

- [12] Blanke, M., Kinnaert, M., Lunze, J., & Staroswiecki, M. *Diagnosis and fault-tolerant control*. 2nd ed. Springer, 2006.
- [13] Perez, R., Nejjari, F., Puig, V., Quevedo, J., Sanz, G., Cugueró, M., & Peralta, A. *Study of the isolability of leaks in a network depending on calibration of demands. Computing and control for the water industry 2011* “Urban water management—Challenges and opportunities”. University of Exeter 2011.
- [14] Pudar, R. S., & Liggett, J. A. *Leaks in pipe networks*. Journal of Hydraulic Engineering, 118(7), 1031–1046.1992
- [15] Sezer, M. E., & Siljak, V. *Nested epsilon-decomposition and clustering of complex systems*. Automatica, 22(3), 321–331.1986
- [16] Michalewicz, Z. (1999), *Algorytmy genetyczne + struktury danych = programy ewolucyjne*, WNT, Warszawa.

Jan STUZIŃSKI, Agnieszka SŁUŻALEC, Andrzej ZIÓŁKOWSKI

Instytut Badań Systemowych PAN
Warszawa

WSPOMAGANE KOMPUTEROWO KOMPLEKSOWE ZARZĄDZANIE MIEJSKIMI SIECIAMI WODOCIĄGOWO-KANALIZACYJNYMI¹

COMPUTER AIDED COMPLEX MANAGEMENT OF MUNICIPAL
WATER AND WASTEWATER NETWORKS

In the paper a concept of an ict system supporting the complex management of communal waterworks is presented. The key elements of this it system are gis and scada systems and hydraulic models of the water and wastewater networks. Using this software the main tasks of the waterworks management can be solved.

1. Wprowadzenie

Podstawowym zadaniem miejskiego przedsiębiorstwa wodociągowego jest dostarczanie wody użytkownikom sieci wodociągowej i usuwanie ścieków. Woda powinna być dostarczana w żądanej ilości, pod odpowiednim ciśnieniem i odpowiedniej jakości, natomiast ścieki powinny być w bezawaryjny sposób doprowadzane do oczyszczalni. Tak sformułowane zadania brzmią trywialnie, jednak ich realizacja jest poważnym problemem finansowym, związanym z inwestycjami i eksploatacją sieci, oraz organizacyjnym, związanym z koniecznością rozwiązywania wielu zadań cząstkowych o różnicowanym horyzoncie czasowym, zadań o charakterze operacyjnym, taktycznym i strategicznym. Te zadania, to na przykład gospodarka zasobami wodnymi, w tym w szczególności wodami głębinowymi w przypadku posiadania takich ujęć, optymalizacja parametrów sieci ze względu na ciśnienia na końcówkach sieci wodociągowej i wypełnienia kanałów w sieci kanalizacyjnej, redukcja strat wody w sieci wodociągowej, planowanie prac rewitalizacyjnych na sieci wodociągowej i kanalizacyjnej, projektowanie sieci w związku z ich rozbudową, ustalanie cen wody dla odbiorców itp. Aby dobrze realizować te zadania, szczególnie w przypadku średnich i dużych przedsiębiorstw wodociągowych, jest celowe stosowanie zintegrowanych systemów informatycznych do wspomagania komputerowego złożonych procesów decyzyjnych.

¹ Artykuł napisany w ramach projektu NCBiR nr POIG.01.03.01-14-034/12 współfinansowanego przez Unię Europejską i realizowanego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, Oś priorytetowa: Badania i rozwój nowoczesnych technologii, Działanie 1.3: Wsparcie projektów B+R na rzecz przedsiębiorców realizowanych przez jednostki naukowe, Poddziałanie 1.3.1: Projekty rozwojowe.

W krajowych przedsiębiorstwach wodociągowych wprowadza się już od kilkunastu lat rozwiązania informatyczne wspomagające procesy zarządzania. Standardem staje się wdrażanie systemów GIS do tworzenia map numerycznych sieci wodociągowo-kanalizacyjnych oraz systemów SCADA do monitorowania przepływów i ciśnień w sieci wodociągowej oraz pracy pomp w obu rodzajach sieci (Kaczmarek 2008, Kwietniewski 2008, Łomotowski i Siwoń 2010). Powszechną i permanentną wadą tych działań jest fakt, że systemy te są wdrażane niezależnie i bez koncepcji ich współpracy, co w konsekwencji uniemożliwia efektywne zarządzanie wodociągowo-kanalizacyjnym. Utrudnia to również późniejszą implementację modeli hydraulicznych sieci wodociągowych i kanalizacyjnych, które powinny pełnić podstawową rolę w zarządzaniu sieciami, w tym w rozwiązywaniu wszystkich zadań związanych z optymalizacją sieci. Aby informatyzacja przedsiębiorstwa wodociągowego mogła w sposób istotny usprawnić zarządzanie sieciami, system monitoringu musi być odpowiednio skonfigurowany i sprzężony z mapą numeryczną, która z kolei musi mieć możliwość eksportu grafów i parametrów sieci wodociągowej i kanalizacyjnej do odnośnych modeli hydraulicznych. Współpracujące ze sobą systemy GIS i SCADA oraz modele hydrauliczne sieci stanowią podstawę do stworzenia zintegrowanego systemu informatycznego wspomagającego kompleksowe zarządzanie przedsiębiorstwem wodociągowym (Studziński 2011, Służalec i in. 2013B).

2. Systemy GIS, SCADA i modele hydrauliczne jako podstawowe źródła danych obliczeniowych w systemie ICT

Systemy GIS i SCADA instalowane obecnie w przedsiębiorstwach wodociągowych służą przede wszystkim jako źródła i hurtownie ogromnej liczby danych technicznych o sieciach wodociągowej i kanalizacyjnej, które na ogół nie są przetwarzane i przez to nie mogą być wykorzystane do zadań związanych z optymalizacją, sterowaniem i planowaniem sieci wodociągowej czy kanalizacyjnej. Instalowane w przedsiębiorstwach systemy GIS służą przede wszystkim do komputerowej wizualizacji sieci wodociągowej lub kanalizacyjnej w postaci map numerycznych odtwarzających mapy geodezyjne sieci. To uniemożliwia uruchomienie modeli hydraulicznych sieci, ponieważ grafy geodezyjne są niepoprawne topologicznie, a nie posiadając na ogół warstwy węzłów i współrzędnych wysokościowych nie nadają się do obliczeń hydraulicznych. Z kolei systemy SCADA instalowane w przedsiębiorstwach wodociągowych służą przede wszystkim do monitorowania przepływów i ciśnień wody w stacjach źródłowych, pompowniach i zbiornikach oraz na końcówkach sieci wodociągowej oraz w przepompowniach ścieków sieci kanalizacyjnej, co pozwala na bieżąco kontrolować stan pracy kluczowych obiektów tych sieci, natomiast nie daje możliwości, na przykład, automatycznej kalibracji ich modeli hydraulicznych czy wykrywania i lokalizacji ukrytych wycieków wody w sieci wodociągowej.

Aby móc wykorzystać w pełni możliwości oferowane przez systemy GIS i SCADA, należy traktować je jako elementy składowe zintegrowanego systemu zarządzania. Oznacza to, że w systemie GIS muszą być odpowiednio zdefiniowane modele baz danych dla sieci wodociągowej i kanalizacyjnej, zawierające definicje wszystkich obiektów sieciowych i ich atrybutów, a generowane przez system GIS mapy numeryczne sieci powinny, oprócz ich postaci geodezyjnej, mieć również postać hydrauliczną, akceptowaną przez odnośny model hydrauliczny, uwzględniającą oprócz odcinków sieci

również jej punkty węzłowe oraz oprócz współrzędnych powierzchniowych węzłów również ich współrzędne wysokościowe. W przypadku sieci kanalizacyjnych deszczowych i ogólnospławnych system GIS musi również mieć możliwość eksportowania do ich modelu hydraulicznego struktury i parametrów zlewni referencyjnej, z której sieć zbiera opady deszczowe.

Z kolei systemy SCADA instalowane w przedsiębiorstwie wodociągowym powinny być tak zaplanowane, aby wartości ciśnień i przepływów rejestrowane przez urządzenia pomiarowe zainstalowane na sieci wodociągowej informowały o stanie jej pracy nie tylko w wybranych punktach pomiarowych, ale w możliwie dużym otoczeniu tych punktów, dostarczając informacji o pracy możliwie dużego obszaru sieci. To umożliwia zastosowanie systemu SCADA nie tylko do bieżącego monitorowania pracy sieci wodociągowej ograniczonego do bezpośredniego otoczenia punktów pomiarowych, ale również do kalibracji i okresowej rekalkibracji jej modelu hydraulicznego oraz do wykrywania i lokalizacji stanów awaryjnych w sieci (Studziński 2012A, 2012B). W przypadku systemu SCADA instalowanego na sieci kanalizacyjnej należy zadbać o odpowiednio dużą liczbę czujników wypełnienia kanałów oraz o liczbę deszczomierzy zapewniającą wiarygodny pomiar opadów deszczowych w skali całego badanego obszaru. Takie planowanie systemów SCADA istotnie zwiększa liczbę punktów pomiarowych w porównaniu z systemami, w których nie uwzględnia się zastosowania modeli hydraulicznych do zarządzania przedsiębiorstwem. To powoduje również istotne zwiększenie koniecznych do poniesienia kosztów inwestycyjnych, co między innymi jest przyczyną obecnego braku takich systemów w praktyce eksploatacyjnej przedsiębiorstw wodociągowych.

3. Koncepcja zintegrowanego systemu informatycznego zarządzania siecią wodociągowo-kanalizacyjną

W Instytucie Badań Systemowych (IBS) PAN opracowano koncepcję zintegrowanego systemu informatycznego do kompleksowego zarządzania miejskim systemem wodociągowo-kanalizacyjnym (Służalec i in. 2013A, Studziński 2012C). System informatyczny składa się ze wspomnianych trzech kluczowych elementów (modułów) dostarczających informacji o sieciach wodociągowej i kanalizacyjnej i ich funkcjonowaniu, to znaczy z systemów GIS i SCADA oraz z modeli hydraulicznych, oraz dodatkowo z algorytmów optymalizacji, aproksymacji i modelowania matematycznego, pozwalających na rozwiązywanie cząstkowych zadań zarządzania sieciami na podstawie danych dostarczanych przez wymienione trzy kluczowe elementy systemu. Wszystkie dodatkowe programy obliczeniowe systemu informatycznego stanowią moduł obliczeniowy systemu.

Problemem w przypadku realizacji takiego zintegrowanego systemu informatycznego staje się opracowanie odpowiedniego mechanizmu integracji międzymodułowej. Integracja międzymodułowa w systemie informatycznym opracowanym w IBS PAN jest obecnie realizowana za pomocą plików danych, zapewniających komunikację między systemem GIS i modułem obliczeniowym oraz między systemem GIS a systemem bilingowym przedsiębiorstwa wodociągowego. Jednak taka integracja nie jest zadowalająca w przypadku, gdy elementem składowym systemu IT ma być również system SCADA i jeżeli poszczególne elementy systemu IT mają różną organizację składowania danych: w formie plików danych oraz przy użyciu baz danych.

Istnieją zasadniczo trzy koncepcje integracji modułów w systemach wielomodułowych. Pierwsza polega na bezpośrednim zintegrowaniu wszystkich programów w postaci jednego spójnego programu stanowiącego platformę startową do uruchamiania innych programów. Taka koncepcja jest realizowana na przykład przez firmę Bentley, oferującą system modelowania sieci wodociągowej, w którym model hydrauliczny jest uruchamiany bezpośrednio z platformy systemu GIS. Ta koncepcja jest wygodna do realizacji w sytuacji, gdy integrowane w ten sposób programy są rozwijane przez jeden podmiot i tak jest właśnie w przypadku firmy Bentley.

Druga koncepcja polega na integracji bazodanowej współpracujących programów. Ta sytuacja dotyczy przypadku, gdy integrowane programy mają własne bazy danych i mogą się komunikować za pomocą tabel danych generowanych przez te bazy. Taka koncepcja jest realizowana na przykład przez firmy DHI i ESRI, z których pierwsza rozwija modele hydrauliczne dla sieci wodociągowych i kanalizacyjnych a druga rozwija system GIS (<http://proceedings.esri.com/library/userconf/proc02/pap0367/p0367.htm>). Dzięki takiej integracji moduły systemu informatycznego zachowują swoją autonomię i posiadają własne interfejsy użytkownika.

Wreszcie trzecia koncepcja polega na integracji modułów systemu informatycznego za pomocą plików danych, co jest realizowane obecnie w systemie opracowanym w IBS PAN. Problem komplikuje się w sytuacji, gdy modułów w systemie jest kilka a komunikacja między nimi musi się odbywać w przypadku pewnych programów za pomocą plików danych, jak i może się odbywać w przypadku innych programów za pomocą tabel bazodanowych.

System IT rozwijany w IBS PAN składa się docelowo z czterech modułów: systemu GIS, systemu SCADA, systemu billingowego i modułu obliczeniowego z modelami hydraulicznymi sieci wodociągowej i kanalizacyjnej i z algorytmami optymalizacji, aproksymacji i modelowania matematycznego. Dla takiego systemu wydaje się, że najlepszym rozwiązaniem byłoby opracowanie specjalnego modułu integracyjnego, organizującego komunikację między wszystkimi modułami zajmującymi się pomiarami, przetwarzaniem danych i obliczeniami i umożliwiającego komunikowanie się za pomocą zarówno plików danych, na przykład tekstowych, jak i tabel bazodanowych. Taka koncepcja integracji jest obecnie w IBS PAN rozwijana.

Koncepcja zintegrowanego systemu informatycznego do zarządzania siecią wodociągowo-kanalizacyjną realizowana w IBS PAN nie jest zrealizowana dotychczas w żadnym krajowym przedsiębiorstwie wodociągowym. W przedsiębiorstwach tych informatyzacja polega zwykle na kupowaniu i instalowaniu pojedynczych programów do wykonywania pojedynczych i niezależnych zadań eksploatacyjnych, przy czym podstawowe przyczyny takiego stanu rzeczy, to względy finansowe, organizacyjne i psychologiczne.

Uruchomienie systemu złożonego z kilkunastu współpracujących ze sobą programów i zaadoptowanie go do warunków danego przedsiębiorstwa wodociągowego jest kosztowne i czasochłonne. Główne koszty dotyczą zainstalowania na sieci wodociągowej i kanalizacyjnej odpowiednio zaprojektowanego systemu monitoringu, który powinien składać się z co najmniej kilkudziesięciu punktów pomiarowych dla przedsiębiorstwa średniej wielkości i umożliwiać automatyczną kalibrację modeli hydraulicznych sieci. Natomiast najbardziej czasochłonne jest wprowadzanie danych o sieciach do systemu GIS i tworzenie map numerycznych sieci, na podstawie których będzie się eksportować topologicznie poprawne grafy obliczeniowe do modeli hydraulicznych. Koszt zakupu oprogramowania i urządzeń pomiarowych i obliczeniowych dla obu systemów i ich implementacja w przedsiębiorstwie już nawet małej wielkości kształtuje się na poziomie 1 mln PLN.

Uruchamianie zintegrowanego systemu IT w przedsiębiorstwie wodociągowym jest złożonym przedsięwzięciem organizacyjnym, wymagającym dobrej współpracy pracowników naukowych opracowujących system z kadrą inżynieryjno-techniczną i również z zarządem przedsiębiorstwa. Jest to trudne zadanie logistyczne wymagające realizacji i koordynacji takich działań, jak planowanie prac, opracowywanie algorytmów i programów komputerowych, gromadzenie i analiza danych pomiarowych i obliczeniowych, testowanie programów i analiza wyników obliczeń, sporządzanie dokumentacji programów, sprawozdawczość merytoryczna i finansowa, bieżąca i okresowa kontrola wykonania zaplanowanych prac itp. Dlatego doprowadzenie do realizacji takiego przedsięwzięcia jest dużym wyzwaniem zarówno dla przedsiębiorstwa wodociągowego, jak i dla uczestniczącej w nim jednostki naukowej.

Przyczyna psychologiczna dotyczy zrozumiałej na ogół niechęci kadry zarządzającej przedsiębiorstwem wodociągowym do angażowania się w przedsięwzięcia, które dużo kosztują, długo trwają, są złożone pod względem organizacyjnym i jednocześnie nie dają niestety pełnej gwarancji uzyskania zaplanowanych rezultatów, ponieważ w dużym stopniu mają charakter prac badawczo-rozwojowych. Szczególnie zniechęca zarządy przedsiębiorstw fakt, że na ogół nie jest możliwe dokładne oszacowanie korzyści finansowych, które byłyby wynikiem wdrożenia kompletnego systemu informatycznego. Stosunkowo łatwo jest przewidzieć korzyści jakościowe przedsięwzięcia, polegające na łatwiejszym

i sprawniejszym zarządzaniu siecią wodociągową i kanalizacyjną, jednak korzyści jakościowe jest zwykle trudno przeliczyć na wskaźniki ilościowe, w tym przede wszystkim na korzyści finansowe, a te na ogół decydują przy podejmowaniu decyzji strategicznych przez zarząd przedsiębiorstwa wodociągowego.

4. System MOSKAN-W modelowania i optymalizacji sieci wodociągowej

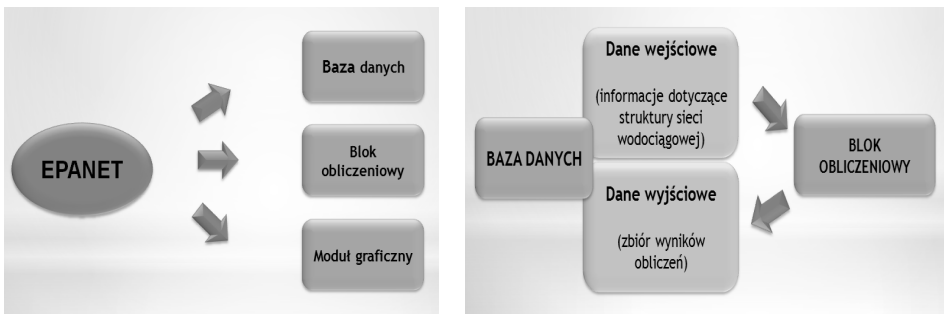
System MOSKAN-W jest elementem modułu obliczeniowego w rozwijanym systemie informatycznym i jest przeznaczony do modelowania i projektowania sieci wodociągowych (Służalec 2014). Stanowi narzędzie, które na etapie projektowania daje możliwość weryfikacji założeń projektowych, natomiast na etapie eksploatacji daje możliwość sprawdzenia rzeczywistych przepływów i ciśnień w sieci oraz zachowania się sieci po jej ewentualnej rozbudowie. Stanowi narzędzie umożliwiające racjonalne zarządzanie siecią wodociągową, między innymi w zakresie regulacji przepływów i ciśnień, doboru średnic rurociągów, pracy pomp, zbiorników retencyjnych, wykrywania awarii i stanów nietypowych, a także symulacji pracy sieci w sytuacjach awaryjnych i remontowych, jej rozbudowy i przebudowy. Poprawna eksploatacja systemu wodociągowego i strategiczne planowanie inwestycji wymaga prowadzenia analiz na podstawie posiadanych informacji o pracy systemu. Możliwe jest to z wykorzystaniem modeli hydraulicznych. System MOSKAN-W został zrealizowany w postaci aplikacji internetowej, co w sposób istotny ułatwia dostęp do niego różnym potencjalnym użytkownikom, zarówno pracownikom naukowym z różnymi koncepcjami nowych rozwiązań, jak i przedsiębiorstwom wodociągowym. Umożliwia prowadzenie prac przez zespoły użytkowników i zapewnia wygodny dostęp do wyników szerokiego gronu odbiorców, po uzyskaniu indywidualnego loginu i hasła.

Do realizacji interfejsu systemu MOSKAN-W wykorzystano języki programowania JavaScript, PHP i HTML5. Do realizacji funkcji edycji danych i prezentacji wyników wykorzystano język JavaScript, PHP oraz technologię AJAX zapewniającą lokalną aktualizację wyświetlanych treści. Do prezentowania sieci wodociągowych w postaci graficznej oraz do prezentacji wyników w postaci wykresów użyto obiektu Canvas języka HTML5. Planowanie sieci wodociągowych jest w systemie MOSKAN-W realizowane na podkładzie map miasta, importowanych do systemu w postaci plików graficznych w formacie PNG lub JPG. Dane do nowo tworzonych projektów obliczeniowych mogą być przygotowywane w formie importowanych plików tekstowych lub mogą być tworzone w trybie interakcyjnym. Program MOSKAN-W obsługuje dwa formaty danych: informacje o projektowanej sieci wodociągowej można importować do programu w formacie danych programu EPANET oraz we własnym formacie XML, który jest wygodniejszy do implementacji funkcji edycyjnych.

Jądrem obliczeniowym aplikacji jest popularne oprogramowanie EPANET2 opracowane przez Dział Zaopatrzenia w Wodę i Gospodarki Wodnej Amerykańskiej Agencji Ochrony Środowiska (*Water Supply and Water Resources Division of the U.S. Environmental*

Protection Agency EPA). Oprogramowanie zostało stworzone, aby pomóc w poprawie wydajności systemu hydraulicznego i jakości wody dostarczanej do konsumenta poprzez sieci dystrybucji. Zostało ono udostępnione na zasadach licencji publicznej (*Public Domain*), gwarantującej możliwość wykorzystywania zarówno samej aplikacji, jak i jej kodów źródłowych do zastosowań komercyjnych. Aplikacja EPANET umożliwia przeprowadzanie dynamicznej symulacji pracy sieci wodociągowej ze śledzeniem przepływów wody, ciśnień, stężeń związków chemicznych, wieku wody w całej sieci wodociągowej. Ponadto program umożliwia:

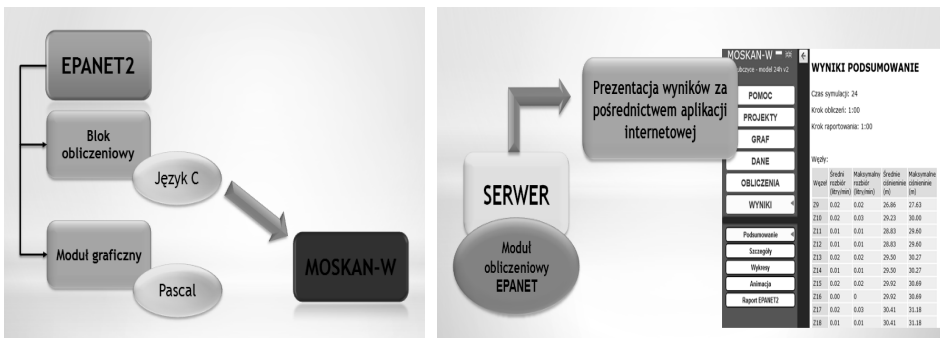
- analizy pracy dowolnie dużej i skomplikowanej sieci wodociągowej,
- uwzględnianie spadków ciśnienia w sieci powodowanych chropowatością przewodów, stratami na łukach, zwężkach itp.
- obliczanie kosztów zużycia energii,
- stosowanie różnego typu zaworów (odcinające, zwrotne, regulatory ciśnienia),
- przypisywanie zdefiniowanych kategorii rozbiorów do różnych węzłów sieci wodociągowej,
- śledzenie rozplywu cieczy z kilku źródeł zasilania, zanikania resztek chloru oraz propagacji zanieczyszczeń.



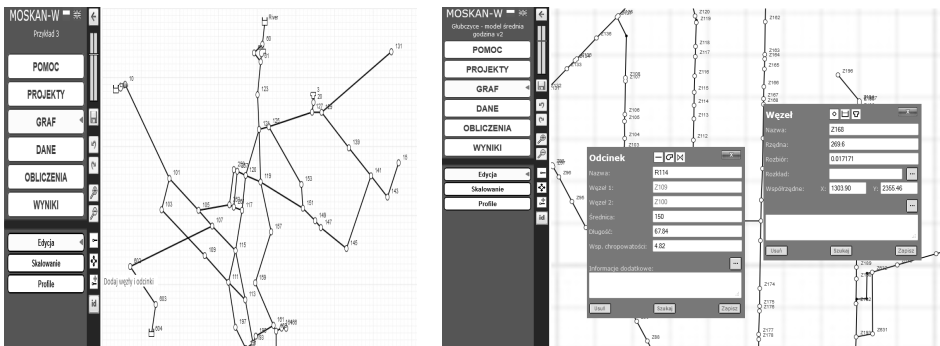
Rys. 1. Struktura programu EPANET2 i obieg danych w programie EPANET.

EPANET2 składa się z trzech podstawowych, zintegrowanych ze sobą modułów: bazy danych, bloku obliczeniowego oraz modułu graficznego (rys. 1). W bazie danych gromadzone są informacje dotyczące struktury modelowanej sieci oraz zbiorów wyników obliczeń. Dane odnoszące się do sieci i wyniki obliczeń przechowywane są w oddzielnych plikach. Moduł obliczeniowy pobiera z bazy danych parametry modelowanego systemu wraz z odpowiednimi informacjami dodatkowymi i wykonuje obliczenia symulacyjne, przekazując wyniki z powrotem do bazy danych (rys. 1).

Moduł obliczeniowy w programie EPANET2 jest napisany w języku programowania C, natomiast moduł graficzny, stanowiący interfejs użytkownika, w języku PASCAL. W systemie MOSKAN-W zaimplementowano moduł obliczeniowy, natomiast opracowano własny moduł graficzny pod kątem wygody i wymagań użytkownika branżowego (rys. 2).



Rys. 2. Adaptacja modułów programu EPANET2 w systemie MOSKAN-W i ścieżka wizualizacji wyników obliczeń.



Rys. 3. Interaktywna edycja obiektów sieci: dodanie nowego przewodu do sieci i edycja parametrów odcinka i węzła.

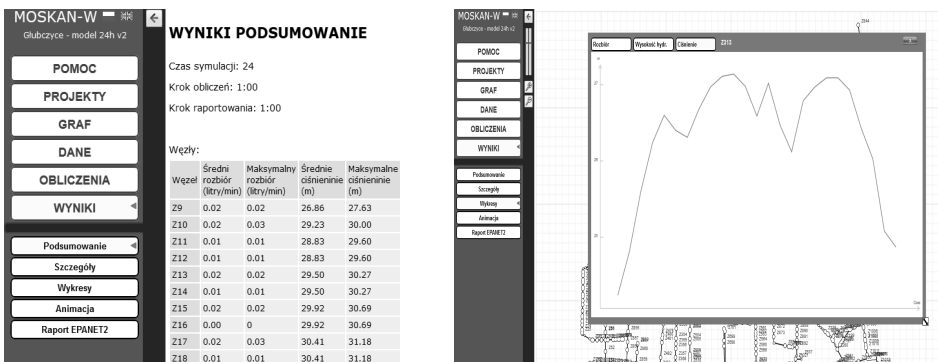
W module graficznym systemu MOSKAN-W są obecnie zaimplementowane następujące funkcje:

- Zarządzanie użytkownikami systemu.
- Zarządzanie projektami sieci wodociągowych.
- Import podkładów mapowych.
- Import i eksport danych do obliczeń w formacie plików tekstowych.

- Interaktywne wprowadzanie i edycja danych do obliczeń hydraulicznych.
- Edycja parametrów sieci wodociągowej.
- Obliczenia hydrauliczne.
- Tabela i graficzna prezentacja wyników obliczeń.
- Prezentacja wyników obliczeń w formie animacji graficznych.

Przygotowywanie danych do obliczeń w postaci plików tekstowych jest szybkie i wygodne, jednak możliwość wprowadzania i modyfikowania danych w trybie interakcyjnym jest niezbędna ze względu na szybkość i łatwość dokonywania modyfikacji (rys. 3).

Po wprowadzeniu wszystkich wymaganych danych można uruchomić obliczenia. Obliczenia symulacyjne przeprowadzane są przy wykorzystaniu modułu obliczeniowego EPANET. Wszystkie obliczenia prowadzone są na zewnętrznym serwerze a otrzymane wyniki obliczeń są wizualizowane za pośrednictwem modułu graficznego aplikacji internetowej MOSKAN-W (rys. 2). Wyniki przeprowadzonych obliczeń symulacyjnych są udostępniane w formie zestawień tabelarycznych, wykresów i animacji (rys. 4).



Rys. 4. Tabelaryczna i graficzna wizualizacja wyników obliczeń.

5. System MOSKAN modelowania i optymalizacji sieci kanalizacyjnej

System MOSKAN jest drugim kluczowym elementem modułu obliczeniowego systemu informatycznego przeznaczonym do projektowania i modelowania sieci kanalizacyjnych (Służalec i in. 2012). Stanowi narzędzie, które na etapie projektowania daje możliwość weryfikacji założeń projektowych oraz sprawdzania, czy zaprojektowana sieć o określonych parametrach geometrycznych będzie w stanie odprowadzić ilości ścieków, na jakie została przewidziana, natomiast na etapie eksploatacji daje możliwość sprawdzenia rzeczywistych przepływów w sieci oraz zachowania się sieci po jej ewentualnej rozbudowie.

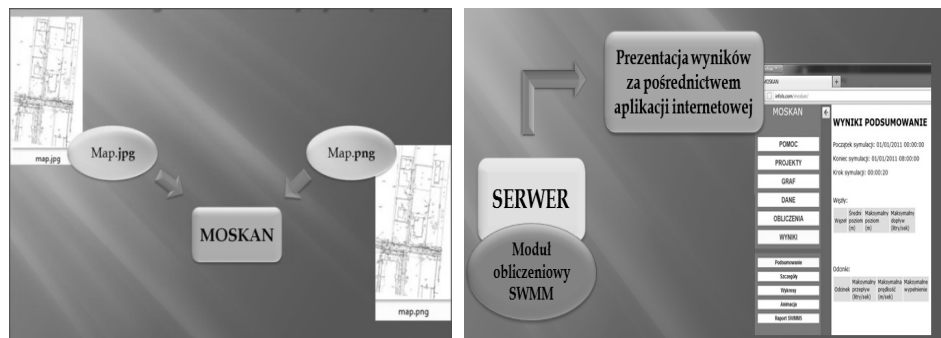
System MOSKAN został, podobnie jak MOSKAN-W, zrealizowany w formie aplikacji internetowej. Do realizacji interfejsu systemu MOSKAN wykorzystano podobnie języki programowania JavaScript, PHP i HTML5. Dla systemu MOSKAN szczególnie istotne jest użycie obiektu Canvas stanowiącego środowisko do tworzenia dynamicznych

grafik za pomocą skryptów w języku JavaScript. Obiekt Canvas wykorzystano w aplikacji do prezentacji sieci kanalizacyjnej oraz danych i wyników w postaci graficznej. Do realizacji funkcji edycji danych wykorzystano język JavaScript oraz technologię AJAX.

Jądrzem obliczeniowym aplikacji jest popularne oprogramowanie SWMM5 rozwijane od wielu lat w EPA. Moduł SWMM (*Storm Water Management Model*) został opracowany w 1971 r. i przez kolejne lata był on wykorzystywany głównie w celach naukowych, przede wszystkim ze względu na trudną obsługę, kłopotliwą procedurę przygotowania danych i całkowity brak wizualizacji danych (struktury sieci) oraz wyników obliczeń, gdyż działał tylko w trybie tekstowym MS DOS. Ze względu na skomplikowaną i nieprzyjazną strukturę w 1994 r. opracowano wersję działającą w systemie operacyjnym Windows, lecz miała ona wiele ograniczeń, między innymi umożliwiała obliczanie sieci składających się maksymalnie z 200 obiektów. Ograniczeń została pozbawiona piąta odsłona programu SWMM w pełni kompatybilna z systemem Windows, która pojawiła się na rynku w 2004 r. Jest ona dostępna w Internecie w formie kodów źródłowych i chętnie używana w ośrodkach akademickich oraz przez firmy informatyczne do tworzenia profesjonalnego oprogramowania, na przykład MIKE-Software firmy DHI Dänemark lub Hystem-Extran-Software firmy ITWH Deutschland.

SWMM składa się z trzech podstawowych, zintegrowanych ze sobą modułów: bazy danych, bloku obliczeniowego oraz modułu graficznego. W bazie danych gromadzone są informacje dotyczące struktury modelowanej sieci kanalizacyjnej (parametry zlewni, kolektorów i węzłów) oraz dane dotyczące połączeń między tymi obiektami. Drugą część bazy danych stanowi zbiór wyników obliczeń. Dane odnoszące się do sieci i wyniki obliczeń przechowywane są w oddzielnych plikach. Moduł obliczeniowy pobiera z bazy danych parametry modelowanego systemu wraz z odpowiednimi informacjami dodatkowymi (np. charakterystyką opadu) i wykonuje obliczenia hydrologiczno-hydrauliczne, przekazując wyniki z powrotem do bazy danych.

Moduł obliczeniowy w programie SWMM jest napisany w języku programowania C, natomiast moduł graficzny, stanowiący interfejs użytkownika, w języku PASCAL. W systemie MOSKAN zaimplementowano moduł obliczeniowy, natomiast opracowano własny moduł graficzny.

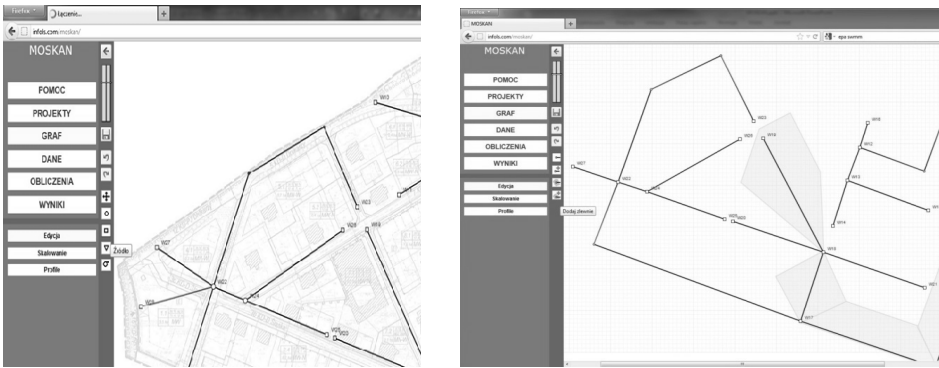


Rys. 5. Formaty importowanych podkładów mapowych i ścieżka wizualizacji wyników obliczeń.

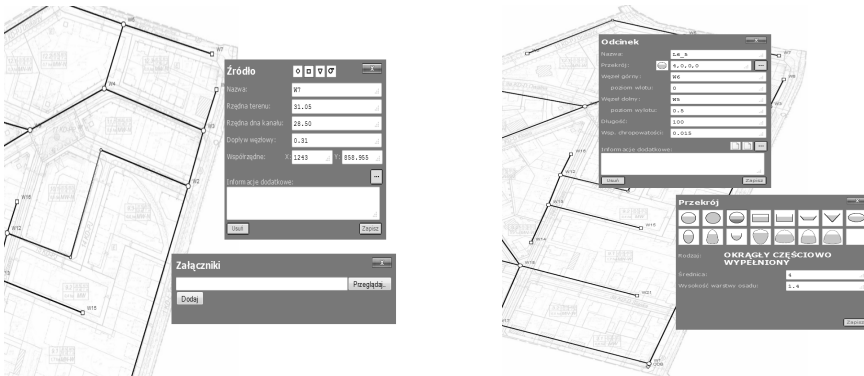
W module graficznym systemu MOSKAN są obecnie zaimplementowane następujące funkcje:

- Zarządzanie użytkownikami systemu.
- Zarządzanie projektami sieci kanalizacyjnych.
- Import podkładów mapowych.
- Import i eksport danych do obliczeń w formacie plików tekstowych.
- Interaktywne wprowadzanie i edycja danych do obliczeń hydraulicznych.
- Edycja parametrów sieci kanalizacyjnej.
- Obliczenia hydrauliczne.
- Tabela i graficzna prezentacja wyników obliczeń.
- Prezentacja wyników obliczeń w formie animacji graficznych.

Jeżeli użytkownik systemu MOSKAN chce stworzyć/odzwierciedlić sieć kanalizacyjną na konkretnym podkładzie mapowym, może wczytać taki podkład w formacie PNG lub JPG (rys. 5). Wczytywanie interesujących użytkownika podkładów mapowych może się odbywać w momencie tworzenia nowego projektu lub w późniejszym okresie, poprzez wykorzystanie edycji istniejącego projektu. Wczytaną mapę można kalibrować, dopasowując ją w ten sposób do grafu modelowanej sieci.



Rys. 6. Interaktywna edycja obiektów sieci: dodanie nowego przewodu do sieci oraz definiowanie zlewni w projekcie.

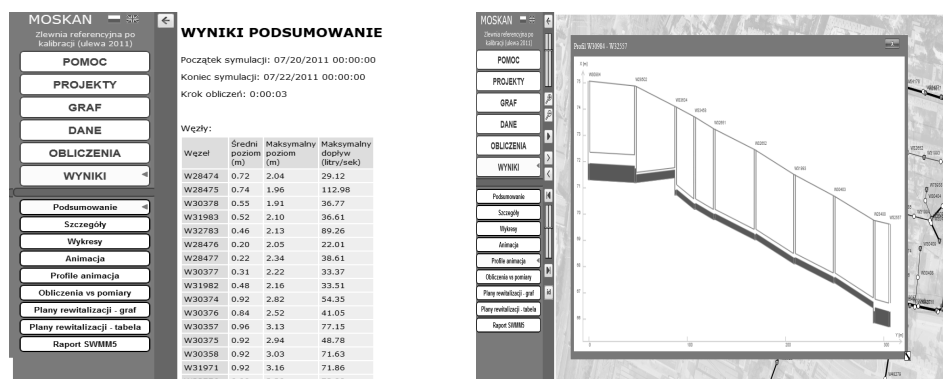


Rys. 7. Interaktywna edycja parametrów źródła z dialogiem umożliwiającym dodawanie załączników oraz edycja parametrów odcinka.

Dane do nowo tworzonych projektów mogą być przygotowywane w formie importowanych plików tekstowych lub mogą być tworzone w trybie interakcyjnym. Bez względu na sposób implementowania danych, parametry wprowadzonych elementów (m. in. węzłów, odcinków itp.) mogą być modyfikowane w trybie interakcyjnym (rys. 6). Wartości parametrów można wprowadzać po wybraniu obiektu, który chcemy modyfikować, bezpośrednio na grafie sieci (rys. 7). Edycja tych danych jest możliwa również w zestawieniach tabelarycznych, zawierających parametry obiektów tego samego rodzaju.

Po wprowadzeniu wszystkich wymaganych danych można uruchomić obliczenia. Obliczenia symulacyjne przeprowadzane są przy wykorzystaniu modułu obliczeniowego SWMM. Przed uruchomieniem obliczeń symulacyjnych należy zdefiniować opcje symulacji, w tym m.in. algorytm dla obliczeń przepływu. Przepływ może być obliczany za pomocą trzech metod:

- metodą przepływu ustalonego - metoda uproszczona, zakładająca, że w każdym obliczeniowym kroku czasowym przepływ jest jednorodny i ustalony;
- metodą fali kinematycznej – wykorzystuje równanie Saint–Venanta z pominięciem członów sił bezwładności i sił parcia, powiązanych z równaniem ciągłości strumienia;
- metodą fali dynamicznej – wykorzystuje równanie Saint–Venanta oraz równanie ciągłości tworząc układ równań różniczkowych pierwszego rzędu opisujących ruch wolno-zmienny.



Rys. 8. Tabelaryczna wizualizacja wyników obliczeń i prezentacja wybranego profilu.

Wszystkie obliczenia prowadzone są na zewnętrznym serwerze a otrzymane wyniki obliczeń są wizualizowane za pośrednictwem modułu graficznego aplikacji internetowej MOSKAN (rys. 5). Wyniki obliczeń modelowania są przedstawiane w formie raportu obejmującego wszystkie węzły i odcinki sieci kanalizacyjnej (rys. 8) oraz mogą być również prezentowane w formie tabelarycznej lub graficznej w odniesieniu do pojedynczych wybranych węzłów lub kanałów (odcinków). W systemie MOSKAN istnieje również możliwość generowania profilu dla zaznaczonych fragmentów sieci kanalizacyjnej (rys. 8).

W systemie MOSKAN jest zaimplementowana funkcja umożliwiająca animację wykonywanych kroków obliczeń symulacyjnych. Animacja może przebiegać w sposób dyskretny, pojedynczymi krokami, lub w sposób ciągły dla całego przedziału symulacji, co umożliwia szczegółową obserwację zmieniających się stanów pracy sieci kanalizacyjnej. Zmieniające się podczas symulacji obciążenie hydrauliczne sieci przedstawiane jest na grafie sieci za pomocą zmieniającego się zabarwienia węzłów i odcinków. Wizualizowane są także węzły, w których występuje wypływ ścieków na powierzchnię (rys. 9).



Rys. 9. Wizualizacja wyników obliczeń w formie animacji.

6. Uwagi końcowe

W artykule przedstawiono koncepcję zintegrowanego systemu informatycznego przeznaczonego do kompleksowego zarządzania miejskim systemem wodociągowo-kanalizacyjnym, omówiono jego strukturę i podstawowe funkcje. System jest oparty o trzy kluczowe moduły będące źródłem podstawowych danych dla wszystkich pozostałych programów systemu, wykonujących złożone zadania zarządzania siecią wodociągową. Te moduły, to system GIS, system SCADA oraz moduł obliczeniowy z modelami hydraulicznymi sieci wodociągowej i kanalizacyjnej. Omówiono problemy związane z opracowywaniem i implementacją zintegrowanych systemów informatycznych w krajowych przedsiębiorstwach wodociągowych oraz starano się pokazać korzyści wynikające z praktycznego zastosowania takich systemów.

Końcowe wnioski, jakie wynikają z prezentowanych rozważań, są następujące:

- Opracowanie i realizacja koncepcji systemu zintegrowanego systemu informatycznego wspomagającego zarządzanie miejską siecią wodociągowo-kanalizacyjną jest złożonym problemem organizacyjnym i logistycznym.
- Rozwiązanie tego problemu jest czasochłonne i związane z poważnymi kosztami.
- Zorganizowanie odpowiedniego zespołu wykonującego lub nawet tylko wdrażającego taki system informatyczny w ramach jedynie przedsiębiorstwa wodociągowego jest praktycznie niemożliwe ze względu na brak doświadczenia i odpowiedniej wiedzy.
- W rezultacie rozwiązania informatyczne instalowane w polskich przedsiębiorstwach wodociągowych są bardzo ograniczone odnośnie zakresu realizowanych przez nie zadań a ponadto są to zwykle programy komputerowe do wydzielonych zadań instalowane i użytkowane niezależnie i nie współpracujące ze sobą.