

## ZASTOSOWANIE KOMPUTEROWEJ SYMULACJI W PROCESIE KSZTAŁCENIA INŻYNIERA BRANŻY SANITARNEJ

Jakub DREWNOWSKI

Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Katedra Inżynierii Sanitarnej  
tel.: 58 348 63 62, e-mail: jdrewnow@pg.gda.pl

**Streszczenie:** Obecnie warsztat pracy współczesnego inżyniera znacznie się zmienił w wyniku dynamicznego rozwoju programów komputerowych do symulacji kinetyki procesów biochemicznych w oczyszczalniach ścieków. Chcąc dostosować program kształcenia współczesnego inżyniera branży sanitarnej do rynku pracy uczelnie techniczne powinny ściśle współpracować z firmami oferującymi oprogramowanie do komputerowej symulacji procesów osadu czynnego. Zastosowanie narzędzi komputerowych i dedykowanego oprogramowania do określonych zadań inżynierskich jest pomocne, ale tylko wtedy, gdy w procesie kształcenia otrzyma się właściwe podstawy teoretyczne. Oprócz nauki obsługi oprogramowania, konieczna jest równocześnie umiejętność oceny uzyskanych wyników symulacji komputerowej przez studentów oraz wypracowania sposobów weryfikacji zadań i/lub projektów wykonanych przy wykorzystaniu wybranych programów komputerowych modeli osadu czynnego. Celem pracy było przedstawienie możliwości zastosowania narzędzi komputerowej symulacji systemów osadu czynnego w procesie kształcenia inżyniera branży sanitarnej na Wydziale Inżynierii Lądowej i Środowiska Politechniki Gdańskiej.

**Słowa kluczowe:** komputerowa symulacja, wspomaganie projektowania, branża sanitarna, proces kształcenia, modele osadu czynnego.

### 1. WPROWADZENIE

Postęp w dziedzinie modeli osadu czynnego (z ang. Activated Sludge Model - ASM) oraz dynamiczny rozwój programów komputerowych do symulacji kinetyki procesów biochemicznych w oczyszczalniach ścieków ostatniego 30-letnia znacznie zmienił i usprawnił warsztat pracy współczesnego inżyniera. Znaczącym przełomem w dziedzinie modelowania systemów oczyszczania ścieków było opublikowanie w 1987 r. pierwszego modelu osadu czynnego ASM 1 (z ang. Activated Sludge Model No. 1) [1]. Następnie w ostatnich dwóch dekadach opracowano szereg modeli biokinetycznych (ASM2, ASM2d, ASM3, ASM3+Bio-P itp.), które znacznie poszerzają możliwości w porównaniu z ASM1, umożliwiając m.in. symulację procesów usuwania związków organicznych, nityfikacji, denityfikacji i/lub biologicznego usuwania fosforu [2]. Obecnie w procesie projektowania, rozruchu czy też eksploatacji oczyszczalni ścieków istotne jest wykorzystanie narzędzi komputerowych i specjalistycznego oprogramowania. Uczelnie techniczne, chcąc dostosować

program kształcenia współczesnego inżyniera branży sanitarnej do rynku pracy, powinny ściśle współpracować z firmami oferującymi oprogramowanie do komputerowej symulacji procesów osadu czynnego. Rozwój w obszarze nowoczesnych technologii informatycznych i komputerów o potężnej mocy obliczeniowej jest niezwykle dynamiczny. To, co przed laty trzeba było mozolnie obliczać ręcznie czy też projektować za pomocą niezbyt wyrafinowanych narzędzi, obecnie można uzyskać przy wykorzystaniu odpowiednich programów symulacyjnych, znacznie mniejszymi nakładami pracy. W związku z widocznym postępem w zastosowaniu programów symulacyjnych (AQUASIM, SIMBA, WEST, BIOWIN, GPS-X itp.), perspektywy wykorzystania modelowania matematycznego w procesie wdrażania systemu wspomaganie komputerowego oczyszczania ścieków metodą osadu czynnego nie są już tylko odległą przyszłością.

Wstępny etap budowy modelu systemu polega na dokładnej analizie m.in. określenie zakresu modelu i jego składników: podsystemów, urządzeń oraz procesów i ich współzależności (przepływ masy, energii, objętości i sygnałów regulacyjnych) [3]. Według Vanrolleghem [4] w modelu systemu osadu czynnego wyróżnia się trzy grupy modeli: model transferu masy (hydrauliczny i transferu tlenu), model sedimentacji i model przemian biochemicznych. Stopień dokładności opisu właściwości hydraulicznych systemu zależy od celu pracy i konfiguracji urządzeń systemu. Wykorzystywanie narzędzi komputerowych i dedykowanego oprogramowania do określonych zadań inżynierskich jest więc pomocne, ale tylko wtedy, gdy w procesie kształcenia otrzyma się właściwe podstawy teoretyczne [5]. Oprócz nauki obsługi oprogramowania, konieczna jest równocześnie umiejętność oceny uzyskanych wyników symulacji komputerowej przez studentów oraz wypracowania sposobów weryfikacji zadań i/lub projektów wykonanych przy wykorzystaniu wybranych programów komputerowych modeli osadu czynnego. Celem pracy było przedstawienie możliwości zastosowania narzędzi komputerowej symulacji systemów osadu czynnego w procesie kształcenia inżyniera branży sanitarnej na Wydziale Inżynierii Lądowej i Środowiska Politechniki Gdańskiej.

## 2. WYBRANE NARZĘDZIA KOMPUTEROWEJ SYMULACJI PROCESÓW OSADU CZYNNEGO

Obecnie posiadamy niezbędne narzędzia i doświadczenie w tworzeniu innowacyjnych rozwiązań technologicznych, usprawniających procesy osadu czynnego. Komputerowa i programowa rewolucja informatyczna ostatnich lat jeszcze bardziej się do tego przyczyniła. Natomiast współczesne, często bardzo skomplikowane technologie oczyszczania ścieków miejskich, w większości oparte na osadzie czynnym, diametralnie zmieniły warsztat pracy współczesnego inżyniera. Wynika to ze złożoności wykorzystywanych transformacji biologicznych, różnorodności alternatywnych konfiguracji technologicznych oraz dynamicznego charakteru zachodzących zjawisk. Przekazanie studentom wiedzy niezbędnej do rzeczywistego zrozumienia bogactwa istotnych zależności procesowych żywej materii w postaci osadu czynnego, przy stałe ograniczanej liczbie godzin zajęć na uczelniach, wydaje się być ogromnym wyzwaniem. W procesie syntezy, gdzie jest miejsce na optymalizację, oczywiście dostępne są i mogą być na pewnym etapie przydatne tradycyjne narzędzia obliczeniowe, takie jak choćby Solver arkusza kalkulacyjnego Excel [6]. Jednakże coraz częściej w procesie projektowania czy optymalizacji nowopowstających lub istniejących obiektów wykonywanie w ten sposób obliczeń parametrów oczyszczalni ścieków, w tym osadu czynnego, jest niezwykle trudne. W tej sytuacji alternatywą staje się włączenie do programu studiów zajęć laboratoryjnych, bazujących na wybranym narzędziu komputerowym do wspomagania modelowania matematycznego procesów osadu czynnego. Jest to tym bardziej istotne, gdyż obecnie coraz częściej w praktyce inżynierskiej występują nowoczesne, wysokoefektywne układy biologicznego oczyszczania ścieków. Są to systemy bardzo skomplikowane oraz drogie w budowie i eksploatacji. Z uwagi na powszechne wdrażanie ich do praktyki inżynierskiej, systemy te powinny być przedmiotem nauczania. Ich cechy charakterystyczne to rozbudowane układy reaktorów, złożone schematy połączeń, wspomaganie procesów biologicznych chemicznymi oraz silna zależność rezultatów oczyszczania od dynamicznie zmieniających się charakterystyk ścieków i utrzymywania zmiennych procesowych w wąskim zakresie wartości optymalnych. Przy budowie takiego modelu matematycznego student zgłębia teorię, a prowadząc eksperymenty w programie symulacyjnym, poznaje bogactwo praktycznych, inżynierskich zależności procesowych [7].

Sporym wyzwaniem dydaktycznym jest przekazanie studentom wiedzy i doświadczeń, pozwalających na samodzielną pracę w programie oraz twórcze zgłębianie wybranych zależności procesowych. Według doświadczeń przekazanych przez Szetele [7] pracującego na podobnym symulatorze SymOS ze studentami w laboratorium komputerowym Instytutu Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej, bez tego nie ma mowy o prawidłowym projektowaniu i eksploatacji procesów w oczyszczalni ścieków. Tradycyjne metody nauczania są tu zdecydowanie niewystarczające. Ważnych zależności procesowych, które student powinien poznać, jest po prostu zbyt wiele, żeby można je było przekazać w bardzo ograniczonym czasie, odwołując się tylko do tradycyjnych środków dydaktycznych. Ponadto w dalszej pracy po ukończeniu studiów, istotnym elementem w działalności inżynierskiej jest m. in. wykonanie profesjonalnej

dokumentacji projektu, gdzie oprócz podstaw teoretycznych i znajomości tzw. „dobrych praktyk” projektowania ważne są przede wszystkim właściwie przeprowadzone obliczenia. W wielu wypadkach mogą być one wykonywane przez wyspecjalizowane programy komputerowe, do których należy jedynie wprowadzić dane. Jednakże nie mniej istotna jest jakość i okres pozyskiwania danych z danego obiektu do modelu, w celu jak najbardziej dokładnego odzwierciedlenia zachodzących procesów. Ponadto, w celu oceny i weryfikacji uzyskanych wyników, ważne jest oprócz wiedzy teoretycznej, również doświadczenie w danej branży tzw. „Human Expert”. Co więcej, podczas weryfikacji wyników, jak i w wielu innych sytuacjach, konieczna jest umiejętność korzystania z narzędzi obliczeniowych takich jak arkusz kalkulacyjny (Excel) czy też program z grupy Computer Algebra System (MathCAD). Oczywiście jest niechęć studentów do prowadzenia dydaktycznych i kształcących obliczeń ręcznych szczególnie istotnych przy weryfikacji wyników wykonywanych przez wyspecjalizowane programy komputerowe. Stąd, nasuwa się pytanie przytoczone przez Gajewskiego [6] czy dzisiejsi studenci, a przyszli inżynierowie, mając do dyspozycji wspaniałe narzędzia komputerowe z grupy Computer Aided Engineering, potrafią twórczo rozwiązywać problemy inżynierskie? Wieloletnie obserwacje prowadzą do refleksji, że niestety nie zawsze ma to miejsce. W wielu przypadkach jest to zrozumiałe i dość proste do wyjaśnienia, gdyż to, co przed laty trzeba było mozolnie projektować oraz liczyć ręcznie, dziś rozwiązują błyskawicznie programy komputerowe dedykowane określonym zadaniom inżynierskim [6, 8].

W ostatnich latach coraz częściej spotyka się, oprócz programu AutoCad czy też MathCAD istotnego w procesie projektowania, także inne branżowe oprogramowanie wspomagające np. programy symulacyjne (AQUASIM, SIMBA, WEST, BIOWIN, GPS-X itp.), które obecnie oferowane jest w znacznej ilości. Wśród w/w symulatorów wyróżnia się tzw. ogólnego zastosowania i dedykowane. W pierwszej kategorii symulatorów użytkownik wpisuje model, który ma być wykorzystany w dalszej symulacji. Czynność ta jest czasochłonna i może być zbyt skomplikowana dla osób nieznających podstaw programowania i zasad tworzenia modeli matematycznych. Jednym z najpowszechniej używanych środowisk symulacyjnych ogólnego zastosowania jest oprogramowanie MATLAB/Simulink (<http://mathworks.com>). Symulatory dedykowane zaś, zawierają zazwyczaj bibliotekę modeli procesów oczyszczania ścieków i procesów towarzyszących, np. przeróbki osadów. Model symulowanego układu tworzy się przy pomocy schematu blokowego, w którym poszczególne bloki reprezentuje model danego procesu lub kilku zespolonych procesów, np. łączący proces osadu czynnego reprezentowany przez model ASM z modelem reaktora o pełnym wymieszaniu (z ang. Completely Mixed Reactor). Parametry modeli mogą być w wygodny sposób dostosowywane. Najpopularniejsze dedykowane programy symulacyjne to (w porządku alfabetycznym): szwajcarski AQUASIM (<http://aquasim.eawag.ch>), kanadyjski BioWin (<http://envirosim.com>) i GPS-X (<http://hydromantis.com>), niemiecki SIMBA (<http://ifak-system.com>), brytyjski STOAT (<http://wrcplc.co.uk/software>) oraz belgijski WEST (<http://hemmis.com>). Na stronach www producentów wymienionych symulatorów dostępne są wersje demonstracyjne oprogramowania. Według danych deklarowanych przez producentów większość użytkowników programów BioWin, GPS-X i STOAT

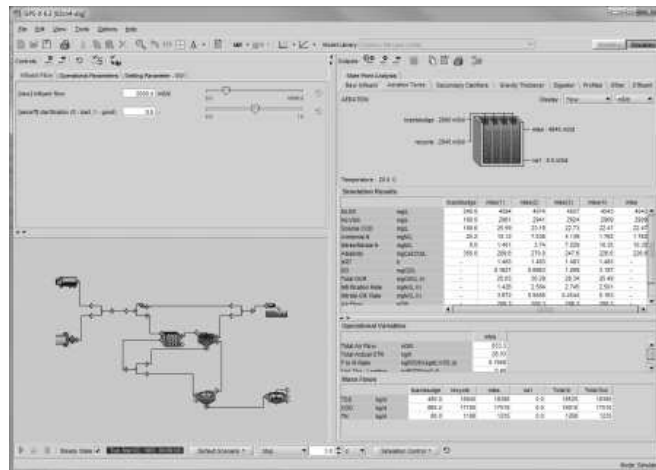
stanowią konsultanci i projektanci, natomiast programy SIMBA, AQUASIM, WEST cieszą się większą popularnością wśród kadry szkół wyższych. Wybór właściwych narzędzi do komputerowego wspomaganie projektowania w procesie kształcenia współczesnego inżyniera branży sanitarnej nie jest więc łatwym zadaniem. W ostatnich latach w Katedrze Inżynierii Sanitarnej, Wydziału Inżynierii Lądowej i Środowiska Politechniki Gdańskiej, jako aplikacje wspomagające proces kształcenia studentów w zakresie projektowania, symulacji czy też optymalizacji systemów osadu czynnego, wykorzystywany jest pakiet programów GPS-x oferowany przez firmę Hydromantis (Kanada). Wybór tego oprogramowania okazał się szczególnie istotny dla studentów rozpoczynających swoją karierę zawodową w branży sanitarnej. Co więcej, studenci chętnie korzystają z profesjonalnego symulatora oczyszczalni ścieków nie tylko podczas komputerowych zajęć laboratoryjnych, ale także w czasie współpracy z innymi ośrodkami międzynarodowymi np. Uniwersytetem w Walencji (Hiszpania) czy Firmą Asio (Czechy) w procesie projektowania/modernizacji oczyszczalni jak i przygotowywania publikacji, prac naukowych w tym dyplomowych i/lub doktorskich. Dzięki współpracy z firmą Hydromantis studenci i doktoranci Politechniki Gdańskiej i innych uczelni mają możliwość pracy na profesjonalnym oprogramowaniu GPS-x wspomagającym projektowanie, czy też symulującym/optymalizującym i zdobywają niezbędne umiejętności dostosowane do obecnych wymogów rynku pracy. Ponadto od kilku lat firma Hydromantis organizuje internetowe szkolenia tzw. „Webinaria” i umieszcza przykładowe nieodpłatne interaktywne zadania w postaci materiałów (filmików) szkoleniowych na stronie internetowej popularnego serwisu youtube. W ramach współpracy i poszerzania wiedzy na temat rozbudowy czy też modyfikacji modeli osadu czynnego z grupy ASM program GPS-x został również wyposażony w specjalistyczny moduł tzw. „Model Developer”. Przy współpracy z firmą Hydromantis, stale rozszerzane i udoskonalane są możliwości oprogramowania, co więcej przez ostatnie lata powstało szereg prac naukowych na Wydziale Inżynierii Lądowej i Środowiska Politechniki Gdańskiej.

### 3. ZASTOSOWANIE OPROGRAMOWANIA GPS-x W KSZTAŁCENIU WSPÓŁCZESNEGO INŻYNIERA BRANŻY SANITARNEJ

W każdej dziedzinie fundamentem rzetelnej wiedzy jest zrozumienie jej naukowych podstaw, czyli poznanie teorii. Przeciwwstawianie praktyki inżynierskiej teorii jest poważnym błędem – szczególnie w dydaktyce. Ernest Rutherford świetnie scharakteryzował ten stan rzeczy, mówiąc, że „nie ma nic bardziej praktycznego niż dobra teoria”. Właściwe kształcenie inżynierów powinno opierać się o zachowanie w programach studiów równowagi między podstawami teoretycznymi i umiejętnościami praktycznymi [7]. Obecnie jest to duże wyzwanie dla nauczycieli akademickich, bo ramy czasowe studiów są coraz węższe, a spektrum tematyki bardzo szerokie. Dlatego też, wprowadzono do programu studiów profesjonalny dynamiczny program symulacyjny do komputerowego wspomaganie procesów biologicznego oczyszczania ścieków GPS-x, pracujący w środowisku Windows.

Oprogramowanie GPS-x do wspomaganie projektowania i symulacji komputerowej oczyszczalni

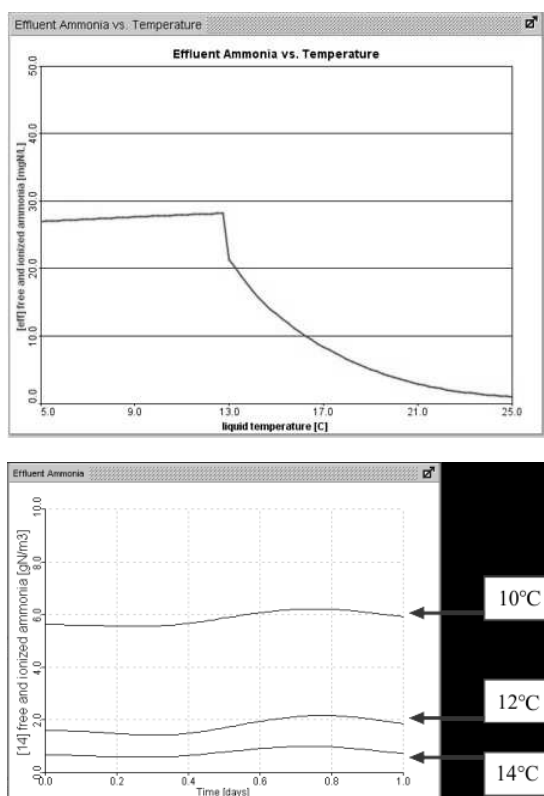
ścieków, w kształceniu współczesnego inżyniera branży sanitarnej, obejmuje szereg zagadnień opisujących zjawiska i zachodzące procesy biochemiczne dla poszczególnych obiektów systemów osadu czynnego. Praca w dowolnej aplikacji oprogramowania wymaga licencji na program GPS-x, który jest w pełni funkcjonalnym, łatwym w obsłudze symulatorem graficznym. Przykładowy widok okna głównego programu GPS-x wraz z dodatkowymi zakładkami obrazującymi wyniki symulacji wybranego elementu systemu oczyszczania ścieków został przedstawiony na rysunku 1.



Rys. 1. Widok ogólne okna głównego programu GPS-x wraz z dodatkowymi zakładkami obrazującymi wyniki symulacji wybranego elementu systemu oczyszczania ścieków

Symulator jest wyposażony we wszechstronne narzędzia tzw. „Helpu” (w tym multimedialne i interaktywne). Oprócz modułu pomocy w obsłudze samego symulatora, bardzo ważnym elementem jest dydaktyczny charakter opracowanych w podręczniku instruktorzowym szeregu zadań (z ang. Tutorials). Taki rodzaj hipertekstowej instrukcji z dołączonymi multimedialnymi filmikami dostępnymi na stronie internetowej firmy Hydromantis, obejmującymi podstawowe aspekty problematyki wysokoefektywnych procesów biologicznego oczyszczania ścieków, pozwala studentom ćwiczyć i opanować „krok po kroku” podstawowe funkcje programu. W zeszłym roku po zakupie 30 stanowiskowej licencji edukacyjnej wersję sieciową programu GPS-x zainstalowano w wydziałowym laboratorium komputerowym. Pakiet dostępny dla studentów zawiera niezbędne moduły modeli dynamicznych jednostkowych procesów biochemicznych, umożliwiające budowę złożonych schematów technologicznych, różnorodnie konfigurowanych oczyszczalni ścieków. GPS-x pozwala uruchamiać modele zbudowanych schematów technologicznych i prowadzić zarówno symulacje stanu ustalonego, jak i symulacje dynamiczne. Dzięki bardzo rozbudowanym możliwościom prezentacji i analizy uzyskanych wyników symulator pozwala studentowi efektywnie eksplorować złożone zależności procesowe. Świetnie sprawdza się on w projektowaniu oraz analizie eksploatacyjnej i diagnostyce procesów technologicznych. Symulacje są w pełni interaktywne, dzięki temu bardzo łatwo prowadzi się różnorodne eksperymenty i możliwe scenariusze. Student może zbudować istniejące oczyszczalnie czy też prototypy eksperymentalne, które w rzeczywistości fizycznej (na przykład w ramach tradycyjnych ćwiczeń laboratoryjnych lub na istniejącej oczyszczalni ścieków w skali pilotowej lub technicznej)

byłyby skrajnie kosztowne lub trudne do zrealizowania. Badając efekty oczyszczania ścieków w alternatywnie skonfigurowanych schematach technologicznych, przy różnych warunkach zasilania i strategiach sterowania, student sprawdza wiedzę teoretyczną i zdobywa nowe interesujące go doświadczenia. W ten sposób diagnozowany model i prowadzone symulacje pozwalają studentowi budować bazę własnych projektów inżynierskich oraz weryfikować i pogłębiać zrozumienie zagadnień omawianych na wykładach. Student może dynamicznie zmieniać zarówno charakterystykę dopływających ścieków, jak również kroki czasowe symulacji oraz parametry procesowe oczyszczalni w stanie tzw. ustalonym jak i dynamicznym (rys. 2). Śledząc na bieżąco symulacje oczyszczalni (wykresy i tabele wyników wybranych wskaźników jakości ścieków i parametrów technologicznych – rys. 3), użytkownik może – bez przerywania symulacji – zmieniać wejścia oczyszczalni (np. zrzut ścieków przemysłowych czy też wód deszczowych/osadowych) oraz parametry procesu (awaria dmuchaw/pomp lub systemu ich sterowania, zmiana sposobu rozdziału strumieni ścieków i recyrkulacji na poszczególne komory osadu czynnego, wyłączenie któregoś obiektu kubaturowego z ruchu).



Rys. 2. Widok symulacji parametrów procesowych oczyszczalni w stanie tzw. ustalonym jak i dynamicznym [9]

Program wykonuje szereg obliczeń wspomagających automatyczne projektowanie lub modernizację poszczególnych elementów oczyszczalni ścieków m.in.: obliczenia przepływów, zmienność parametrów osadu czynnego i procesów biologicznych jak nityfikacja/denitryfikacja w zależności od zadanych parametrów początkowych itd. Po całkowitym zaprojektowaniu interesującego dla użytkownika systemu oczyszczania ścieków oraz potwierdzeniu prawidłowości założeń projektu w symulowanym modelu, można wygenerować raport obliczeniowy wraz z zestawieniem wyników symulacji istotnych w przebiegu procesów

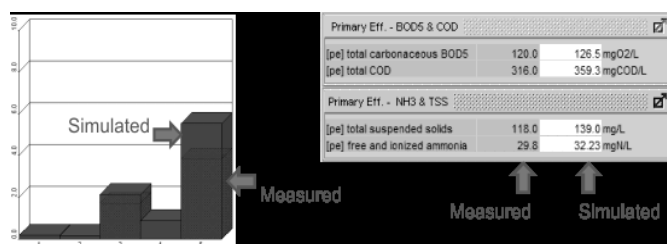
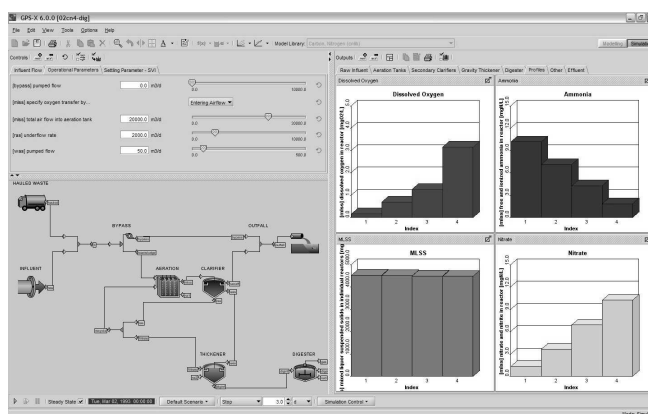
oczyszczania ścieków. Raport obejmuje m.in. obliczenia hydraulicznego czasu zatrzymania, wymiarowanie komór, oszacowanie zużycia energii elektrycznej, zapotrzebowanie tlenu czy wielkość recyrkulacji wewnętrznej.

Niewątpliwie interesujące i pomocne są dodatkowe moduły programu GPS-x tzw. „Analyzer/Optimizer”. Dzięki tym funkcją łatwo można określić i zweryfikować istotne parametry dla pracy oczyszczalni ścieków podczas projektowania/modernizacji kolejnych elementów systemu, nowoprojektowanych, jak również tych już istniejących. Moduł „Analyzer” pozwala na automatyczne wykonanie podczas stanu ustalonego lub dynamicznego analizy wrażliwości badanych parametrów modelu, które mają wiele zastosowań, takich jak:

- ocena wpływu zmian w procesie i parametry operacyjne (np. hydrauliczny czas zatrzymania, zadanej temperatury pracy itp.) oczyszczalni,
- określenie zależności między szybkością nityfikacji i temperaturą procesów na oczyszczalni ścieków,
- zbadanie, jak wartość stężenia osadu w bioreaktorze wpływa na zmianę amoniaku w procesie nityfikacji podczas napowietrzania,
- identyfikacja parametrów krytycznych dla kalibracji oczyszczalni ścieków.

Z kolei moduł „Optimizer” jest niezwykle potężnym narzędziem, które ma dwa główne zastosowania (rys. 4):

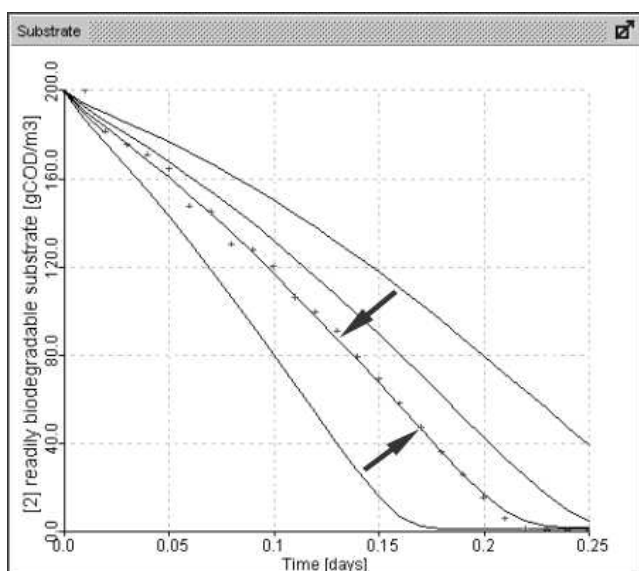
- kalibracja modelu: służy do automatycznego znalezienia wartości parametrów (np. współczynniki kinetyczne/stechiometryczne, parametry procesu, itp.), które minimalizują różnicę między pomierzonymi danymi rzeczywistymi i wynikami symulacji,
- optymalizacja procesowa: używana, aby znaleźć najlepsze odwzorowanie wartości parametrów projektowania i przebiegu/kontroli procesów na danym obiekcie (np. wielkości bioreaktorów, natężenia przepływu).



Rys. 3. Widok wizualizacji pracy oczyszczalni (wyniki wybranych wskaźników jakości ścieków i parametrów technologicznych) [9]

Oferowany software GPS-x przez firmę Hydromantis jest wygodny w użyciu i przyjazny nawet dla początkującego użytkownika. Dużą zaletą tego

oprogramowania jest jego kompatybilność z innymi programami (m.in. PDF, Microsoft Word, Excel) wykorzystywanymi w procesie projektowania/modernizacji rozpatrywanego obiektu lub systemu. Szczególnie istotną funkcjonalnością oprogramowania jest widoczna np. przy generowaniu raportu z symulacji, która znacznie ułatwia identyfikację poszczególnych elementów systemu oczyszczania ścieków oraz identyfikacji danych do projektowania lub modernizacji oczyszczalni [9]. Ponadto GPS-x nie jest obecnie jedynym oprogramowaniem oferowanym przez firmę Hydromantis. Wiele modułów tematycznych jest zintegrowanych w kilku produktach obejmujących oprócz symulacji również sterowanie i optymalizację (w tym procesów i kosztów) takich obiektów jak stacje uzdatniania wody oczyszczalnie ścieków komunalnych i przemysłowych (m.in. SimuWorks, Toxchem, CapdetWorks, WatPro). GPS-x i inne oprogramowanie to przede wszystkim pakiet aplikacji towarzyszących, który pozwala na wykonanie profesjonalnej dokumentacji projektu czy też modernizacji danego obiektu czy systemu. Natomiast edycja obliczeń projektowych, jak i wydruk w postaci raportów, jeszcze bardziej przyczynia się do rozszerzania funkcjonalności programów zarówno do celów projektowych jak i dydaktycznych/naukowych.



| Iteration Number | RAS Flow (MGD) | WAS Flow (MGD) | MLIR Flow (MGD) | Effluent TN (mg/L) |
|------------------|----------------|----------------|-----------------|--------------------|
| Current (0)      | 17.10          | 0.134          | 13.40           | 10.0               |
| 2                | 13.68          | 0.134          | 13.40           | 10.4               |
| 22               | 15.98          | 0.143          | 29.05           | 7.9                |
| 35               | 15.78          | 0.165          | 38.15           | 7.1                |
| 70               | 15.49          | 0.161          | 40.00           | 7.0                |

Values determined by GPS-X Optimizer

Rys. 4. Przykład wykorzystania modułu „Optimizer” w programie GPS-x [9]

Podsumowując, projektowanie systemów oczyszczalni ścieków znacząco poprawia wydajność pracy w oparciu o wykorzystanie programów firmy Hydromantis. Mimo, iż początkowy etap pracy z tym oprogramowaniem może wydawać się dłuższy niż wykonany tradycyjnymi metodami (np. MathCAD, Excel) poprzez konieczność wprowadzania

niezbędnych początkowych parametrów, to dalsze działania przebiegają znacznie szybciej, gdyż zadane parametry i tak należałoby każdorazowo wpisywać i obliczać przy opisie poszczególnych procesów czy towarzyszących im zjawisk na oczyszczalni ścieków. Program potrafi automatycznie wygenerować kompleksowo wykresy i obliczenia (przelicza samodzielnie przepływy, wartości charakterystyczne dopływających ścieków można wyznaczać za pomocą modułu Influent Adviser) oraz inne dane niezbędne w procesie projektowania/modernizacji oczyszczalni ścieków.

Studentom i młodym inżynierom, którym brak doświadczenia, czasem trudno jest wyobrazić sobie realizację projektu w rzeczywistości. W takich przypadkach program GPS-x również okazuje się bardzo przydatnym narzędziem, gdyż umożliwia dokładne zbudowanie i analizę zarówno całej oczyszczalni ścieków, jak i poszczególnych elementów i towarzyszących obiektów/urządzeń. Wykorzystując dodatkowo opcję modułów „Analyze/Optimizer” w programie GPS-x można łatwo ocenić realizowany projekt, po zakończeniu prac symulacyjnych przeanalizować wpływ dokonanych zmian w danym obiekcie i parametry operacyjne.

#### 4. WNIOSKI KOŃCOWE

Na podstawie doświadczeń w pracy z wybranymi programami służącymi do komputerowego wspomaganie procesu projektowania w branży sanitarnej można stwierdzić, iż w większości przypadków zastosowane oprogramowanie spełniło stawiane im wymagania. Co więcej, okazało się niezwykle pomocne w stosunku do przeprowadzania zarówno skomplikowanych prac obliczeniowych, jak i w zrozumieniu jednostkowych procesów biochemicznych zachodzących na oczyszczalni ścieków, co prowadzi do uzyskania wymiernych efektów wspomaganie w kształceniu współczesnego inżyniera branży sanitarnej.

Według Gajewskiego [6], umiejętność tworzenia i stosowania stylów, tworzenia spisów treści, edycji wzorów matematycznych, prowadzenia korespondencji seryjnej, przygotowywania formularzy czy też śledzenia zmian powinny być naturalnym elementem warsztatu przyszłego inżyniera. Duże nadzieje należy wiązać z technikami symulacji komputerowej, stosowanymi z powodzeniem już od dość dawna w innych dziedzinach. Od pewnego czasu jest to możliwe także w dziedzinie wysokoefektywnego oczyszczania ścieków. W ostatnich kilkunastu latach nastąpił bowiem przełom w teorii tych procesów i adekwatności ich matematycznego opisu. Mamy wreszcie do dyspozycji dobre modele matematyczne, adekwatnie reprezentujące aktualny stan wiedzy. Mają one charakter dynamiczny i są oparte na fundamentalnych prawach rządzących kinetyką i stochiometrią procesów fizycznych, chemicznych i biochemicznych. Jakość predykcji tych modeli jest bardzo dobra. Dostępna technika komputerowa pozwala budować na ich bazie, przyjazne użytkownikowi, efektywne symulatory bardzo złożonych konfiguracji technologicznych. [7]. Jednym z ważniejszych spośród analizowanych oprogramowań do wspomaganie projektowania i komputerowej symulacji systemów osadu czynnego w kształceniu współczesnego inżyniera branży sanitarnej, okazał się program GPS-x firmy Hydromantis. Narzędzie to przede wszystkim pozwala na wprowadzenie dużej ilości parametrów wejściowych, co prowadzi do uszczegółowienia i ukierunkowywania projektu. Pewnym problemem tego

typu programów jest fakt, iż czasami niewłaściwie pracują w środowisku Windows (głównie uzależnionym od wersji oprogramowania) oraz wymagają, zwłaszcza na początku, poświęcenia znaczącej ilości czasu, aby dojść do odpowiedniej wprawy w ich użytkowaniu. Niemniej jednak, pakiet oprogramowania GPS-x dedykowany do symulacji systemów oczyszczania ścieków, właściwie spełnia swoje zadania pod każdym względem, co pozwala na stwierdzenie, że jest on niezwykle przydatnym oraz prostym w obsłudze narzędziem podczas procesu projektowania jak i rozwoju dydaktyki.

Wniosek końcowy jaki należy przytoczyć w pracy z programami do komputerowego wspomaganie projektowania czy też modernizacji systemów oczyszczania ścieków w procesie kształcenia współczesnego inżyniera branży sanitarnej jest fakt, iż obecnie szeroko stosowane programy branżowe niezwykle usprawniają proces związany z tworzeniem dokumentacji projektowej. Ponadto nadają jej bardziej profesjonalny sposób prezentowania obliczeń oraz opracowywania rysunków zgodny z powszechnie uznanymi standardami. Chcąc przy tym dostosować program kształcenia współczesnego inżyniera branży sanitarnej do rynku pracy, uczelnie techniczne powinny przede wszystkim ściśle współpracować z firmami oferującymi najnowsze oprogramowanie, tak aby rozwijać praktyczne umiejętności studentów oraz dać im szansę oceny przydatności wybranych narzędzi do komputerowego wspomaganie projektowania i symulacji systemów osadu czynnego.

## 5. BIBLIOGRAFIA

1. Henze M., C.P.L. Grady Jr., Marais G. v R., Matsuo T.: Activated Sludge Model No. 1, IAWPRC Scientific and Technical Reports No 1, IAWPRC, London 1987.
2. IWA Task Group on Mathematical Modelling for Design and Operation of Biological Wastewater

- Treatment Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3, IWA Scientific and Technical, Report No. 9, IWA Publishing, London 2000.
3. Langergraber G., Rieger L., Winkler S., Alex J.: Wiese J., Owerdieck C., Ahnert M., Simon J., Maurer M. A guideline for simulation studies of wastewater treatment plants. *Wat. Sci. Tech.* 50 (7) 2014, 131-138.
4. Vanrolleghem P.A., Insel G., Petersen B., Sin G., De Pauw D., Nopens I., Dovermann H., Weijers S., Gernaey K.: A Comprehensive Model Calibration Procedure For Activated Sludge Models. *Proceedings: WEFTEC 2003, 76th Annual Technical Exhibition and Conference. October 11-15, 2003, Los Angeles, CA, USA.*
5. Sochacki A., Płonka L., Miksch K.: Kilka refleksji o wykorzystaniu modeli matematycznych w symulacji procesów oczyszczania ścieków metodą osadu czynnego. *Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska. III Ogólnopolski Kongres Inżynierii Środowiska, 13-17 Września 2009, Lublin, Polska. Materiały konferencyjne, T. 1, ss. 289-298.*
6. Gajewski R. R.: O jakości procesu uczenia się i odwracaniu klasy: Studium przypadku, *EduAkcja. Magazyn edukacji elektronicznej nr 1 (7) / 2014, s. 2-29.*
7. Szetela R.W.: Dynamiczny symulator oczyszczalni – pomoc w nauczaniu technologii ścieków, *Seminarium Nowe media w edukacji Wrocław, 28 stycznia 2005, s. 177-183.*
8. Gajewski, R. R.: Towards a New Look at Streaming Media. W: N. Reynolds, M. Webb (red.), *10th IFIP World Conference on Computers in Education, Vol. 2, Toruń 2013 s. 98–103.*
9. <http://www.hydromantis.com/>.

## THE APPLICATION OF COMPUTER SIMULATION IN THE EDUCATION OF MODERN SANITARY ENGINEER

Currently, the workshop of modern engineer has significantly changed as a result of the dynamic development of computer programs to simulate the kinetics of biochemical processes in wastewater treatment plants. In order to customize the education program of modern sanitary engineer candidate for the labor market, technical universities should work closely with companies, that offer software for computer simulation of activated sludge. The application of computer tools and dedicated software for the specific engineering task is helpful, but only if in the process of education the appropriate theoretical basis was received. Beside the knowledge of software, it is necessary to evaluate the results of computer simulation by the students and improve their work in order to verify the tasks and/or projects performed with the computer models of activated sludge systems. The aim of the study was to present the possibility of applying computer simulation tools of activated sludge system in the education process of the sanitary engineer at the Faculty of Civil and Environmental Engineering, Gdansk University of Technology.

**Keywords:** computer programs, design support, sanitary industry, educational process, activated sludge models.