

Jakub MAZURKIEWICZ¹, Przemysław ZAKRZEWSKI²

¹ Katedra Inżynierii Wodnej i Sanitarnej
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

² Instytut Informatyki
Politechnika Poznańska

ZAAWANSOWANY SYSTEM STEROWANIA PRZYDOMOWĄ OCZYSZCZALNIĄ ŚCIEKÓW

ADVANCED CONTROL SYSTEM OF ON-SITE WASTEWATER TREATMENT PLANT

In this article the proposal of the advanced system control of on-site wastewater treatment plant (ACSOWTP) was introduced. The proposed system control allows for: current changes of the value of controlled sets sizes and the introducing the predefine operating points of the system. In addition the system makes possible analyzing the history of the operation of OWTP as indication of periods of the least effective operating makes easier the service work.

1. Wprowadzenie

Przydomowe oczyszczalnie ścieków (POŚ) stają się coraz bardziej popularnym rozwiązaniem zarówno na świecie, jak i w kraju [1, 2, 3]. Przykładowo w USA odsetek korzystających z POŚ można oszacować na 25-30% - czyli obsługiwały one 75-100 mln ludzi [4]. W Niemczech oczyszczalni tego typu jest ok. dwa mln. Według danych GUS'u [5] w Polsce w 2008 roku znajdowało się około 42 tys. przydomowych oczyszczalni ścieków (co stanowiło ponad 43% przyrostu ich liczby względem roku 2007). Przy założeniu, że tylko część instalacji tego typu jest zgłaszana do ewidencji, to w kraju możliwe ich być w rzeczywistości dwu- lub trzykrotnej więcej.

POŚ powstają głównie na terenach niezurbanizowanych oraz nowozasiedlanych, niepodłączonych do systemów kanalizacyjnych i nieobsługiwanych przez centralne oczyszczalnie ścieków.

W związku z powyższym obecne standardy techniczne oraz wytyczne będą coraz bardziej wykorzystywane, przez lokalne jednostki odpowiedzialne za ochronę środowiska, do sprawdzania stanu technicznego i warunków gruntowo-wodnych w miejscach lokalizacji POŚ. Szczególna uwaga będzie zwracana na zagrożenie zdrowia publicznego i negatywny wpływ na środowisko przez często słabo działające układy oczyszczania,

przede wszystkim na najbardziej rozpowszechnione (i proste) systemy rozsączania ścieków w gruncie [6].

Z punktu widzenia problematyki projektowania systemów sterowania, POŚ są obiektami silnie nieliniowymi poddawanych znacznym zmianom natężenia dopływu oraz ilości i jakości zanieczyszczeń znajdujących się w ściekach. Jednakże systemy te powinny działać nieprzerwanie i spełniać przy tym coraz to wyższe wymagania (co często wiązać się będzie z koniecznością zaawansowanego, biologicznego oczyszczania ścieków).

Jednym z najbardziej popularnych układów do biologicznego oczyszczania ścieków, o kompaktowej budowie oraz stosunkowo niskim kosztem instalacji, jest sekwencyjny (porcjowy) reaktor biologiczny (SBR) [7]. Tego typu system sprawdza się szczególnie w przypadku ścieków charakteryzujących się dużą zmiennością składu przy relatywnie dużej zawartości związków azotu (ścieki bytowe). Główną zaletą procesów sekwencyjnych jest ich zdolność do „dopasowywania” długości trwania poszczególnych faz procesowych do aktualnych warunków. Taką możliwość daje system sterowania bazujący na wyznaczeniu momentu końcowego danej reakcji biologicznej. Uruchamianie kolejnych faz procesowych krótko po identyfikacji punktu końcowego poprzedniej, umożliwia optymalizację zarówno działania oczyszczalni ścieków, jak i kosztów eksploatacji [8].

Ze względu na aktualnie obowiązujące w kraju wymagania odnośnie skuteczności oczyszczania ścieków przez POŚ - usuwanie jedynie BZT₅ (20%) i zawiesiny ogólnej (50%), przy założeniu jednak braku profesjonalnej obsługi, zapobiegającej mechanicznym i technologicznym uszkodzeniom POŚ, w artykule skoncentrowano się na przedstawieniu prostego i taniego systemu kontroli oczyszczalni tego typu.

W artykule zawarte są założenia jakie są wykorzystywane przy budowie, a także sposób działania, zaawansowanego systemu sterowania przydomową oczyszczalnią ścieków (ZSSPOŚ). Prezentowany system bazuje na standardowym wyposażeniu POŚ typu SBR. Dodatkowo wskazane są możliwości rozbudowy ZSSPOŚ poprzez zamontowanie specjalnych czujników oraz dołączenie nowych modułów sterowania.

2. Rola systemu sterowania przydomową oczyszczalnią ścieków typu SBR

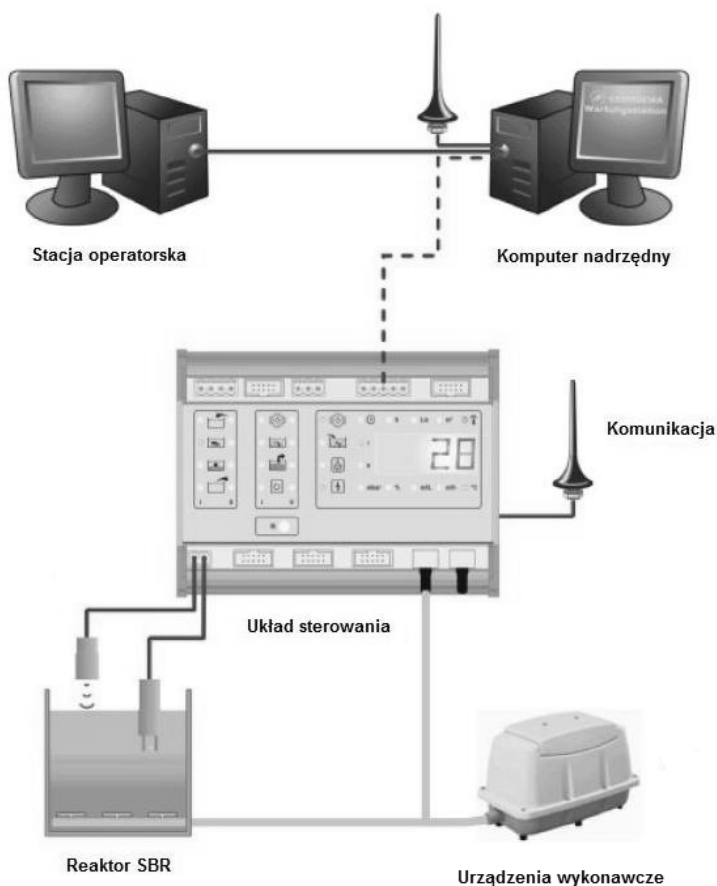
Głównym celem opracowania zaawansowanego systemu sterowania przydomową oczyszczalnią ścieków (ZSSPOŚ) jest poprawienie skuteczności i niezawodności pracy SBR'a, co bezpośrednio przełoży się na zwiększenie ochrony środowiska, a w konsekwencji naszego zdrowia. Dodatkową korzyścią jest przedłużenie żywotności systemu oczyszczania. Może to również dotyczyć odbiornika ścieków, np. układu rozsączającego ścieki (odpływające z SBR'a) w gruncie, minimalizując zjawisko kolmatacji biologicznej, poprzez doprowadzanie do niego w określonych odstępach ścieków o odpowiedniej objętości i jakości.

Do zrealizowania powyższego celu wykorzystano kompleksowy układ sterowania umożliwiający jednoczesne oddziaływanie na pracę SBR'a poprzez:

- sterowanie bezpośrednie,
- realizowanie modyfikacji wprowadzanych przez technologa bądź serwisanta (wprowadzane okresowo),

- uwzględnianie informacji dostarczanych przez użytkownika (który może zadeklarować np. przewidywany zwiększony dopływ ścieków, na skutek wizyty znacznej liczby gości).

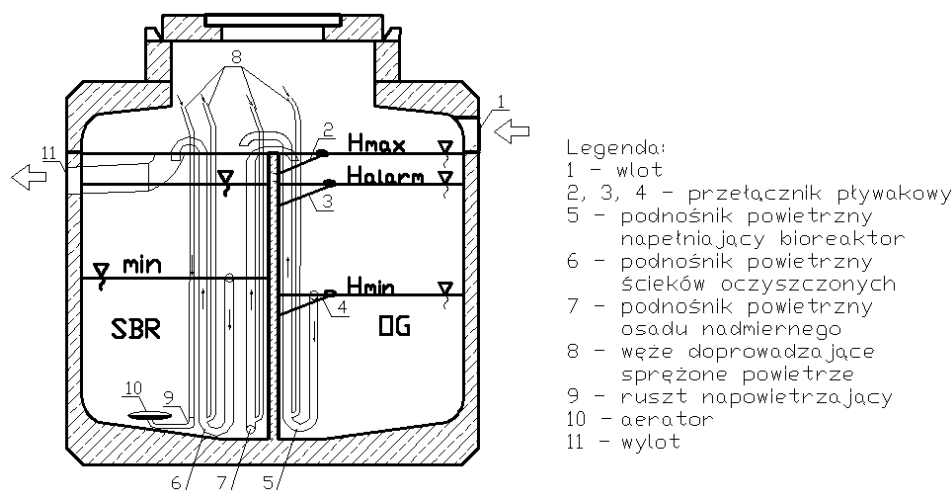
Schemat obrazujący przepływ informacji i wzajemne powiązania w ZSSPOŚ przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Schemat przepływu informacji w ZSSPOŚ.

Fig. 1. Diagram of information flow in ACSOWTP.

W pracy przyjęto najmniejszą POŚ zaprojektowaną na obsługę od 4 do 8 osób. Na rys. 2 przedstawiono typowe wyposażenie komory osadnika gnilnego (OG) oraz reaktora SBR. Na rysunku charakterystyczne poziomy zwierciadła ścieków określające pojemności retencyjne komór OG i SBR'a bądź stany niepożądane, takie jak: minimalne, maksymalne i alarmowe.



Rys. 2. Schemat POŚ typu SBR wraz ze standardowym wyposażeniem.

Fig. 2. Scheme of the OWTP with standard equipment.

3. Budowa ZSSPOŚ

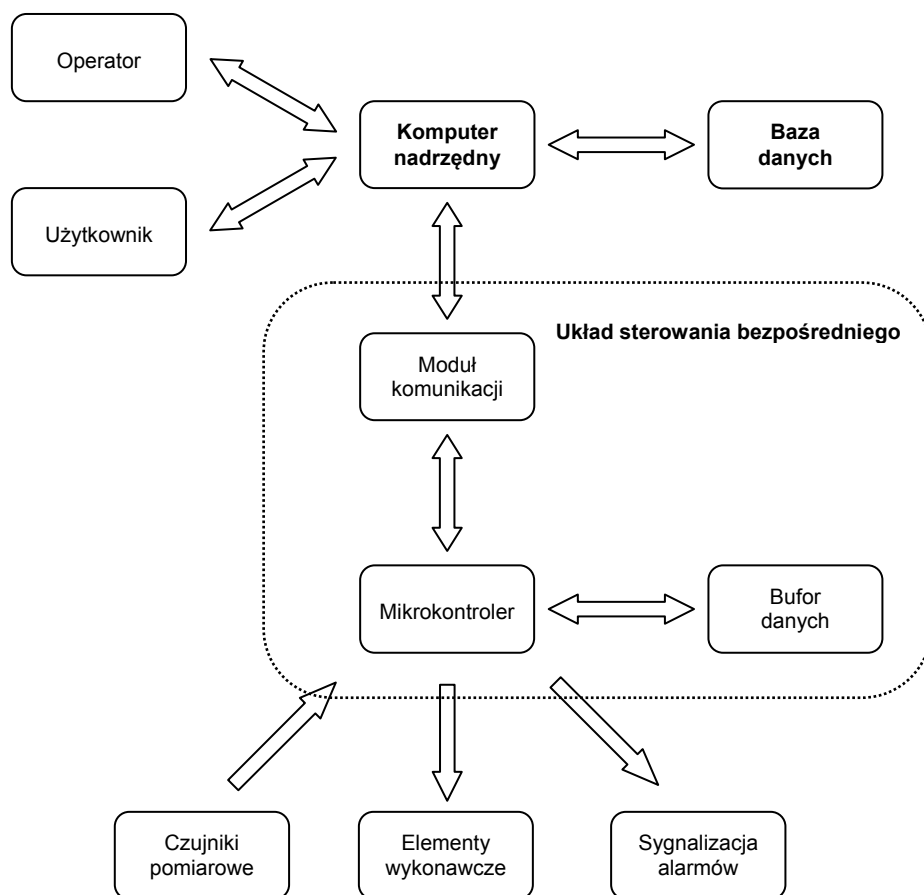
W zaproponowanym systemie sterowania można wyodrębnić trzy zasadnicze elementy – układ sterowania bezpośredniego, komputer nadrzędny oraz bazę danych. Schemat blokowy ZSSPOŚ przedstawiono na rys. 3.

Układ sterowania bezpośredniego nadzoruje pracę oczyszczalni w oparciu o wytyczne otrzymywane poprzez moduł komunikacji z komputera nadrzędnego. Do podstawowych zadań tego układu należy m. in.:

- odmierzanie odpowiedniej porcji ścieków,
- nadzorowanie czasu trwania poszczególnych faz w danym cyklu,
- sterowanie pracą elementów wykonawczych,
- gromadzenie i cykliczne przysyłanie danych do komputera nadrzędnego,
- informowanie użytkownika oraz komputera nadrzędnego o zaistniałych sytuacjach alarmowych.

Komputer nadrzędny stanowi swego rodzaju element sprzęgający pozostałe elementy systemu. Z jednej strony pozwala operatorowi lub użytkownikowi na sprawdzanie stanu pracy oczyszczalni oraz w ograniczonym stopniu na modyfikację przebiegu pracy oczyszczalni. Z drugiej strony, nadzoruje pracę układu bezpośredniego sterowania oraz przekazuje dane dotyczące przebiegu pracy oczyszczalni do bazy danych. Bardzo istotnym elementem komputera nadrzędnego jest możliwość doboru czasu trwania poszczególnych faz w cyklu pracy SBR'a na drodze symulacji.

Dane gromadzone w bazie danych są źródłem bardzo cennych informacji zarówno dla operatora jak i użytkownika.



Rys. 3. Schemat blokowy ZSSPOŚ.

Fig. 3. Block diagram of the ACSOWTP.

Sposób działania komputera nadrzędnego umożliwia integrację informacji przychodzących z warstwy sterowania bezpośredniego z wynikami przeprowadzonych symulacji oraz zmianami wartości wielkości wpływających na pracę oczyszczalni wprowadzanych przez technologa bądź serwisanta, a w szczególnych przypadkach zadeklarowanych przez użytkownika.

W tabeli 1 przedstawiono przykładowe reguły pozwalające na określenie sposobu postępowania w danym przypadku – ZSSPOŚ przechodzi do realizacji określonego scenariusza.

Tab. 1. Baza reguł.

Tab. 1. Rule base.

Zdarzenie	Możliwy powód	Możliwy skutek	Możliwe rozwiązanie	Źródło sygnału
Brak dopływu ścieków	Brak użytkowników	Zahamowanie wzrostu/śmierć biomasy	Okresowe dawkowanie zewnętrznego źródła węgla	Pływak w OG lub wybranie opcji „Urlop”
Zbyt niska temperatura ścieków	Przymrozek	Spowolnienie/Zahamowanie procesów, np. nityfikacji	Załączenie spirali nagrzewającej powietrze do napowietrzania ścieków	Termometr
Zbyt duży dopływ ścieków	Zwiększona liczba użytkowników, spływ z wanny itp.	Wydostanie się ścieków z POŚ poprzez przelew – wzmożona kolmatacja biologiczna drenażu rozsączającego	Skrócenie poszczególnych faz, zwiększenie współczynnika dekantacji itp.	Pływak w OG lub wybranie opcji „Goście”

Realizacja danego scenariusza może być wywołana poprzez otrzymanie sygnału z warstwy sterowania bezpośredniego (np. pływak osiągnął zadany poziom) lub wybranie z panelu użytkownika określonej opcji (np. „Goście”).

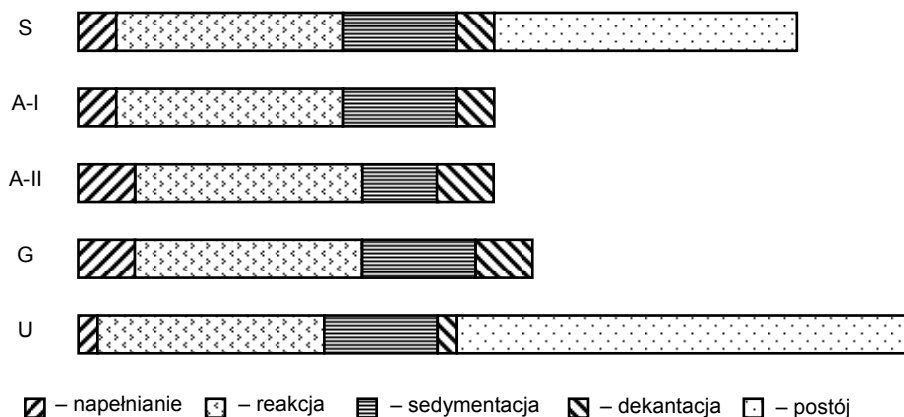
W tabeli 2 i na rys. 4 przedstawiono symbolikę przykładowych scenariuszy, zmiany czasu trwania poszczególnych faz cyklu oraz modyfikacje objętości porcji ścieków doprowadzanych do SBR’a w przypadku niestandardowych warunków pracy POŚ związanych ze zmianą ilości ścieków dopływających do OG.

Tab. 2. Zmiany czasów trwania poszczególnych faz cyklu dla różnych scenariuszy.

Tab. 2. Durations change of particular cycle phase for different scenarios.

Scenariusz	Faza I napelnianie	Faza II reakcja	Faza III sedymantacja	Faza IV dekantacja	Faza V postój
S	$t_{n,S}$	$t_{r,S}$	$t_{s,S}$	$t_{d,S}$	$t_{p,S}$
A-I	$t_n = t_{n,S}$	$t_r = t_{r,S}$	$t_s = t_{s,S}$	$t_d = t_{d,S}$	$t_p = 0$
A-II	$t_n > t_{n,S}$	$t_r = t_{r,S}$	$t_s < t_{s,S}$	$t_d > t_{d,S}$	$t_p = 0$
G	$t_n > t_{n,S}$	$t_r = t_{r,S}$	$t_s = t_{s,S}$	$t_d > t_{d,S}$	$t_p = 0$
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 sedymantacji, t_d – czas dekantacji, t_p – czas postoju.



Rys. 4. Graficzna prezentacja zmiany czasów trwania poszczególnych faz cyklu dla różnych scenariuszy.

Fig. 4. Graphic presentation of durations change of particular cycle phase for different scenarios.

W trybie pracy standardowej – scenariusz „S” – SBR realizuje cykl ze wstępnie określonymi czasami trwania poszczególnych faz.

W przypadku osiągnięcia poziomu alarmowego h_{alarm} w OG system przechodzi do realizacji scenariusza „A-I”, w którym rezygnuje się z fazy postoju (oczekiwania na kolejny cykl). Z kolei osiągnięcie poziomu maksymalnego h_{max} w OG system przechodzi do realizacji scenariusza „A-II”, w którym dodatkowo następuje pobranie maksymalnej porcji ścieków oraz skrócenie czasu sedimentacji do niezbędnego minimum.

Scenariusze „G” (przyjazd gości) oraz „U” (wyjazd na urlop) mogą być zadeklarowane przez użytkownika. Scenariusz „G” różni się od scenariusza „A-II” tylko wydłużonym czasem sedimentacji do wartości standardowej. Natomiast w przypadku scenariusza „U” następuje pobranie minimalnej porcji ścieków, a czas postoju jest realizowany do momentu pojawienia się kolejnej dawki ścieków bądź wprowadzenia ewentualnych zabiegów chroniących osad czynny przed obumieraniem.

4. Potencjał ZSSPOŚ

Prezentowany system sterowania będzie można tak rozbudować, by w oparciu o historię pracy: zgromadzone statystyki działania poszczególnych urządzeń, ich awarii, histogramów ilości dopływających ścieków, samodzielnie modyfikował niektóre ze scenariuszy (zgodnie z założonymi wcześniej ograniczeniami technologiczno-ekonomicznymi).

ZSSPOŚ umożliwi także wprowadzanie zmian w bieżącym cyklu. Zakładając, iż SBR realizuje scenariusz „S” (standardowy) i znajduje się nie dalej niż na początku fazy reakcji (napowietrzania lub braku napowietrzania) oraz pojawi się sygnał o prze-

kroczeniu poziomu maksymalnego, to warstwa nadrzędna może wydać polecenie przerwania danego cyklu i zaadaptowania scenariusza alarmowego A-I lub A-II (dopełnienie porcji ścieków adekwatnie do maksymalnej wartości współczynnika dekantacji itd.).

Natomiast zwiększenie dokładności sterowania, tak by stworzyć optymalne warunki pracy oczyszczalni, wymagałoby zamontowania dodatkowych czujników do pomiaru, np.:

- stężenia tlenu rozpuszczonego,
- potencjału redoks,
- odczynu pH,
- poziomu ścieków w OG i SBR,
- poziomu osadów w OG i SBR.

Wówczas możliwe byłoby dość precyzyjne sterowanie czasem napowietrzania i braku napowietrzania tak, by (oprócz ChZT, BZT5 i Zog) usunąć nawet do 90% związków azotu i 80% fosforu [7, 10]. Odpowiednio dobrana długość okresu z napowietrzaniem i bez oraz ich naprzemienne występowanie w jednym cyklu (w fazie reakcji) umożliwia dość wysoką skuteczności oczyszczania, w POŚ tego typu, nawet przy niskim stężeniu biomasy w reaktorze [9].

Powyższe wyposażenie znacznie zwiększa koszty inwestycyjne (i eksploatacyjne), przekraczając nawet koszty zakupu kompletnej przydomowej oczyszczalni typu SBR. Niestety bez jakiegokolwiek pomiaru jakości ścieków nawet takie uzupełnienie systemu nie pozwoli na sterowanie adaptacyjne czy też autonomiczną optymalizację technologiczno-energetyczną.

Ponieważ zaprezentowany ZSSPOŚ umożliwia zastosowanie go na eksploatowanych obiektach, to jedną z możliwości pokonania w/w przeciwności finansowych może być system dopłat wprowadzony np. w Niemczech. Aby umożliwić modernizację istniejących układów oczyszczania ścieków (niespełniających wymagań „obecnego stanu techniki”) oraz, by nie zahamować przyszłych inwestycji w POŚ, różne niemieckie landy postanowiły wesprzeć finansowo tego typu działania. Proponują one dofinansowanie na budowę lub rozbudowę o stopień biologiczny (w tym systemy kontroli i sterowania) POŚ (powyżej 4 mieszkańców) przeciętnie w kwocie 1000-1500 Euro i/lub oferują niskooprocentowane kredyty [1].

5. Podsumowanie

Na podstawie badań zmieszczonych w [7, 10, 1, 2, 3] można stwierdzić, że przydomowe oczyszczalnie ścieków są w stanie spełnić dość wysokie wymagania dotyczące jakości i niezawodności działania. Wymagają jednak odpowiedniej obsługi. Dobrym rozwiązaniem wydaje się więc zlecenie firmie serwisowej regularnych przeglądów i napraw oraz wykonywanie bieżącej kontroli (choćaby wizualnej) przez samego użytkownika. Często jednak i te czynności okazują się nie zabezpieczać w pełni poprawnej pracy POŚ.

Próbą sprostania stawianym wymaganiom jest tworzenie i wyposażanie oczyszczalni w zaawansowane systemy sterowania gromadzące istotne informacje o przebiegu pracy oczyszczalni w bazie danych. Wykorzystując jej zasoby, doświadczony operator (technolog, serwisant, naukowiec) mógłby dla danej oczyszczalni:

- proponować zmiany technologiczne zwiększające sprawność i niezawodność,
- monitorować i ostrzegać o możliwości wystąpienia awarii [11, 12],
- zarządzać wykonaniem prac serwisowych i naprawczych.

Zaawansowany system sterowania przydomową oczyszczalnią ścieków daje korzyści wpisujące się w ramy ekorozwoju, łącząc w sobie aspekty ekonomiczne, ekologiczne i socjalne (zobacz tabela 3).

Tab. 3. Korzyści wynikające ze stosowania ZSSPOŚ według kryteriów ekorozwoju.

Tab. 3. Advantage result from usage of the ASCOWTP.

Aspekty ekorozwoju		
Ekonomiczne	Ekologiczne	Socjalne
- ogranicza wydatki na wyjazdy serwisowe i alarmowe poprzez zorganizowane akcje zapobiegawcze oraz wcześniejsze zaplanowanie kolejności serwisowanych POŚ, - ogranicza koszty inwestycyjnych – jeden centralny serwer, bez konieczności dodatkowego przetwarzania informacji przy przenoszeniu danych od użytkownika, poprzez np. serwisanta, do bazy centralnej (np. organu administracji samorządowej ds. ochrony środowiska), - ogranicza zużycie energii (m. in. zminimalizowanie kosztów napowietrzania).	- umożliwia przewidywanie awarii, co pozwala na zapobieżenie im i ochronę przed skażeniem odbiornika jakim jest gleba i wody płynące, a w konsekwencji ochronę zdrowia użytkowników, - ograniczenie zużycia paliwa (na nieplanowe dojazdy serwisu przy awariach) i energii elektrycznej np. na nadmierne napowietrzanie, jednoznacznie zmniejsza emisję CO₂, NO_x itp., - zwiększenie sprawności POŚ oraz przeciwdziałanie odpływom do odbiornika niedostatecznie oczyszczonym ściekom (np. przy zbyt dużym dopływie do OG część wydostaje się poprzez przelew) zwiększamy żywotność np. instalacji rozsączających ścieki w gruncie (ograniczenie kolmatacji biologicznej) a także samego odbiornika (np. ograniczenie zarastania rowu odprowadzającego ścieki do rzeki)	- umożliwia prowadzenie elektronicznych książek eksploatacji oczyszczalni (przydatnych np. przy reklamacji danego systemu oczyszczania ścieków, wnioskowania o dotację na renowację systemu), - zwiększa odpowiedzialność i świadomość ekologiczną (ocena wizualna pracy oczyszczalni, wpływanie na pracę oczyszczalni np. w wyniku uruchomienia scenariusza „Goście” czy „Urlop”, - daje możliwość pracy osobom zatrudnianym jako serwisanci, technolodzy itd. - większa niezawodność POŚ minimalizuje skutki zbyt gęstego występowania instalacji z odprowadzaniem odpływu z oczyszczalni do gruntu, szczególnie na nowozasiedlanych terenach charakteryzujących się lokalnie dość zwartą zabudową

Interesująca wydaje się być inicjatywa wprowadzenia dopłat (i innych instrumentów finansowych) do budowy i modernizacji POŚ. Pozwoliło by to na rozwiązanie w znacznym stopniu problemu oczyszczania ścieków na terenach nieurbanizowanych. Dodatkowo wprowadzanie w niektórych państwach UE: konieczności certyfikacji tego typu systemów, wyższych wymagań odnośnie jakości ścieków na odpływie, okresowej kontroli oraz prowadzenia książek eksploatacji POŚ, ma zapewnić, w niedługim czasie, poprawę jakości wód powierzchniowych i przekonać oponentów do stosowania na terenach nieurbanizowanych tego typu rozwiązań jako najkorzystniejszych dla środowiska.

Jak dotychczas nie wdrożono w Polsce ani systemu zaawansowanego sterownia przydomowymi oczyszczalniąmi ścieków, ani systemu motywującego użytkowników do dbałości o urządzenia oczyszczające ścieki, a przecież w kraju w najbliższych latach można spodziewać się dużego przyrostu liczby, nawet do miliona, instalacji tego typu [2].

Bibliografia

- [1] Mazurkiewicz J. Usuwanie zanieczyszczeń przez minioczyszczalnie w Niemczech. *Wodociągi i Kanalizacja, Wyd. Komunalne*. Poznań, 12(70)/2009 r.
- [2] Mazurkiewicz J. Efektywność minioczyszczalni ścieków w Polsce i USA. *Wodociągi i Kanalizacja, Wyd. Komunalne*. Poznań, 11(69)/2009 r.
- [3] Mazurkiewicz J. Oczyszczalnie przydomowe. Stan obecny, najnowsze technologie i perspektywy rozwoju. *Przegląd Komunalny* 11/2007, *Zeszyty Komunalne* 10(57)/2007, Poznań, 2007 r. s. 92-98.
- [4] Converse J. Challenges facing the on-site wastewater industry. On-Site Wastewater Treatment X. *Proceedings of the Tenth National Symposium on Individual and Small Community Sewage Systems*. Sacramento, California, 2004 r.
- [5] Główny Urząd Statystyczny. *Infrastruktura Komunalna w 2008 roku*. Warszawa, 2009 r.
- [6] Carroll S., Goonetilleke A., Thomas E., Hargreaves M., Frost R., Dawes L. Integrated risk framework for onsite wastewater treatment systems. *Environmental Management*, 2006 r., Vol. 38(2), s. 286-303.
- [7] Larrea L., Albizuri J., Irizar I., Hernandez J., M. Design and operation of SBR processes for small plants based on simulations. *WS&T*. 2007 r, Vol. 55, nr 7, s. 163-171.
- [8] Kim Y-H., Yoo C., Lee I-B. Optimization of biological nutrient removal in a SBR using simulation-based iterative dynamic programming. *Chemical Engineering Journal*. 2008 r, 139 (2008), s. 11-19.
- [9] Makowska M., Spychała M., Błażejowski R. Treatment of septic tank effluent in moving bed biological reactors with intermittent aeration. *Polish J. of Environ. Stud.* 2009, Vol. 18, nr 6, s. 1051-1057.
- [10] 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. *WS&T*. 2004, Vol. 55, nr 6, s. 199-206.
- [11] Łomotowski J., Licznar P., Paluch M. Wybrane zagadnienia z zastosowania systemów eksperckich na oczyszczalniach ścieków. *Instal.* 2008 r.
- [12] Wloka K. Automatische Fernüberwachung von Kleinkläranlagen. Spółka wspomagania informatyki tosonanej. http://www.energieportal24.de/pn_53316.htm, z dn. 18.02.2010.