



POLSKA AKADEMIA NAUK

Instytut Badań Systemowych

**ROZWÓJ I ZASTOSOWANIA
TECHNOLOGII I SYSTEMÓW
INFORMATYCZNYCH**

pod redakcją:

Jana Studzińskiego

Ludostawa Drelichowskiego

Olgierda Hryniewicza



**ROZWÓJ I ZASTOSOWANIA TECHNOLOGII
I SYSTEMÓW INFORMATYCZNYCH**

Polska Akademia Nauk • Instytut Badań Systemowych

Seria: BADANIA SYSTEMOWE
tom 28

Redaktor naukowy:

Prof. dr hab. Jakub Gutenbaum

Warszawa 2001

ROZWÓJ I ZASTOSOWANIA TECHNOLOGII I SYSTEMÓW INFORMATYCZNYCH

pod redakcją

Jana Studzińskiego, Ludosława Drelichowskiego
i Olgierda Hryniewicza

Wydano z wykorzystaniem dotacji KOMITETU BADAŃ NAUKOWYCH

Książka zawiera wybór artykułów poświęconych omówieniu aktualnego stanu badań w kraju w zakresie rozwoju technologii, modeli i systemów informatycznych oraz ich zastosowań w różnych dziedzinach gospodarki narodowej. Wyodrębnioną grupę stanowią artykuły aplikacyjne omawiające wyniki projektów badawczych i celowych KBN.

Recenzenci artykułów:

Dr hab. inż. Ryszard Budziński, prof. US

Prof. dr hab. inż. Janusz Kacprzyk

Dr hab. Adam Kopiński, prof. AE we Wrocławiu

Doc dr hab. inż. Marek Libura

Prof. dr hab. inż. Andrzej Straszak

© Instytut Badań Systemowych PAN, Warszawa 2001

ISBN 83-85847-59-6

ISSN 0208-8028

Rozdział 6

**Modele, metody i systemy
informatyczne będące wynikiem
prac badawczych KBN**

SYSTEM KOMPUTEROWY WSPOMAGANIA DECYZJI OPERATORA SIECI WODOCIĄGOWEJ W WODOCIĄGACH RZESZOWSKICH*

Jan Studziński¹, Lucyna Bogdan¹, Danuta Kaczmarek²

*¹Institut Badań Systemowych PAN, Warszawa
studzins@ibspan.waw.pl*

²Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji w Rzeszowie

In the paper the results of a project of computer aided decision support system for the operator of the municipal water network in Rzeszów are presented. The system consists of three co-operating modules: the numerical map of the water network, the monitoring system and the computer program for hydraulic calculations and for optimisation. The numerical map is based on GIS system adapted for the needs of the water network. The modules of computer system co-operate each other using the Branch Data Base, which comprise the information about the water network structure and about its elements necessary to carry out the tasks of modules such as visualisation, data processing and hydraulic calculations.

1. Opis badanego obiektu – sieci wodociągowej w Rzeszowie

Miasto Rzeszów liczy ok. 160.000 mieszkańców. Miejska sieć wodociągowa ma łączną długość 544 km, w tym: magistrale – 50 km, sieć rozdzielcza – 274 km, przyłącza wodociągowe – 221 km. W sieci znajduje się 5 zbiorników wyrównawczych o objętościach 1 x 3.600 m³ oraz 4 x 3.000 m³, oraz 21 przepompowni wody. Sieć jest zasilana z 2 rzecznych ujęć wody o wydajnościach 37.000 m³/dobę i 47.500 m³/dobę. Do sieci jest przyłączonych 12.201 odbiorców zbiorowych i 80 % sieci pracuje w systemie pierścieniowym. Obecnie obciążenie sieci wodociągowej wynosi 56 % jej możliwości produkcyjnych. Przyczyną spadku obciążenia jest zmniejszenie zapotrzebowania na wodę przez zakłady przemysłowe, przez co sieć jest obciążana przede wszystkim przez gospodarstwa domowe. Awaryjność sieci wynosi ok. 500 awarii/rok i jest spowodowana głównie bardzo zróżnicowaną strukturą materiałową i wiekową sieci.

* Na podstawie projektu celowego KBN 8T11C017 97C/3703 „Komputerowy system modelowania, projektowania i sterowania siecią wodociągową w Rzeszowie”

2. Opracowanie mapy numerycznej sieci wodociągowej miasta

Dla opracowania mapy numerycznej sieci wodociągowej zakupiono specjalizowane oprogramowanie do tworzenia map numerycznych (GIS) i wykonano mapę sieci na podstawie zwektoryzowanych map geodezyjnych miasta. Zakupiono standardowy system GEOMEDIA firmy *Intergraph* a następnie zaadoptowano go do potrzeb wodociągów. Taki sposób postępowania pozwala zdobyć odpowiednie doświadczenie oraz uniezależnić przedsiębiorstwo wodociągowe od zewnętrznej firmy komputerowej. Wybór tego sposobu spowodował konieczność rozwiązania 3 zadań:

- zdefiniowania struktury obiektowych baz danych stosowanych przez system GEOMEDIA do wizualizacji sieci wodociągowej i opisu jej parametrów
- zdefiniowania i algorytmizacji użytkowych funkcji specjalnych czyniących z mapy numerycznej narzędzie do zarządzania siecią wodociągową
- opracowania nowej struktury organizacyjnej w przedsiębiorstwie zapewniającej szybkie opracowanie mapy numerycznej a następnie jej prawidłowe użytkowanie

Mapa numeryczna składa się z odpowiadającego rzeczywistości rysunku sieci wodociągowej oraz z dołączonej do rysunku opisowej bazy danych. Aby mapa odwzorowywała rzeczywistą sieć wodociągową, na rysunku muszą być wyróżnione wszystkie charakterystyczne elementy sieci a w bazie danych muszą się znaleźć wszystkie parametry tych elementów zwane atrybutami. Przy sporządzaniu mapy numerycznej należy zdefiniować strukturę bazy danych, czyli z jakich obiektów ma się składać i jakie atrybuty tych obiektów mają w niej zostać uwzględnione. Po szczegółowej analizie potrzeb własnych opracowano definicję bramkowej bazy danych dla wodociągów w Rzeszowie.

Funkcje specjalne umożliwiają stosowanie mapy numerycznej do rozwiązywania zadań realizowanych podczas eksploatacji sieci wodociągowej. W ramach tego zadania zdefiniowano następujące funkcje specjalne:

- aktualizacji mapy numerycznej
- export/import danych geometrycznych i opisowych z/do bazy danych mapy numerycznej
- identyfikacja kolizji między różnymi sieciami branżowymi
- wyłączanie fragmentu sieci wodociągowej w przypadku awarii
- drukowanie raportów eksploatacyjnych i awaryjnych.

Analiza warunków eksploatacji mapy numerycznej w przedsiębiorstwie wodociągowym wykazała, że optymalnym rozwiązaniem dla przedsiębiorstwa użytkującego mapę numeryczną jest stworzenie oddzielnej pracowni mapy numerycznej. W takiej pracowni zespół złożony z informatyka, geodety i specjalisty od sieci wodociągowej będzie w stanie zapewnić poprawne działanie programu (informatyk), bieżącą aktualizację mapy numerycznej (geodeta) oraz rozwiązywanie na bazie mapy specjalistycznych zadań związanych z eksploatacją sieci wodociągowej (inży-

nier-sieciowiec). Taką strukturę organizacyjną wprowadzono w wodociągach w Rzeszowie, przy czym mapa numeryczna jest eksploatowana w systemie sieciowym pięciostanowiskowym.

3. Opracowanie branżowej bazy danych dla sieci wodociągowej

Wizualizacja sieci wodociągowej na ekranie komputera dokonuje się za pomocą aplikacji wodociągowej mapy numerycznej, tzn. wyspecjalizowanej aplikacji Systemu Informacji Przestrzennej (GIS). Z zakupionego standardowego oprogramowania GEOMEDIA należało utworzyć aplikację wodociągową, tzn. opracować format Branżowej Bazy Danych oraz programy narzędziowe realizujące funkcje specjalne. Funkcje te wynikają z potrzeb branży wodociągowej, ze sposobu pozyskiwania danych do tworzenia mapy numerycznej oraz z wymagań stosowanych aplikacji (programów) zewnętrznych współpracujących z mapą numeryczną.

Opracowanie formatu Branżowej Bazy Danych polega na zdefiniowaniu obiektów sieci wodociągowej oraz ich atrybutów. Podstawowe obiekty wodociągów, to: przewody wodociągowe, pompownie, hydroformie, zbiorniki, przyłącza wodociągowe, zasuw, reduktory i zawory zwrotne, natomiast ich podstawowe atrybuty, to: długości i średnice przewodów, charakterystyki pracy pomp, wymiary geometryczne zbiorników, stany pracy i charakterystyki zasuw, reduktorów i zaworów. Branżowa Baza Danych jest podstawą działania wszystkich programów tworzących system komputerowy

Dane do tworzenia mapy numerycznej są dostarczane z geodezji miejskiej w postaci plików DGN, będących zwektoryzowanymi obrębami map geodezyjnych Rzeszowa wykonanych w skali 1:500. Dlatego do programu GEOMEDIA należało dopisać program narzędziowy umożliwiający *wczytywanie plików DGN*, przepisywanie danych graficznych i opisowych do Branżowej Bazy Danych oraz ich wizualizację komputerową. Dodatkowy program służy do *aktualizacji danych*, tzn. do sygnalizacji i uwzględniania w Branżowej Bazie Danych zmian dokonanych przez geodezję miejską w plikach DGN już wcześniej wprowadzonych do Bazy a następnie zmienionych.

Opisana Branżowa Baza Danych stanowi standard umożliwiający wizualizację sieci wodociągowej w postaci mapy numerycznej. Natomiast nie umożliwia współpracy mapy z aplikacjami zewnętrznymi, w szczególności z systemem monitoringu i z modelem hydraulicznym, ponieważ nie zawiera obiektów specyficznych dla tych aplikacji. Takimi obiektami są węzły sieci wodociągowej nie występujące na mapach geodezyjnych. Dlatego kolejnym krokiem przy opracowywaniu formatu Branżowej Bazy Danych było zdefiniowanie węzłów oraz atrybutów węzłów. Podstawowe węzły sieci wodociągowej, to: źródła, odbiorcy, węzły montażowe i pomiarowe, natomiast ich podstawowe atrybuty, to: ciśnienia i rozbiory wody. Mapa numeryczna sieci wodociągowej tworzona bezpośrednio na podstawie zwektoryzowanych obrębów map geodezyjnych, oprócz tego, że nie zawiera węzłów, jest na ogół niepoprawna topologicznie, tzn. jest nieciągła i niespójna. Dlatego nie można na jej podstawie wykonywać obliczeń hydraulicznych. Aby to było możliwe, należało do standardowego programu GEOMEDIA, oprócz wymienionych programów narzędzi-

dziowych do *wczytywania plików DGN* i do *aktualizacji danych*, dopisać dwa nowe programy: do *topologizacji sieci* i do *generowania węzłów hydraulicznych (generator węzłów)*.

Dopiero opracowanie wszystkich programów dodatkowych uczyniło z programu GEOMEDIA aplikację wodociągową mapy numerycznej. Należy zauważyć, że są generowane 3 warstwy mapy numerycznej: *warstwa geodezyjna podstawowa*, utworzona z plików DGN dostarczonych bezpośrednio z geodezji miejskiej, *warstwa geodezyjna topologiczna*, utworzona z warstwy geodezyjnej podstawowej po sprawdzeniu i poprawieniu ciągłości i spójności sieci wodociągowej, oraz *warstwa hydrauliczna* utworzona z warstwy geodezyjnej topologicznej po wprowadzeniu węzłów i utworzeniu w ten sposób nowego grafu sieci, będącego podstawą obliczeń hydraulicznych.

4. Modelowanie matematyczne i symulacja komputerowa sieci

Modelowanie sieci wodociągowej składa się z następujących kroków: opracowania modelu hydraulicznego odpowiadającego specyfice badanej sieci wodociągowej, pozyskania danych opisujących badaną sieć wodociągową, wykonania obliczeń symulacyjnych i ich weryfikacji na podstawie pomiarów. Opracowano własny program modelowania. Jest to program stosujący metodę CROSSA do rozwiązywania nieliniowych równań algebraicznych tworzonych dla pierścieni sieci wodociągowej oraz uwzględniający w strukturze sieci takie obiekty, jak: przewody wodociągowe, przewody wodociągowe z rozbiorem odcinkowym, przewody wodociągowe zawierające zasuwę, reduktory lub zawory, węzły zasilające w postaci pompowni lub zbiorników, węzły montażowe, węzły pomiarowe, węzły odbiorcze w postaci zbiorników lub będące przyłączami na mapie geodezyjnej, węzły podnoszące ciśnienie w postaci hydroforni. Program modelowania jest napisany w języku DELPHI, ma rozbudowany interfejs użytkownika i własny edytor graficzny, umożliwiający wykonywanie obliczeń i tworzenie na ekranie komputera grafu sieci wodociągowej również niezależnie od mapy numerycznej.

Dane do programu dotyczące struktury sieci wodociągowej oraz jej parametrów są dostarczane z mapy numerycznej za pomocą tzw. *plików buforowych*. Pliki buforowe dotyczące przewodów i węzłów hydraulicznych są generowane na podstawie warstwy hydraulicznej mapy numerycznej. Opracowany program modelowania, oprócz możliwości stosowania rozbiorów węzłowych i odcinkowych, ma również możliwość obliczeń statycznych, na podstawie zadanych średnich rozbiorów dobowych lub chwilowych, oraz obliczeń dynamicznych, na podstawie zadanych ciągów dobowych rozbiorów godzinowych. Weryfikacja obliczeń hydraulicznych wykonanych za pomocą programu modelowania następuje poprzez porównanie wyników z pomiarami dostarczonymi z systemu inonitringu.

5. Analiza poprawności modelu

Za pomocą opracowanego programu modelowania wykonano obliczenia symulacyjne dla wybranego fragmentu sieci wodociągowej Rzeszowa. Również dla

tego fragmentu sieci zainstalowano system monitoringu z odpowiednią aparaturą badawczo pomiarową. Wybrano fragment sieci, dla którego utworzono wcześniej mapę numeryczną i można było uzyskiwać dane do obliczeń hydraulicznych w sposób automatyczny za pośrednictwem Branżowej Bazy Danych. Wybrany do badań fragment sieci obejmuje jedną dzielnicę miasta i stanowi ok. 10% sieci wodociągowej Rzeszowa. Wyniki otrzymane za pomocą modelu porównano z wynikami pomiarów uzyskanych z systemu monitoringu. Analiza porównawcza wyników wykazała poprawność opracowanego modelu.

6. Algorytm optymalizacji sieci i sterowania w stanach awaryjnych

Opracowano algorytm optymalizacji sieci stanowiący integralną część programu modelowania. Zrezygnowano przy tym ze stosowania klasycznych metod optymalizacji i opracowano algorytm specjalizowany wykorzystujący specyfikę sieci wodociągowej. Sformułowane zadanie optymalizacji dotyczy poprawiania ciśnień w węzłach sieci w przypadku przekraczania przez nie zadanych przedziałów granicznych. W klasycznej metodzie optymalizacji formułuje się funkcję celu opartą o różnicę między ciśnieniem zadanim i ciśnieniem obliczonym i minimalizuje się tę funkcję poprzez zmianę wartości średnic przewodów wodociągowych. Przy tym jako funkcję celu stosuje się kryterium średniokwadratowe a zmiana parametrów następuje w obszarze całej sieci, co przy dużych sieciach bardzo wydłuża czas obliczeń. W opracowanym algorytmie wyznacza się najpierw w grafie obliczeniowym sieci ścieżki o największej oporności przepływu między źródłami zasilania i węzłami o nieodpowiednim ciśnieniu. Następnie minimalizuje się odchylenia między ciśnieniem zadanim i obliczonym w tych węzłach poprzez zmianę średnicy przewodów występujących jedynie na wyznaczonych ścieżkach. Takie postępowanie skraca czas obliczeń, ponieważ uwzględnia w obliczeniach tylko wyznaczone fragmenty sieci a nie całą sieć.

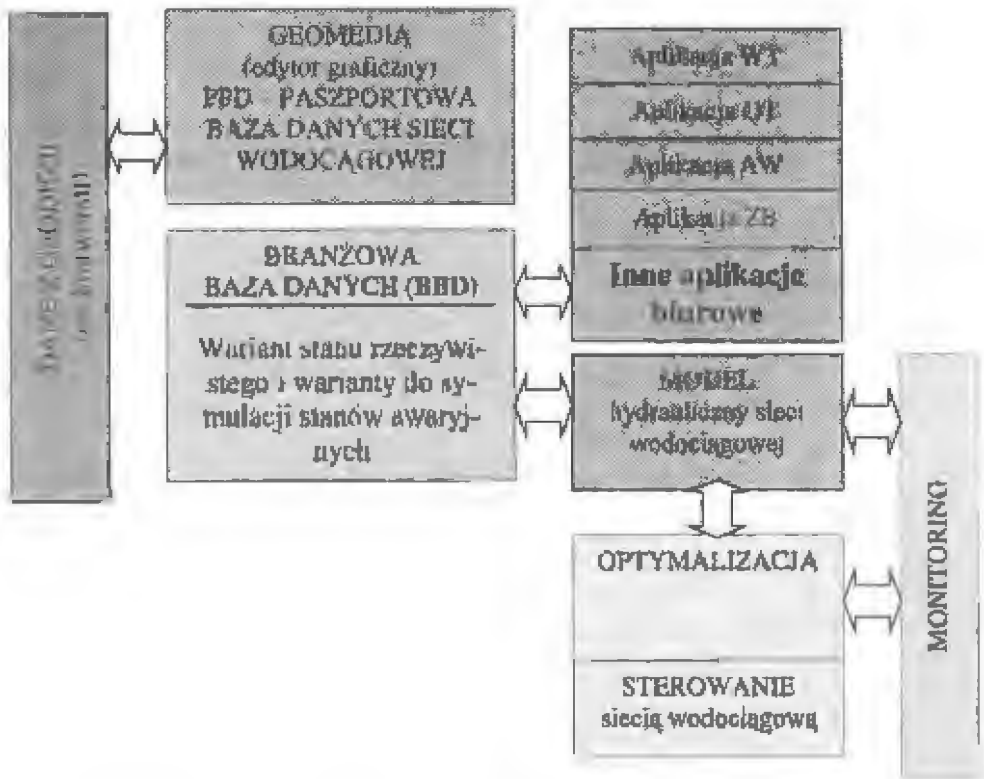
Opracowano także *algorytm awarii* dotyczący sytuacji, gdy w jakimś punkcie sieci nastąpi awaria i należy wówczas odciąć odnośny fragment sieci od zasilania aby uniknąć strat wody. Algorytm realizuje to zadanie poprzez wskazanie najbliższych zasuw, które należy zamknąć dla odcięcia dopływu wody. Algorytm działa na poziomie warstwy hydraulicznej mapy numerycznej. W wyniku działania algorytmu otrzymuje się nowy graf sieci z wyciętym fragmentem z awarią i na podstawie tego grafu można wykonać obliczenia hydrauliczne dla ustalenia wynikowych przepływów i ciśnień w sieci.

7. Opracowanie systemu komputerowego wspomaganie decyzji operatorskich

Opracowany system komputerowy składa się z 3 modułów wykonujących funkcje o charakterze technicznym: mapy numerycznej, systemu monitoringu i modelu hydraulicznego z algorytmem optymalizacji. Dla uruchomienia systemu monitoringu wyznaczono na podstawie obliczeń hydraulicznych punkty pomiarowe w badanym fragmencie sieci wodociągowej. Badany obszar składa się z dwóch stref ciśnieniowych rozdzielonych hydroformią. Wytypowano 9 punktów pomiarowych: 2

punkty zasilania sieci; 2 punkty wyprowadzania wody z badanego obszaru do innych nie badanych obszarów sieci; 2 punkty pomiarowe w 1. strefie ciśnieniowej w miejscu minimalnego i maksymalnego ciśnienia; 2 punkty pomiarowe w 2. strefie ciśnieniowej w miejscu minimalnego i maksymalnego ciśnienia; 1 punkt pomiarowy w hydroforni rozdzielającej 2 strefy ciśnieniowe.

Schemat systemu komputerowego



W punktach dopływu i odpływu wody z sieci oraz w hydroforni mierzy się przepływy i ciśnienia wody, natomiast w pozostałych punktach pomiarowych są mierzone tylko ciśnienia. Do realizacji systemu monitoringu zakupiono program PROCON oparty o oryginalny system niemiecki pracujący przy zastosowaniu sterowników firmy Siemens. System transmisji pomiarów z punktów pomiarowych do komputera z zainstalowanym programem PROCON został oparty o telefonię komórkową GSM. System monitoringu pracuje w sieci komputerowej na trzech komputerach.

Po zakończeniu prac związanych z opracowaniem poszczególnych modułów systemu komputerowego dokonano ich integracji, tzn. uruchomiono współpracę

między nimi i przetestowano wszystkie programy narzędziowe opracowane dla mapy numerycznej i umożliwiające komunikację między mapą, modelem hydraulicznym i systemem monitoringu. W trakcie realizacji systemu stwierdzono, że byłoby użyteczne rozbudowanie systemu o dodatkowe moduły programowe realizujące funkcje zarządcze i wcześniej nie przewidziane w strukturze systemu. Dodatkowe moduły (aplikacje), których uwzględnienie w opracowanym systemie jest celowe, są następujące:

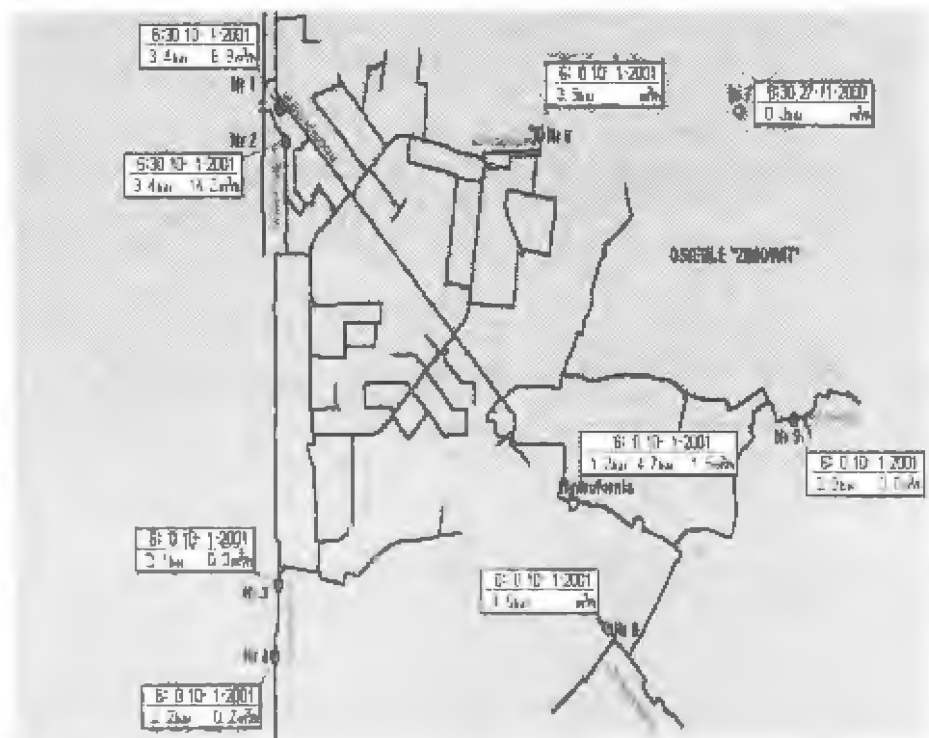
- *Aplikacja WT* – program do obsługi wydawanych i przeglądanych warunków technicznych;
- *Aplikacja OT* – program do odbiorów technicznych współpracujący z modułem WT;
- *Aplikacja AW* – program do obsługi awarii i przeglądów sieci wodociągowej;
- *Aplikacja ZB* – program do obsługi gospodarki wodno-ściekowej w przedsiębiorstwie w zakresie produkcji i sprzedaży wody;
- *Aplikacje inne* – oprogramowanie biurowe.

Opracowany system komputerowy składa się z 7 komputerów, przy czym 3 komputery są przeznaczone do obsługi mapy numerycznej, 2 komputery do obsługi systemu monitoringu i 2 komputery do obsługi modelu hydraulicznego oraz programu optymalizacji. Transmisja danych w systemie monitoringu odbywa się za pomocą telefonii komórkowej GSM. Jest to rozwiązanie innowacyjne w zakresie systemów monitoringu dla sieci wodociągowych. Zapewnia ono dużą niezawodność transmisji, jednocześnie jednak jest stosunkowo drogie w eksploatacji. Dlatego opracowano oszczędnościowy schemat transmisji danych pomiarowych. Polega on na tym, że gdy mierzone przepływy i ciśnienia nie przekraczają zadanych przedziałów wartości, transmisja danych następuje nie w sposób ciągły a jedynie w wybranych zadanych momentach czasowych. Obecnie są to godziny 6:00, 14:00 i 22:00. Jednocześnie transmisja danych odbywa się w trybie alarmowym w przypadku przekroczenia przez pomiary zadanych przedziałów wartości lub może nastąpić w dowolnym czasie na żądanie operatora. W ten sposób, przy prawidłowo pracującej sieci wodociągowej, koszty transmisji danych są minimalne.

Uwagi końcowe

Przedstawiono wyniki dotyczące opracowania i wdrożenia komputerowego systemu wspomagania decyzji operatorskich dla operatora miejskiej sieci wodociągowej w Rzeszowie. System składa się z 3 współpracujących ze sobą modułów o zróżnicowanych funkcjach. Te moduły, to: mapa numeryczna sieci wodociągowej, system monitoringu sieci oraz program obliczeń hydraulicznych i optymalizacji. Mapa numeryczna działa w oparciu o System Informacji Przestrzennej GIS dostosowany do potrzeb i specyfiki sieci wodociągowej. Moduły systemu komputerowego współpracują ze sobą za pośrednictwem Branżowej Bazy Danych, zawierającej informacje o strukturze sieci i jej elementach, niezbędne do realizacji specyficznych zadań modułów, takich jak wizualizacja, przetwarzanie danych i obliczenia hydrauliczne.

Schemat punktów pomiarowych w systemie monitoringu



Stworzono zintegrowany system komputerowy dla wodociągów miejskich, będący całkowicie oryginalnym rozwiązaniem. W różnych wodociągach krajowych w Polsce opracowuje się wprowadzić i stosuje mapy numeryczne sieci, modele hydrauliczne lub systemy monitoringu, jednak są to niezależne programy funkcjonujące w sposób autonomiczny i to powoduje, że nie wykorzystuje się wszystkich możliwości, jakie może dać współpraca tych programów w ramach jednego systemu.

Literatura

- Studzinski J., Bogdan L. (2000): Computer aided modelling, optimisation and control of the large municipal water net. In: Simulation and Modelling: Enablers for better Quality of Life. Proceedings of 14th European Simulation Multiconference ESM'2000, Ghent May 23-26, Ed. R.v.Landeghem, 586-588.
- Straubel R., Studzinski J. (2000): Computer aided planing and operating of the water networks in Koenigs-Wusterhausen and Rzeszów. Proceedings of 4th International Conference in Water Supply and Quality, Kraków 11-13, Ed. M.M.Szozański, 43-54.
- Kaczmarek D. (2000): Wnioski eksploatacyjne z pilotowego wdrożenia komputerowego systemu modelowania, sterowania i projektowania sieci wodociągowej w Rzeszowie. Raport 1/9/01, MPWiK Rzeszów.

ISSN 0208-8028
ISBN 83-85847-59-6

**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**