

Jan STUDZIŃSKI

Instytut Badań Systemowych PAN,
Warszawa

SYSTEMY GIS I SCADA ORAZ MODEL HYDRAULICZNY JAKO PODSTAWOWE ELEMENTY ZINTEGROWANEJ INFORMATYZACJI MIEJSKIEGO SYSTEMU ZAOPATRZENIA W WODĘ¹

GIS AND SCADA SYSTEMS AND A HYDRAULIC MODEL AS THE KEY
OBJECTS SUPPORTING THE COMPLEX MANAGEMENT OF
COMMUNAL WATER SUPPLY SYSTEMS

In the paper an idea of an it system supporting the complex management of communal water networks is presented. The key elements of this it system are GIS and SCADA systems and a hydraulic model of the water net. Using these programs the main tasks of the water network management can be solved. The problems resulted while implementing the innovative informatization into the waterworks, the main reasons of them as well as the benefits caused for the waterworks, including these economical ones, are discussed.

1. Wprowadzenie

Podstawowym zadaniem przedsiębiorstwa wodociągowego jest dostarczanie wody użytkownikom sieci wodociągowej. Woda powinna być dostarczana w żądanej ilości, pod odpowiednim ciśnieniem i odpowiedniej jakości. Kolejne zadania mają charakter bardziej ogólny i dotyczą właściwej gospodarki zasobami wodnymi, w tym w szczególności wodami głębinowymi w przypadku posiadania takich ujęć, oraz dbania o ochronę środowiska. Aby dobrze realizować te zadania, jest koniecznym stosowanie systemów informatycznych do wspomagania komputerowego złożonych procesów decyzyjnych związanych z zarządzaniem operacyjnym i strategicznym przedsiębiorstwem wodociągowym, w tym w szczególności miejskim systemem zaopatrzenia w wodę.

W krajowych przedsiębiorstwach wodociągowych wprowadza się coraz powszechniej rozwiązania informatyczne wspomagające procesy zarządzania, przy czym już standardem staje się wdrażanie systemów GIS do tworzenia map numerycznych sieci wodociągowych [1, 2] oraz systemów SCADA do monitorowania przepływów i ciśnień

¹ Artykuł napisany w ramach projektu rozwojowego NCBiR nr NR14-0011-10/2010.

w sieci [1]. Powszechną wadą tych działań jest fakt, że systemy te są wdrażane niezależnie i bez koncepcji ich współpracy, co w konsekwencji uniemożliwia efektywne zarządzanie siecią wodociągową. Aby wprowadzana informatyzacja mogła w sposób istotny usprawnić zarządzanie siecią, system monitoringu musi być odpowiednio skonfigurowany i sprzężony z mapą numeryczną. Współpracujące ze sobą systemy GIS i SCADA mogą być wtedy podstawą do stworzenia zintegrowanego systemu informatycznego wspomagającego kompleksowe zarządzanie siecią wodociągową.

2. Systemy GIS i SCADA jako podstawowe źródła danych obliczeniowych

Systemy GIS i SCADA instalowane w przedsiębiorstwach wodociągowych służą przede wszystkim jako źródła ogromnej liczby danych technicznych o sieci wodociągowej i pomiarowych o stanie jej pracy. Przy czym dane te są wykorzystywane głównie do bieżącej eksploatacji sieci, czyli jej kontroli i sterowania operacyjnego, i następnie są archiwizowane, natomiast nie pozyskuje się z tych danych wiedzy ogólniejszej o sieci, umożliwiającej jej optymalizację, projektowanie, sterowanie predykcyjne, prognozowanie awaryjności itp., czyli wspomaganie zadań związanych z szeroko pojętym zarządzaniem siecią wodociągową. Jednocześnie te zbiory danych, ze względu na ich duży zakres czasowy i tematyczny, takie możliwości stwarzają [3]. Przyczyną takiego stanu rzeczy jest niesystemowe podejście do wdrażania technologii informatycznych w przedsiębiorstwach wodociągowych, to znaczy kupowanie przez przedsiębiorstwa wodociągowe różnych programów komputerowych do wykonywania pojedynczych zadań, bez uwzględniania współpracy tych programów, istotnie zwiększającej zakres ich możliwości w wyniku tak zwanego *efektu synergii*.

W rezultacie instalowane w przedsiębiorstwach systemy GIS służą przede wszystkim do komputerowej wizualizacji sieci wodociągowej w postaci mapy numerycznej odtwarzającej mapę geodezyjną sieci (rys. 1), oraz do wykonywania prostych analiz tematyczno-przestrzennych związanych z siecią wodociągową. Takie potraktowanie systemu GIS utrudnia uruchomienie modelu hydraulicznego sieci wodociągowej, ponieważ wizualizowane geodezyjne grafy sieci nie nadają się do obliczeń hydraulicznych. Z kolei instalowane w przedsiębiorstwach systemy SCADA służą przede wszystkim do monitorowania przepływów i ciśnień wody w kilku kluczowych punktach sieci wodociągowej, to znaczy w stacjach źródłowych, w przepompowniach strefowych i w zbiornikach retencyjnych oraz na końcówkach sieci (rys. 1), co pozwala na bieżąco kontrolować stan pracy kluczowych obiektów sieci, natomiast nie daje możliwości, na przykład, automatycznej kalibracji modelu hydraulicznego czy wykrywania i lokalizacji ukrytych wycieków wody.

Aby móc wykorzystać w pełni możliwości oferowane przez systemy GIS i SCADA, należy od początku, to znaczy już w momencie ich implementacji, traktować je jako elementy składowe większego systemu i również pod tym kątem je strukturyzować. Oznacza to, że generowana przez system GIS mapa numeryczna sieci wodociągowej powinna, oprócz postaci geodezyjnej, mieć również postać tak zwanego *grafu obliczeniowego*, uwzględniającego oprócz odcinków sieci również jej punkty węzłowe oraz oprócz współrzędnych powierzchniowych węzłów (x , y) również ich współrzędne wysokościowe (z).



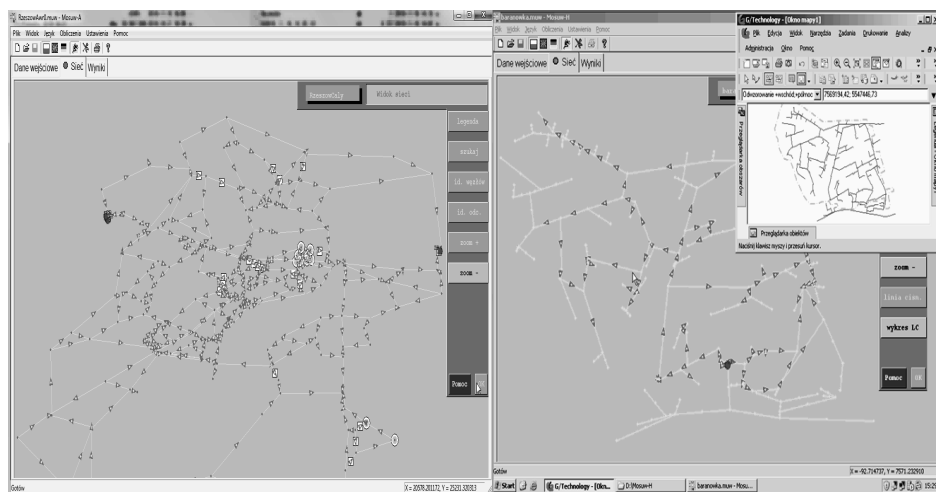
Rys. 1. Przykład mapy numerycznej sieci wodociągowej (rysunek lewy) i systemu monitoringu zainstalowanego na sieci (źródła: Robert Bryłka, Intergraph Polska, i Andrzej Żyła, MPWiK Rzeszów [13]).

Fig. 1. Examples of a numerical map (on the left) and a monitoring system for a municipal water network.

Z kolei system SCADA powinien być tak zaplanowany, 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. Oznacza to konieczność wyznaczenia tak zwanych *miejsz wrażliwych* sieci wodociągowej i w nich zlokalizowania punktów pomiarowych systemu monitoringu [8]. To umożliwi zastosowanie systemu SCADA nie tylko do bieżącego monitorowania i kontroli pracy sieci ograniczonych do bezpośredniego otoczenia punktów pomiarowych, ale również do kalibracji i okresowej re-kalibracji modelu hydraulicznego oraz do wykrywania i lokalizacji stanów awaryjnych na sieci [7]. Takie planowanie systemu SCADA istotnie zwiększa liczbę punktów pomiarowych w porównaniu z systemem tradycyjnym ograniczonym do wspomnianych punktów kluczowych sieci wodociągowej, co niestety zwiększa w sposób istotny również koszty systemu.

3. Model hydrauliczny jako podstawowy program obliczeniowy

Systemy GIS i SCADA są kluczowe w sensie pozyskiwania danych o sieci wodociągowej i jakości jej pracy. Te dane są niezbędne do tego, aby sformułować i skalibrować model hydrauliczny sieci, pozwalający wyznaczać ciśnienia i przepływy w każdym jej punkcie, czyli oceniać jakość pracy rzeczywiście całej sieci wodociągowej. W ten sposób model hydrauliczny sieci i zainstalowany na niej system SCADA są komplementarne a dostarczone przez te programy informacje wzajemnie się dopełniają i weryfikują. Jednocześnie oba systemy, odpowiednio przygotowane, są niezbędne, aby model hydrauliczny sieci uruchomić. Odpowiednie przygotowanie systemów polega na tym, że system GIS jest w stanie eksportować *grafy obliczeniowe* sieci do modelu hydraulicznego (rys. 2), natomiast system SCADA jest na tyle rozbudowany, że umożliwia wiarygodną kalibrację modelu.



Rys. 2. Ekran programu do modelowania hydraulicznego sieci wodociągowej (rysunek lewy) i wizualizacja eksportu grafu obliczeniowego sieci z mapy numerycznej do modelu hydraulicznego.

Fig. 2. Screens of the water net hydraulic model (on the left) and of the GIS system exporting the calculating graph to this model.

Z powyższego wynika, że projektując systemy GIS i SCADA dla sieci wodociągowej należy od początku przewidywać ich przyszłą współpracę z modelem hydraulicznym. Jeżeli się tego nie uwzględni i będzie się w przedsiębiorstwie wodociągowym instalować mapę numeryczną i system monitoringu w sposób niezależny, jako systemy działające autonomicznie, to bardzo się ogranicza możliwość późniejszego zainstalowania modelu hydraulicznego użytecznego w eksploatacji sieci wodociągowej. Niestety, taka jest praktyka w krajowych przedsiębiorstwach wodociągowych, co skutkuje tym, że praktycznie nie używa się w nich modeli hydraulicznych jako narzędzi wspomagających zarządzanie sieciami wodociągowymi.

Traktując model hydrauliczny jako trzecie kluczowe źródło pozyskiwania informacji o sieci i dysponując tymi trzema zintegrowanymi programami komputerowymi, to znaczy systemem GIS, systemem SCADA i modelem hydraulicznym, można realizować stosunkowo proste zadania wspomagające przede wszystkim sterowanie operacyjne siecią wodociągową, względnie można przejść do rozwiązywania bardziej złożonych zadań związanych z kompleksowym zarządzaniem siecią. W tym drugim przypadku są potrzebne pewne dodatkowe algorytmy wykonujące obliczenia optymalizacji, aproksymacji i modelowania matematycznego [5], jednak w każdym przypadku warunkiem koniecznym działań wspomagających zarządzanie jest zainstalowanie i uruchomienie w przedsiębiorstwie wodociągowym wymienionych, współpracujących ze sobą trzech programów. Spośród dodatkowych algorytmów umożliwiających komputerowe wspomaganie zarządzaniem siecią wodociągową szczególnie ważną rolę pełnią algorytmy optymalizacji.

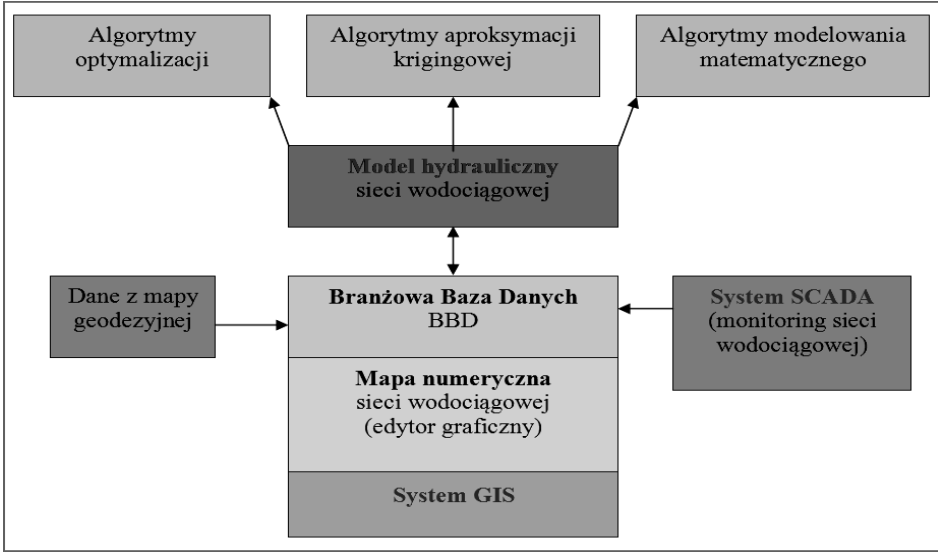
Proste zadania realizowane za pomocą jedynie systemów GIS, SCADA i modelu hydraulicznego, to na przykład obliczanie przepływów i ciśnień w sieci wodociągowej, wyznaczanie wieku wody lub obliczanie stężeń wybranych mediów w sieci, na przykład chloru. Złożone zadania realizowane z użyciem dodatkowych algorytmów, to na przykład optymalizacja parametrów sieci dla uzyskania założonych ciśnień w węzłach odbiorczych [4] lub sterowanie predykcyjne zespołami pompowymi w celu zmniejszenia zużywanej energii elektrycznej [10, 12].

4. Koncepcja zintegrowanego systemu informatycznego i jego funkcje

Uwzględniając przedstawione wyżej uwagi, opracowano w Instytucie Badań Systemowych (IBS) PAN koncepcję zintegrowanego systemu informatycznego do kompleksowego zarządzania miejskim systemem zaopatrzenia w wodę (rys. 3). System informatyczny składa się ze wspomnianych trzech kluczowych elementów dostarczających informacji o sieci wodociągowej i jej funkcjonowaniu, to znaczy z systemów GIS i SCADA oraz z modelu hydraulicznego, oraz z dodatkowych algorytmów optymalizacji, aproksymacji i modelowania matematycznego.

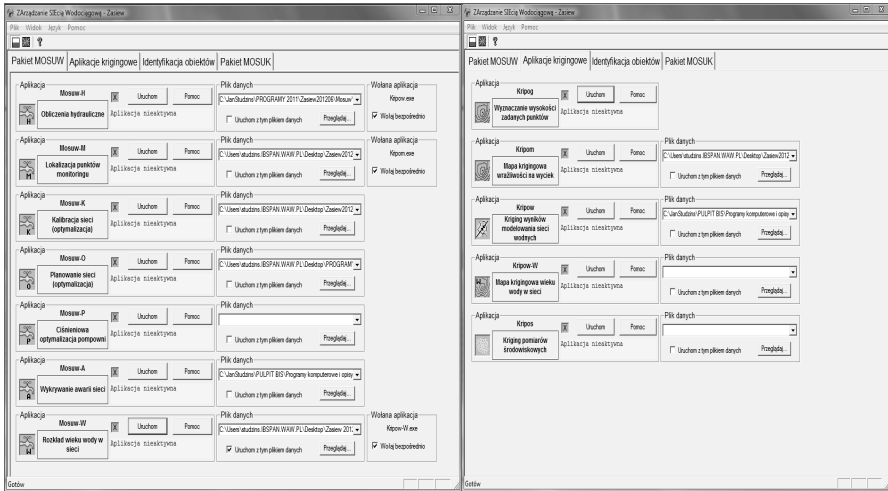
Interfejs opracowanego systemu (rys. 4) składa się z trzech zakładek: zakładki dla aplikacji hydrauliczno-optymalizacyjnych, dla aplikacji aproksymacyjnych i zakładki dla aplikacji wyznaczających modele matematyczne, nie pokazanej na rys. 4. Programy różnych zakładek mogą być uruchamiane niezależnie względnie współpracować ze sobą w ten sposób, że pliki wyjściowe jednego programu stają się automatycznie plikami wejściowymi innego programu.

W zakładce pierwszej znajdują się programy wykonujące takie działania, jak: obliczenia hydrauliczne sieci wodociągowej, kalibracja modelu hydraulicznego, optymalizacja sieci, sterowanie zestawami pompowymi w źródłach i przepompowniach sieci, planowanie systemu monitoringu, wykrywanie i lokalizacja stanów awaryjnych na sieci oraz obliczanie wieku wody (rys. 5).



Rys. 3. Struktura systemu informatycznego do kompleksowego zarządzania siecią wodociągową.

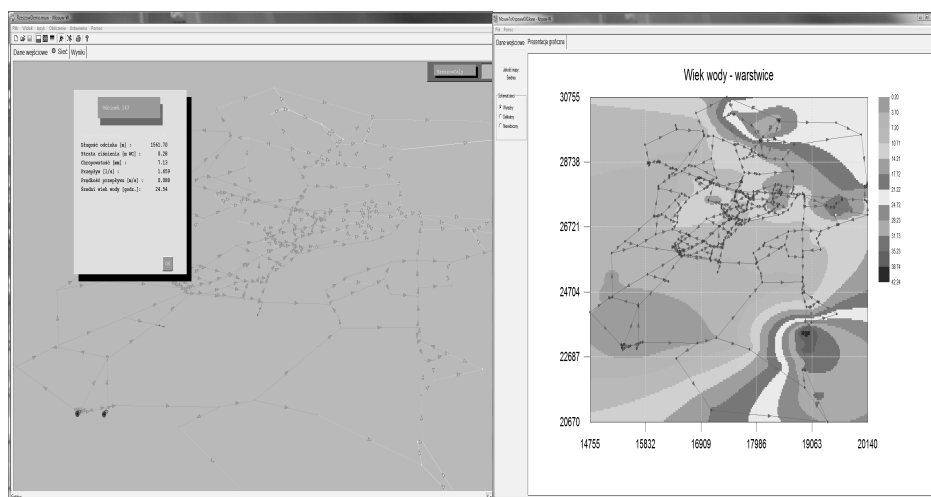
Fig. 3. Structure of the IT system supporting the complex management of a water network.



Rys. 4. Interfejs systemu informatycznego: zakładki dla aplikacji hydrauliczno-optymalizacyjnych (rysunek lewy) i dla aplikacji aproksymacyjnych.

Fig. 4. Interface of the IT system with the applications for optimization and hydraulic computing (on the left) and for approximation.

W zakładce drugiej znajdują się programy wyznaczające mapy rozkładów wartości wybranych parametrów sieci wodociągowej, takich jak: przepływów i ciśnień, wieku wody (rys. 5) czy miejsc wrażliwych sieci. Rozkłady wartości tych parametrów są wyznaczane na podstawie wyników obliczeń hydraulicznych, za pomocą algorytmów aproksymacji kringingowej [6]. W zakładce trzeciej znajdują się programy wyznaczania modeli procesów na podstawie szeregów czasowych za pomocą metod najmniejszych sumy kwadratów [9]. Za pomocą tych programów można obliczać prognozy obciążenia hydraulicznego sieci wodociągowej, wykorzystywane następnie przy wyznaczaniu sterowania predykcyjnego siecią.



Rys. 5. Ekran programu wyznaczającego wiek wody w sieci wodociągowej za pomocą modelu hydraulicznego (rysunek lewy) i ekran programu wyznaczającego rozkład wieku wody w sieci za pomocą aproksymacji kringingowej.

Fig. 5. Screens of the programs calculating the water age in the water net (on the left) and the water age distribution using the kriging approximation.

Przedstawiony system informatyczny ma otwartą budowę modułową, co oznacza, że stosunkowo prosto można go rozbudowywać o dalsze programy (moduły) realizujące kolejne zadania zarządzania siecią wodociągową. Takie prace są cały czas prowadzone w IBS PAN.

5. Problemy z wdrażaniem innowacyjnych rozwiązań informatycznych w przedsiębiorstwie wodociągowym

Przedstawiona koncepcja zintegrowanego systemu informatycznego do zarządzania siecią wodociągową nie jest zrealizowana w żadnym z krajowych przedsiębiorstw wodociągowych, w których informatyzacja następuje zwykle w sposób nie systemowy a cząstkowy i polega na kupowaniu i instalowaniu pojedynczych programów do wykonywania pojedynczych i niezależnych zadań. Podstawowe przyczyny tego stanu rzeczy są trzy: finansowa, organizacyjna i psychologiczna.

Uruchomienie systemu złożonego z kilkunastu programów i zaadoptowanie go warunków danego przedsiębiorstwa wodociągowego jest kosztowne i czasochłonne. Główne koszty dotyczą zainstalowania na sieci wodociągowej odpowiednio zaplanowanego systemu monitoringu, złożonego z co najmniej kilkunastu punktów pomiarowych i umożliwiającego automatyczną kalibrację modelu hydraulicznego sieci. Z kolei wdrażanie jest czasochłonne jest wprowadzanie danych o sieci wodociągowej do systemu GIS i tworzenie mapy numerycznej sieci, zdolnej do eksportu odpowiednich grafów obliczeniowych do modelu hydraulicznego.

Jednocześnie uruchamianie takiego systemu w przedsiębiorstwie wodociągowym jest złożonym przedsięwzięciem organizacyjnym, wymagającym dobrej i ścisłej współpracy zespołu wdrażającego z kadrą inżynieryjno-techniczną przedsiębiorstwa. Zespół wdrażający musi mieć charakter interdyscyplinarny i być złożony z informatyków, automatyków i programistów. Ponadto jego członkami powinni być nie tylko pracownicy jednostki naukowo-badawczej, w której powstała koncepcja systemu informatycznego i zostały opracowane odpowiednie algorytmy obliczeniowe, ale również pracownicy firm informatycznych zajmujących się rozwijaniem i implementacją systemów GIS i SCADA, adaptowanych do potrzeb systemu informatycznego. Stworzenie takiego interdyscyplinarnego zespołu i kierowanie nim jest trudnym zadaniem logistycznym, rozumianym jako złożony proces planowania, realizowania i kontrolowania.

Przyczyna psychologiczna dotyczy występującej na ogół niechęci kadry zarządzającej przedsiębiorstwem wodociągowym do angażowania się w przedsięwzięcia, które drogo kosztują, długo trwają, są złożone pod względem organizacyjnym i jednocześnie nie dają pełnej gwarancji uzyskania zaplanowanych rezultatów, ponieważ w dużej części mają charakter prac badawczo-rozwojowych. Dodatkowe elementy wzmacniające tą niechęć, to często występująca w branży niepełna wiedza na temat możliwości oferowanych przez nowoczesne technologie informatyczne w zakresie usprawnienia zarządzania siecią wodociągową, oraz nie zawsze możliwe do dokładnego oszacowania korzyści finansowe, które byłyby wynikiem wdrożenia kompletnego systemu informatycznego. Stosunkowo łatwo jest przewidzieć korzyści jakościowe przedsięwzięcia, polegające na łatwiejszym i sprawniejszym zarządzaniu siecią wodociągową, jednak korzyści jakościowe na ogół jest trudno przeliczyć na wskaźniki ilościowe, a te są zwykle decydujące przy podejmowaniu decyzji strategicznych przez zarząd przedsiębiorstwa wodociągowego.

6. Korzyści wynikające z informatyzacji przedsiębiorstwa wodociągowego

Wdrożenie w przedsiębiorstwie wodociągowym zintegrowanego systemu informatycznego do zarządzania siecią wodociągową przynosi niewątpliwe korzyści jakościowe, polegające na bezpośrednim i szybkim dostępie do informacji o sieci i stanie jej pracy, co z kolei pozwala łatwiej i sprawniej podejmować decyzje operatorskie związane ze sterowaniem siecią i również decyzje strategiczne związane z jej remontami, rozbudową itp. Jednak większą wygodą i łatwością w zarządzaniu siecią wodociągową w wyniku jej kompleksowej informatyzacji są argumentami mało przekonującymi dla zarządu przedsiębiorstwa, które zwykle domaga się argumentów ilościowych, w tym dokładnej specyfikacji korzyści finansowych. Wydaje się, że korzyści ilościowe wynikające z wdrażania przedstawionych rozwiązań informatycznych w przedsiębiorstwie wodociągowym mogą być przewidywane w odniesieniu do trzech następujących aspektów: spodziewanych i policzalnych oszczędności wody, energii i czasu.

W każdym przedsiębiorstwie wodociągowym notuje się straty wody wynikające z awarii sieci wodociągowej, w tym ukrytych wycieków niezauważalnych przez dłuższy okres czasu przez obsługę, oraz z kradzieży wody. Szczególnie dotyczy to dużych sieci o bardzo zróżnicowanej strukturze wiekowej i materiałowej. Straty te są łatwo policzalne, uwzględniając produkcję wody, jej sprzedaż i cenę 1 m^3 . Za pomocą prezentowanego systemu informatycznego można zmniejszać te straty, z jednej strony stosując programy do wykrywania i lokalizacji stanów awaryjnych, z drugiej strony generując optymalne plany inwestycyjne do rewitalizacji sieci wodociągowej, czyli wymiany lub remontów jej obiektów najbardziej podatnych na awarie i zawodnych. Badania przeprowadzone przez SINTEF [11] wykazują, że taka celowa rewitalizacja sieci wodociągowej może zmniejszyć jej awaryjność nawet o 40%, co wpłynie na istotną redukcję strat wody, przeliczalną na konkretne oszczędności finansowe w skali roku.

Redukcja strat wody oznacza również jej mniejsze zużycie i oszczędniejsze gospodarowanie zasobami wodnymi, co ma ważny aspekt proekologiczny stosowania zaawansowanych technologii informatycznych w przedsiębiorstwie wodociągowym.

Następny problem dotyczy energooszczędnego sterowania zespołami pompowymi w pompowniach i przepompowniach wody na sieci wodociągowej. W zależności od obciążenia sieci można tak sterować pompami, aby – w zależności od ich charakterystyk pracy – bieżące zużycie energii było jak najmniejsze. Przy wyznaczaniu odpowiedniego algorytmu sterowania można również uwzględniać kryterium w miarę równomiernego obciążania poszczególnych pomp w zestawie pompowym, aby przedłużyć ich żywotność, co oznacza, że problem dotyczy optymalizacji wielokryterialnej. Przedstawiony system informatyczny daje możliwości energooszczędnego sterowania pompami sieci wodociągowej. G. Waterworth podaje [12], że takie sterowanie może prowadzić do oszczędności energii elektrycznej na poziomie 2,5%. Biorąc pod uwagę rejestrowane zużycie energii na eksploatację sieci wodociągowej, można obliczyć, że daje to istotne oszczędności finansowe w skali roku.

Wreszcie kolejne i w tej specyfikacji ostatnie potencjalne źródło oszczędności wynikających ze stosowania systemu informatycznego w praktyce wodociągowej jest związane z wykorzystaniem systemu GIS jako szybko dostępnego źródła dokładnych informacji o sieci wodociągowej. Przedstawione dalej rozważania są oparte na doświadczeniach firmy Intergraph Polska zebranych w kilku przedsiębiorstwach wodociągowych pracujących z systemem GIS. Główne zastosowanie systemu GIS polega na dokumen-

towaniu sieci i udostępnianiu informacji zgromadzonych w branżowej bazie danych systemu przy wykonywaniu zadań związanych z rutynową eksploatacją sieci, na przykład podczas obsługi awarii, realizacji procesu przyłączania odbiorców czy prowadzeniu prac remontowych. Korzystanie z systemu GIS prowadzi do istotnej oszczędności czasowej w realizacji tych zadań, przeliczalnej na zaoszczędzone osobogodziny względnie etaty. Dane zgromadzone w systemie GIS są niezbędne i wykorzystywane podczas wykonywania, na przykład, następujących czynności:

- wydawania opinii na temat technicznych możliwości wykonania podłączenia do sieci wodociągowej w przypadku, gdy istnieje możliwość bezpośredniego podłączenia do sieci lub gdy wymagana jest budowa sieci;
- wydawania warunków technicznych na podłączenie się do sieci wodociągowej w przypadku, gdy istnieje możliwość bezpośredniego podłączenia się do sieci lub gdy konieczna jest rozbudowa istniejącej sieci lub budowa dodatkowych obiektów sieci;
- opiniowania i uzgadniania projektów technicznych, w tym projektu podłączenia wodociągowego oraz projektu sieci wodociągowej;
- wydawania zgody na przyłączenie do sieci;
- przygotowania i prowadzenia odbiorów technicznych przyłączy wody do nieruchomości oraz odbiorów sieci wodociągowej, w tym sprawdzania kompletności dokumentacji;
- sprawdzania i potwierdzania uzbrojenia wodociągowego na planie sytuacyjno-wysokościowym, zgodnie z branżową ewidencją sieci uzbrojenia terenu, oraz weryfikacji ewidencji i dokumentacji kartograficznej;
- udostępniania danych z branżowej ewidencji sieci uzbrojenia terenu do prowadzenia prac eksploatacyjnych i obsługi awarii.

Podstawą do obliczenia korzyści wynikających z wykorzystania systemu GIS jest oszacowanie, jak często są wykorzystywane dane dotyczące sieci wodociągowej i zarejestrowane w branżowej bazie danych i ile wynoszą liczby wybudowanych w skali roku przyłączy wodociągowych oraz liczby wykonanych przewodów sieci. Znając te oszacowania, można oszacować korzyści czasowe wynikające z faktu, że informacja zarejestrowana w systemie GIS jest dostępna na każdym stanowisku komputerowym działającym w wewnętrznej sieci LAN przedsiębiorstwa wodociągowego. Z szacunkowych obliczeń przeprowadzonych przez firmę Intergraph wynika, że uzyskane oszczędności czasowe na wykonanie pojedynczego zadania z przedstawionego wyżej przykładowego wykazu wynoszą przeciętnie kilkadziesiąt minut. Biorąc pod uwagę, że w przedsiębiorstwie wodociągowym każde z tych zadań jest wykonywane zwykle kilkaset razy w skali roku, można przewidzieć, że spodziewane łączne oszczędności czasowe wyniosą kilkaset osobodni, co oznacza, że uwolniony w ten sposób potencjał pracownicy będzie można wykorzystać do innych celów, związanych na przykład z obsługą zainstalowanych programów komputerowych.

Przedstawiona powyżej specyfikacja korzyści ilościowych, w tym finansowych, wynikających z zastosowania złożonego systemu informatycznego do kompleksowego zarządzania miejską siecią wodociągową, nie jest kompletna. Pokazuje ona jednak, że takie korzyści można obliczać w miarę dokładnie a nie odwoływać się jedynie do spodziewanych korzyści o charakterze jakościowym, związanych z wygodą stosowania nowoczesnych technologii informatycznych w przedsiębiorstwie wodociągowym i wynikającego z tego komfortu eksploatacyjnego przy zarządzaniu siecią wodociągową.

7. Uwagi końcowe

W artykule przedstawiono koncepcję zintegrowanego systemu informatycznego przeznaczonego do kompleksowego zarządzania miejskim systemem zaopatrzenia w wodę, omówiono jego strukturę i podstawowe funkcje. System jest oparty o trzy kluczowe elementy będące źródłem podstawowych danych dla wszystkich pozostałych programów systemu, wykonujących złożone zadania zarządzania siecią wodociągową. Te elementy, to system GIS, system SCADA i model hydrauliczny sieci wodociągowej. Omówiono problemy związane z opracowywaniem i implementacją zintegrowanych systemów informatycznych w krajowych przedsiębiorstwach wodociągowych oraz starano się pokazać korzyści, tak jakościowe, jak i przede wszystkim ilościowe, 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 wodociągową jest złożonym problemem organizacyjnym i logistycznym.
- Rozwiązanie tego problemu wymaga różnorodnych kwalifikacji zespołu wykonawczego, jest czasochłonne i związane z poważnymi kosztami.
- Zorganizowanie takiego zespołu wykonawczego w ramach jedynie przedsiębiorstwa wodociągowego jest praktycznie niemożliwe, kalkulowane koszty wydają się zwykle za wysokie a możliwe do uzyskania korzyści wątpliwe.
- 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 instalowane i użytkowane niezależnie i nie współpracujące ze sobą.
- Taki sposób informatyzacji przedsiębiorstw wodociągowych nie jest właściwy z powodu małej użyteczności takich rozwiązań.
- Właściwym kierunkiem postępowania jest tworzenie zintegrowanych systemów informatycznych do kompleksowego zarządzania przedsiębiorstwami wodociągowymi, co wymaga krzewienia w szerszym niż dotychczas zakresie wiedzy o użytecznych możliwościach takich systemów i również o wszechstronnych korzyściach, jakie wynikają z ich opracowywania, wdrażania i stosowania.

Bibliografia

- [1] Kaczmarek D.: *Stan komputeryzacji wodociągów krajowych w zakresie systemów monitoringu, mapy numerycznej i obliczeń hydraulicznych*. Raport IBS PAN, RB 11/2008, Warszawa 2008.
- [2] Kwietniewski M.: *GIS w wodociągach i kanalizacji*. PWN. Warszawa 2008.
- [3] Łomotowski J., Siwoń Z.: *Metodyka analizy danych pochodzących z monitoringu systemów wodociągowych i kanalizacyjnych*. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, nr 3/2010, 16-20.
- [4] Pawlak A.: *Modelowanie i optymalizacja układu dystrybucji wody*. Raport IBS PAN, RB 07/2008, Warszawa 2008.
- [5] Studziński J.: *Kompleksowe zarządzanie miejską siecią wodociągową w oparciu o systemy GIS, SCADA i modele matematyczne*. *Wodociągi i Kanalizacja*, 12(94)/2011, 36-39.
- [6] Studziński J.: *Application of kriging algorithms for solving some water nets management tasks*. *Enviroinfo* 2011. Ispra 2011.
- [7] Studziński J.: *SCADA do zarządzania miejskim systemem zaopatrzenia w wodę*. *Ochrona Środowiska*, 1/2012 (506) 26-30.
- [8] Studziński J.: *Planowanie systemu monitoringu wspomagającego zarządzanie miejską siecią wodociągową*. *PAR* 2/2012, 95-100.
- [9] Studziński J., Bartkiewicz L.: *Metody i programy wspomagające rozwiązywanie zadań modelowania i identyfikacji systemów*. *INSTAL*, 4A, 2009, 59-64.
- [10] Studziński J., Straubel R.: *Optymalizacja i sterowanie miejskiej sieci wodociągowej na podstawie modeli matematycznych*. „*Studia i Materiały PSZW*”, Tom 10, PSZW Bydgoszcz 2007.
- [11] Sveinung S.: *Computer Aided REhabilitation of Water networks*. Materiał demonstracyjny systemu CARE-W, SINTEF 2005.
- [12] Waterworth G.: *Efficiency modeling in the cost reduction of water pump maintenance*. In: *Quality, Reliability and Maintenance* (G. J. McNulty, ed.) *QRM'2002 International Conference*, Oxford 2002, 141-144
- [13] Żyła A.: *System monitoringu sieci wodociągowej w Rzeszowie*. Raport IBS PAN, RB 09/2008, Warszawa 2008.