

Barbara TCHÓRZEWSKA-CIEŚLAK¹
Dawid SZPAK²

ZARZĄDZANIE MIEJSKĄ INFRASTRUKTURĄ WODOCIĄGOWĄ

W pracy scharakteryzowano zasady zarządzania miejską infrastrukturą wodociągową ze szczególnym uwzględnieniem informatyzacji przedsiębiorstw wodociągowych. Wskazano na konieczność wyposażenia polskich przedsiębiorstw wodociągowych w nowoczesne systemy informatyczne wspomagające operatora oraz na ich możliwości rozwoju. Opisano poszczególne programy informatyczne wykorzystywane najczęściej przez przedsiębiorstwa wodociągowe oraz korzyści wynikające z ich stosowania. Szczegółowo opisano system monitoringu jako jeden z najistotniejszych dla właściwej kontroli pracy systemu wodociągowego. Przedstawiono sposoby rozmieszczania punktów pomiarowych oraz wykorzystywania pozyskanych danych i zadania, do jakich można je stosować. Opisano także sposób zastosowania systemu *Geographic Information System* (GIS), Epanet oraz *System of Control and Data Analysis* (SCADA) przeznaczone do eksploatacji systemu wodociągowego. W pracy odniesiono się również do korzyści płynących z kompleksowego funkcjonowania poszczególnych modułów. Stwierdzono, że dopiero zintegrowane działanie kilku programów daje operatorowi pełną kontrolę pracy systemu wodociągowego i ograniczenie ryzyka podejmowania decyzji. W pracy opisano system zbiorowego zaopatrzenia w wodę (SZZW) dla miasta Rzeszowa oraz scharakteryzowano system zintegrowanego zarządzania SZZW w Rzeszowie jako przykład efektywnego i nowoczesnego sposobu zarządzania. System ten składa się z takich programów, jak: GIS, SCADA, *Customer Information System* (CIS), model matematyczny sieci wodociągowej oraz zespolony z nim algorytm optymalizacji wielokryterialnej. System ten stwarza operatorowi optymalną możliwość kontroli pracy sieci wodociągowej, wychwytywania i właściwego reagowania w przypadku wystąpienia awarii, a także planowania modernizacji i rozbudowy systemu zaopatrzenia w wodę.

Słowa kluczowe: zarządzanie, miejska infrastruktura wodociągowa, SCADA, GIS, Epanet

¹ Autor do korespondencji/ corresponding author: Barbara Tchórzewska-Cieślak, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. 17 8651435, cbarbara@prz.edu.pl

² Dawid Szpak, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. 17 8651427, dsz@prz.edu.pl

1. Wprowadzenie

Infrastruktura wodociągowa jest to zespół obiektów, których współdziałanie zapewnia niezawodną i efektywną pracę systemu zbiorowego zaopatrzenia w wodę (SZZW) [1]. W skład infrastruktury wodociągowej wchodzi:

- ujęcie wody,
- pompownia I stopnia,
- stacja uzdatniania wody (SUW),
- pompownia II stopnia,
- sieć,
- zbiorniki wodociągowe.

Podstawowym zadaniem infrastruktury wodociągowej jest dostarczenie do odbiorców wody w odpowiedniej ilości, jakości oraz pod odpowiednim ciśnieniem w dowolnym czasie. Spełnienie tych wymagań wraz z ciągłym rozwojem i rozbudową poszczególnych elementów SZZW staje się coraz bardziej skomplikowane i wymaga sprawnego zarządzania. Zarządzanie infrastrukturą wodociągową opiera się przede wszystkim na zdalnym sterowaniu i nadzorowaniu. Każdy SZZW charakteryzuje się odmiennością wynikającą z uwarunkowań przestrzennych, technicznych i organizacyjnych. Z tego też powodu nie można mówić o jednym uniwersalnym systemie zarządzania infrastrukturą wodociągową, a raczej o przystosowaniu układu zdalnego sterowania do potrzeb firmy zarządzającej wodociągiem. Przystosowanie to powinno uwzględniać różnorodność obiektów i ich usytuowanie w mieście oraz zapewniać operatorom zarówno swobodny dostęp do infrastruktury, jak i bezkolizyjny przepływ informacji. Należy przy tym pamiętać o zapewnieniu odpowiedniej łączności operatorom poszczególnych systemów, ponieważ niekiedy są oni od siebie znacznie oddaleni [2].

Zarządzanie infrastrukturą wodociągową pod kątem niezawodności ma na celu właściwą, bezawaryjną eksploatację lub szybką identyfikację i usunięcie awarii. Awaria techniczna jest to niespodziewane, gwałtowne uszkodzenie lub zniszczenie obiektu budowlanego, elementu infrastruktury technicznej lub całego systemu uniemożliwiające jego funkcjonowanie lub powodujące utratę właściwości [3]. Awarie, jakie mogą wystąpić w SZZW, to głównie [4]:

- awarie przewodów i armatury wodociągowej,
- awarie pompowni wodociągowych,
- zdarzenia incydentalne (m.in. zanieczyszczenie wody) skutkujące przerwą w dostawie wody do odbiorców,
- wtórne zanieczyszczenie wody w przewodach.

Źródłem zdarzenia typu awaryjnego w SZZW może być człowiek, technika lub środowisko. Wystąpienie awarii jest niepożądane i może powodować zagrożenie dla zdrowia i życia ludzi, degradację środowiska naturalnego oraz znaczne straty gospodarcze. Z tego powodu zarządzanie SZZW stanowi niezwykle istotny element i powinno umożliwiać identyfikację zagrożeń, określenie przyczyn

pojawienia się zdarzeń niepożądanych, miejsc ich występowania, a także strat związanych z zajściem zdarzenia niepożądanego [3]. Przyczynami zdarzeń typu niepożądanego, które można w pewnym zakresie ograniczyć, są przede wszystkim błędy popełnione przez ludzi oraz brak wprowadzenia systemowej modernizacji. Do błędów człowieka należą błędy popełnione na etapie projektowania (np. niewłaściwa koncepcja, zły dobór armatury, automatyki), wykonawstwa (np. odstępstwa od projektu, niewłaściwe wykonanie połączeń rur) oraz eksploatacji (np. brak monitoringu). Opisany w pracy zintegrowany system zarządzania SZZW pozwoli na ograniczenie ryzyka wystąpienia tych błędów, a przez to na zwiększenie niezawodności funkcjonowania tego systemu [5].

Ze względu na złożoność SZZW oraz fakt, że jest on często zaopatrywany z kilku źródeł zasilania ma się do czynienia ze skomplikowanym sterowaniem jego pracą. Wraz z rozwojem informatyki pojawiły się nowe rozwiązania, znacznie ułatwiające eksploatację infrastruktury wodociągowej. Informatyzacja przedsiębiorstw wodociągowych przebiega powoli. Głównymi przyczynami takiego stanu rzeczy są: brak wystarczającej wiedzy przedsiębiorstw wodociągowych na temat korzyści płynących z funkcjonowania nowoczesnych systemów informatycznych oraz wysokie koszty ich wdrażania. W rezultacie przedsiębiorstwa niechętnie decydują się na kosztowne modernizacje. Aby nowe technologie zarządzania mogły się rozwijać, potrzebne jest duże zaangażowanie kierownictwa, załogi oraz zmiany w organizacji firmy. Do rzadkości należy wprowadzanie zintegrowanych systemów zarządzania siecią wodociągową, natomiast praktykowane jest wdrażanie pojedynczych, niepowiązanych ze sobą programów wspomagających eksploatację systemu wodociągowego. Taka informatyzacja nie jest dobrym rozwiązaniem, gdyż powoduje nadmierny rozrost kadry, co nie przekłada się na jakość zarządzania ze względu na funkcjonowanie kilku programów różnych firm obsługiwanych przez niezależne osoby [6].

Praktycznie wszystkie większe przedsiębiorstwa wdrożyły już system GIS, w wielu instaluje się system monitoringu oraz modele hydrauliczne sieci wodociągowej. Wadą takiego rozwoju przedsiębiorstw wodociągowych jest to, że działania te są podejmowane niezależnie i systemy te nie współpracują ze sobą. Mapa numeryczna stworzona za pomocą systemu GIS służy do wizualizacji sieci i wykonywania analiz przestrzennych oraz stanowi źródło informacji technicznych, technologicznych i graficznych o sieci. Do analiz, które można wykonać za pomocą systemu GIS, zalicza się np. określenie lokalizacji oraz zasięgu działania hydrantów w danym obszarze miasta. Informacja ta jest istotna dla jednostki straży pożarnej przygotowującej się do gaszenia pożaru.

Stosowany autonomicznie algorytm wykrywania niepożądanych stanów polega na wyznaczeniu charakterystycznych krzywych ciśnienia i przepływu w poszczególnych węzłach i zestawieniu ich z bieżącymi parametrami. Awarię stwierdza się wówczas, gdy krzywa zmierzona znacznie się różni od krzywej standardowej. Natomiast stosowany coraz powszechniej model hydrauliczny służy do wyznaczenia aktualnych ciśnień we wszystkich odcinkach i węzłach

sieci. Prawidłowo przeprowadzone obliczenia stanowią bardzo ważne źródło informacji o pracy sieci wodociągowej.

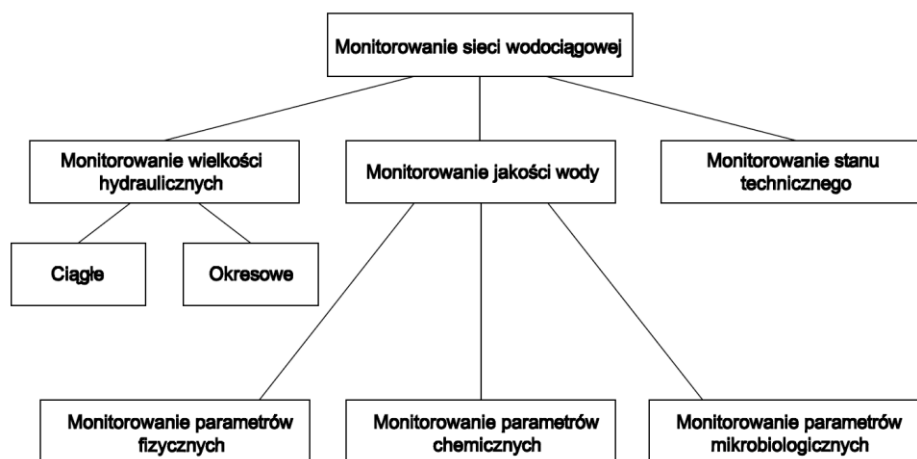
Mimo że praca pojedynczych, niezależnych programów służących do zarządzania infrastrukturą wodociągową często daje określone efekty, to jednak dopiero ich współpraca umożliwia pełne wykorzystanie możliwości płynących z ich stosowania [6]. Głównym celem pracy jest charakterystyka programów przeznaczonych do zarządzania infrastrukturą wodociągową oraz ukazanie korzyści płynących z ich zintegrowanego działania.

2. Monitoring miejskiej infrastruktury wodociągowej

Definicja monitoringu sieci wodociągowej jest następująca: *monitorowanie sieci wodociągowej (kanalizacyjnej) to system pomiarów i analiz dotyczących stanu funkcjonalnego i technicznego sieci w celu uzyskania wiarygodnych podstaw do zarządzania eksploatacją sieci i jej modernizacji* [7].

W zależności od rodzaju pozyskiwanych informacji system monitoringu dzieli się na (rys. 1.):

- monitoring ilościowy – natężenie i prędkość przepływu, ciśnienie,
- monitoring jakościowy – jakość i skład wody,
- monitoring techniczny – inspekcja sieci, badania techniczne.



Rys. 1. Schemat klasyfikacji monitoringu sieci wodociągowej, na podstawie [7]

Fig. 1. The scheme of water supply system monitoring classification, based on [7]

Lokalizacja punktów pomiarowych powinna być tak wykonana, aby możliwa była realizacja następujących zadań na poszczególnych elementach SZZW [7]:

- ujęcie wody – badanie jakości wody,
- pompownia I stopnia – pomiar natężenia przepływu, ciśnienia,
- SUW – badanie jakości wody,
- pompownia II stopnia – pomiar natężenia przepływu, ciśnienia,
- sieć – pomiar natężenia przepływu (na głównych magistralach), ciśnienia, jakości wody (na końcówkach sieci),
- zbiorniki wodociągowe – pomiar napelnienia, jakości wody.

Taki rozbudowany system monitoringu umożliwia określenie: wydajności ujęcia oraz SUW, objętości wody przepływającej przez główne magistrale sieci wodociągowej, lokalizacji wystąpienia awarii i jej skutków, niezawodności funkcjonowania systemu oraz słabych punktów SZZW [2]. W związku ze spadkiem zużycia wody przedsiębiorstwa wodociągowe szukają sposobu na ograniczenie kosztów ujmowania, uzdatniania i dystrybucji wody. Obecnie najbardziej skuteczną metodą zmniejszenia kosztów jest ograniczenie strat wody. Straty wody w 80-100% są związane z wyciekami w sieci zewnętrznej. W celu ograniczenia strat należy prowadzić systematyczne naprawy, modernizację oraz kontrolę pracy SZZW. Właściwe funkcjonowanie monitoringu pozwoli zatem na ograniczenie strat wody, co znacznie wpłynie na zmniejszenie kosztów eksploatacji SZZW [8].

Właściwa organizacja monitoringu sieci wodociągowej umożliwia uzyskanie podstawowych informacji o sieci oraz optymalne zarządzanie siecią wodociągową. Idealnym rozwiązaniem byłoby zlokalizowanie punktów pomiarowych na każdym węźle i odcinku. Taki monitoring dawałby operatorowi pełną wiedzę o aktualnym rozkładzie ciśnień i przepływów w sieci oraz umożliwiłby łatwą i precyzyjną reakcję na wystąpienie stanów nietypowych. Z powodu ograniczeń ekonomicznych takie rozwiązanie jest niemożliwe do zrealizowania. Projektując system monitoringu, należy więc rozmieścić punkty pomiarowe w taki sposób, aby uzyskać maksimum informacji przy akceptowalnych kosztach [9]. W praktyce punkty pomiarowe są lokalizowane na ujęciach, stacjach uzdatniania wody, przy pompowniach, zbiornikach oraz w charakterystycznych punktach sieci (najczęściej na magistralach).

Dane pozyskane z punktów pomiarowych trafiają do dyspozytorni SZZW. Do przesyłu danych najczęściej wykorzystuje się transmisję danych *General Packed Radio Service* (GPRS) za pomocą sieci *Global System for Mobile Communications* (GSM) jednego z operatorów. W zależności od wymagań operatora oraz ważności punktu pomiarowego częstotliwość transmisji wynosi od kilku sekund do kilku pomiarów w ciągu doby [2]. Działanie systemu GPRS jest oparte na tzw. komutacji pakietów, dzięki której informacja po podzieleniu na części (pakiety) opatrzona odpowiednimi adresami poprzez sieć GPRS trafia do kilku użytkowników. Pakiety u odbiorcy są łączone tak, aby można było je w łatwy sposób odczytać i zrozumieć. Zaletą systemu GPRS jest jego rozległy zasięg, niskie koszty wdrożenia, brak ograniczeń terenowych oraz krótki czas reakcji [7].

Na komputerze w dyspozytorni jest zainstalowane oprogramowanie SCADA. Dane pozyskiwane za pomocą tego oprogramowania służą najczęściej do bieżącej kontroli pracy sieci i po archiwizacji nie są wykorzystywane do innych celów. Monitoring zaprojektowany jako system obejmujący całą sieć i zintegrowany z innymi programami może jednak służyć do realizacji takich zadań, jak [9]:

- kalibracja modelu hydraulicznego,
- wykrywanie stanów awaryjnych,
- wykrywanie niespodziewanych poborów wody,
- określanie modeli prognozujących obciążenie systemu zaopatrzenia w wodę,
- kontrola prędkości przepływu wody w systemie.

Monitoring może być więc realizowany przez przedsiębiorstwo wodociągowe jako samodzielny system. Rozwiązanie takie przy odpowiednim prowadzeniu umożliwia zarządzanie siecią wodociągową na określonym, często niewystarczającym poziomie. Jednak pełny potencjał danych pozyskanych z systemu monitoringu będzie wykorzystany przez wprowadzenie do przedsiębiorstwa kompleksowego systemu wspomagania decyzji. Aby system monitoringu mógł być w pełni zastosowany, powinien być zespolony z modelem hydraulicznym sieci, mapą numeryczną sieci, modelem prognozowania obciążenia sieci oraz algorytmami optymalizacji i sterowania siecią. Dopiero taki kompleksowy system zarządzania umożliwia operatorowi właściwą ocenę sytuacji i ogranicza ryzyko popełnienia błędu w podejmowaniu decyzji. Jednym z miast, w którym system monitoringu został już wdrożony i jest stale rozwijany, jest Rzeszów. Ciągły rozwój informatyki oraz coraz większa świadomość przedsiębiorstw wodociągowych powodują, że proces informatyzacji w przedsiębiorstwach wodociągowych będzie postępował, a samo zarządzanie będzie na coraz wyższym poziomie [9].

3. Programy stosowane w zarządzaniu infrastrukturą wodociągową

Geographic Information Systems (GIS)

System GIS jest to komputerowy system do zdobywania, obróbki i prezentacji danych w przestrzennym odniesieniu do powierzchni ziemi. Mimo że jego wdrożenie jest bardzo czasochłonne i kosztowne, ze względu na znaczne korzyści płynące z jego funkcjonowania został on wdrożony we wszystkich większych przedsiębiorstwach wodociągowych. Optymalnym rozwiązaniem jest jego współpraca z systemem monitoringu oraz modelowania sieci [10].

Użytkowanie systemu GIS umożliwia przedsiębiorstwu wodociągowemu pozyskanie nowych informacji, które do tej pory były niedostępne. Należą do nich np. przestrzenny rozkład awarii, ich częstość, określenie zasięgów oddzia-

ływania awarii. System GIS umożliwia zlokalizowanie danego obiektu na mapie i poprzez to zebranie potrzebnych atrybutów obiektu. Pozwala to także na wykorzystanie systemu GIS jako narzędzia wspomagającego pracę pogotowia wodociągowego. Na mapie numerycznej można wyznaczyć zasięg skutków awarii czy zasuwy, które należy zamknąć, aby maksymalnie ograniczyć skutki awarii. Przestrzenne zlokalizowanie deficytów wody umożliwia właściwe usytuowanie beczkowozów zaopatrujących ludność w wodę w czasie awarii.

W bazie GIS jest opisywana struktura sieci, jej dane techniczne oraz rozbiory wody. Baza jest aktualizowana, dzięki czemu model stworzony za pomocą tego oprogramowania również jest aktualny. GIS umożliwia wizualizację obliczeń symulacyjnych wykonanych w modelu, co stanowi duże ułatwienie dla operatora systemu wodociągowego. Także wyniki monitoringu sieci wodociągowej trafiają do bazy danych będącej elementem programu GIS, gdzie mogą być przetworzone oraz zobrazowane. Celem współdziałania monitoringu z modelem hydraulicznym jest zarówno odpowiednia kalibracja modelu z wykorzystaniem danych pomiarowych, jak również określenie lokalizacji stanowisk pomiarowych za pomocą wyników symulacji pracy sieci [11].

Epanet

Stworzenie odpowiednio skalibrowanego, dynamicznego modelu hydraulicznego wspomaga kontrolę pracy SZZW, a także umożliwia regulację przepływów i ciśnień w sieci, co w rezultacie pozwala na racjonalną eksploatację systemu oraz jego modernizację lub rozbudowę. Operator sieci ma możliwość przeprowadzenia symulacji dowolnego stanu SZZW, co pozwala na uzyskanie informacji o parametrach pracy sieci w dowolnych warunkach, na analizę sytuacji kryzysowych i optymalizację zarządzania SZZW [12]. Jednym z najczęściej stosowanych programów służących do komputerowego modelowania sieci wodociągowej jest Epanet. Program ten został stworzony przez Agencję Ochrony Środowiska USA (EPA) i służy do wykonywania hydraulicznych symulacji oraz zachowań wody w przewodach ciśnieniowych. Epanet jest programem darmowym i posiada prosty interfejs, dzięki czemu jest powszechnie wykorzystywany na całym świecie. Zastosowane w programie algorytmy obliczeniowe są odpowiednie dla właściwego modelowania sieci wodociągowej. Także wiele płatnych aplikacji korzysta z algorytmów obliczeniowych stosowanych w Epanecie. Program Epanet umożliwia przeprowadzenie symulacji pracy sieci, w tym śledzenia przepływów wody i ciśnienia, oraz określenie wieku wody [13]. Program posiada dużą liczbę narzędzi służących do analizy danych oraz wyników, które pozwalają na edycję danych i wyników wyświetlonych na ekranie, przedstawienie tabelaryczne wyników, ich prezentację na wykresach, poszukiwanie wybranych obiektów, zmianę skali analizowanej mapy, jej przesuwanie oraz animację stanów sieci wodociągowej. Jako programy do komputerowego modelowania sieci wodociągowej wykorzystuje się też często stosowany w Niemczech program Stanet oraz WaterCAD.

Stosowanie programów przeznaczonych do komputerowego modelowania sieci wodociągowych niesie za sobą wiele korzyści, z których najważniejsze to: oszczędności wynikające z zaniechania niewłaściwych z punktu widzenia technicznego inwestycji, wspomaganie organizacji wyłączeń remontowanych odcinków z użytkowania, ograniczenie kosztów eksploatacyjnych poprzez efektywne sterowanie pracą pompowni, zapewnienie pełnej wiedzy w czasie rzeczywistym o takich parametrach, jak ilość i jakość wody dostarczanej do odbiorców [12].

System of Control and Data Analysis (SCADA)

Zadaniem systemu SCADA jest zebranie i przetwarzanie danych pochodzących z monitoringu, wizualizacja procesu, sterowanie nadrzędne, alarmowanie i rejestracja zdarzeń, archiwizacja danych oraz udostępnianie informacji o procesie. SCADA dostarcza operatorowi informacje o bieżącym stanie SZZW, które są przedstawiane na ekranie synoptycznym. W programie tym są dostępne okna i przyciski sterowania, a także okna alarmów aktywnych i historycznych, wykresy oraz raporty bieżące [7]. Aby wyświetlane obrazy były proste i czytelne dla operatora, należy przyjąć następującą kolorystykę dla poszczególnych stanów: praca – kolor zielony, stop – kolor czarny. Bardzo ważnym elementem systemu SCADA jest funkcja „alarm”, który powinien być wyeksponowany w postaci czerwonego okna z informacją o rodzaju zagrożenia. Szczególnie niebezpieczne alarmy powinny posiadać także sygnał dźwiękowy. Informacje alarmowe, takie jak początek i koniec alarmu czy priorytet alarmu, powinny być zapisywane na dysku. Umożliwi to późniejszą analizę stanu alarmowego i pozwoli na zmniejszenie ryzyka wystąpienia podobnej sytuacji w przyszłości. Oprócz zapisu sytuacji alarmowych system SCADA ma także możliwość archiwizowania danych pochodzących z normalnej eksploatacji [14]. Komunikacja pomiędzy oprogramowaniem SCADA a sterownikiem jest realizowana za pomocą łączy szeregowych lub sieci lokalnych. Program komunikacji oraz właściwa karta interfejsu zapewniają dwukierunkową wymianę danych. System SCADA powinien mieć możliwość obsługi urządzeń z różnymi protokołami komunikacyjnymi. Oprócz tego oprogramowanie SCADA powinno cechować się skalowalnością i możliwością współpracy z innymi systemami. Najpopularniejsze systemy SCADA to pakiety Monitor Pro, TelWin, program InTouch oraz oprogramowanie iFIX, WinCE, Wizcon i RSView [7].

4. Przykład systemu zarządzania infrastrukturą wodociągową

Charakterystyka systemu wodociągowego Rzeszowa

Rzeszów jest zaopatrywany w wodę za pomocą ujęcia brzegowo-komorowego zlokalizowanego na rzece Wisłok w południowej części miasta. Wydajność ujęcia wynosi 84 tys. m³/d, przy czym średniodobowy pobór wody kształtuje się na poziomie ok. 34,6 tys. m³/d. Analizowana sieć wodociągowa aktual-

nie zaopatruje ok. 190 tys. mieszkańców Rzeszowa i pobliskich miejscowości. Pobrana woda jest uzdatniana w Zakładzie Uzdatniania Wody (ZUW) Zwięczyca I oraz Zwięczyca II [4].

W skład systemu wodociągowego Rzeszowa oprócz ZUW wchodzi także [15]:

- awaryjne ujęcie wody podziemnej na ul. Mazowieckiej – 240 m³/d,
- lokalne ujęcie wody na osiedlu Słocina – 465 m³/d,
- 32 hydrofornie,
- 11 zbiorników wyrównawczych wody czystej – 34,4 tys. m³,
- 186 studni publicznych oraz 10 źródeł ulicznych.

Za prawidłową eksploatację SZZW odpowiada Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji w Rzeszowie. Sieć wodociągowa Rzeszowa ma łączną długość ok. 894,1 km i opiera się głównie na 4 magistralach rozprowadzających wodę na terenie miasta. Sieć współpracuje z jedenastoma zbiornikami wody czystej usytuowanymi w zachodniej oraz wschodniej części miasta (Krakowska Południe, Pobitno Słocina, Słocina Roch, Pustki). W 80% sieć pracuje w układzie zamkniętym [4, 15].

Zintegrowany system zarządzania infrastrukturą wodociągową na przykładzie wodociągu rzeszowskiego

Operator systemu wodociągowego Rzeszowa jest wspomagany nowoczesnym oprogramowaniem, umożliwiającym właściwą eksploatację wodociągu oraz stanowiącym pomoc przy projektowaniu, modernizacji oraz rozbudowie sieci wodociągowej. Stosowany przez Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji w Rzeszowie system składa się z następujących modułów [16]:

- *Geographical Information System (GIS)* – generowanie mapy numerycznej wodociągu,
- *System of Control and Data Analysis (SCADA)* – monitoring sieci,
- *Customer Information System (CIS)* – dostarczanie informacji o ilości zużywanego wody przez odbiorców,
- model matematyczny sieci wodociągowej oraz zespolony z nim algorytm optymalizacji wielokryterialnej.

Każdy z tych modułów jest niezbędny do prawidłowego zarządzania infrastrukturą wodociągową. Ich współdziałanie zapewnia kompleksowość funkcjonowania. Za pomocą programu G/Water jest generowana mapa numeryczna służąca głównie do komputerowej wizualizacji sieci. Na podstawie tej mapy nie można jednak przeprowadzić obliczeń hydraulicznych. Graf geodezyjny utworzony za pomocą systemu G/Water charakteryzuje się licznymi nieciągłościami oraz nie obrazuje węzłów sieci. W związku z tym w celu uzyskania zadowalających efektów program jest modyfikowany poprzez sprawdzenie ciągłości grafu, wyrównywanie niedociągnięć, tworzenie za pomocą systemu G/Water grafu topologicznego sieci i stworzenie w branżowej bazie danych grafu hydraulicznego

będącego podstawą do obliczeń hydraulicznych, niezbędnych z punktu widzenia efektywnej eksploatacji systemu wodociągowego [16].

Kolejnym modułem (SCADA) wchodzącym w skład systemu zarządzania infrastrukturą wodociągową w Rzeszowie jest narzędzie służące do monitoringu sieci. Oprócz niego w skład systemu monitoringu wchodzi punkty pomiarowe, system transmisji danych do systemu SCADA oraz system archiwizacji i przetwarzania danych. Na potrzeby monitoringu rozmieszczono 30 punktów pomiarowych na sieci wodociągowej Rzeszowa, głównie w źródłach, pompowniach, zbiornikach oraz na końcówkach sieci. Dane z monitoringu są wykorzystywane do weryfikacji wyników obliczeń hydraulicznych, ciągłej obserwacji pracy sieci oraz wychwytywania stanów nietypowych pracy systemu. Każdy z punktów pomiarowych ma określoną krzywą przepływów i ciśnień, co jest na bieżąco porównywane z wynikami pomiarów monitoringu. Stan nietypowy jest automatycznie sygnalizowany, co umożliwia szybkie wychwytywanie awarii i skuteczną interwencję operatora.

Model matematyczny sieci wodociągowej jest stosowany do obliczeń hydraulicznych. Przed ich przeprowadzeniem dokonuje się kalibracji modelu za pomocą danych z monitoringu. Natomiast w razie rozbudowy bądź renowacji systemu konieczna jest rekalkulacja modelu, ponieważ zmianie ulegną parametry sieci. Dane wykorzystywane do obliczeń hydraulicznych pochodzą z Branżowej Bazy Danych GIS-u, która jest źródłem technicznych, technologicznych i ekonomicznych danych o sieci wodociągowej. Dane te są wykorzystywane przez każdy z programów systemu informatycznego. Również wyniki pracy tych programów są zapisywane w branżowej bazie danych. Prawidłowo określony model sieci wodociągowej umożliwia wyznaczenie przepływów oraz ciśnień w węzłach, dzięki czemu operator posiada średnie informacje o bieżącym stanie pracy sieci. Obliczenia przeprowadza się dla średniobowego rozbioru lub dla krzywej rozkładu godzinowego. Obliczenia hydrauliczne mogą dotyczyć całej sieci lub jej fragmentu [16].

Model hydrauliczny sieci wodociągowej jest stosowany także do zadań optymalizacyjnych. Połączenie dwóch programów, tj. modelu hydraulicznego oraz algorytmu optymalizacji, umożliwia optymalizację sieci wodociągowej, właściwą renowację lub rozbudowę i sterowanie siecią. Algorytm optymalizacji wielokryterialnej umożliwia sformułowanie nawet 10 celów technicznych i ekonomicznych. Problemy związane ze sterowaniem siecią wodociągową rozwiązuje się, korzystając z krzywej rozbiorów godzinowych. W przypadku rozbudowy lub modernizacji sieci stosuje się maksymalne rozbiory węzłowe. Wyniki tych symulacji są wykorzystywane do stworzenia scenariuszy pracy pompowni oraz zbiorników pozwalających na uzyskanie wymaganych ciśnień w węzłach przy możliwie niskich kosztach eksploatacji pomp.

W skład systemu informatycznego oprócz opisanego modelu matematycznego i systemu optymalizacyjnego wchodzi także programy posiadające algorytmy aproksymacji kringowej: Kringing Pomiarów Geodezyjnych (KRIPOG)

i Kripping Pomiarów Wodociągowych (KRIPOW). Pierwszy z nich służy do wyznaczenia wysokości geodezyjnej węzłów, drugi zaś – do wyznaczenia map rozkładów przepływów oraz ciśnień w sieci wyznaczonych za pomocą modelu hydraulicznego. Przedstawienie odpowiednich informacji na mapie umożliwia szybką i intuicyjną ocenę parametrów pracy sieci. Operator może łatwo wyodrębnić obszary ze zbyt dużym lub zbyt małym ciśnieniem i odpowiednio zareagować [16].

5. Podsumowanie

1. System zarządzania infrastrukturą wodociągową nie może się opierać jedynie na doświadczeniu operatora, lecz powinien być wspomagany za pomocą programów informatycznych. Nowoczesne systemy informatyczne umożliwiają operatorom zarówno prowadzenie coraz efektywniejszej eksploatacji, jak również szybką i precyzyjną reakcję w przypadku wystąpienia stanu nietypowego. Dzięki temu zwiększa się jakość świadczonych usług przez przedsiębiorstwo wodociągowe oraz bezpieczeństwo systemu zbiorowego zaopatrzenia w wodę do spożycia.
2. W przedsiębiorstwach wodociągowych stosuje się już w większości pojedyncze programy wspomagające zarządzanie SZZW. Przykładowo, większość dużych wodociągów w Polsce posiada system GIS oraz system monitoringu. Korzyści płynące z ich stosowania są zauważalne, jednak dopiero powiązanie ze sobą określonej grupy programów informatycznych umożliwia przedsiębiorstwu wodociągowemu pełną kontrolę pracy systemu wodociągowego i ograniczenie ryzyka przy podejmowaniu decyzji.
3. Przedsiębiorstwa wodociągowe powinny dążyć do wdrożenia zintegrowanego systemu zarządzania. Jednym z miast, gdzie został on już wdrożony i jest stale rozwijany, jest Rzeszów. System składający się z takich modułów, jak GIS, SCADA, CIS i model matematyczny sieci wodociągowej oraz zespolony z nim algorytm optymalizacji wielokryterialnej, pozwala na stworzenie mapy numerycznej, na optymalizację systemu, automatyczną sygnalizację stanów nietypowych oraz wyznaczenie map rozkładów przepływów i ciśnień. Realizacja tych zadań bez współpracy wymienionych programów jest niemożliwa i dopiero ich kompleksowe działanie można uznać za optymalne dla zarządzania infrastrukturą wodociągową. W rezultacie wdrożenie zintegrowanego systemu zarządzania przynosi przedsiębiorstwu wodociągowemu znaczne korzyści techniczne oraz ekonomiczne.

Literatura

- [1] Knapik K., Bajer J.: Wodociągi. Wydaw. Politechniki Krakowskiej, Kraków 2010, s. 11-13.
- [2] Rak J.: Podstawy bezpieczeństwa systemów zaopatrzenia w wodę. Polska Akademia Nauk, Komitet Inżynierii Środowiska, Lublin 2005, s. 187-196.

- [3] Rak J. i in.: Metody oceny niezawodności i bezpieczeństwa dostawy wody do odbiorców. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2013, s. 23-25.
- [4] Tchórzewska-Cieślak B.: Metody analizy i oceny ryzyka awarii podsystemu dystrybucji wody. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2011, s. 25-28, 149-151.
- [5] Tchórzewska-Cieślak B.: Systematyka stanów i cech związanych z eksploatacją systemu zaopatrzenia w wodę. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Budownictwo i Inżynieria Środowiska. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, nr 241, z. 43/2007, s. 107-114.
- [6] Studziński J.: Narzędzia informatyzacji miejskich sieci wodociągowych. Wodociągi – Kanalizacja, nr 75 (5/2010), s. 34-37.
- [7] Kwietniewski M., Gębski W., Wronowski N.: Monitorowanie sieci wodociągowych i kanalizacyjnych. Wydaw. Zarządu Głównego Polskiego Zrzeszenia Inżynierów i Techników Sanitarnych, Warszawa 2005, s. 18-21, 96-98, 102-106, 133-136.
- [8] Bergel T., Pawełek J.: Quantitative and economical aspects of water loss in water-pipe networks in rural areas. Environment Protection Engineering, no 3, 2008, pp. 59-64.
- [9] Studziński J.: Zastosowanie danych z monitoringu w systemie zarządzania miejską siecią wodociągową. Studia i Materiały PSZW, nr 9, 2007, s. 154-164.
- [10] Kwietniewski M., Miszta-Kruk K.: GIS w zarządzaniu systemami wod-kan. Wodociągi – Kanalizacja, nr 50 (4/2008), s. 24-26.
- [11] Rak J., Kwietniewski M.: Bezpieczeństwo i zagrożenia systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2011, s. 43-68.
- [12] Kruszyński W.: Komputerowe modelowanie systemów zaopatrzenia w wodę. Wodociągi – Kanalizacja, zeszyt specjalny, nr 2 (11/2013).
- [13] <http://wodnet.pl/epanet-2>
- [14] Tchórzewska-Cieślak B., Cieślak R.: Sterowanie i wizualizacja pracy podsystemu ujmowania i pompowania wody. Instal, nr 284 (5/2008), s. 38-41.
- [15] <http://www.mpwik.rzeszow.pl/index.php/woda/sieci-wodociagowe>
- [16] Studziński J.: System komputerowego zarządzania miejską siecią wodociągową z użyciem modeli matematycznych. Cudze chwalicie, swego nie znacie – promocja osiągnięć nauki polskiej. Polska Fundacja Ośrodków Wspomagania Rozwoju Gospodarczego i Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie. „Innovatio Press” Wydaw. Nauk. Wyższej Szkoły Ekonomii i Innowacji, Lublin 2010, s. 174-179.

MANAGEMENT OF THE WATER SUPPLY INFRASTRUCTURE

Summary

The publication presents the management rules of the urban water supply system with particular emphasis on informatization waterworks. The article pointed out the need to equip the Polish waterworks in modern information systems supporting the operator and identifies opportunities for growth. The article describes the various computer programs used most frequently by waterworks and the benefits of using them. Details the monitoring system as one of the most important for

proper control of the water supply system were described. Describes also how to apply Geographic Information System (GIS), EPANET and System of Control and Data Analysis (SCADA) used for the operation of the water supply system. In this paper, reference is made also to the benefits of a comprehensive operation of individual modules. It was found that only the integrated operation of several programs gives the operator full control over the water supply system and reduce the risk of decision-making. The paper presents the Rzeszow water supply system and characterises an integrated system for the management of water supply infrastructure as an example of an efficient and modern management mode. This system consists of programs such as GIS, SCADA, Customer Information System (CIS) and a mathematical model of water supply system, and combined with the multi-criteria optimization algorithm, which makes the operator has ability to control optimally the work of water supply system and to plan the modernization, expansion of the water supply system.

Keywords: management, urban water supply system, SCADA, GIS, Epanet

Przesłano do redakcji: 03.03.2014 r.

Przyjęto do druku: 02.06.2014 r.

DOI: 10.7862/rb.2014.24