

Jan Studziński***Dorota Tomasiuk****

ZARZĄDZANIE PRZEDSIĘBIORSTWEM WODOCIĄGOWYM Z WYKORZYSTANIEM NOWOCZESNYCH TECHNIK I TECHNOLOGII INFORMATYCZNYCH¹

Streszczenie

W artykule omówiono aktualny stan informatyzacji w krajowych przedsiębiorstwach wodociągowych i trendy rozwojowe w tym zakresie, podano możliwości względnie szybkiego usprawnienia zarządzania przedsiębiorstwami wodociągowymi za pomocą nowoczesnych technik i technologii informatycznych oraz zaprezentowano koncepcję zintegrowanego systemu informatycznego zarządzania siecią wodociągową opracowaną w Instytucie Badań Systemowych PAN (IBS PAN) i wdrażaną w kilku krajowych przedsiębiorstwach wodociągowych.

Słowa kluczowe: przedsiębiorstwa wodociągowe, sieci wodociągowe, zarządzanie, systemy ICT

Wprowadzenie

Typowe krajowe miejskie przedsiębiorstwo wodociągowe składa się z czterech kluczowych obiektów: stacji ujęcia i uzdatniania wody, sieci wodociągowej, sieci kanalizacyjnej i oczyszczalni ścieków. Każdy z tych obiektów jest traktowany i informatyzowany niezależnie, co pozornie ułatwia zarządzanie nimi, jednak w szerszej perspektywie powoduje, że traci na tym całe przedsiębiorstwo traktowane jako jednolity system wodno-ściekowy. Kluczowe obiekty przedsiębiorstwa

* Jan Studziński, Instytut Badań Systemowych PAN, Warszawa, e-mail: studzins@ibspan.waw.pl

** Dorota Tomasiuk, Instytut Badań Systemowych PAN, Warszawa, e-mail: dorota.tomasiuk@ibspan.waw.pl

¹ Artykuł napisany w ramach projektu badawczego Nr PBS3/B3/2015 realizowanego w Programie Badań Stosowanych w ścieżce B, finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w Warszawie (NCBiR).

są połączone ze sobą szeregowo, co oznacza, że wyniki pracy jednego obiektu wpływają na jakość pracy obiektu kolejnego i jeżeli myśli się o zrównoważonym rozwoju całego przedsiębiorstwa, to należy te obiekty traktować jako jedną całość i również w ten sposób je informatyzować. W rezultacie niższe będą koszty informatyzacji przedsiębiorstwa i jego koszty eksploatacyjne. Systemowe podejście do informatyzacji przedsiębiorstwa wodociągowego wymaga, aby traktując je jako całość, planować rozwijanie i wdrażanie narzędzi informatycznych wspomagających jednoczesne zarządzanie wszystkimi obiektami. Jest to oczywiście w początkowym okresie droższe i trudniejsze organizacyjnie niż koncentrowanie się w różnym czasie na pojedynczych obiektach, jednak w dalszej perspektywie czasowej bardziej racjonalne i efektywne.

W IBS PAN od kilkunastu lat prowadzi się prace związane z informatyzacją przedsiębiorstw wodociągowych i początki tej pracy, zgodnie z istniejącą praktyką, dotyczyły również pojedynczych obiektów, to znaczy najpierw oczyszczalni ścieków, potem sieci wodociągowej i następnie sieci kanalizacyjnej. Jednak kolejne przechodzenie przez te etapy doprowadziło do wniosku, że takie postępowanie nie jest właściwe i wtedy powstała koncepcja zintegrowanego systemu informatycznego do kompleksowego zarządzania miejskim przedsiębiorstwem wodociągowym. Niestety, nie została ona jeszcze zrealizowana w praktyce, głównie z przyczyn finansowych, ponieważ krajowe przedsiębiorstwa wodociągowe są na ogół jednostkami komunalnymi, a więc zwykle mało samodzielnymi w kwestiach ekonomicznych i niedysponującymi odpowiednio dużymi środkami na innowacyjne prace badawczo-rozwojowe. Ponadto w ich zarządach istnieje zwykle bariera psychologiczna przed angażowaniem się w prace badawcze, które są złożone pod względem organizacyjnym i trudno przy tym oszacować na wstępie ilościowe korzyści finansowe, jakie będą ich rezultatem i które jednocześnie są zwykle jedynym miernikiem wartości planowanych prac. Dodatkowa przeszkoda, to brak sformalizowanej i właściwie zorganizowanej współpracy między przedsiębiorstwami a instytucjami naukowymi, które są w stanie takie prace zrealizować, a więc również brak wiedzy w przedsiębiorstwach o tym, jakie są możliwości nowoczesnych technik i technologii informatycznych rozwijanych w tych instytucjach.

Wina tego stanu rzeczy leży częściowo również po stronie sfery naukowej. Chodzi głównie o system oceny jakości pracy naukowców i instytucji naukowych według uzyskanej liczby punktów za publikacje drukowane w czasopiśmie naukowych, przede wszystkim z tak zwanej listy filadelfijskiej. Takie publika-

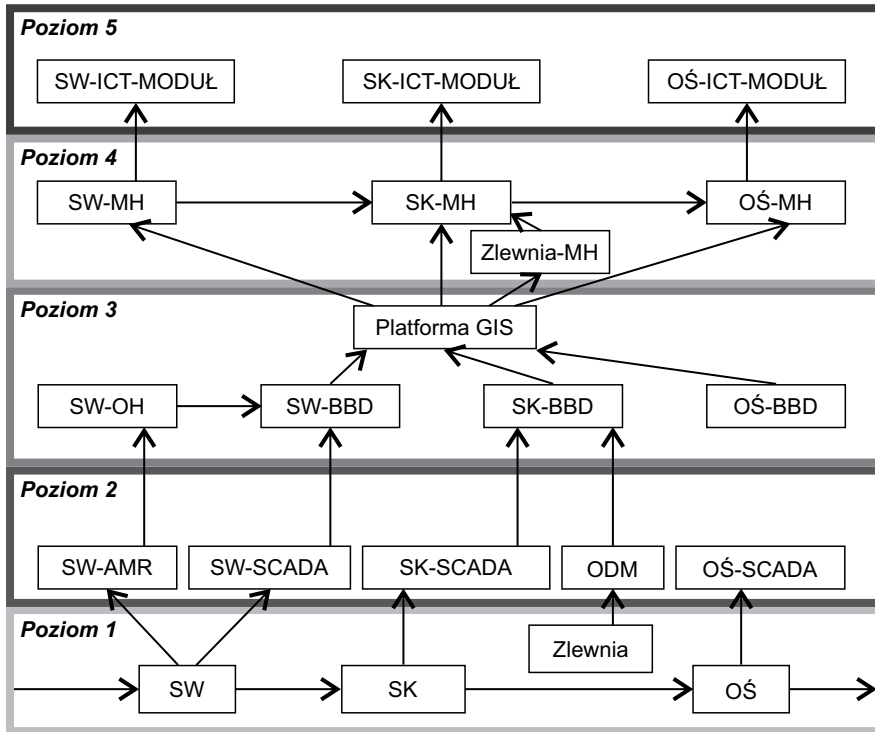
cje mają charakter teoretyczny i są zwykle anglojęzyczne, a więc nie są czytane w przedsiębiorstwach wodociągowych, a z kolei artykuły o charakterze aplikacyjnym wydawane w czasopismach branżowych są nisko punktowane i praktycznie bezwartościowe przy ocenie pracy naukowej. Stąd bierze się niewiedza przedsiębiorstw o potencjale krajowych instytucji naukowych i jednocześnie niechęć tych instytucji do prowadzenia prac aplikacyjnych, do publikacji branżowych i do wysyłania swoich pracowników na konferencje branżowe, na których zwykle są nawiązywane kontakty mogące skutkować przyszłą współpracą.

Sytuacji nie poprawiają również w zauważalnym stopniu programy projektów badawczych uruchamiane na przykład przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w Warszawie (NCBiR). Jak wspomniano, zaawansowane prace badawcze w obszarze informatyki są dosyć drogie, komunalne przedsiębiorstwa wodociągowe mają bardzo skromne środki finansowe, a w projektach realizowanych w ramach programów NCBiR przedsiębiorstwa muszą ponosić określone koszty własne, z których są rozliczane przez miejskie samorządy i którymi na ogół nie dysponują.

Koncepcja zintegrowanego systemu informatycznego kompleksowego zarządzania przedsiębiorstwem wodociągowym

W IBS PAN od kilkunastu lat prowadzone są prace dotyczące opracowania złożonych systemów informatycznych oraz specjalizowanych algorytmów modelowania i optymalizacji, przeznaczonych do zarządzania sieciami wodociągowymi, kanalizacyjnymi i oczyszczalniami w miejskich przedsiębiorstwach wodociągowych, względnie całym przedsiębiorstwem wodociągowym.

Koncepcja takiego najbardziej ogólnego systemu dotyczącego całego przedsiębiorstwa jest przedstawiona na rysunku 1. Skróty w napisach na rysunku oznaczają odpowiednio: SW – Sieć Wodociągowa; SK – Sieć Kanalizacyjna; Zlewnia – Zlewnia sieci kanalizacyjnej; OŚ – Oczyszczalnia Ścieków; AMR (*Automatic Meter Reading*) – zdalny radiowy odczyt ilości wody zużywanej przez użytkowników sieci wodociągowej; SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) – system monitoringu sieci wodociągowej; ODM – Model Opadów Deszczowych dla modelu hydraulicznego sieci kanalizacyjnej; OH – Obciążenie Hydrauliczne sieci wodociągowej; BBD – Branżowa Baza Danych systemu GIS; MH – Model Hydrauliczny sieci wodociągowej lub kanalizacyjnej lub oczyszczalni ścieków; ICT (*Information and Communication Technology*) – system informatyczny.



Rysunek 1. Koncepcja zintegrowanego systemu informatycznego do kompleksowego zarządzania przedsiębiorstwem wodociągowym

Źródło: opracowanie własne.

W strukturze systemu wyróżnia się 5 poziomów funkcjonalnych i jednocześnie 4 moduły obliczeniowe. *Poziom pierwszy* oznacza kluczowe obiekty przedsiębiorstwa wodociągowego, to znaczy sieć wodociągową, sieć kanalizacyjną z odnośną zlewnią, czyli terenem lokalizacji sieci, oraz oczyszczalnię ścieków. *Poziom drugi* i jednocześnie pierwszy moduł obliczeniowy systemu informatycznego są to systemy monitoringu służące do pozyskiwania, archiwizacji i przetwarzania danych pomiarowych z punktów pomiarowych zlokalizowanych na obiektach. Są to systemy SCADA monitorowania stanów pracy sieci wodociągowej, sieci kanalizacyjnej i oczyszczalni ścieków, a także system AMR oraz model opadów deszczowych (ODM) tworzony na podstawie odczytów deszczomierzy zlokalizowanych na obszarze zlewni sieci kanalizacyjnej. *Poziom trzeci* i drugi moduł obliczeniowy systemu informatycznego, to system GIS stanowiący platformę obliczeniową systemu ICT i gromadzący w odnośnych branżowych

bazach danych (BDD) wszystkie techniczne i technologiczne informacje o strukturze i parametrach sieci wodociągowej, kanalizacyjnej, oczyszczalni ścieków i ich obiektów, a także dane pomiarowe dostarczane przez systemy monitoringu z poziomu drugiego; ponadto na tym poziomie znajdują się programy do wyznaczania modeli obciążenia hydraulicznego sieci wodociągowej i jej typowych węzłów odbiorczych, niezbędne do obliczeń modelu hydraulicznego i obliczeń optymalizacyjnych sieci. Z tego poziomu są uruchamiane wszystkie programy obliczeniowe znajdujące się na wyższych poziomach systemu ICT i na tym poziomie są gromadzone i archiwizowane wszystkie dane archiwizowane i generowane przez poziom drugi systemu i wykorzystywane w programach obliczeniowych. *Poziom czwarty* i trzeci moduł obliczeniowy systemu informatycznego zawiera programy do obliczeń hydraulicznych sieci wodociągowej, sieci kanalizacyjnej i oczyszczalni ścieków oraz program modelowania zlewni sieci kanalizacyjnej. Te programy to modele hydrauliczne kluczowych obiektów przedsiębiorstwa wodociągowego. Ich uruchomienie wymaga danych pomiarowych zbieranych przez systemy monitoringu i gromadzonych w bazach danych systemu GIS, a wyniki obliczeń tych programów są jednocześnie źródłem danych dla programów optymalizacyjnych, wykonujących docelowe zadania zarządzania obiektami. *Poziom piąty* i jednocześnie ostatni, czwarty moduł obliczeniowy systemu informatycznego, zawiera programy obliczeniowe dla sieci wodociągowej, sieci kanalizacyjnej i oczyszczalni ścieków, w których znajdują się algorytmy optymalizacji.

W ten sposób poziomy drugi i trzeci systemu ICT można traktować jako zbiory danych pomiarowych i opisowych definiujących kluczowe obiekty przedsiębiorstwa wodociągowego i stany ich pracy. Dane te zasilają programy z poziomu czwartego, na którym znajdują się modele hydrauliczne obiektów służące do ich symulacji komputerowej. Wyniki wykonanych symulacji pozwalają ocenić stany pracy tych obiektów w sposób bardziej pełny, niż dane pomiarowe z systemów monitoringu zainstalowanych na poziomie drugim. Natomiast programy realizujące faktyczne funkcje zarządzania przedsiębiorstwem, względnie jego kluczowymi obiektami, znajdują się na poziomie piątym i ich wykonanie nie jest możliwe bez wcześniejszych obliczeń programów położonych na niższych poziomach systemu ICT. Oznacza to w konsekwencji, że nie jest możliwe poprawne zarządzanie przedsiębiorstwem wodociągowym za pomocą wspomaganie komputerowego, jeżeli wcześniej nie zainstaluje się systemów monitoringu SCADA (i AMR w przypadku sieci wodociągowej), systemu mapy numerycznej GIS oraz nie uruchomi się modeli hydraulicznych odnośnych obiektów.

Ponieważ system informatyczny zarządzania w przedstawionej ogólnej postaci nie był jeszcze nigdzie wdrożony, więc w dalszej części artykułu zostanie omówiona szczegółowiej jedynie problematyka informatyzacji miejskich sieci wodociągowych i przedstawiony system informatyczny MOSUW, opracowany w IBS PAN i wdrażany w kilku krajowych przedsiębiorstwach wodociągowych.

Problemy przedsiębiorstwa wodociągowego w zarządzaniu siecią wodociągową

Podstawowa trudność w nawiązywaniu kontaktów badawczych i współpracy między przedsiębiorstwem wodociągowym a instytutem naukowym polega na tym, że przedsiębiorstwo na ogół nie potrafi sformułować poprawnie swoich problemów, które należałoby rozwiązać za pomocą narzędzi informatycznych. Tym bardziej nie znają tych problemów pracownicy instytutu i dlatego pierwsze kontakty wyglądają na ogół w ten sposób, że przedsiębiorstwo chce dowiedzieć się od instytutu, jaki on oferuje produkt i jakie konkretne korzyści finansowe będą wynikiem jego wdrożenia, natomiast instytut chciałby wiedzieć, jakie zadania w ogóle można byłoby rozwiązywać w przedsiębiorstwie. Nie wiedząc tego, nie jest w stanie ocenić, jakie konkretne rozwiązania należałoby zastosować, a tym bardziej oszacować w sposób ilościowy potencjalnych korzyści wynikających z tych zastosowań. W rezultacie takiego braku zrozumienia już na wstępnym etapie kontaktów, rzadko dochodzi do rzeczywistej współpracy między przedsiębiorstwami wodociągowymi i organizacjami naukowymi, co skutkuje niskim na ogół poziomem informatyzacji przedsiębiorstw.

Dlatego ważne jest, aby mieć zawczasu sformułowany wykaz podstawowych potrzeb i zadań w przedsiębiorstwie wodociągowym, które mogą być zaspokojone i rozwiązane przez wprowadzanie nowoczesnych technik informatycznych, a także wykaz korzyści, jakie te rozwiązania mogą przynieść. W przypadku sieci wodociągowych są one następujące:

– **Zadanie:** Dokładna inwentaryzacja obiektów sieci wodociągowej.

Stan obecny: W wielu krajowych przedsiębiorstwach dysponujących starymi, kilkudziesięcioletnimi sieciami, nie jest znana dokładna charakterystyka obiektów sieciowych, na przykład charakterystyki pomp w pompowniach czy wiek i rodzaj materiału, z którego są wykonane przewody sieci, a nawet nie jest znany szczegółowy przebieg samej sieci, co znacznie utrudnia sterowanie siecią i planowanie prac remontowych oraz modernizacyjnych.

Rozwiązanie: Wdrożenie systemu GIS do generowania mapy numerycznej sieci.

Korzyści: Głównie jakościowe, związane z dokładnym poznaniem eksploatowanej sieci i jej obiektów.

- **Zadanie:** Rozbudowa systemu monitoringu SCADA na sieci wodociągowej.

Stan obecny: W systemach monitoringu montowanych obecnie na sieciach wodociągowych monitoruje się na ogół przepływy i ciśnienia wody w stałych obiektach sieciowych, takich jak pompownie źródłowe, przepompownie strefowe i zbiorniki retencyjne; te informacje nie dają dokładnego obrazu pracy sieci i jednocześnie są zbyt ubogie, aby na ich podstawie dokonać poprawnej kalibracji modelu hydraulicznego sieci.

Rozwiązanie: Planowa rozbudowa systemu monitoringu.

Korzyści: Głównie jakościowe; planowo rozbudowany system SCADA o dodatkowe punkty pomiarowe zlokalizowane w punktach charakterystycznych (wrażliwych) sieci wodociągowej informuje operatora sieci o nieoczekiwanych zmianach przepływów i ciśnień w całej sieci i jednocześnie umożliwia szybką oraz poprawną kalibrację jej modelu hydraulicznego.

- **Zadanie:** Zautomatyzowanie odczytu zużycia wody przez użytkowników sieci wodociągowej.

Stan obecny: W większości przedsiębiorstw wodociągowych zużycie wody ocenia się na podstawie danych o jej sprzedaży, rejestrowanych w systemie bilingowym. Ta ocena jest mało dokładna i nigdy aktualna, ponieważ odczyty bilingowe są dokonywane z różnym i często dosyć długim odstępem czasowym, na przykład kwartalnie.

Rozwiązanie: Zainstalowanie na sieci wodociągowej systemu AMR do zdalnego radiowego odczytu ilości wody zużywanej aktualnie przez użytkowników sieci.

Korzyści: Głównie jakościowe, związane z dokładnym poznaniem aktualnego stanu sprzedaży wody, a także z możliwością wykorzystania danych pomiarowych z systemu AMR do dokładnej kalibracji modelu hydraulicznego sieci.

- **Zadanie:** Optymalizacja hydrauliczna sieci wodociągowej w celu uzyskania założonych ciśnień w węzłach końcowych sieci.

Stan obecny: W przypadku zwykle zbyt niskich ciśnień na końcówkach sieci wodociągowej podnosi się ciśnienie w pompowniach źródłowych lub przepompowniach strefowych. W rezultacie ciśnienie w węzłach końcowych poprawia się, jednocześnie jednak rosną koszty energetyczne eksploatacji sieci oraz rośnie jej awaryjność na skutek wzrostu ciśnienia w węzłach wewnętrznych sieci.

Rozwiązanie: Zastosowanie algorytmów obliczeniowych do wytypowania przewodów wodociągowych do wymiany na przewody o większych średnicach. W rezultacie zmniejszą się oporności przepływu wody przez nowe przewody.

Korzyści: Jakościowe i ilościowe; pierwsze dotyczą poprawy ciśnień na końcówkach sieci, a więc usatysfakcjonowania odbiorców wody; drugie dotyczą zmniejszenia awaryjności sieci, a więc redukcji strat wody, co można przeliczyć na konkretne korzyści finansowe.

- **Zadanie:** Szacowanie strat wody w wyniku awarii sieci wodociągowej.

Stan obecny: W przedsiębiorstwach nie wiadomo na ogół dokładnie, jakie są straty wody w wyniku awarii, a więc nie wiadomo również, jakie są wynikające z tego powodu straty finansowe. Straty wody szacuje się zwykle poprzez odjęcie ilości wody sprzedanej od ilości wody wyprodukowanej, jednak na tę różnicę składają się straty wynikające z awarii, z kradzieży wody i jej zużycia na cele techniczne, na przykład czyszczenie przewodów. Na ogół nie wiadomo więc, jak te różne elementy oszacować, a więc również, jak istotne od strony finansowej jest przeciwdziałanie awariom i kradzieżom.

Rozwiązanie: Zainstalowanie na sieci wodociągowej systemu AMR i odejście od tradycyjnego systemu bilingowego.

Korzyści: Jakościowe; dokładna znajomość sprzedawanej aktualnie ilości wody pozwala ocenić, jaka część produkowanej wody jest tracona w wyniku awarii i kradzieży.

- **Zadanie:** Wykrywanie i lokalizacja awarii na sieci wodociągowej.

Stan obecny: Awaryjność miejskich sieci wodociągowych jest na ogół duża i wynikające z niej straty wody dochodzą często do 30 i więcej procent. Dlatego ważne jest, aby stany awaryjne sieci wodociągowej, w tym przede wszystkim tak zwane wycieki ukryte, niewidoczne w ich początkowej fazie na powierzchni gruntu, wykrywać i lokalizować szybko, unikając w ten sposób kosztownych strat wody. Obecnie prowadzi się takie działania za pomocą loggerów i korelatorów, co jest jednak sposobem żmudnym, czasochłonnym i mało skutecznym.

Rozwiązanie: Zastosowanie algorytmów obliczeniowych do wykrywania i lokalizacji awarii.

Korzyści: Ilościowe; redukcja awaryjności sieci i wynikających z niej strat wody łatwo się przelicza na konkretne oszczędności finansowe.

- **Zadanie:** Poprawa jakości wody.

Stan obecny: Problem dotyczy przedsiębiorstw, w których istnieje co najmniej kilka źródeł wody pitnej o różnej jakości i różnych kosztach jej pozyskiwania i uzdatniania. Wtedy należy tak mieszać wodę pozyskiwaną z różnych źródeł, aby jej jakość była zgodna z obowiązującą normą, a koszty pozyskiwania były minimalne. Zadanie poprawy jakości wody dotyczy również przedsiębiorstw dysponujących starymi sieciami wodociągowymi, w których przetrzymywana woda ulega zanieczyszczeniu i należy ją dodatkowo chlorować. Wtedy powstaje problem wyznaczenia lokalizacji dodatkowych stacji chlorowania. Obecnie problemy te rozwiązuje się w sposób ręczny, intuicyjnie lub metodą prób i błędów.

Rozwiązanie: Zastosowanie algorytmów obliczeniowych do poprawy jakości wody poprzez – w pierwszym przypadku – optymalny sposób jej mieszania oraz – w drugim przypadku – dobór optymalnych punktów dla stacji chlorowania.

Korzyści: Jakościowe; poprawa jakości wody satysfakcjonująca użytkowników sieci wodociągowej.

- **Zadanie:** Sterowanie operacyjne siecią wodociągową.

Stan obecny: Problem dotyczy energooszczędnego sterowania pompowniami zainstalowanymi na sieci, przy czym sterowanie powinno zapewniać właściwe ciśnienia wody na końcówkach i wewnątrz sieci. Obecnie ustala się stałe ciśnienia wyjściowe z pompowni i zainstalowane w pompowniach układy regulacji automatycznej sterują obrotami pomp dla utrzymania zadanych ciśnień.

Rozwiązanie: Zastosowanie algorytmów obliczeniowych do modelowania obciążenia hydraulicznego sieci wodociągowej i do sterowania nastawami ciśnień w pompowniach w zależności od obciążenia sieci.

Korzyści: Ilościowe; redukcja zużycia energii elektrycznej łatwo przelicza się na oszczędności finansowe.

- **Zadanie:** Optymalizacja procesów planowania inwestycyjnego na sieci wodociągowej.

Stan obecny: Problem dotyczy typowania przewodów wodociągowych do wymiany lub remontu, uwzględniając ich stan techniczny, dotychczasową i prognozowaną awaryjność i przewidywane koszty rewitalizacji; takie plany tworzy się obecnie zwykle w sposób ręczny, bez wspomaganie komputerowego, nie mając pełnej i sformalizowanej wiedzy o awaryjności przewodów i ich roli w poprawnym funkcjonowaniu całej sieci.

Rozwiązanie: Zastosowanie algorytmów obliczeniowych do optymalnego planowania prac rewitalizacyjnych w zależności od awaryjności przewodów wodociągowych, zależnej z kolei od ich wieku, rodzaju materiału i stanu technicznego.

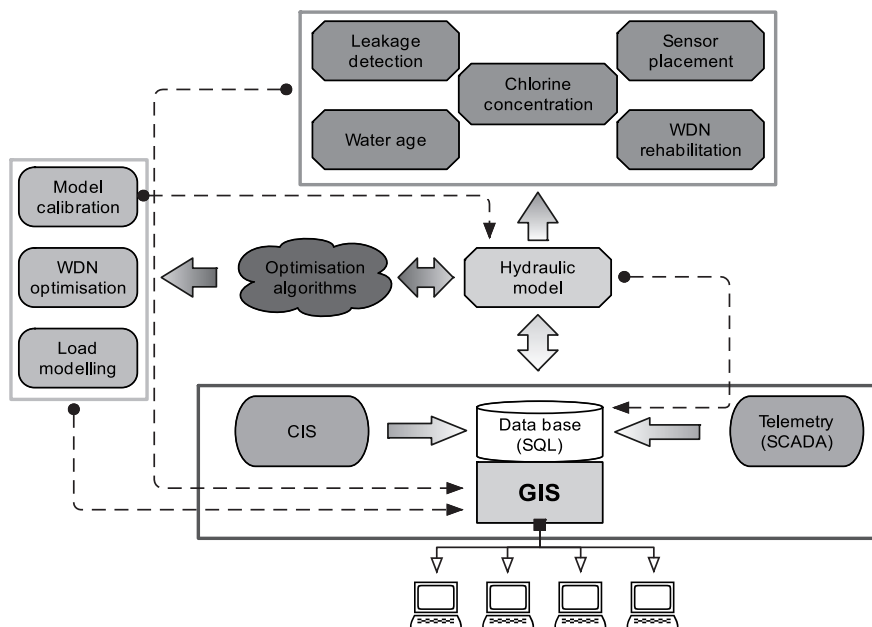
Korzyści: Ilościowe; właściwie zaplanowana rewitalizacja sieci zmniejsza jej awaryjność, a więc redukuje również straty wody, co łatwo przelicza się na konkretne oszczędności finansowe.

Reasumując widać, że inwentaryzacji obiektów sieci wodociągowej dokonuje się z zastosowaniem systemów GIS; do zautomatyzowanego odczytu zużycia wody przez użytkowników sieci wodociągowej stosuje się systemy AMR; monitorowanie przepływów i ciśnień wody w sieci wodociągowej jest realizowane za pomocą systemów SCADA, natomiast dokładny obraz pracy sieci uzyskuje się za pomocą poprawnie skalibrowanego jej modelu hydraulicznego. Dysponując systemami GIS, SCADA i AMR oraz modelem hydraulicznym można rozwiązywać wszystkie zadania zarządzania związane z siecią, korzystając z algorytmów optymalizacji i modelowania. Problem polega wówczas na tym, aby wymienione programy zintegrować i zapewnić szybką i sprawną komunikację między nimi za pomocą odpowiednio skonstruowanych plików lub tabel danych. W rezultacie takich działań otrzymuje się zintegrowany system ICT do kompleksowego zarządzania siecią wodociągową.

Poniżej przedstawiono zrealizowaną koncepcję systemu ICT dla przedsiębiorstwa wodociągowego, opracowaną w IBS PAN i przeznaczoną do kompleksowego zarządzania miejską siecią wodociągową.

System ICT MOSUW dla sieci wodociągowych

Poniżej pokazano strukturę i przedstawiono opis systemu ICT opracowanego dla sieci wodociągowej. Struktura tego systemu w wersji koncepcyjnej jest podobna do struktury systemu ICT dla całego przedsiębiorstwa wodociągowego (rys. 2). Dolna warstwa struktury, to programy stanowiące źródła danych dla programów optymalizacyjnych, to znaczy systemy monitoringu SCADA i CIS (*Customer Information System* – AMR lub system bilingowy) oraz system GIS. Kolejna warstwa, to model hydrauliczny sieci wodociągowej i modele matematyczne obliczające obciążenie hydrauliczne sieci. Wreszcie w górnej warstwie systemu ICT znajdują się programy rozwiązujące zadania zarządzania siecią wodociągową i korzystające z algorytmów optymalizacji.



Rysunek 2. Koncepcja zintegrowanego systemu ICT do kompleksowego zarządzania siecią wodociągową

Źródło: opracowanie własne.

W wersji realizacyjnej system informatyczny składa się z trzech podstawowych modułów, to znaczy systemu GIS, systemów monitoringu (SCADA i CIS) oraz modułu obliczeniowego z programami modelowania matematycznego, optymalizacji i aproksymacji. Realizacja programowa modułu obliczeniowego została przedstawiona na rysunkach 3, 4 i 5. Moduł ten składa się z trzech pakietów oprogramowania zawierających obecnie łącznie 21 programów. Pakiet MOSUW (*Modelowanie Optymalizacja Sterowanie Układów Wodociągowych*) gromadzi 11 programów realizujących następujące zadania (rys. 3):

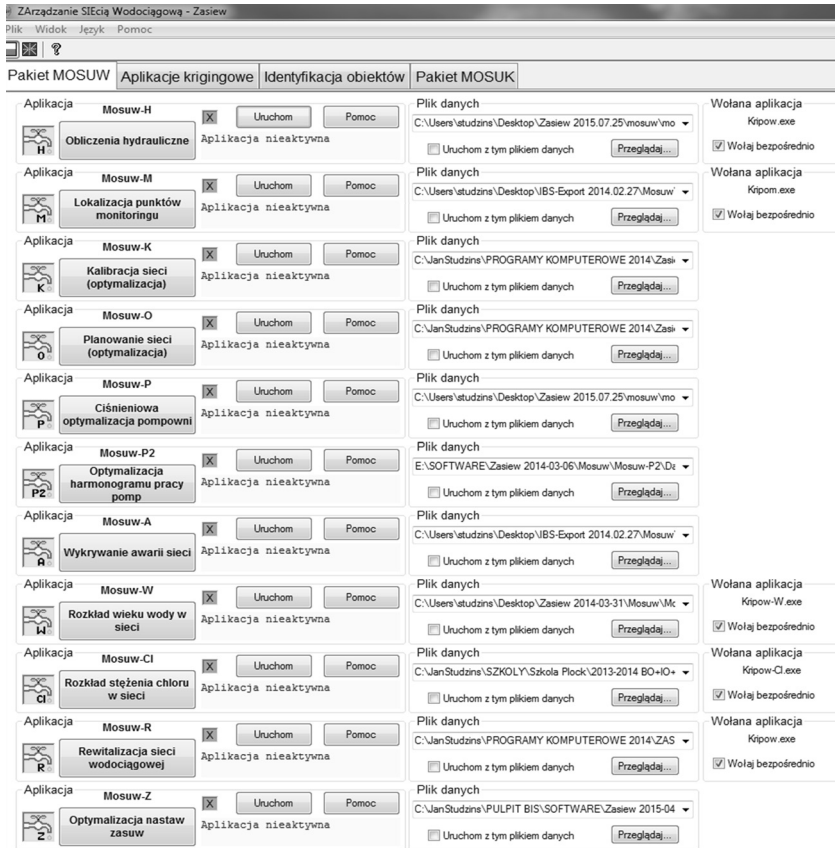
- obliczenia hydrauliczne sieci wodociągowej (Mosuw-H),
- planowanie systemu monitoringu (SCADA) instalowanego na sieci wodociągowej pod kątem jego przydatności do kalibracji modelu hydraulicznego sieci (Mosuw-M),
- automatyczna kalibracja modelu hydraulicznego (Mosuw-K),
- optymalizacja hydrauliczna sieci za pomocą wymiany przewodów wodociągowych na przewody o większej średnicy (Mosuw-O),

- optymalizacja hydrauliczna sieci za pomocą sterowania nastawami ciśnienia wyjściowego z pompowni (Mosuw-P),
- sterowanie pompami w pompowniach sieci minimalizujące liczbę włączeń pomp (Mosuw-P2),
- detekcja i lokalizacja wycieków ukrytych na sieci (Mosuw-A),
- obliczanie wieku wody w przewodach sieci (Mosuw-W),
- obliczanie stężenia chloru w przewodach sieci (Mosuw-Cl),
- planowanie prac rewitalizacyjnych na sieci wodociągowej (Mosuw-A),
- sterowanie zasuwami sieciowymi maksymalizujące prędkość przepływu wody w przewodach wodociągowych (Mosuw-Z).

Pakiet „Aproksymacje krigingowe” zawiera 6 programów realizujących następujące zadania za pomocą algorytmów aproksymacji krigingowej:

- obliczanie współrzędnych wysokościowych węzłów sieci na podstawie danych o miejskich punktach geodezyjnych (Kripog),
- wykreślanie map wrażliwości ciśnieniowej i przepływowej sieci na wycieki symulowane w jej węzłach (Kripom),
- wykreślanie map rozkładów ciśnienia i przepływów w węzłach i przewodach sieci wodociągowej (Kripow),
- wykreślanie mapy rozkładu wieku wody w przewodach sieci wodociągowej (Kripow-W),
- wykreślanie mapy rozkładu stężenia chloru w przewodach sieci wodociągowej (Kripow-Cl),
- wykreślanie map rozkładów wartości dowolnych parametrów środowiskowych (na przykład temperatury) na zadanym obszarze (Kripos).

Pakiet „Identyfikacja obiektów” zawiera 4 programy realizujące zadania modelowania matematycznego obciążenia hydraulicznego sieci wodociągowej za pomocą metod najmniejszej sumy kwadratów (algorytm Kalmana), uogólnionej sumy kwadratów (algorytm Clarke’a), sieci neuronowych (sieci MLP) i zbiorów rozmytych (algorytm TSK).

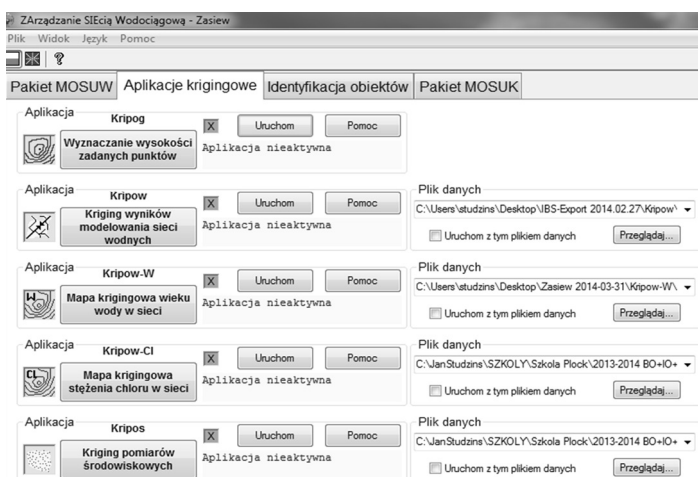


Rysunek 3. Realizacja programowa systemu ICT MOSUW. Moduł programów optymalizacyjnych

Źródło: zrzut z ekranu programu autorskiego.

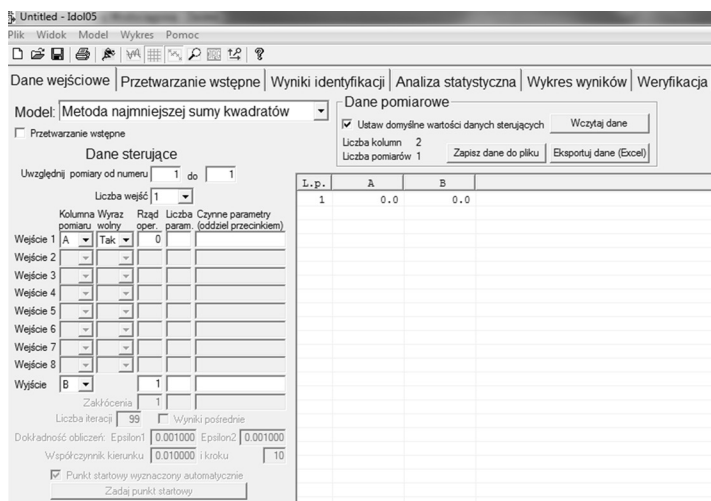
Platformą obliczeniową systemu ICT jest system GIS, jednak kluczowym programem systemu informatycznego jest model hydrauliczny sieci wodociągowej będący łącznikiem między branżową bazą danych systemu GIS i programami obliczeń optymalizacyjnych. Sam model hydrauliczny może być wykorzystany również do realizacji części zadań związanych z zarządzaniem siecią wodociągową, takich jak obliczanie wieku wody lub wyznaczanie rozkładu stężeń chloru w sieci, jedynie poprzez wykonywanie obliczeń symulacyjnych. Dlatego kluczowymi zadaniami przy implementacji systemu informatycznego w przedsiębiorstwie wodociągowym jest poprawna kalibracja modelu hydrau-

licznego i jego właściwa integracja z systemem GIS. Z kolei poprawna kalibracja modelu hydraulicznego może być wykonana jedynie wówczas, gdy będzie odpowiednio zaplanowany i zainstalowany na sieci system SCADA. Odnosnie integracji modelu hydraulicznego z systemem GIS należy zauważyć, że system GIS generuje i wizualizuje mapę numeryczną sieci wodociągowej w postaci grafu geodezyjnego, zrozumiałego dla operatora sieci. Jednak do obliczeń hydraulicznych graf geodezyjny należy przekształcić do postaci grafu hydraulicznego, który jest ciągły, ma warstwę węzłów i w przypadku obliczeń optymalizacyjnych jest znacznie uproszczony. Te uproszczenia, polegające na przykład na eliminacji z grafu otwartych zasuw, pozwalają zredukować liczbę równań opisujących sieć i w rezultacie znacznie skrócić czasy obliczeń. Integracja polega zatem na przekształceniu grafu geodezyjnego do postaci hydraulicznej i różnych formach jego upraszczania w zależności od tego, czy wykonujemy tylko jednorazowe obliczenia hydrauliczne sieci, czy również obliczenia optymalizacyjne, gdy obliczenia symulacyjne modelu hydraulicznego wykonuje się wielokrotnie.



Rysunek 4. Realizacja programowa systemu ICT MOSUW. Moduł programów aproksymacji krigingowej

Źródło: zrzut z ekranu programu autorskiego.



Rysunek 5. Realizacja programowa systemu ICT MOSUW. Moduł programów modelowania matematycznego

Źródło: zrzut z ekranu programu autorskiego.

Reasumując powyższe rozważania można zauważyć, że kluczowymi, najtrudniejszymi i najbardziej czasochłonnymi zadaniami przy wdrażaniu przedstawionego systemu informatycznego w przedsiębiorstwie wodociągowym są:

- implementacja systemu GIS generującego mapę numeryczną sieci wodociągowej, to znaczy dokładna inwentaryzacja i parametryzacja obiektów sieci wodociągowej i ich zdefiniowanie w branżowej bazie danych systemu,
- instalacja optymalnie zaplanowanego systemu SCADA na sieci,
- kalibracja modelu hydraulicznego na podstawie danych z systemów SCADA i CIS,
- integracja systemu GIS z systemami SCADA i CIS i z modelem hydraulicznym.

Pozostałe zadania związane już bezpośrednio z zarządzaniem siecią wodociągową za pomocą algorytmów modelowania matematycznego, optymalizacji, w tym optymalizacji wielokryterialnej, i aproksymacji krigingowej, są wprawdzie znacznie liczniejsze, jednocześnie jednak prostsze i mniej czasochłonne, bo wykonywane automatycznie.

Zarządzanie siecią wodociągową za pomocą systemu ICT MOSUW

Po wdrożeniu systemu informatycznego w przedsiębiorstwie wodociągowym jego wykorzystanie, a więc kompleksowe zarządzanie siecią wodociągową, powinno przebiegać w czterech etapach.

Etap pierwszy – to rozpoznanie jakości pracy sieci wodociągowej i produkowanej przez nią wody poprzez zbadanie rozkładów ciśnień i przepływów w sieci, jej awaryjności, wieku wody i rozkładu stężenia chloru (jeśli jest stosowany) w przewodach wodociągowych.

Etap drugi – to przede wszystkim poprawa niewłaściwych ciśnień na końcówkach sieci (jeżeli takie występują) poprzez zaplanowanie prac inwestycyjnych dotyczących wymiany odpowiednich przewodów sieci na przewody o większych średnicach, zmniejszające oporności przepływu wody.

Etap trzeci – to zarządzanie operacyjne eksploatowaną siecią, to znacząco bieżące sterowanie pompami i ewentualnie zasuwami zmniejszające koszty energetyczne i zwiększające prędkości przepływu wody w przewodach oraz wykrywanie i lokalizacja stanów awaryjnych w sieci redukujące straty wody.

Etap czwarty – to zarządzanie strategiczne polegające na planowaniu prac inwestycyjnych związanych z rewitalizacją sieci dla zmniejszenia jej awaryjności czy z rozbudową, względnie z przeprojektowywaniem sieci (na przykład dobudowa zbiornika dla poprawy hydrauliki sieci).

W zaprezentowanym systemie ICT istnieją programy do realizacji wszystkich przedstawionych zadań, a sam system w całości lub w częściowo był lub jest wdrażany w przedsiębiorstwach wodociągowych w Rzeszowie, w Mikołowie i GPW Katowice na Górnym Śląsku oraz w Głubczycach na Dolnym Śląsku.

Podsumowanie

W artykule omówiono mało zadowalający stan informatyzacji krajowych przedsiębiorstw wodociągowych, przedstawiono pewne przyczyny tej sytuacji i możliwości jej poprawy poprzez rozwijanie i wdrażanie zintegrowanych systemów ICT do kompleksowego zarządzania przedsiębiorstwami.

- Podsumowując te rozważania, można sformułować następujące uwagi końcowe:
- W większości krajowych miejskich przedsiębiorstw wodociągowych brakuje systemów GIS dla sieci wodociągowo-kanalizacyjnych generujących ich mapy numeryczne.
 - Brakuje również odpowiednio zaplanowanych systemów monitoringu (SCADA) i zautomatyzowanych systemów zliczania sprzedanej wody (AMR).
 - W rezultacie brakuje także modeli hydraulicznych na sieciach wodociągowych i kanalizacyjnych, ponieważ bez systemów GIS i SCADA nie jest możliwa ich poprawna kalibracja.

- Brak wymienionych systemów i modeli oznacza również brak komputerowo wspomaganego zarządzania przedsiębiorstwem wodociągowym.

Przyczynami tego stanu są zwykle:

- brak wiedzy na poziomie decydentów miejskich i branżowych o możliwościach współczesnych technik informacyjnych,
- brak pieniędzy na innowacje informatyczne w małych i średnich komunalnych przedsiębiorstwach wodociągowych,
- brak wiedzy w przedsiębiorstwach o rozwiązaniach informatycznych rozwijanych przez krajowe jednostki badawcze, co wynika z braku sformalizowanej i systematycznej współpracy między przedsiębiorstwami wodociągowymi a uczelniami i instytutami badawczymi,
- brak odpowiednich programów badawczych o charakterze aplikacyjnym dopasowanych do potrzeb i możliwości przedsiębiorstw wodociągowych oraz brak koncepcji poprawy tej sytuacji w sposób systemowy na poziomie centralnym.

Zdaniem autorów artykułu, możliwości poprawy sytuacji to przede wszystkim rozwijanie i wdrażanie zintegrowanych systemów ICT do kompleksowego wspomaganie zarządzania przedsiębiorstwami wodociągowymi w ramach współpracy badawczej przedsiębiorstw i krajowych instytucji naukowych oraz firm informatycznych, przy celowym wsparciu finansowym takich prac przez odpowiednio skonstruowane państwowe programy projektów badawczo-rozwojowych, dopasowane do potrzeb oraz możliwości finansowych i organizacyjnych małych i średnich przedsiębiorstw komunalnych i jednostek naukowych.

Bibliografia

- Służalec A., Studziński J., Wójtowicz P., Ziółkowski A. (2014), *Erstellung des hydraulischen Modells eines kommunalen Abwassernetzes und dessen Kalibrierung anhand echter Daten*, w: *Modellierung und Simulation von Ökosystemen, Reihe: Umweltinformatik, Workshop Kölpinsee 2013*, Hrsg. Nguyen Xuan Thinh, Rhombos-Verlag, Berlin, s. 35–50.
- Służalec A., Studziński J., Ziółkowski A. (2014), *MOSKAN-W – the web application for modelling and designing of water supply system*, w: *Simulation in Umwelt- und Geowissenschaften, Reihe: Umweltinformatik, ASIM-Mitteilung AM 150, Workshop Osnabrück 2014*, Hrsg. J. Wittmann, Shaker Verlag, Aachen, s. 143–153.
- Stachura M., Fajdek B., Studziński J. (2014), *Optimization of water supply network rehabilitation using genetic algorithms*, Industrial Simulation Conference (ISC 2014), 11–13.06.2014, Hoegskolan, EUROSIS, s. 38–40.

- Stachura M., Studziński J. (2014), *Prognozowanie obciążenia hydraulicznego miejskiego systemu wodociągowego z wykorzystaniem modeli rozmytych typu TSK*, „Ochrona Środowiska”, vol. 36, no. 1, s. 57–60.
- Rojek I., Studziński J. (2014), *Comparison of different types of neuronal nets for failures location within water supply networks*, „Maintenance and Reliability”, vol. 16, no. 1, s. 42–47.
- Studziński J. (2013), *O kapitale ludzkim i społecznym, o zarządzaniu nimi i ich wpływie na rozwój organizacji*, Studia i Materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedzą.
- Studziński J. (2014), *Some algorithms supporting the water network management by use of simulation of network hydraulic model*, Industrial Simulation Conference (ISC 2014), 11–13.06.2014, Hoegskolan, EUROSIS, s. 33–37.
- Studziński J., Kurowski M. (2014), *Water network pumps control reducing the energy costs*, 28th International Conference on Informatics for Environmental Protection, 10–12.09.2014, Oldenburg, s. 307–315.
- Studziński J., Kurowski M. (2014), *Computer aided planning of water nets revitalization*, w: *Modelling and Simulation 2014*, The European Simulation and Modelling Conference 2014 (ESM 2014), red. A.C. Brito, J.M. Tavares, C.B. de Oliveira, EUROSIS, s. 194–199.
- Studziński J., Służalec A., Ziółkowski A. (2014), *Wspomagane komputerowo kompleksowe zarządzanie miejskimi sieciami wodociągowo-kanalizacyjnymi*, w: *Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód*, red. Z. Dymaczewski, J. Jeż-Walkowiak, M. Nowak, PZITS, Poznań, s. 1153–1165.
- Studziński J., Wójtowicz P., Zimoch I. (2014), *Concept of an Integrated ICT System for the management of the Large-Scale Water Distribution Network of the Upper Silesian Waterworks in Poland*, Proceedings of the IWA 6th Eastern European Young Water Professionals Conference „EAST Meets WEST”, May, Instabul, s. 563–572.
- Wójtowicz P., Pawlak A., Studziński J. (2014), *Automated meter reading for water demand forecast and hydraulic modelling of the municipal water distribution system in Mikołów, Poland*, 11th International Conference on Hydroinformatics HIC 2014, 17–21.08.2014, New York.

COMPUTER AIDED MANAGEMENT OF COMMUNAL WATERWORKS

Summary

In the paper the actual state of computerization of Polish communal waterworks and the existing trends in this area are described. Also the capabilities to change the present

unsatisfied situation by means of modern ICT techniques are proposed and the concept and computer realization of an ICT system for complex management of communal water networks are presented. The system has been developed at the Systems Research Institute of Polish Academy of Sciences and it is tested or implemented currently in some Polish waterworks.

Translated by Jan Studziński

Keywords: communal waterworks, waterworks management, water networks, development of ICT systems

