



POLSKA AKADEMIA NAUK
Instytut Badań Systemowych

**TECHNOLOGIE INFORMATYCZNE
W ZARZĄDZANIU
SYSTEMY
WSPOMAGANIA DECYZJI**

pod redakcją:
Jana Studzińskiego,
Ludostawa Drelichowskiego,
Olgierda Hryniewicza,
Janusza Kacprzyka



TECHNOLOGIE INFORMATYCZNE W ZARZĄDZANIU
SYSTEMY WSPOMAGANIA DECYZJI

Polska Akademia Nauk • Instytut Badań Systemowych

Seria: BADANIA SYSTEMOWE
tom 26

Redaktor naukowy:

Prof. dr hab. Jakub Gutenbaum

Warszawa 2000

**TECHNOLOGIE INFORMATYCZNE
W ZARZĄDZANIU
SYSTEMY WSPOMAGANIA DECYZJI**

pod redakcją

Jana Studzińskiego, Ludosława Drelichowskiego

Olgierda Hryniewicza i Janusza Kacprzyka

Książka zawiera wybór referatów przedstawionych na konferencji "Komputerowe systemy wielodostępne KSW'2000" w Ciechocinku w 2000 r. Konferencja pod patronatem Komitetu Badań Naukowych została zorganizowana przez Akademię Techniczno-Rolniczą w Bydgoszczy, Instytut Badań Systemowych PAN, Komisję Informatyki PAN - Oddział w Gdańsku oraz Bydgoskie Zakłady Elektromechaniczne "BELAM" S.A. w Bydgoszczy.

Komitet Naukowo-Programowy konferencji:

Witold Abramowicz, Ryszard Budziński, Ryszard Choraś, Ludosław Drelichowski (przewodniczący), Grzegorz Głownia, Adam Grzech, Jakub Gutenbaum, Olgierd Hryniewicz, Janusz Kacprzyk, Zbigniew Kierzkowski, Jerzy Kisielnicki, Adam Kopiński, Maciej Krawczak, Henryk Krawczyk, Bernard F. Kubiak, Roman Kulikowski, Marian Kuraś, Ludwik Maciejec, Marek Miłoś, Janusz Stokłosa, Jan Studziński, Zdzisław Szyjewski.

© Instytut Badań Systemowych PAN, Warszawa 2000

ISBN 83-85847-53-7
ISSN 0208-8028

Rozdział 2

Komputerowe systemy wspomagania decyzji

KOMPUTEROWO WSPOMAGANE MODELOWANIE, OPTIMALIZACJA I STEROWANIE DUŻEJ KOMUNALNEJ SIECI WODOCIĄGOWEJ

Jan Studzinski*, Lucyna Bogdan*, Danuta Kaczmarska**

* Instytut Badań Systemowych PAN, Warszawa

studzins@ibspan.waw.pl

** Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji, Rzeszów

The structure and the properties of the computer modelling system for projecting and control of the hydraulic municipal water network in Rzeszów are described in the paper. The computer system consists of the five main modules: the GIS system, the hydraulic model, the monitoring system, the optimisation system and the control system. The system modules collaborate each other using the branch database of the GIS system. The modelled water network consists of 12000 nodes or pipes, two supply station, thirty pump works and seven retention tanks. During the computer modelling of the water network the variant aggregation of the user nodes is carried out. This procedure limits the nodes number to several hundred nodes or pipes. The structure and the properties of the tested system are described.

1. Wstęp

W Rzeszowie jest realizowany projekt celowy KBN, dotyczący opracowania komputerowego systemu wspomagającego decyzje operatora i projektanta dużej komunalnej sieci wodociągowej. Realizacja projektu składa się z kilku etapów: opracowania mapy numerycznej sieci wodociągowej, opracowania modelu matematycznego do obliczeń hydraulicznych sieci, kalibracji modelu na podstawie pomiarów, opracowania systemu monitoringu sieci, opracowania programu optymalizacji dla celów projektowania, opracowania algorytmów sterowania siecią w warunkach standardowych i awaryjnych. Mapa numeryczna, model hydrauliczny, program optymalizacji, monitoring i algorytmy sterowania są tworzone w postaci autonomicznych modułów systemu, współpracujących ze sobą za pośrednictwem wspólnej branżowej bazy danych sieci wodociągowej oraz buforowych plików danych realizujących komunikację między modułami.

Celem tworzenia systemu jest usprawnienie zarządzania siecią, szczególnie w stanach awaryjnych, uzyskanie oszczędniejszej eksploatacji sieci, poprawa stanu sieci poprzez wykonanie właściwych prac modernizacyjnych, usprawnienie procesu projektowania sieci przy jej rozbudowie oraz ułatwienie pracy operatora sieci.

W referacie omawia się strukturę systemu, funkcje poszczególnych modułów oraz główne problemy związane z realizacją systemu. Przy czym problemy rozpatruje się w trzech aspektach: merytorycznym, psychologicznym, organizacyjnym i wdrożeniowym. Uważamy, że wyczerpują one zakres głównych trudności, na które napotyka się przy realizacji tak złożonego zadania, jak komputeryzacja dużej miejskiej sieci wodociągowej.

2. Opis obiektu

Parametry badanej sieci wodociągowej w Rzeszowie są następujące:

- 2 ujęcia wody powierzchniowej z rzeki o łącznej wydajności 84.000 m³/d
- 30 hydroforni i przepompowni strefowych
- 7 zbiorników wyrównawczych o łącznej pojemności 16.000 m³
- 5 magistrali z odcinkami o zróżnicowanych średnicach: 325, 400, 600, 800, 1.000 i 1.200 mm
- łączna długość sieci 544 km (w tym magistrale 49 km, sieć rozdzielcza 274 km oraz przyłącza 221 km),
- 12.186 wodomierzy zamontowanych na sieci oraz 12.201 odbiorców zbiorowych (część odbiorców jest rozliczana w trybie ryczałtowym)
- struktura sieci ma w 80% układ pierścieniowy.

Ludność Rzeszowa wynosi 162.000 mieszkańców a średnie zużycie wody na 1 mieszkańca wynosi 140 l/d. Produkcja wody wynosi 46.000 m³/d co oznacza, że moc sieci jest obecnie wykorzystywana jedynie w 55%.

Sieć wodociągowa w Rzeszowie jest bardzo zróżnicowana pod względem rodzaju stosowanych rur i ich wieku. Składa się z rur zrobionych ze stali ocynkowanej, z żeliwa, ze stali, z PCW, z polietylenu i z azbestocementu. Jednocześnie tylko ok. 34% rur ma mniej niż 15 lat a ok. 5% rur jest ma więcej niż 55 lat. Oznacza to, że ok. 6% sieci, czyli ok. 30 km rur, powinno zostać wymienionych w najbliższym czasie. Duże zróżnicowanie materiałowe i *wiekowe* sieci wpływa na jej awaryjność, przy czym rocznie zdarza się ok. 500 awarii spowodowanych uszkodzeniem uszczeltek, korozją, uszkodzeniami mechanicznymi oraz wadami materiałowymi i wadami montażu.

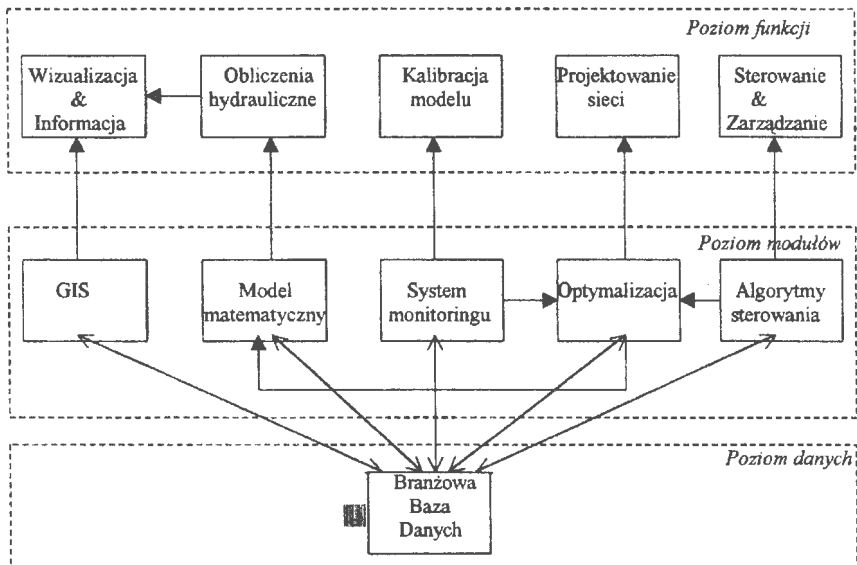
Duża awaryjność sieci, konieczność wymiany jej starych odcinków oraz duże przewymiarowanie sieci w stosunku do jej obciążenia uzasadniają potrzebę budowy komputerowego systemu zarządzania siecią.

System komputerowy ma poprawić obsługę stanów awaryjnych, zmniejszyć koszty eksploatacji sieci oraz zapewnić optymalność prac modernizacyjnych.

3. Struktura i funkcje systemu komputerowego

System komputerowy składa się z modułów i poziomów funkcjonalnych pokazanych na rysunku. Funkcje tych modułów są następujące:

- Mapa numeryczna służy do wizualizacji sieci a sprzęgnięta z nią Branżowa Baza Danych jest źródłem technicznych, technologicznych i eksploatacyjnych informacji o sieci.



- Symulacja komputerowa modelu hydraulicznego umożliwia zapoznanie się z bieżącym stanem obiektu, tzn. z aktualnym rozkładem ciśnień i przepływów w węzłach i odcinkach sieci.
- Pomiar z monitoringu służy do aktualizacji Branżowej Bazy Danych oraz kalibracji i okresowej weryfikacji modelu. Sieć wodociągowa jest obiektem, którego parametry zmieniają się z upływem czasu i dlatego raz opracowany model sieci należy okresowo weryfikować.
- Program optymalizacji jest stosowany w pracach projektowych przy modernizacji i rozbudowie sieci. Generując różne warianty projektów

umożliwia on projektantowi wybór najlepszego wariantu, przy czym w programie stosuje się techniczne kryteria optymalizacji.

- Algorytmy sterowania są dwóch rodzajów: dla standardowych warunków eksploatacyjnych i dla stanów awaryjnych. Pierwszy przypadek dotyczy sterowania pracą pomp oraz napełnianiem i opróżnianiem zbiorników wyrównawczych tak, aby zaspokoić potrzeby odbiorców zgodnie z przewidywanym obciążeniem sieci. W drugim przypadku, po wystąpieniu awarii następuje odcięcie uszkodzonego fragmentu sieci oraz zaspokajanie potrzeb odbiorców wg ustalonej wcześniej listy priorytetów.

Czynności modułów systemu są realizowane również obecnie przez operatora sieci a tworzony system komputerowy ma te czynności zautomatyzować, zoptymalizować i odpersonalizować.

4. Mapa numeryczna

Nie ma w Polsce jednolitej koncepcji tworzenia map numerycznych dla potrzeb wodociągów i każde przedsiębiorstwo wypracowuje swój własny tryb postępowania. W żadnych wodociągach krajowych prace nie wykroczyły dotychczas poza etap opracowywania mapy numerycznej z jej przeznaczeniem tylko do wizualizacji sieci wodociągowej i jako źródła informacji o obiekcie; natomiast nie tworzy się jeszcze kompleksowych systemów komputerowych do zarządzania siecią, gdzie mapa numeryczna byłaby tylko jednym z elementów systemu. Dlatego przy realizacji omawianego systemu komputerowego nie można było skorzystać z cudzych doświadczeń, co znacznie ułatwiłoby wykonanie zadania.

Rynek systemów GIS jest opanowany w Polsce praktycznie przez 2 firmy: Intergraph z programem Geomedia oraz ESRI z programem ArcInfo. Dla potrzeb systemu w Rzeszowie zakupiono program Geomedia, który jest nowszy, bardziej uniwersalny i tańszy, chociaż firma Intergraph nie ma doświadczenia z wdrażaniem programu Geomedia w przedsiębiorstwach wodociągowych. Dlatego zakupiony uniwersalny system GIS należało następnie, we współpracy z firmą Intergraph, dopasować do specyficznych wymagań sieci wodociągowej.

Mapa numeryczna sieci wodociągowej w Rzeszowie jest tworzona na podstawie plików *.DGN (Digital Geographic Notation), pozyskiwanych z miejskiego urzędu geodezji i zawierających zwektoryzowane mapy geodezyjne miasta w skali 1:500, otrzymane za pomocą programu Microstation.

Utworzenie z programu Geomedia specjalizowanej aplikacji narzędziowej wymagało wykonania następujących czynności:

- definicja typowych obiektów i atrybutów opisujących sieć wodociągową

- definicja modelu Branżowej Bazy Danych dla sieci wodociągowej
- definicja nowych warstw mapy numerycznej dla zdefiniowanych obiektów, które nie są uwzględniane przez standardowy program Geomedia (warstwa węzłów i odcinków hydraulicznych)
- opracowanie programu do sprawdzania i poprawy topologii (ciągłości) grafu sieci wodociągowej tworzonego na podstawie plików *.DGN
- opracowanie programu do sprawdzania i poprawy spójności grafu sieci wodociągowej tworzonego na podstawie plików *.DGN
- opracowanie programu do okresowej aktualizacji mapy numerycznej na podstawie zaktualizowanych plików *.DGN, pozyskiwanych okresowo z miejskiego urzędu geodezji
- opracowanie formatu plików buforowych do eksportu i importu danych z i do Branżowej Bazy Danych dla zapewnienia automatycznej współpracy programu Geomedia z innymi programami zewnętrznymi (np. z modelem hydraulicznym sieci).

Utworzenie z uniwersalnego programu Geomedia specjalizowanej aplikacji narzędziowej umożliwi tworzenie mapy numerycznej sieci wodociągowej, która jest topologicznie poprawna i użyteczna dla potrzeb obliczeniowych. Przy tym proces tworzenia mapy nigdy nie będzie zakończony, ponieważ eksploatowana sieć wodociągowa jest stale modernizowana i rozbudowywana i jej parametry zmieniają się co oznacza, że Branżowa Baza Danych musi być ciągle aktualizowana.

5. Model hydrauliczny

Modele matematyczne sieci są używane bardzo rzadko w polskich przedsiębiorstwach wodociągowych i służą zwykle do sporadycznych obliczeń hydraulicznych (symulacji komputerowej) i optymalizacyjnych. Jednak takie modele mogą i powinny być również wykorzystywane do sterowania siecią. Warunkiem jest dobre wykalibrowanie modelu i jego okresowa aktualizacja, co z kolei wymaga sprzęgnięcia modelu sieci z mapą numeryczną i systemem monitoringu. Taka sytuacja jednak nigdzie w kraju nie występuje. Przyczynami tego stanu są: duża kłopotliwość kalibracji modelu, trudności organizacyjne związane z koniecznością bieżącej aktualizacji modelu oraz duże koszty tworzenia kompleksowego systemu komputerowego. Dlatego tylko nieliczne wodociągi dysponują modelem swojej sieci, modele te są traktowane jako niezależne programy i zwykle dezaktualizują się szybko po wykonaniu jednostkowego zadania, dla którego zostały opracowane.

Symulacja komputerowa, tzn. wykonanie obliczeń hydraulicznych, polega na wyznaczeniu przepływów i ciśnień wody w przewodach i węzłach sieci dla zadanej struktury sieci oraz zadanych rozbiórów w węzłach odbior-

czych. Zadanie struktury oznacza zadanie grafu sieci, tzn. podanie współrzędnych węzłów, długości i średnic przewodów oraz elementów aparatury wodociągowej i ich charakterystyk (pomp, zbiorników, zasuw itp.). Na podstawie zadanego grafu program tworzy model hydrauliczny sieci, tzn. układ równań opisujących sieć, przy czym jest to układ liniowych i nieliniowych równań algebraicznych wynikających z I i II prawa Kirchhoffa oraz z równania Bernoulliego (przy tym z I prawa Kirchhoffa otrzymujemy liniowe równania przepływu w węzłach sieci, z II prawa Kirchhoffa otrzymujemy nieliniowe równania przepływu w pierścieniach sieci oraz z równania Bernoulliego otrzymujemy liniowe równania ciśnień w węzłach sieci). Rozwiązanie tego układu dla zadanych rozbiórów węzłowych jest rozwiązaniem zadania symulacji komputerowej.

Przy formułowaniu i obliczeniach modelu hydraulicznego napotyka się trzy nietrywialne problemy związane z:

- uwzględnieniem w strukturze (modelu) sieci różnych elementów aparatury wodociągowej
- wyborem odpowiedniej kombinacji pierścieni uwzględnianej w obliczeniach
- wyborem metody obliczeniowej do rozwiązywania układu równań algebraicznych.

Różne dostępne na rynku modele hydrauliczne uwzględniają różne elementy aparatury i często dostępne modele nie odpowiadają wymaganiom badanej sieci wodociągowej. Z kolei wybór kombinacji pierścieni do obliczeń może mieć istotny wpływ na wynik tych obliczeń (dla wyjaśnienia: jeżeli w grafie sieci mamy np. dwa graniczące ze sobą pierścienie I i II, to dają one już trzy możliwe kombinacje obliczeniowe: pierścień I i pierścień II, pierścień I i pierścień utworzony z pierścieni I i II, pierścień II i pierścień utworzony z pierścieni I i II). Wreszcie istnieje wiele metod numerycznych rozwiązywania nieliniowych układów równań algebraicznych i różnią się one swoimi własnościami.

W naszym modelu uwzględniamy w strukturze modelu następujące obiekty charakterystyczne dla sieci wodociągowej w Rzeszowie:

- pompownie będące źródłami wody
- zbiorniki retencyjne
- przepompownie mogące pełnić funkcję źródła lub odbiorcy wody
- zasuw
- reduktory ciśnienia.

Obliczając przepływy w pierścieniach sieci uwzględnia się w obliczeniach wszystkie możliwe kombinacje pierścieni, co eliminuje błędy występujące przy arbitralnym wyborze jednej kombinacji.

Z kolei w przypadku wyboru metody do rozwiązywania równań istnieją zasadniczo dwa podejścia: matematyczne i inżynierskie. W pierwszym podejściu wszystkie równania traktuje się jak zwykły układ nieliniowych równań algebraicznych i rozwiązuje się go jedną z klasycznych metod numerycznych (np. Newtona). Podejście to nie jest dobre, bo nie uwzględnia specyficznej postaci równań opisujących sieć wodociagową. W drugim podejściu są stosowane algorytmy specjalizowane (np. Crossa). Ich wspólną cechą jest to, że w opisie sieci rozdziela się odcinki tworzące pierścienie oraz odcinki pozostałe. W rezultacie otrzymuje się trzy układy równań o stosunkowo małych wymiarach: układ nieliniowy opisujący przepływy w odcinkach pierścieniowych, układ liniowy opisujący przepływy w odcinkach niepierścieniowych oraz układ liniowy opisujący ciśnienia we wszystkich węzłach. Układy te rozwiązuje się niezależnie jeden od drugiego, co znacznie upraszcza obliczenia. W naszym modelu stosujemy metodę Crossa. Do obliczania tarcia wody w rurze stosujemy wzór Colebrooka-White'a jako standard przyjęty w Polsce.

Rozbiory węzłowe w sieci można zadawać w postaci sumarycznych rozbiorów średnich (np. godzinowych lub dobowych) lub w postaci rozkładów czasowych (np. dobowych rozkładów godzinowych) i w rezultacie obliczenia hydrauliczne mają charakter statyczny (w pierwszym przypadku) lub dynamiczny. Przy czym nie jest łatwo wyznaczyć czasowe rozkłady rozbiorów dla wszystkich węzłów odbiorczych i dlatego na ogół przeprowadza się obliczenia hydrauliczne dla sumarycznych rozbiorów średnich. W naszym przypadku stosujemy oba typy danych dotyczących rozbiorów węzłowych.

Celem symulacji komputerowej jest dostarczenie informacji operatorowi względnie projektantowi sieci wodociagowej o rozkładach ciśnień i przepływów w sieci o zadanej strukturze i parametrach techniczno-technologicznych.

6. Optymalizacja i sterowanie

Optymalizacja może być stosowana do projektowania i/lub sterowania operacyjnego siecią wodociagową. Projektowanie polega na doborze takich parametrów technicznych sieci (np. średnic przewodów), aby spełnić określone wymagania technologiczne (np. dotyczące ciśnień w węzłach odbiorczych). Sterowanie polega na takim doborze pewnych parametrów technologicznych (np. harmonogramów pracy pomp lub napełniania zbiorników retencyjnych), aby uzyskać wymagane wartości innych parametrów technologicznych (np. zadane rozkłady rozbiorów lub ciśnień w węzłach odbior-

czych). W obliczeniach optymalizacji wykonuje się wielokrotnie obliczenia symulacyjne modelu hydraulicznego.

W praktyce wodociągowej optymalizację przeprowadza się zwykle ręcznie lub za pomocą programów optymalizacji jednokryterialnej. W pierwszym przypadku użytkownik samodzielnie zmienia parametry sieci i po wykonaniu obliczeń symulacyjnych ocenia rezultat dokonanych zmian. Jest to sposób prymitywny i jednocześnie bardzo czasochłonny i nieoptymalny, ponieważ w przypadku większych sieci występuje tak dużo możliwości zmieniania parametrów, że człowiek nie jest w stanie wszystkiego uwzględnić, wykonać i ocenić. W przypadku stosowania programów optymalizacji dobór parametrów i ocena wyników odbywają się automatycznie, co znacznie przyspiesza i ułatwia obliczenia. W optymalizacji jednokryterialnej uwzględnia się jednak tylko jedno kryterium celu, przy czym jest to na ogół kryterium kosztowe, które należy zminimalizować. Przy takiej optymalizacji, aby uniknąć otrzymywania rozwiązań nieprawidłowych (takim jest, np. nie dokonywanie żadnych zmian w sieci i wynikające stąd zerowe - czyli minimalne - koszty inwestycyjne), należy wprowadzić arbitralne ograniczenia na parametry technologiczne, co ogranicza obszar poszukiwań.

Jednocześnie są znane metody optymalizacji wielokryterialnej, umożliwiające formułowanie kilku różnych kryteriów celu (technicznych i ekonomicznych) i znajdowanie rozwiązań kompromisowych (quasi-optymalnych). Optymalizacja wielokryterialna lepiej odzwierciedla rzeczywiste sytuacje a znajdowane rozwiązania kompromisowe są na ogół lepsze niż te z optymalizacji jednokryterialnej. Jednak optymalizacja wielokryterialna nie generuje użytkownikowi jednego rozwiązania optymalnego a tylko zbiór rozwiązań dobrych, z których użytkownik w sposób subiektywny wybiera rozwiązanie najbardziej go satysfakcjonujące. W ten sposób optymalizacja wielokryterialna jest narzędziem do wspomaganie procesu podejmowania decyzji. Metody optymalizacji wielokryterialnej są jednocześnie bardzo złożone. Dlatego często omija się problem złożoności przeformułując zadanie optymalizacji wielokryterialnej do zadania lub ustalonego ciągu zadań optymalizacji jednokryterialnej. Stosuje się przy tym trzy sposoby: skalaryzacji (tworzenia z kilku kryteriów jednego sumarycznego kryterium z arbitralnie dołączonymi wagami), leksykografii (arbitralnego ustalania hierarchii ważności kryteriów i tworzenia uporządkowanego ciągu kryteriów) oraz wyboru dominanta (wyboru kryterium wiodącego i zamiany pozostałych kryteriów na ograniczenia). Dzięki temu uzyskuje się możliwość wyznaczenia jednego optymalnego rozwiązania, jednak obciążonego wadami optymalizacji jednokryterialnej.

Celem optymalizacji jest dobór wybranych parametrów sieci wodociągowej warunkujący osiągnięcie wymaganych wartości przez inne parametry sieci.

W naszym przypadku do celów projektowania i sterowania operacyjnego stosuje się metody optymalizacji jednokryterialnej. W zadaniu projektowania kryterium celu jest techniczne i dotyczy minimalizacji różnicy między ciśnieniem zadaniem i obliczonym w węzłach odbiorczych. Stosuje się przy tym następujący trójstopniowy algorytm postępowania:

- w 1 kroku wyznacza się ścieżki największej oporności między węzłami z nieprawidłowym ciśnieniem i źródłem
- w 2 kroku próbuje się poprawić ciśnienia w węzłach poprzez stopniową eliminację chropowatości w rurach tworzących ścieżki największej oporności (co można rozumieć jako czyszczenie przewodów)
- w 3 kroku poprawia się ciśnienia w węzłach poprzez zmianę średnicy rur.

Algorytmy sterowania operacyjnego są dwóch rodzajów: dla standardowych warunków eksploatacyjnych sieci i dla stanów awaryjnych. Pierwszy przypadek dotyczy sterowania pracą pomp oraz napełnianiem i opróżnianiem zbiorników retencyjnych tak, aby zaspokoić potrzeby odbiorców zgodnie z przewidywanym obciążeniem sieci i jednocześnie zminimalizować koszty eksploatacji (minimalizacja kryterium kosztowego). Sterowanie siecią wodociagową polega w tym przypadku na wygenerowaniu gotowych scenariuszy pracy pomp i zbiorników na podstawie opracowanych wcześniej czasowo-przestrzennych modeli obciążenia sieci (dobowych rozbiorów godzinowych w węzłach odbiorczych). Przy czym opracowane modele (rozkłady) obciążenia sieci są zróżnicowane wg typu odbiorcy (5 typów) i pory roku (4 pory roku). W drugim przypadku zadania algorytmu są bardziej złożone: po wystąpieniu awarii następuje odcięcie uszkodzonego fragmentu sieci oraz zaspokajanie potrzeb odbiorców wg ustalonej wcześniej listy ważności (priorytetów odbiorców).

7. Monitoring

Podstawowy problem przy uruchamianiu modelu hydraulicznego sieci dotyczy jego kalibracji. Poprawność kalibracji zależy od jakości danych dostarczonych do modelu i opisujących sieć wodociagową. Ponieważ archiwalna dokumentacja gromadzona w przedsiębiorstwach wodociagowych jest na ogół niekompletna, w szczególności dotycząca starych odcinków sieci, więc pierwsze obliczenia symulacyjne modelu dają zwykle bardzo niedokładne wyniki. Wymaga to w konsekwencji żmudnej weryfikacji posiadanych danych oraz również wykonania pomiarów przepływów i ciśnień w wybranych charakterystycznych punktach sieci. Do tego celu służy monitoring. Również po kalibracji modelu monitoring służy do jego okresowej weryfikacji, ponieważ sieć wodociagowa jest systemem dynamicznym i jej parametry zmieniają się w czasie.

Zainstalowany w Rzeszowie pilotowy system monitoringu obejmuje obszar ok. 15% całej sieci miejskiej co oznacza, że również dla tego obszaru jest dokonywana kalibracja modelu. Monitoring uwzględnia pomiary przepływu wody w 6 punktach sieci oraz pomiary ciśnienia w 9 punktach sieci, przy czym punkty pomiarowe znajdują się w źródłach zasilania sieci i miejscach największego rozbioru wody oraz w przewidywanych miejscach największego i najmniejszego ciśnienia. Wybór miejsc największego i najmniejszego ciśnienia został dokonany na podstawie wstępnych pomiarów i wstępnych obliczeń symulacyjnych modelu sieci. Pomiary wykonywane przez system monitoringu są rejestrowane w 1-godzinny cykl czasowy i przesyłane do operatora drogą radiową za pomocą telefonii komórkowej GSM.

8. Problemy realizacyjne

Podstawowe problemy napotymane przy realizacji omawianego zadania można podzielić następująco:

- Problemy merytoryczne dotyczą wyboru lub opracowania poprawnych metod obliczeniowych (np. metody obliczeń modelu hydraulicznego czy metody optymalizacji) i są one stosunkowo najprostsze i najbardziej jednoznaczne.
- Problemy psychologiczne powstają wówczas, gdy z jednej strony dochodzi do współpracy różnych osób z różnych środowisk pracy, z drugiej strony, gdy prace badawcze dotyczą zagadnienia stosunkowo nowego i opracowania narzędzia, którego użyteczność nie jest jeszcze powszechnie uznana. W pierwszym przypadku należy rozwiązać trudności wzajemnej komunikacji, w drugim przypadku należy pokonać opór pracowników przedsiębiorstwa przed wdrażaniem innowacji.
- Problemy organizacyjne są również dwóch rodzajów. Z jednej strony dotyczą koordynacji pracy wielu osób uczestniczących w badaniach i znajdujących się geograficznie w różnych odległych miejscach, z drugiej strony dotyczą konieczności przeprowadzenia na ogół pewnych zmian reorganizacyjnych w firmie, w której wdraża się wyniki badań. W naszym przypadku w badaniach uczestniczy ok. 20 osób z 4 miast w Polsce, co wymaga odpowiedniej organizacji kontaktów i wymiany informacji i wyników badań. Jednocześnie opracowywanie samej mapy numerycznej sieci wodociągowej wymaga utworzenia specjalnej jednostki organizacyjnej dla realizacji tego zadania, a w konsekwencji reorganizacji służb informatycznych i inżynierskich w przedsiębiorstwie wodociągowym.
- Problemy wdrożeniowe są związane z zastosowaniem opracowanych algorytmów czy metod w praktyce. Rzeczywiste uwarunkowania tech-

niczne ograniczają często wdrożenie pewnych abstrakcyjnych pomysłów i należy wówczas wybierać rozwiązania kompromisowe.

Z naszych doświadczeń wynika, że najtrudniejsze są problemy organizacyjne i zajmują one najwięcej czasu, natomiast problemy merytoryczne, paradoksalnie, należą do najprostszych i zajmują nie więcej niż ok. 30% czasu poświęcanego na realizację całego zadania.

Bibliografia

Studzinski, J.; Straubel, R.(1994) Modelling & simulation of water networks. *Proceedings of the MOSIS'94 Conference*, ed. J. Stefan, Ostrava, 256-261.

Studzinski, J.; Bogdan, L.; Straubel, R.(1995) Simulation & optimisation of water networks as decision support for design & forecasting. *Proceedings of the ESM'95 Conference*, eds. M. Snorek & M. Sujansky & A. Verbraeck, Prague, 54-58.

Studzinski, J.; Chudzik, B.; Straubel, R. (1996) Computer aided design & optimisation of water & sewage networks. *Proceedings oh the MOSIS'96 Conference*, ed. J. Stefan, Ostrava, 111-116.

Chudzik, B.; Studzinski, J.; Karambinov, S. (1997) Optimisation of rural water systems. *Proceedings of the MMSABI'97 Conference*, ed. I. Farkas, Budapest, 149-154.

Studzinski, J.; Bogdan, L.; Chudzik, B. (1999) Development of a computer system to support the management of a municipal water network. *Proceedings of the ASIS'99 Conference*, ed. J. Stefan, Krnov, 275-279.

Studzinski J.; Chudzik B.; Kaczmarska D. (1999) Komputerowy system wspomagania decyzji operatorskich w miejskiej sieci wodociągowej. *Materiały konferencji nt. Systemów informacji zarządczej KSW'1999*, Ciechocinek.

Gutenbaum, J.; Inkielman, M. (2000) Optymalizacja wielokryterialna przy wielu ośrodkach decyzyjnych. *Materiały konferencji nt. Technologii informatycznych w biznesie, finansach i zarządzaniu KSW'2000*, Ciechocinek (w druku).

ISSN 0208-8029
ISBN 83-85847-53-7

**W celu uzyskania bliższych informacji i zakupu dodatkowych egzemplarzy
prosimy o kontakt z Instytutem Badań Systemowych PAN
ul. Newelska 6, 01-447 Warszawa
tel. 837-35-78 w. 241 e-mail: bibliote@ibspan.waw.pl**