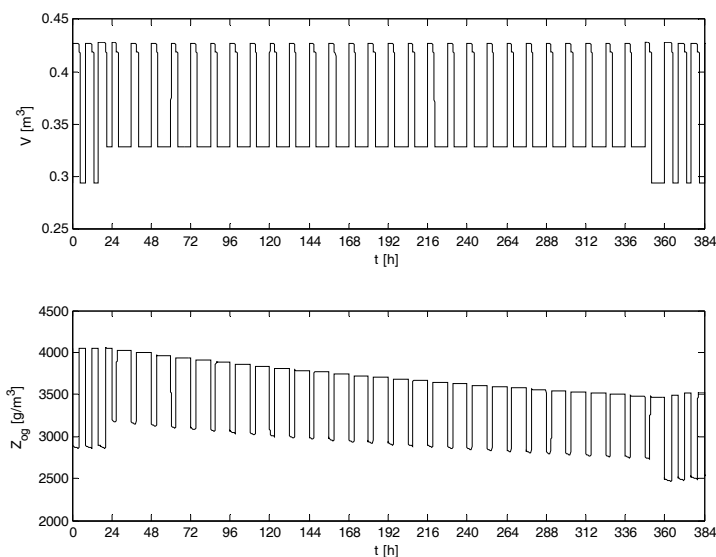
Tab. 4. Wartości wskaźników zanieczyszczeń – scenariusz U

Tab. 4. Pollution indicator values – scenario U

Opis	$S_{NO,o}$ [g N/m <sup>3</sup> ]	$S_{NH,o}$ [g N/m <sup>3</sup> ]	$N_{calc,o}$ [g N/m <sup>3</sup> ]	$BZT_{5,o}$ [g O <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> ]	$ChZT_o$ [g O <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> ]	$Z_{og,o}$ [g/m <sup>3</sup> ]	$Z_{og,r}$ [g/m <sup>3</sup> ]
Ostatni cykl S	10,91	3,12	15,17	1,89	52,91	7,61	2862
Pierwszy cykl U	9,7	3,37	14,23	1,95	53,29	7,87	3169
Ostatni cykl 7 dnia U	8,99	5,64	15,75	1,84	52,64	7,38	2916
Pierwszy cykl 8 dnia U	9,05	5,61	15,79	1,83	52,56	7,33	2900
Ostatni cykl U	9,65	5,52	16,25	1,77	52,18	7,04	2734
Pierwszy cykl po U	11,03	5,21	17,31	1,73	51,97	6,92	2466
Pierwszy cykl 8 dnia po U	11,47	4,26	16,83	1,83	52,45	7,27	2669
Ostatni cykl 40 dnia po U	10,8	3,45	15,39	1,89	52,9	7,6	2856

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że w pierwszym cyklu urlopu jakość odpływu się polepszyła – jest to jednak efekt krótkotrwały. Zmniejszenie porcji ścieków oczyszczanych spowodowało zwiększenie stężenia zawiesiny ogólnej w bioreaktorze, co z kolei spowodowało zwiększenie efektywności procesów nityfikacji i denityfikacji. Jednak z cyklu na cykl te warunki się pogarszają, gdyż mniejsza ilość dopływającego łatwo dostępnego substratu, wpływa na zmniejszenie stężenia zawiesiny ogólnej w bioreaktorze (obumieranie mikroorganizmów). Przebieg zmian objętości ścieków V i stężenia zawiesiny ogólnej  $Z_{og}$  w bioreaktorze przedstawiono na rys. 8.

Osiągnięcie wysokiej efektywności oczyszczania przy jednoczesnym znacznym zmniejszeniu kosztów zużycia energii, było możliwe jedynie poprzez zastosowanie systemu do przetłaczania ścieków z bioreaktora do osadnika gnilnego (recyrkulacja). Taka zmiana w trybie pracy oczyszczalni zagwarantowała odpowiednią ilość ścieków surowych z łatwo dostępnym substratem, pochodzących z osadnika gnilnego.



Rys. 8. Przebiegi zmian objętości ścieków  $V$  oraz stężenia zawiesiny ogólnej  $Z_{og}$  w bioreaktorze – scenariusz  $U$

Fig. 8. Changes in wastewater volume  $V$  and total suspended solids concentration  $Z_{og}$  in bioreactor – scenario  $U$

## 4. Podsumowanie

Przedstawiona w artykule analiza sytuacji nietypowych została przeprowadzona przy założeniu, że przydomowa oczyszczalnia ścieków typu SBR obsługuje niewielką liczbę osób i została wyposażona w typowy osprzęt. W celu zwiększenia skuteczności oczyszczania ścieków i zmniejszenia kosztów eksploatacji należałoby wyposażyć oczyszczalnię w zaawansowany system sterowania [2]. Zwiększenie efektywności jest ściśle związane z wyposażeniem systemu w dodatkowe czujniki pomiarowe takich wielkości jak: stężenie tlenu rozpuszczonego, stężenia związków azotu, potencjału redoks, odczynu pH, poziomu ścieków i osadów, itp.

Tak rozbudowany system sterowania pozwoliłby na określanie wartości parametrów scenariuszy działania oczyszczalni na bieżąco (z cyklu na cykl), zgodnie z założonymi wcześniej ograniczeniami technologiczno-ekonomicznymi. Efektem takiej modernizacji byłyby wysoka efektywność usuwania nie tylko związków organicznych, ale także związków azotu (90 %) i związków fosforu (80 %) [6, 7] nawet przy niskim stężeniu osadu czynnego w bioreaktorze [8]. Ponadto, pozwoliłoby to na znaczne zmniejszenie kosztów eksploatacji, gdyż określanie czasu trwania napowietrzania na bieżąco znacznie zmniejszyłoby zużycie energii.

Niestety już powierzchowne analizy ekonomiczne wykazują, że koszt proponowanego systemu sterowania wraz z dodatkowym wyposażeniem, przekracza koszty zakupu nowej kompletnej przydomowej oczyszczalni ścieków typu SBR.

Wyniki przeprowadzonych badań symulacyjnych pokrywają się z wnioskami z literatury [6, 7, 8] dotyczącymi utrzymywania naprzemiennych warunków anaerobowych, anoksycznych i aerobowych w bioreaktorze, liczby ich okresów w cyklu i czasów trwania. Nawet przy tak niekorzystnych warunkach pracy, jak np. brak dopływu ścieków surowych do osadnika gnilnego, odpowiedni dobór wartości parametrów scenariusza działania pozwala na utrzymanie wysokiego stopnia oczyszczania ścieków. Ponadto pozwala na podtrzymanie wystarczającej kondycji osadu czynnego (nawet do kilkunastu dni), tak by po powrocie użytkowników oczyszczalnia była nadal sprawna i nie wymagała ponownego rozruchu technologicznego.

Dalsza rozbudowa systemu sterowania bez odpowiednich źródeł dofinansowania oraz przy obecnym stanie prawnym – brak skutecznej weryfikacji stabilności i efektywności działania wszystkich przydomowych oczyszczalni ścieków – będzie bardzo trudna. Należy się spodziewać, że dopiero za kilka lat, wzorem naszych zachodnich sąsiadów, wzrosną wspomniane wymagania i zaawansowane systemy sterowania zaczną odgrywać wiodącą rolę [1, 9].

## Bibliografia

- [1] Mazurkiewicz J., Oczyszczalnie przydomowe. Stan obecny, najnowsze technologie i perspektywy rozwoju, Przegląd Komunalny 11/2007, Zeszyty Komunalne, Poznań, 10(57), 2007, str. 92-98.
- [2] Mazurkiewicz J., Zakrzewski P., Zaawansowany system sterowania przydomową oczyszczalnią ścieków. IX Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna: „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód: Woda 2010”, Wydawca PZITS o/Wielkopolski, 20-23 czerwca 2010, Kołobrzeg, 2010
- [3] Rim Y.-T., Yang H.-J., Yoon C.-H., Kim Y.-S., Seo J.-B., Ryu J.-K., Shin E.-B., A full scale test of a biological nutrients removal system using the sequencing batch reactor activated sludge process, Water Science and Technology, Vol. 35, No. 1, 1997, pp. 241-247(7)
- [4] Piaskowski K., Wpływ parametrów procesowych na usuwanie związków biogenych w laboratoryjnym reaktorze typu SBR, Rocznik Ochrona Środowiska, Wydawnictwo Środkowo-Pomorskie Towarzystwo Naukowe Ochrony Środowiska, Tom 5, 2003
- [5] J. Alex, L. Benedetti, J. Copp, K.V. Gernaey, U. Jeppsson, I. Nopens, M.-N. Pons, L. Rieger, C. Rosen, J. P. Steyer, P. Vanrolleghem, S. Winkler., Benchmark Simulation Model no. 1 (BSM1), IWA Taskgroup on Benchmarking of Control Strategies for WWTPs, April 2008, Lund, 2008
- [6] Larrea L., Albizuri J., Irizar I., Hernandez J. M., Design and operation of SBR processes for small plants based on simulations, Water Science and Technology, Vol. 55, No. 7, 2007, pp. 163-171

- [7] Lee H., Min Y. M., Park C. H., Park Y.H., Automatic control and remote monitoring system for biological nutrient removal on small wastewater treatment plants in Korea, *Water Science and Technology*, Vol. 50, No. 6, 2004, pp. 199-206
- [8] Makowska M., Spychała M., Błażejowski R., Treatment of septic tank effluent in moving bed biological reactors with intermittent aeration, *Polish Journal of Environmental Studies*, Vol. 18, No. 6, 2009, pp. 1051-1057
- [9] Mazurkiewicz J., *Usuwanie zanieczyszczeń przez minioczyszczalnie w Niemczech, Wodociągi i Kanalizacja*, Wydawnictwo Komunalne, Poznań, 12(70), 2009