

92/2011

Raport Badawczy
Research Report

RB/34/2011

**Koncepcja systemu
informatycznego zarządzania
miejskim systemem
zaopatrzenia**

J. Studziński

Instytut Badań Systemowych
Polska Akademia Nauk

Systems Research Institute
Polish Academy of Sciences



POLSKA AKADEMIA NAUK

Instytut Badań Systemowych

ul. Newelska 6

01-447 Warszawa

tel.: (+48) (22) 3810100

fax: (+48) (22) 3810105

Kierownik Zakładu zgłaszający pracę:
Prof. nadzw. dr hab. inż. Jan Studziński

Warszawa 2011

**KONCEPCJA ZINTEGROWANEGO SYSTEMU INFORMATYCZNEGO
WSPOMAGANIA ZARZĄDZANIA MIEJSKIM SYSTEMEM ZAOPATRZENIA W
WODĘ**

JAN STUDZIŃSKI

WARSZAWA 2011

Streszczenie

W pracy przedstawiono koncepcję zintegrowanego systemu informatycznego do komputerowego wspomagania zarządzania miejską siecią wodociągową. Omówiono strukturę i funkcje systemu informatycznego, jego moduły i opracowane programy komputerowe.

Spis treści

1. **Wstęp**
2. **System informatyczny komputerowego wspomaganie zarządzania miejską siecią wodociągową**
3. **Uwagi końcowe**

Literatura

1. Wstęp

W pracy przedstawiono koncepcję zintegrowanego systemu informatycznego, w sposób kompleksowy wspomagającego zarządzanie miejskim systemem zaopatrzenia w wodę, w tym przede wszystkim sterowanie eksploatacyjne i projektowanie sieci wodociągowej.

System ułatwia i usprawnia te operacje, prowadząc do realizacji zadań sieci wodociągowej, czyli zapewnienia wszystkim odbiorcom wody w wymaganej ilości, odpowiedniej jakości, przy minimalizacji kosztów eksploatacyjnych i inwestycyjnych sieci. Rozmiary miejskiego systemu wodociągowego, obejmującego obszar całego miasta, a często również położone wokół miasta gminy, znacznie komplikują problemy zarządzania. Ponadto często mamy do czynienia w miejskich wodociągach z kilkoma źródłami zasilającymi sieć, dostarczającymi wodę o różnicowanej jakości. Ta złożoność systemu miejskiego znacznie komplikuje kwestie sterowania.

Informatyzacja przedsiębiorstw wodociągowych w praktyce przebiega obecnie zwykle dwutorowo, to znaczy niezależnie od siebie wdraża się programy wspomagające albo zarządzanie, albo sterowanie przedsiębiorstwem, traktując te dwa obszary problemowe osobno. W przedstawianym tutaj systemie informatycznym zadania sterowania o charakterze technicznym i zadania zarządzania o charakterze organizacyjnym są rozwiązywane łącznie.

Informatyzacja krajowych firm wodociągowych ma, z punktu widzenia przedstawianego systemu informatycznego, charakter jedynie cząstkowy i polega ona na uruchamianiu pojedynczych programów do wykonywania pojedynczych zadań związanych z zarządzaniem siecią wodociągową.

Przed wszystkim prace tego rodzaju koncentrują się na opracowywaniu mapy numerycznej sieci wodociągowej (systemy GIS), przeznaczonej jednak głównie do komputerowej wizualizacji sieci i traktowanej jako wygodne oraz szybkie źródło informacji o sieci na podstawie branżowej bazy danych. Taka mapa nie generuje grafów sieci do modelu hydraulicznego, na podstawie którego można wykonywać różnorodne obliczenia związane z symulacją, optymalizacją, projektowaniem i sterowaniem siecią wodociągową.

Czasami prowadzi się również prace dotyczące wdrażania modeli hydraulicznych sieci wodociągowej, jednak modele te nie są zwykle sprzęgane z mapą numeryczną i dlatego grafy obliczeniowe sieci dla programów modelowania muszą być konstruowane ręcznie i szybko się dezaktualizują. Dlatego obecne wykorzystanie modeli hydraulicznych jest zwykle ograniczone do rozwiązywania sporadycznych zadań symulacji lub znacznie rzadziej optymalizacji sieci wodociągowych.

W przedsiębiorstwach wodociągowych stosuje się także coraz powszechniej systemy monitoringu (systemy SCADA), ograniczone jednak zwykle do pomiaru poziomów wody w zbiornikach wyrównawczych i pomiaru przepływów w pompowniach i przepompowniach strefowych oraz na końcówkach sieci miejskiej, a więc nie dające pełnej informacji o stanie sieci wodociągowej i uniemożliwiające kalibrację oraz weryfikację modelu hydraulicznego i sterowanie siecią.

Brak współpracy różnych, pracujących niezależnie programów uniemożliwia efektywne zarządzanie siecią wodociągową i również komplikuje ich obsługę, ponieważ poszczególne programy dysponują indywidualnymi bazami danych, które należy niezależnie i na bieżąco aktualizować. Przy dużej liczbie informacji charakteryzującej miejskie sieci wodociągowe

dochodzi po pewnym czasie do powstawania różnic w niezależnych bazach danych i w konsekwencji do otrzymywania nieaktualnych i niewłaściwych wyników z programów obliczeniowych.

Taka sytuacja w krajowych wodociągach była i jest w dalszym ciągu powodowana przyczynami finansowymi i organizacyjnymi, ponieważ tworzenie kompleksowego systemu informatycznego dla sieci wodociągowej jest bardzo kosztowne oraz czasochłonne i stwarza duże problemy związane z organizacją oraz koordynacją interdyscyplinarnego zespołu, zajmującego się rozwiązywaniem bardzo zróżnicowanych zadań badawczych. Te zadania dotyczą tak różnych dziedzin, jak: projektowanie złożonych systemów informatycznych i komputerowych systemów wspomaganie decyzji, symulacja komputerowa, modelowanie hydrauliczne i optymalizacja sieci wodociągowych, algorytmy identyfikacji i sterowania, w tym algorytmy sztucznej inteligencji, modelowanie obciążenia sieci wodociągowej, komputerowe systemy monitoringu i automatyki, systemy informacji przestrzennej itp.

Przedstawione problemy dotyczą w szczególności małych i średnich przedsiębiorstw wodociągowych, dysponujących na ogół bardzo ograniczonymi kapitałami finansowymi i ludzkimi, a jednocześnie dominującym liczbowo w branży wodociągowej.

2. System informatyczny komputerowego wspomaganie zarządzania miejską siecią wodociągową

System składa się z podstawowych modułów, takich jak: system GIS generowania mapy numerycznej sieci wodociągowej, system SCADA monitoringu sieci, program obsługi użytkowników sieci iBOK, oraz moduł programów obliczeń hydraulicznych, optymalizacji, aproksymacji, sterowania, projektowania i zarządzania miejską siecią wodociągową.

Wszystkie programy komunikują się ze sobą za pomocą specjalnie skonstruowanych plików danych. Kluczowym elementem systemu informatycznego jest system GIS, którego baza danych integruje wszystkie programy i jest dla nich podstawowym źródłem informacji do wykonywania obliczeń.

Podstawowe zadania realizowane przez programy systemu są następujące:

- wizualizacja komputerowa sieci wodociągowej w postaci mapy numerycznej,
- monitoring sieci,
- obliczenia hydrauliczne sieci wodociągowej,
- optymalizacja struktury sieci już eksploatowanej pod kątem usprawnienia jej pracy,
- optymalne projektowanie sieci przy jej rozbudowie, modernizacji i remontach,
- planowanie prac inwestycyjnych krótko- i długoterminowych na sieci wodociągowej związanych z jej remontami, modernizacją i rozbudową,
- energooszczędne sterowanie pompami w pompowniach i przepompowniach,
- wykrywanie i lokalizacja wycieków i strat wody w sieci,
- ustalanie racjonalnych cen wody, wyznaczanie wieku wody w sieci wodociągowej.

System informatyczny w założeniu ma

- ułatwiać i poprawiać pracę operatorów sieci wodociągowej, projektantów sieci oraz kadry zarządzającej i decydującej o inwestycjach planowanych w ramach sieci.

Inne korzyści przewidywane z implementacji systemu w przedsiębiorstwie wodociągowym, to:

- zmniejszenie kosztów eksploatacyjnych sieci wodociągowej poprzez lepsze sterowanie pracą pomp,
- zmniejszenie strat wody spowodowanych awariami w wyniku szybkiej lokalizacji ukrytych wycieków i wskutek redukcji awaryjności sieci,
- zgodna z wymaganiami użytkowników sieci dystrybucja wody,
- poprawa jakości wody poprzez zmniejszenie czasu jej przebywania w sieci, oraz
- ekonomicznie uzasadnione planowanie racjonalnych cen wody.

System jest przydatny w zakresie projektowania szczególnie w przypadku sieci wodociągowej rozszerzanej o nowe obszary, wynikające z powiększania się miasta i przyłączania do niego okolicznych gmin z ich sieciami wodociągowymi, wymagającymi modernizacji i rozbudowy.

Wykorzystując system do zadań optymalizacji prac projektowych będzie można w szczególności uwzględnić:

- planowane poszerzanie miasta,
- opracowywane dla miasta bieżące i perspektywiczne plany modernizacji oraz rozwoju sieci wodociągowej,
- optymalne ustalanie warunków technicznych dla podmiotów gospodarczych przyłączanych do sieci wodociągowej.

Programy i zadania

Prezentowany system informatyczny w obecnej wersji składa się z 17 programów zlokalizowanych w czterech modułach. Modułem głównym jest oprogramowanie GIS, integrujące wszystkie programy systemu za pośrednictwem swojej bazy danych i odpowiedzialne za komputerową wizualizację sieci wodociągowej, tworzenie grafów sieci dla modelu hydraulicznego, obliczanie wysokości punktów węzłowych sieci oraz wykonywanie różnorodnych analiz tematyczno-przestrzennych dla sieci wodociągowej.

Systemy GIS są oferowane na rynku przez wiele firm informatycznych w wersjach standardowych i branżowych [1], a w naszym przypadku jest to program G/Water firmy Intergraph odpowiednio zaadaptowany do potrzeb systemu informatycznego i współpracy z innymi jego modułami.

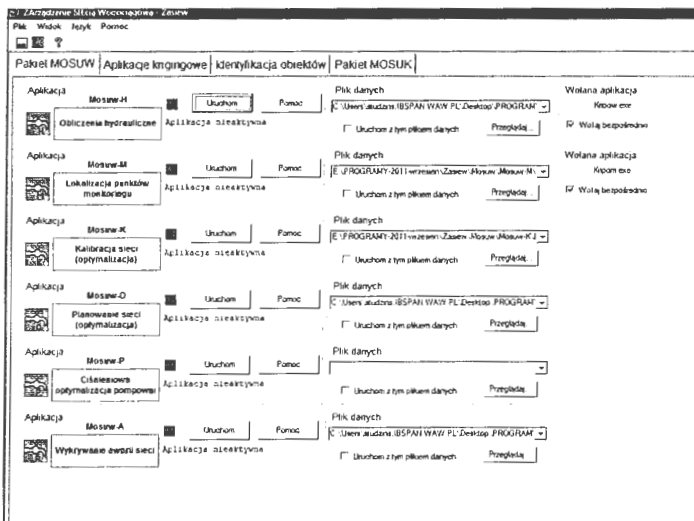
Podobnie dwa inne moduły, czyli system SCADA monitoringu sieci wodociągowej i program iBOK odpowiedzialny za rejestrację danych o rozbiorach i użytkownikach sieci, są produktami rynkowymi, zaadaptowanymi do potrzeb systemu informatycznego. W module monitoringu systemu zaadaptowanym programem jest ProconWin firmy Schulz-Infoprod.

Modułem autorskim jest natomiast moduł zawierający programy specjalizujące się w wykonywaniu różnorodnych zadań zarządzania siecią wodociągową i wykorzystujące do tego celu dane zgromadzone w bazie systemu GIS. Programy te są zintegrowane ze sobą za pomocą wspólnego interfejsu ZASIEW (ZArządzanie SIĘcią Wodociągową), posiadającego trzy zakładki dla programów podzielonych na trzy grupy:

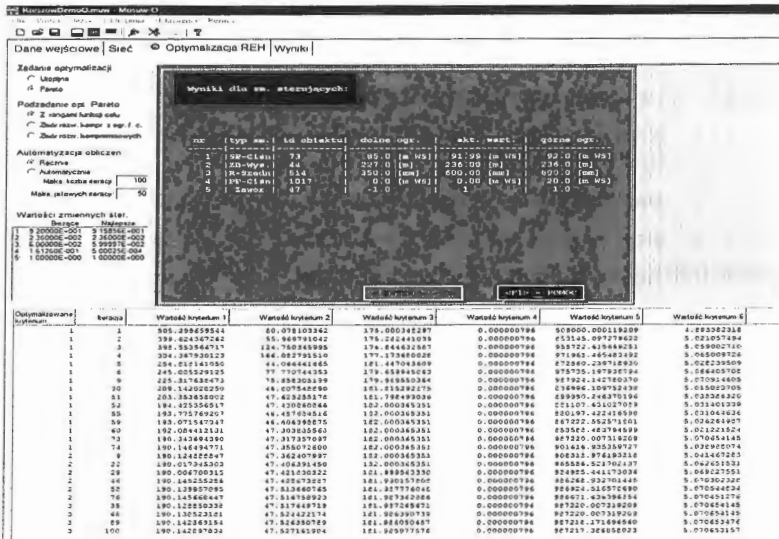
- grupę programów wykonujących obliczenia hydrauliczne i optymalizacyjne sieci wodociągowej,
- grupę programów wykonujących obliczenia aproksymacyjne, oraz
- grupę programów wykonujących obliczenia modelowania matematycznego.

W grupie aplikacji hydrauliczno-optymalizacyjnych znajdują się programy (rys. 1):

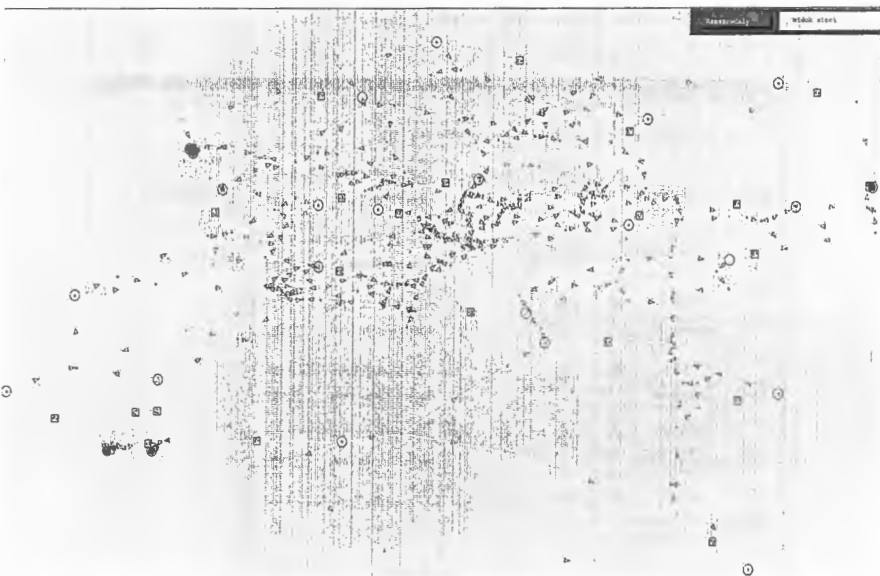
- obliczeń hydraulicznych sieci wodociągowej (Mosuw-H) [2],
- automatycznej kalibracji modelu hydraulicznego (Mosuw-K) [3],
- optymalizacji i projektowania sieci wodociągowej (Mosuw-O) (rys. 2) [4],
- sterowania pompami w pompowniach źródłowych i przepompowniach strefowych (Mosuw-P),
- optymalnego planowania lokalizacji punktów pomiarowych dla systemu monitoringu (Mosuw-M),
- wykrywania i lokalizacji awarii na sieci wodociągowej (Mosuw-A) (rys. 3 - 6) [5],
- wyznaczania wieku wody w sieci (Mosuw-W).



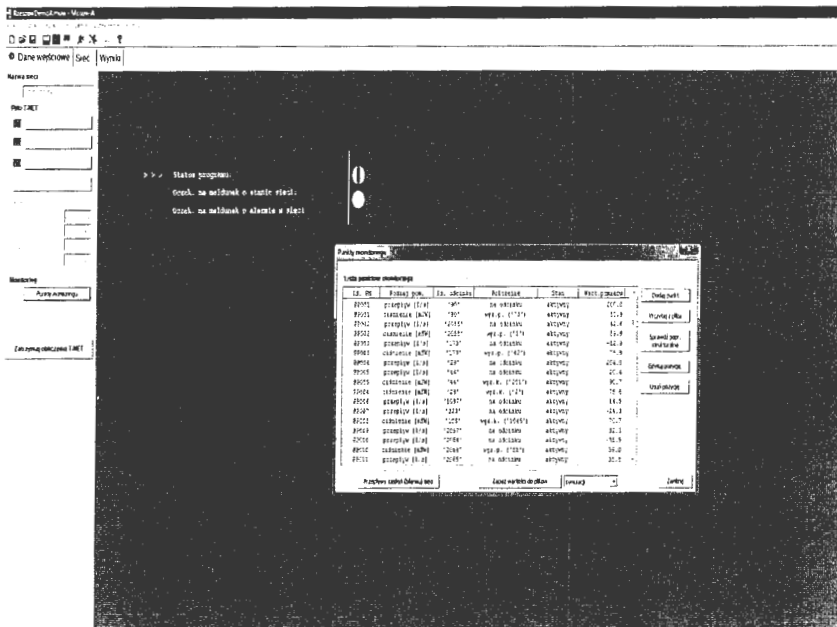
Rys. 1. Zakładka interfejsu ZASIEW dla aplikacji hydrauliczno-optymalizacyjnych.



Rys. 2. Ekran wyników programu optymalizacji MOSUW-O.



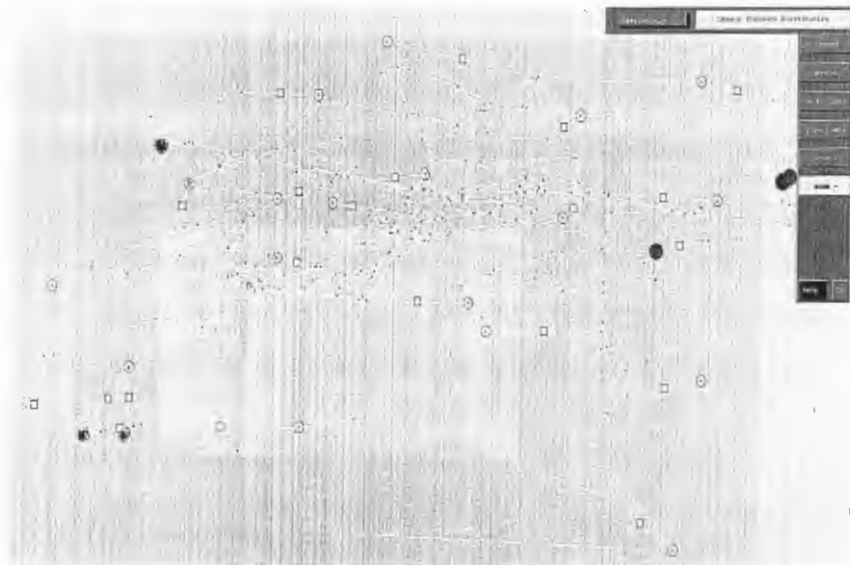
Rys. 3. Ekran programu Mosuw-A: sieć wodociągowa z zaznaczonymi punktami monitoringu.



Rys. 4. Ekran programu Mosuw-A: wyświetlane *on-line* pomiary z systemu monitoringu.



Rys. 5. Ekran programu Mosuw-A: sygnalizacja alarmu z systemu monitoringu.



Rys. 6. Ekran programu Mosuw-A: wyznaczone punkty zlokalizowanych awarii w sieci wodociągowej.

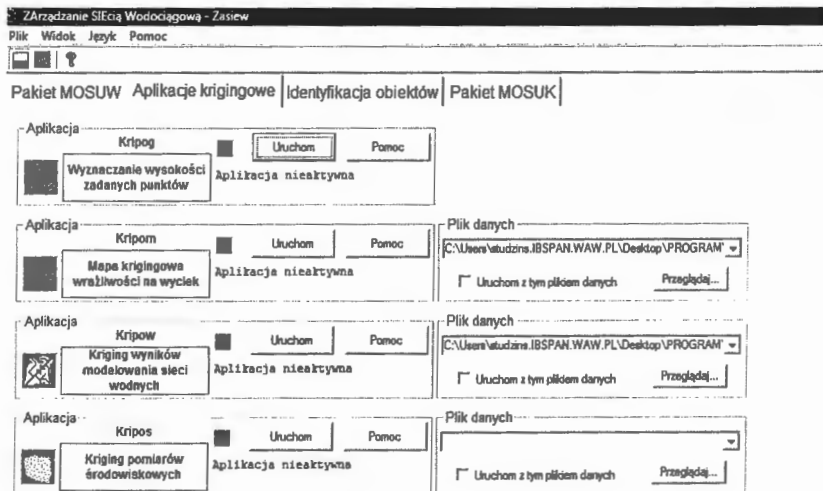
W grupie aplikacji aproksymacyjnych znajdują się programy (rys. 7):

- obliczania współrzędnych wysokościowych węzłów sieci wodociągowej i wykreślenia map dla wyznaczonych wysokości terenowych węzłów (Kripog) (rys. 8-11),
- wykreślenia map rozkładów przepływów i ciśnień wody w sieci (Kripow),
- wykreślenia map wrażliwości sieci na zakłócenia przy planowaniu systemu monitoringu (Kripom), oraz
- wykreślenia map wieku wody (Kripow-W).

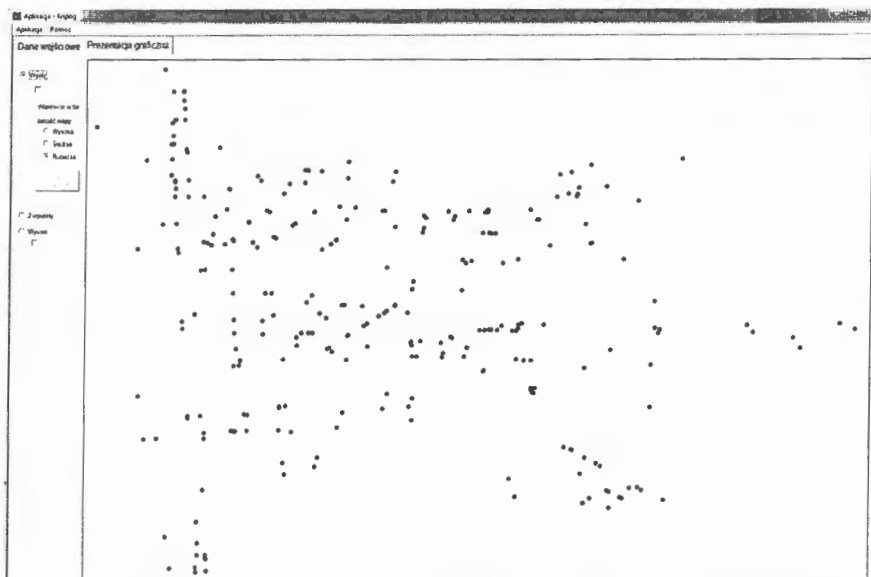
Obliczenia aproksymacji w wymienionych programach są wykonywane za pomocą algorytmów kringingowych [6].

W przypadku obliczania współrzędnych wysokościowych węzłów sieci wodociągowej stosuje się w systemie informatycznym, do celów weryfikacji poprawności obliczeń, dwa algorytmy:

- w programie Kripog algorytm kringingowy, oraz
- w systemie GIS algorytm aproksymacji powierzchni sieci wodociągowej trójkątami, określonymi na miejskich punktach geodezyjnych.



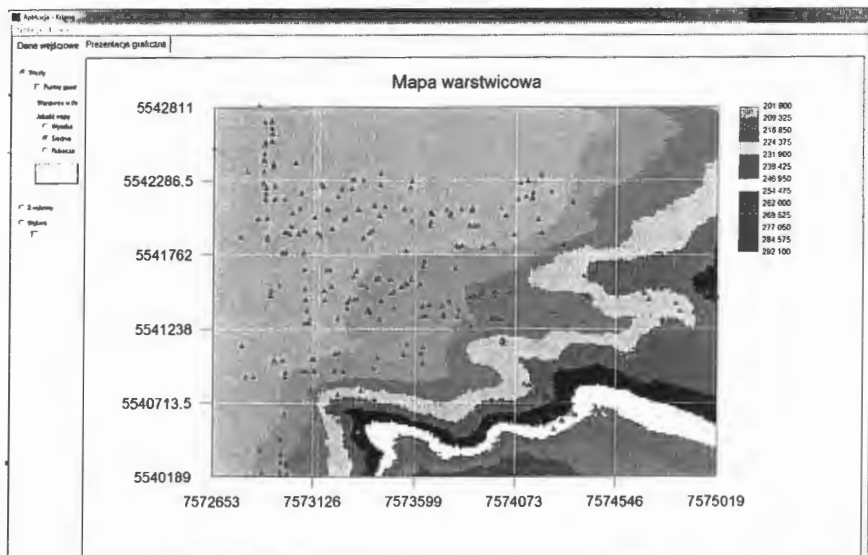
Rys. 7. Zakładka interfejsu ZASIEW dla aplikacji aproksymacyjnych.



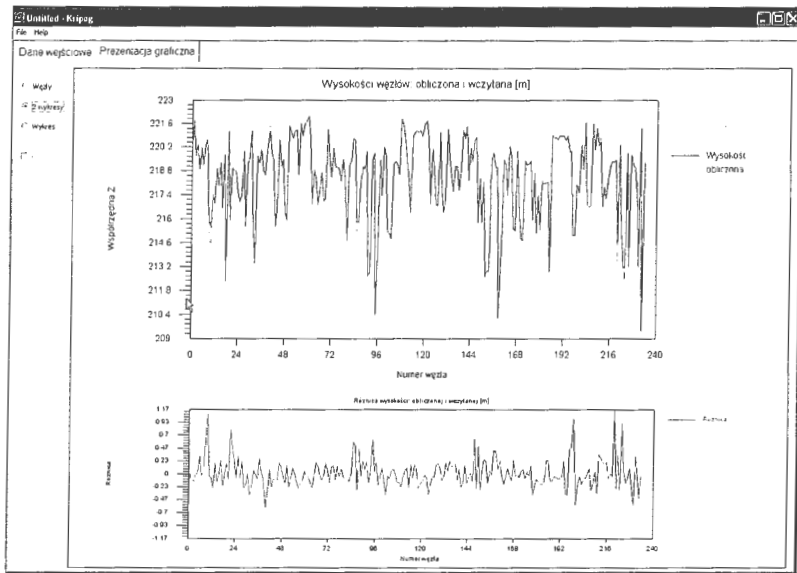
Rys. 8. Ekran programu Kripog: wizualizacja punktów węzłowych badanej sieci wodociągowej.



Rys. 9. Ekran programu Kripog: punkty węzłowe sieci wodociągowej na tle miejskich punktów geodezyjnych.



Rys. 10. Ekran programu Kripog: wykreślona mapa wyznaczonych wysokości terenowych węzłów sieci.



Rys. 11. Ekran programu Kripog: porównawcze wyniki obliczeń wysokości węzłów sieci za pomocą programu Kripog i systemu GIS.

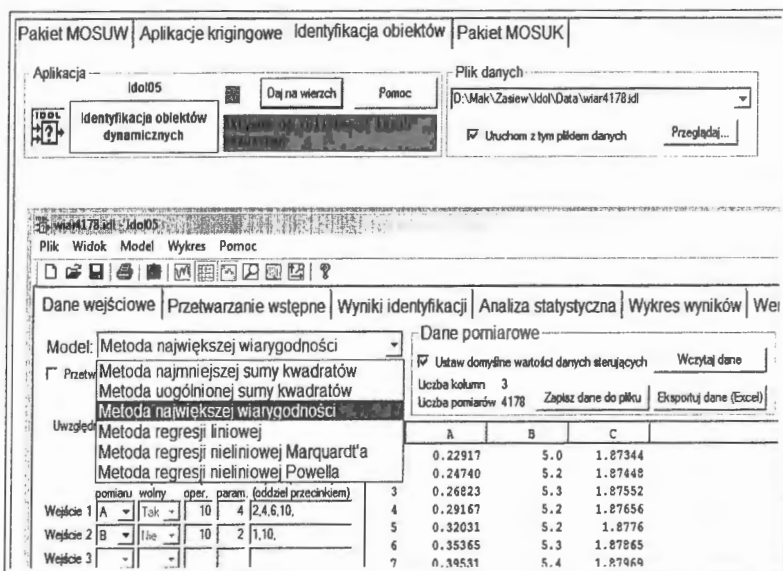
W grupie aplikacji modelowania matematycznego znajdują się programy (rys. 12):

- identyfikacji obiektów dynamicznych za pomocą metody najmniejszej sumy kwadratów Kalmana,
- identyfikacji obiektów dynamicznych za pomocą metody uogólnionej sumy kwadratów Clarke'a (rys. 13), oraz
- identyfikacji obiektów dynamicznych za pomocą metody największej wiarygodności.

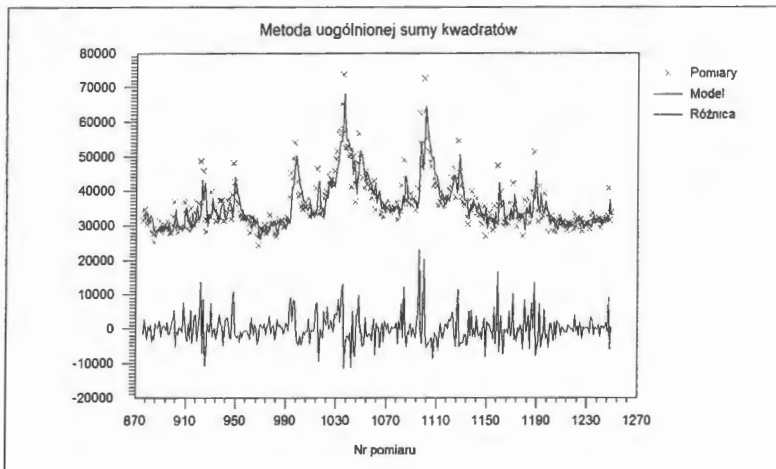
Wymienione programy służą do wyznaczania modeli prognostycznych obciążenia hydraulicznego sieci wodociągowej jako całości, względnie jej wybranych węzłów końcowych. Stosowanie kilku różnych metod do wyznaczania takich samych modeli służy weryfikacji poprawności obliczeń, podobnie jak to ma miejsce w przypadku obliczania wysokości węzłów sieci wodociągowej.

Programy modelowania matematycznego, wchodzące w skład systemu informatycznego, stosują w obliczeniach klasyczne metody szeregów czasowych. Ponieważ ostatnie kilkadziesiąt lat, to okres rozwoju metod sztucznej inteligencji, używanych również w zadaniach modelowania matematycznego i identyfikacji, więc w możliwych zastosowaniach prezentowanego systemu informatycznego przewidziano również opcję wyznaczania modeli obciążenia sieci wodociągowej za pomocą sieci neuronowych i zbiorów rozmytych.

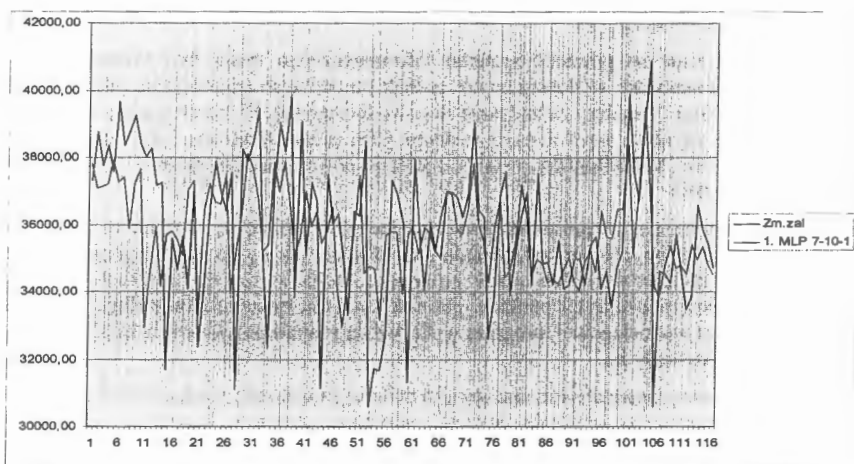
W celu porównania tych metod z metodami szeregów czasowych wykonano odpowiednie obliczenia (rys. 14, 15), z których wynika, że w tego typu zadaniach klasyczne metody modelowania są konkurencyjne dla metod sztucznej inteligencji [7].



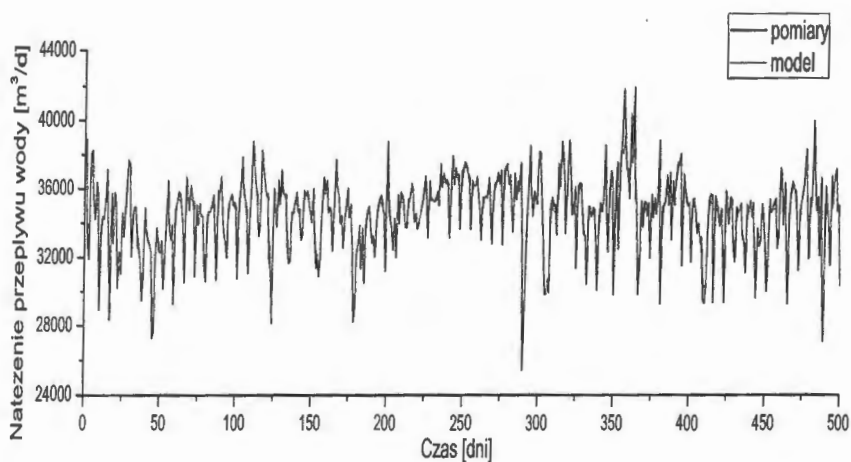
Rys. 12. Zakładka interfejsu ZASIEW dla aplikacji modelowania matematycznego.



Rys. 13. Ekran programu IDOL: wyniki prognozowania obciążenia sieci wodociągowej za pomocą metody Clarke'a.



Rys. 14. Wyniki modelowania obciążenia sieci wodociągowej metodą sieci neuronowych.



Rys. 15. Wyniki modelowania obciążenia sieci wodociągowej metodą i zbiorów rozmytych.

Zastosowania systemu

Wydaje się, że przedstawionym systemem informatycznym zarządzania i sterowania systemem zaopatrzenia w wodę powinny być zainteresowane krajowe przedsiębiorstwa

wodociągowe, które planują przeprowadzenie u siebie zmian w organizacji pracy i zarządzaniu siecią wodociągową.

Programy opracowane na potrzeby systemu informatycznego mogą być zastosowane w różnych przedsiębiorstwach wodociągowych, jednak po pewnych adaptacjach, zależnych od wielkości, złożoności i struktury zarządzanej sieci wodociągowej. W każdym przypadku musi być definiowana na nowo baza danych systemu GIS, przeprowadzona kalibracja modelu hydraulicznego sieci wodociągowej, a także ustalona nowa struktura systemu monitoringu instalowanego w sieci.

Przy tym zainteresowanie przedsiębiorstw wodociągowych może wzbudzać zarówno kompletny system informatyczny zarządzania i sterowania, jak i jego poszczególne moduły lub pojedyncze, niezależnie uruchamiane programy. Mogą to być na przykład: program optymalnego doboru i lokalizacji punktów pomiarowych dla systemu monitoringu, program optymalizacji sieci wodociągowej, program wykrywania i lokalizacji awarii w sieci, program wyznaczania wieku wody itp.

Prezentowany system informatyczny ma otwartą budowę modułową, a jego moduły mogą być używane niezależnie, co znacznie ułatwia wdrażanie systemu w różnych obiektach wodociągowych. Po zakupie odpowiedniego sprzętu obliczeniowego, kontrolno-pomiarowego i wykonawczego oraz po dokonaniu adaptacji, system może być wdrożony stosunkowo prosto i szybko.

Jednocześnie jednak, mimo stosunkowo prostej i przejrzystej budowy, system jest dosyć złożony, między innymi z powodu dużej liczby programów wykonujących zróżnicowane zadania zarządzania siecią wodociągową. Dlatego jego implementacja w przedsiębiorstwie wodociągowym jest również skomplikowanym zadaniem organizacyjnym i logistycznym, z czego należy zdawać sobie sprawę. Takie wdrożenie wymaga na ogół pewnych zmian organizacyjnych w przedsiębiorstwie, związanych z obsługą i administracją systemu. Taka perspektywa często, niestety, z przyczyn czysto psychologicznych zniechęca przedsiębiorstwa do wprowadzania podobnych innowacji informatycznych.

3. Uwagi końcowe

W artykule przedstawiono koncepcję i realizację programową zintegrowanego systemu informatycznego do kompleksowego zarządzania miejską siecią wodociągową. System jest ciągle rozbudowywany, a jego modułowa, otwarta struktura umożliwia łatwe dołączanie do niego nowych programów. Jest on pomyślany jako narzędzie wspomagające pracę operatorów i projektantów sieci wodociągowej oraz kadry kierowniczej przedsiębiorstw wodociągowego.

Wydaje się, że system ten może być szczególnie przydatny dla małych i średnich przedsiębiorstw wodociągowych, dysponujących na ogół ograniczoną kadrą inżyniersko-techniczną. Jednak takie przedsiębiorstwa mają na ogół również ograniczone środki finansowe, co ogranicza ich możliwości w zakresie wdrażania u siebie podobnych systemów.

W takiej sytuacji niezbędna wydaje się finansowa pomoc państwa, wspierająca w sposób kompleksowy, a nie wybiórczy informatyzację krajowych przedsiębiorstw wodociągowych.

Taką formą pomocy mogłoby być, na przykład, organizowanie przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, za pośrednictwem Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (w znacznie szerszym niż dotychczas zakresie), programów badawczych rozwojowych i

celowych. Od kilku lat takich programów nie ma, a to one umożliwiają prowadzenie prac o charakterze aplikacyjnym.

Ponadto ważne jest organizowanie, na przykład przez PARP, programów badawczych wdrożeniowych, ze szczególnymi przywilejami finansowymi dla małych i średnich przedsiębiorstw.

Równie istotne jest wspieranie w obu wymienionych przypadkach zwłaszcza projektów badawczych, w których jest sformalizowana współpraca instytutów naukowo-badawczych, przedsiębiorstw oraz profesjonalnych firm informatycznych. Te ostatnie są w stanie stworzyć użyteczne oprogramowania na podstawie algorytmów obliczeniowych opracowanych w instytutach badawczych. Pomóc może przygotowanie, na przykład przez Ministerstwo Finansów, specjalnych ulg finansowych dla przedsiębiorstw, które z własnym wkładem finansowym uczestniczą w projektach prowadzonych wspólnie z instytutami badawczymi.

Wsparciem byłoby również prowadzenie przez wyspecjalizowane instytucje, takie jak na przykład Izba Gospodarcza „Wodociągi Polskie” (w przypadku branży wodociągowej), regularnych i cyklicznych warsztatów, na których byłyby prezentowane krajowe i światowe osiągnięcia w obszarze informatyzacji przedsiębiorstw wodociągowych. Użyteczna byłaby przy tym specjalizacja takich warsztatów, nastawiona na przykład na: systemy GIS w przedsiębiorstwach wodociągowych, systemy SCADA, modele hydrauliczne, modelowanie matematyczne procesów wodno-ściekowych, czy zastosowania metod optymalizacji w zarządzaniu przedsiębiorstwem wodociągowym.

Literatura

1. Kwietniewski M.: *GIS w wodociągach i kanalizacji*. PWN. Warszawa 2008.
2. Pawlak A.: *Modelowanie i optymalizacja układu dystrybucji wody*. Raport IBS PAN. RB 07/2008. Warszawa 2008.
3. Studziński J.: *Waternet modelling and model calibration for the waterworks management*. „Studia i Materiały PSZW”. Tom 24. PSZW Bydgoszcz 2009.
4. Studziński J., Straubel R.: *Optymalizacja i sterowanie miejskiej sieci wodociągowej na podstawie modeli matematycznych*. „Studia i Materiały PSZW”. Tom 10. PSZW Bydgoszcz 2007.
5. Rojek I., Studziński J.: *Algorytmy lokalizacji awarii w sieci wodociągowej przy użyciu sieci neuronowych*. KZW Bydgoszcz 2011.
6. Studziński J.: *Application of kriging algorithms for solving some water nets management tasks*. Enviroinfo 2011. Ispra 2011.
7. Studziński J., Stachura M.: *Fuzzysatz- und Neuronalmodelle zur Vorhersage der Wassernetzbelastung*. Workshop Berlin 2011.

IT system for computer aided management of communal water networks

Jan Studzinski
Systems Research Institute, Polish Academy of Sciences
Newelska 6, PL 01-447 Warsaw
studzins@ibspan.waw.pl

Abstract

In the paper a concept of computer aided management of all objects of communal water networks is presented. The structure and the functions of the relevant information system, its key components and realized programs as well as the problems connected with their implementation are described.

