

enterprise europe



Wsparcie dla biznesu w zasięgu ręki

WDRAŻANIE INNOWACJI W GOSPODARCE WODOCIĄGOWEJ

Redakcja:

Joanna Machnik-Słomka

Iwona Kłosok-Bazan



RCITT



Komisja Europejska
Przedsiębiorstwa i przemysł



RCITT



WDRAŻANIE INNOWACJI W GOSPODARCE WODOCIĄGOWEJ

Redakcja:
Joanna Machnik - Słomka
Iwona Kłosok - Bazan

Katowice - Warszawa 2009

RECENZENCI:

Prof. dr hab. inż. Jan Stachowicz

Prof. dr hab. inż. Andrzej Straszak

Górnośląska Agencja Przekształceń Przedsiębiorstw S.A.

Regionalne Centrum Innowacji i Transferu Technologii

Ul. Astrów 10, 40-045 Katowice

Tel.: 032 730 48 90

Fax.: 032 251 58 31

een@gapp.pl

www.gapp.pl

WYDAWNICTWO

Instytut Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk

Edycja komputerowa: Anna Gostyńska

Neither the European Commission nor any person acting on behalf of the European Commission is responsible for the use which might be made of the information contained herein. The views in this publication are those of the author and do not necessarily reflect the policies of the European Commission

ISBN 978-83-8947-526-8



46358

WPROWADZENIE

Celem trzeciej części książki jest prezentacja i upowszechnienie innowacji procesowych i produktowych, ukazanie roli tychże innowacji w procesach zarządzania przedsiębiorstwem oraz prezentacja dobrych praktyk dotyczących wraźnia innowacji i nowych technologii w przedsiębiorstwach wodociągowych.

Innowacje procesowe i produktowe określane są jako innowacje technologiczne. Według Podręcznika Oslo Manual, *innowacja technologiczna* (technological innovation) ma miejsce wtedy, gdy nowy lub ulepszony produkt zostaje wprowadzony na rynek, lub gdy nowy albo ulepszony proces zostaje zastosowany w produkcji, przy czym ów produkt czy proces są nowe przynajmniej z punktu widzenia wprowadzającego je przedsiębiorstwa¹.

W książce przedstawiono rozwiązania z zakresu innowacyjnych technik, a mianowicie techniki kontroli, monitoringu, technologii produkcji wody, techniki kontroli ryzyka eksploatacji oraz techniki informatyczne.

Zasadniczo innowacje procesowo-produktowe wdrożone w przedsiębiorstwach wodociągowych można by podzielić na: innowacje związane z dostosowaniem się przedsiębiorstwa do obowiązujących przepisów, norm i standardów;

- innowacje związane z chęcią obniżenia kosztów funkcjonowania przedsiębiorstwa;
- innowacje związane z poprawą warunków pracy;
- innowacje związane z ulepszeniem procesu produkcji oraz poprawą jakości produktu - wody;
- innowacje związane z wymianą przestarzałych technologii;
- inne.

Przy czym należy zaznaczyć, że nie ma jednoznacznego podziału na powyższe grupy, to znaczy wdrożenie, które pozwoli na dostosowanie się firmy do obowiązującego prawa może obniżyć koszty funkcjonowania firmy przy jednoczesnej poprawie warunków pracy.

Joanna Machnik-Słomka, Iwona Kłosok-Bazan

¹ *Podręcznik Oslo. Proponowane zasady gromadzenia i interpretacji danych statystycznych dotyczących innowacji technologicznych*, OECD/Eurostat 1997, KBN, Warszawa 1999.

2.

INFORMATYZACJA ZARZĄDZANIA SYSTEMEM
ZAOPATRZENIA W WODĘ
W MIEJSKIM PRZEDSIĘBIORSTWIE WODOCIĄGOWYM

Jan Studziński, Lucyna Bogdan

*Instytut Badań Systemowych PAN
01-447 Warszawa, ul. Newelska 6
e-mail: studzins@ibspan.waw.pl*

Opisano obecny stan komputeryzacji krajowych przedsiębiorstw wodociągowych, możliwości stwarzane przez ich kompleksową i systemową informatyzację, przedstawiono koncepcję systemu informatycznego wspomagającego zarządzanie miejskim systemem zaopatrzenia w wodę oraz koncepcję rozbudowy takiego systemu do objęcia nim całego miejskiego systemu wodociągowo-kanalizacyjnego, z uwzględnieniem również sieci kanalizacyjnej i oczyszczalni ścieków.

Słowa kluczowe: analiza systemowa, diagnoza przedsiębiorstwa, komputerowe wspomaganie zarządzania przedsiębiorstwem wodociągowym, modele hydrauliczne sieci wodociągowej, systemy GIS i SCADA dla systemów zaopatrzenia w wodę.

1. Wprowadzenie

Systemy informatyczne do kompleksowego zarządzania przedsiębiorstwami wodociągowymi praktycznie obecnie w Polsce nie funkcjonują i również są rzadkością, jako koncepcje badawczo-rozwojowe. Przez zarządzanie kompleksowe rozumiemy tutaj zintegrowane wykonywanie przez system zadań organizacyjno-finansowych, takich jak gospodarka magazynowa, księgowość, obsługa klientów przedsiębiorstwa itp., oraz zadań techniczno-technologicznych, takich jak symulacja komputerowa realizowanego procesu, optymalizacja i sterowanie procesem itp. Taki system powinien składać się z modułów odpowiedzialnych zarówno za funkcje administracyjne, jak i techniczne. Powszechna praktyka w przedsiębiorstwach wodociągowych polega obecnie na wdrażaniu systemów odpowiedzialnych jedynie za sferę działań administracyjnych lub tylko

technicznych lub eksploatacji programów wykonujących pojedyncze zadania związane z zarządzaniem przedsiębiorstwem i nie zintegrowanych w formie jednolitego systemu. Taka sytuacja taka jest spowodowana wielorakimi przyczynami, przede wszystkim zaś brakiem zintegrowanych systemów informatycznych na rynku i koniecznością ich tworzenia w określonych uwarunkowaniach konkretnego przedsiębiorstwa, co jest bardzo trudne od strony organizacyjnej i kosztowne. Z braku odpowiednich doświadczeń takie przedsięwzięcie jest również niepewne pod względem spodziewanych rezultatów. Z braku odpowiednich doświadczeń decydenci, czyli kadra zarządzająca przedsiębiorstwem wodociągowym, nie orientują się w tym, czego mogą się spodziewać po wdrożeniu systemu, i stąd ich na ogół niechęć do rozpoczynania prac i finansowania ich ze środków własnych przedsiębiorstwa. Ponadto wdrażanie złożonego systemu informatycznego w przedsiębiorstwie na ogół dezorganizuje jego pracę w znacznym obszarze, co nie jest to dobrze przyjmowane przez załogę i kierownictwo. Wdrażanie takiego systemu często pociąga też za sobą konieczność wprowadzenia zmian organizacyjnych w przedsiębiorstwie, co z kolei napotyka na psychologiczne opory przed zmianą wygodnego *status quo*.

Znacznie łatwiej, taniej i bezpieczniej jest kupić pojedynczy, sprawdzony program i wdrażać go w wybranym, wydzielonym dziale przedsiębiorstwa i postępować tak sukcesywnie, dokupując kolejno nowe programy dla innych działów i nowych zadań.

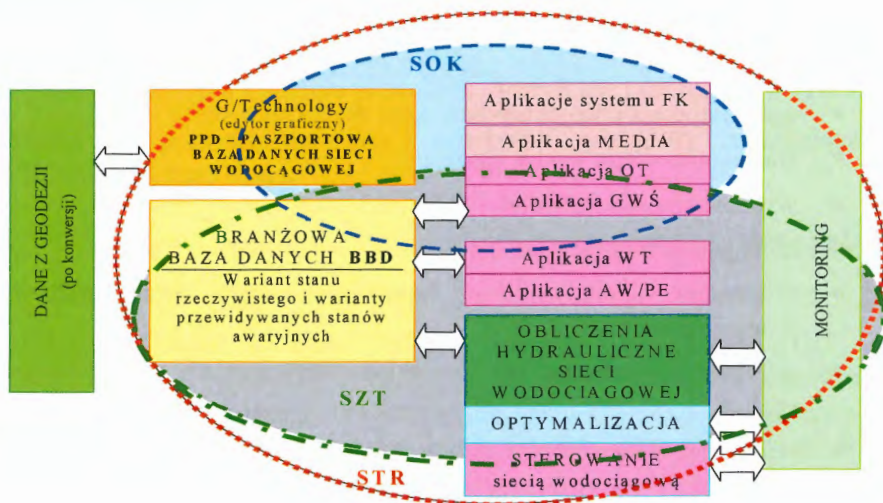
Taka polityka informatyzacji przedsiębiorstwa jest wprawdzie zrozumiała, ale niewłaściwa. Rosnąca liczba niezależnych programów obsługujących różne działy przedsiębiorstwa prowadzi do jego stopniowej dezintegracji informatycznej, przekroczenie pewnej liczby zakupionych i wdrożonych programów uniemożliwia ich późniejszą integrację, co prowadzi w dalszej perspektywie do skomplikowania zarządzania przedsiębiorstwem a nie jego ułatwienia.

Ta niekorzystna sytuacja stopniowo się wprawdzie zmienia po wstąpieniu Polski do UE. Przedsiębiorstwa wodociągowe uzyskały w wyniku tego zdarzenia możliwość pozyskiwania środków finansowych na informatyzację z europejskich programów pomocowych i jednocześnie uzyskały dostęp do doświadczeń, firm oraz technik i technologii informatycznych zachodnioeuropejskich i światowych. Jednak następujące zmiany są zbyt wolne, dosyć chaotyczne i bardzo zindywidualizowane w zależności od przedsiębiorstwa, to znaczy nie mają charakteru systemowego i zuniformizowanego w skali kraju. Ujemnym rezultatem tego nieco wymuszonego przyśpieszenia jest konstatacja, że większość programów wdrażanych w przedsiębiorstwach wodociągowych pochodzi

z zagranicy, brak jest ścisłej współpracy między krajowymi sferami gospodarczą i naukowo-badawczą oraz również brak jest współpracy i wymiany doświadczeń między samymi przedsiębiorstwami.

2. Informatyczny system zarządzania siecią wodociągową

W Instytucie Badań Systemowych PAN opracowano koncepcję zintegrowanego systemu informatycznego do kompleksowego zarządzania miejskim systemem zaopatrzenia w wodę. W zamierzeniach autorów system taki powinien istotnie usprawnić i ułatwić zarządzanie siecią wodociągową a także przynieść wymierne korzyści ekonomiczne dla przedsiębiorstwa wodociągowego i społeczne dla lokalnej społeczności miejskiej. Wykonanie systemu w wersji przedwdrożeniowej oraz jego częściowe przetestowanie w warunkach eksploatacyjnych było możliwe dzięki ścisłej współpracy Instytutu z firmą Intergraph Polska z Warszawy, firmą Schulz-Infoprod z Poznania, firmą REUS z Berlina i Miejskim Przedsiębiorstwem Wodociągów i Kanalizacji z Rzeszowa.



Rys. 1. Struktura systemu informatycznego do zarządzania miejską siecią wodociągową, wdrażanego w MPWiK w Rzeszowie [9].

Opracowany system informatyczny ma otwartą budowę modułową i składa się z następujących podstawowych modułów (Rys. 1):

- Systemu GIS (*Geographical Information System*) generującego mapę numeryczną sieci wodociągowej.
- Systemu SCADA (*System of Control And Diagnostic Analysis*) realizującego monitoring sieci.
- Systemu CIS (*Customers Information System*) do rejestracji ilości sprzedanej wody i archiwizacji użytkowników sieci wodociągowej.
- Modeli hydraulicznych sieci sprzęgniętych z algorytmami optymalizacji jednokryterialnej i wielokryterialnej (*OHIO = Obliczenia Hydrauliczne I Optymalizacja sieci wodociągowej oraz MOSUW = Modelowanie, Optymalizacji i Sterowanie Układów Wodociągowych*).

Funkcje techniczne realizowane obecnie przez system informatyczny, to:

- monitoring przepływów i ciśnień w wybranych punktach sieci
- obliczenia hydrauliczne wykonane dla wszystkich rur i węzłów sieci wodociągowej
- wizualizacja sieci w postaci mapy numerycznej
- wykonywanie różnorodnych analiz przestrzenno-tematycznych
- optymalizacja i projektowanie sieci wodociągowej
- sterowanie siecią wodociągową
- wykreślanie map rozkładów ciśnień i przepływów w sieci.

Z kolei funkcje administracyjne, to:

- rejestracja użytkowników sieci – klientów przedsiębiorstwa wodociągowego
- rejestracja opracowanych projektów technicznych i śledzenie ich realizacji
- rejestracja odbiorów technicznych i stanów awaryjnych
- ewidencja i śledzenie realizacji planowanych przeglądów eksploatacyjnych.

Programy wchodzące w skład systemu informatycznego tworzą trzy następujące podsystemy [9]:

(1) System Zarządzania Technicznego (SZT), uwzględniający następujące moduły funkcyjne:

- AW (obsługa AWarii)
- PE (obsługa planowanych Przeglądów Eksploatacyjnych)

- system monitoringu
- programy obliczeń hydraulicznych (OHIO lub MOSUW) i sprzęgnięte z nimi algorytmy optymalizacji i sterowania

System Zarządzania Technicznego ma zapewniać, zgodnie z koncepcją jego wyodrębnienia, sprawną eksploatację sieci istniejącej oraz optymalne planowanie rozbudowy i modernizacji sieci.

(2) System Obsługi Klienta (SOK), uwzględniający następujące moduły funkcyjne:

- WT (wydawanie Warunków Technicznych)
- OT (przyjmowanie Odbiorów Technicznych)
- MEDIA / GWŚ (obsługa Gospodarki Wodno-Ściekowej)
- system GIS do realizacji analiz ilościowych i jakościowych

System Obsługi Klienta zapewnia sprawną obsługę klienta, systematyczne prowadzenie odczytów wodomierzy oraz wystawianie faktur i kontrolę ich płatności.

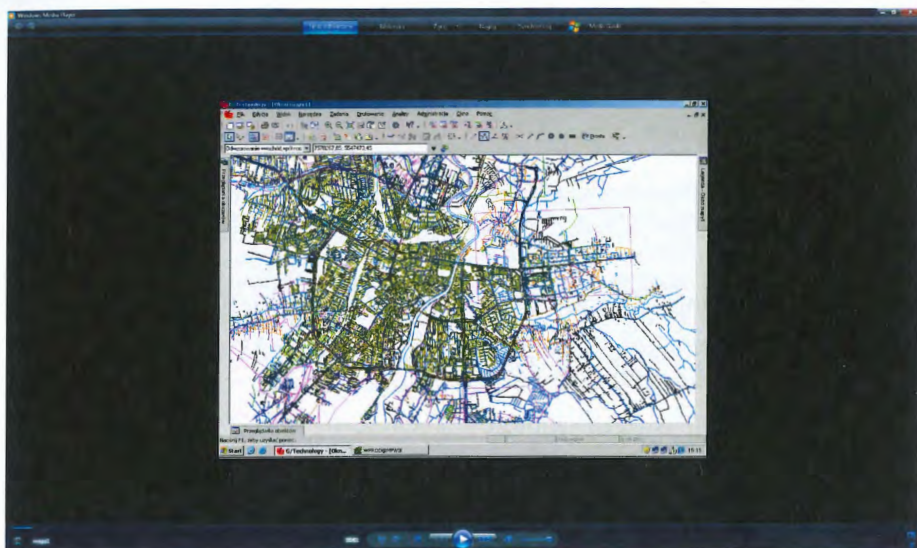
(3) System Eliminowania Strat (STR), uwzględniający narzędzia dostępu do informacji o systemie produkcji, dystrybucji i sprzedaży wody

System ten pozwala stworzyć i uruchomić procedury zmierzające do eliminowania strat wody.

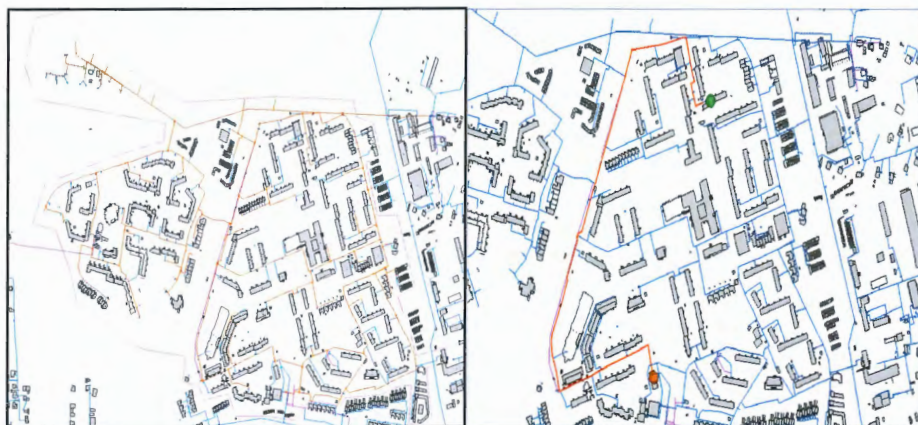
3. Moduły i programy systemu informatycznego zarządzania

- *System GIS mapy numerycznej*

W opracowanym systemie informatycznym, jako moduł GIS jest uwzględniony program G/Technology, opracowany i rozprowadzany przez firmę Intergraph Polska z Warszawy. Program ten służy do generowania cyfrowej mapy numerycznej sieci wodociągowej (Rys. 2), wykonywania różnorodnych analiz tematyczno-przestrzennych na podstawie danych o sieci zgromadzonych w Branżowej Bazie Danych. Jest ona integralną częścią systemu GIS i zawiera wszystkie informacje techniczne, technologiczne i ekonomiczne o sieci, zapisane w postaci alfanumerycznej i również graficznej. System GIS, poprzez odpowiednie pliki buforowe, komunikuje się z innymi modułami systemu informatycznego. Pliki te, o odpowiedniej standardowej strukturze, zawierają dane wejściowe i wyjściowe określone dla poszczególnych modułów i programów systemu informatycznego.



Rys. 2. Mapa numeryczna sieci wodociągowej w Rzeszowie wizualizowana przez program G/Technology.



Rys. 3. Śledzenie ciągłości topologicznej sieci wodociągowej ograniczone do zdefiniowanego obszaru sieci (*rysunek lewy*) oraz śledzenie najkrótszej drogi w sieci wodociągowej między dwoma punktami (*rysunek prawy*).

Spośród możliwych do wykonania analiz tematyczno-przestrzennych, wykonywanych przez system G/Technology, pokazano cztery przykładowe na rysunkach 3 i 4. Dane do mapy numerycznej sieci wodociągowej są – w wersji opracowanego systemu informatycznego - dostarczane, w postaci plików wektorowych, z mapy geodezyjnej. W rezultacie zwiualizowana

przez G/Technology mapa numeryczna sieci jest wiernym odzwierciedleniem mapy geodezyjnej, ze wszystkimi jej wadami, takimi przede wszystkim, jak liczne nieciągłości spowodowane niedokładnością rysunku sieci wykonanego przez geodetę. Aby mapa numeryczna mogła być wykorzystana do współpracy z innymi modułami systemu informatycznego, to prezentowany przez nią graf sieci wodociągowej musi być ciągły, czyli poprawny topologicznie. Dlatego pierwszą podstawową analizą wykonywaną przez system G/Technology jest badanie ciągłości topologicznej odtwarzanej sieci wodociągowej i w przypadku stwierdzenia jej braku, zostaje uruchomiony algorytm usuwania zauważonych nieciągłości (Rys. 3). Kolejne analizy, to możliwość śledzenia najkrótszej drogi w sieci wodociągowej między dwoma zadanymi punktami (Rys. 3), śledzenie obszaru sieci wodociągowej z miejsca wystąpienia awarii do najbliższych zasuw odcinających oraz lokalizacja hydrantów zapewniających ochronę przeciwpożarową w wybranym osiedlu (Rys. 4). Szczególnie ważna jest analiza umożliwiająca lokalizację zasuw odcinających, gdyż szybkie zamknięcie tych zasuw w przypadku zaistniałej awarii umożliwia uniknięcie dużych potencjalnych strat wody, a więc przynosi określone korzyści ekonomiczne.



Rys. 4. Śledzenie obszaru sieci wodociągowej z miejsca wystąpienia awarii do najbliższych zasuw odcinających (*rysunek lewy*) oraz lokalizacja hydrantów zapewniających ochronę przeciwpożarową w wybranym osiedlu (*rysunek prawy*).

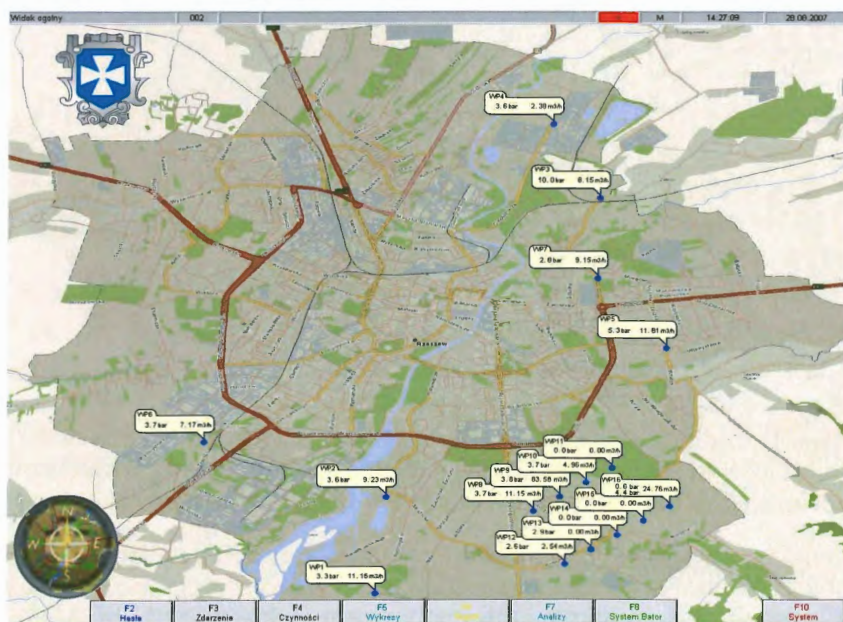
• *System monitoringu*

W omawianym systemie informatycznym jako moduł SCADA jest uwzględniony system monitoringu z programem wizualizacji ProconWin, opracowanym i rozprowadzonym przez firmę Schulz-Infoprod z Poznania

(Rys. 5). System monitoringu zawiera w swojej strukturze trzy elementy: zestaw punktów pomiarowych rozmieszczonych na sieci wodociągowej, system transmisji danych oraz wspomniany program wizualizacji, archiwizacji i także analizy i przetwarzania gromadzonych danych pomiarowych. System monitoringu służy w ogólności do:

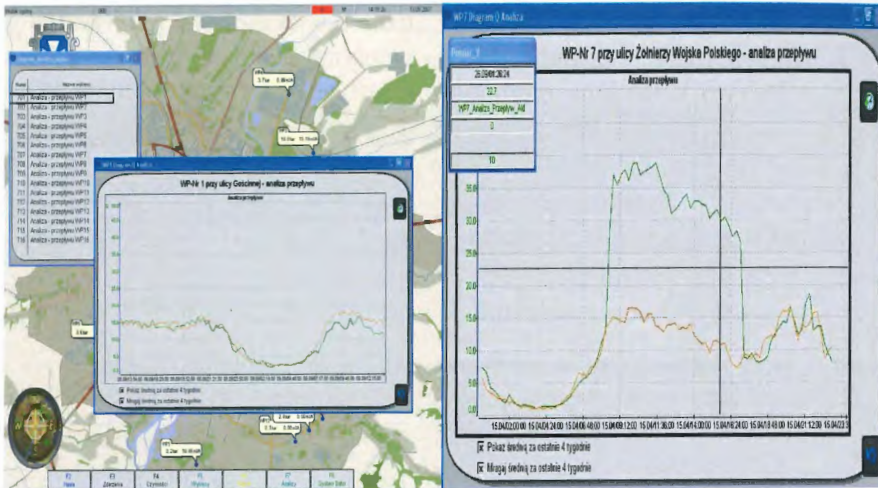
- bieżącej obserwacji stanu pracy sieci wodociągowej poprzez pomiary ciśnień i przepływów w punktach pomiarowych
- kalibracji modelu hydraulicznego sieci
- okresowej rekalkibracji modelu hydraulicznego
- lokalizacji awarii i wycieków występujących na sieci.

System monitoringu sieci wodociągowej, aby mógł realizować wymienione zadania, powinien obejmować, co najmniej od kilkunastu do kilkudziesięciu punktów pomiarowych, w zależności od wielkości i złożoności badanej sieci wodociągowej. Transmisja danych między punktami pomiarowymi systemu monitoringu i systemem informatycznym odbywa się zwykle za pomocą telefonii komórkowej w systemie GPRS, drogą radiową przy użyciu radiomodemów lub za pomocą telemetrii, czyli łączności kablowej a ostatnio coraz częściej stosowanej łączności światłowodowej.



Rys. 5. Układ węzłów pomiarowych systemu monitoringu sieci wodociągowej Rzeszowa wizualizowany przez program ProconWin.

Informatyzacja zarządzania systemem zaopatrzenia w wodę w miejskim przedsiębiorstwie wodociągowym



Rys. 6. Bieżąca i wzorcowa krzywa przepływu w wybranym punkcie pomiarowym w stanie typowym (rysunek lewy) i w przypadku awarii (rysunek prawy).

Do lokalizacji awarii służy obecnie, zintegrowany z programem ProconWin, algorytm porównujący typowe przebiegi ciśnienie lub przepływu z aktualnymi pomiarami uzyskiwanymi z punktów pomiarowych. Przebiegi typowe są definiowane sukcesywnie na podstawie kilku ostatnich krzywych pomiarowych wyznaczanych dla każdego punktu pomiarowego dla każdego dnia tygodnia [20]. Jeżeli aktualny pomiar różni się od przebiegu typowego o wartość większą, niż zadany przedział tolerancji (Rys. 6), to przyjmuje się, że w otoczeniu danego punktu pomiarowego prawdopodobnie nastąpił wyciek lub nietypowy rozbiór i należy w celu identyfikacji zdarzenia podjąć określone działania.

• Model hydrauliczny sieci wodociągowej

Model hydrauliczny wyznacza średnie lub bieżące przepływy i ciśnienia w sieci na podstawie grafów obliczeniowych sieci generowanych przez system GIS mapy numerycznej. Model hydrauliczny jest sprzęgnięty z systemem CIS, skąd pozyskuje dane o rozbiorach w węzłach użytkowników sieci. W opracowanym systemie informatycznym są do dyspozycji trzy modele hydrauliczne, różniące się algorytmami symulacji, strukturami plików danych wejściowych i możliwością współpracy z algorytmami optymalizacji:

- EPANET, dostępny w Internecie i nie posiadający opcji obliczeń optymalizacyjnych,

- OHIO (Rys. 7), opracowany w IBS PAN przy współpracy z Andrzejem Pawlakiem z Politechniki Wrocławskiej; model jest zintegrowany z algorytmem optymalizacji jednokryterialnej, w którym kryterium optymalizacji jest minimalizacja uchybu między zadaniem i obliczonym ciśnieniem w węźle użytkownika końcowego,
- MOSUW, opracowany w IBS PAN przy współpracy z firmą REUS z Berlina; model jest zintegrowany z algorytmem optymalizacji wielokryterialnej, w którym można zadać do 10 kryteriów celu, również kryterium określone przez minimalizację uchybu między zadaniem i obliczonym ciśnieniem w węźle użytkownika końcowego.

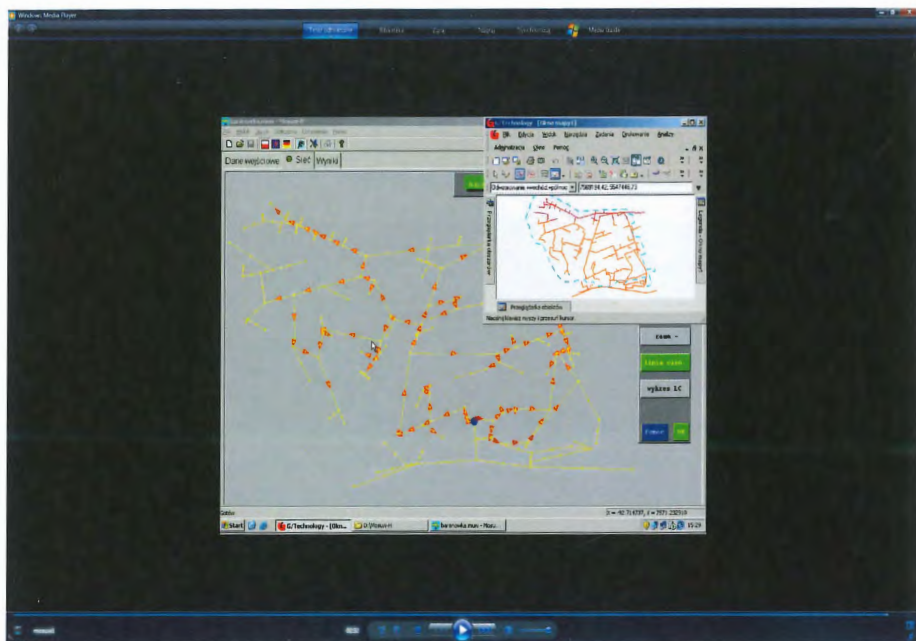


Rys. 7. Ekran programu OHIO z sygnalizacją stanu ciśnień w węzłach i sygnalizacją stanu przepływów w odcinkach sieci.

Grafy sieci wodociągowej, niezbędne do obliczeń hydraulicznych, są transferowane do modeli z systemu G/Water za pośrednictwem odpowiednich plików buforowych o strukturze dopasowanej do danego modelu. Badany fragment sieci zaznacza się kursorem na mapie numerycznej i na podstawie danych dotyczących odnośnego grafu są jest automatycznie tworzony odpowiedni plik buforowy (Rys. 8). Przy tym można przekazywać do modeli grafy sieci trzech rodzajów: graf maksymalny, obejmujący wszystkie przewody wodociągowe; graf minimalny, w którym uwzględnia się jedynie przewody o średnicach większych od zadanej wcześniej wartości; oraz graf mieszany, w którym jeden fragment sieci jest w postaci grafu maksymalnego a inny fragment sieci jest w postaci grafu minimalnego. Graf maksymalny służy na ogół jedynie do obliczeń symulacyjnych sieci wodociągowej, natomiast grafy

Informatyzacja zarządzania systemem zaopatrzenia w wodę w miejskim przedsiębiorstwie wodociągowym

maksymalny i mieszany służą także do obliczeń optymalizacji i projektowania.



Rys. 8. Wizualizacja fragmentu sieci wodociągowej na ekranach modelu hydraulicznego (program MOSUW) i systemu mapy numerycznej (system G/Water).

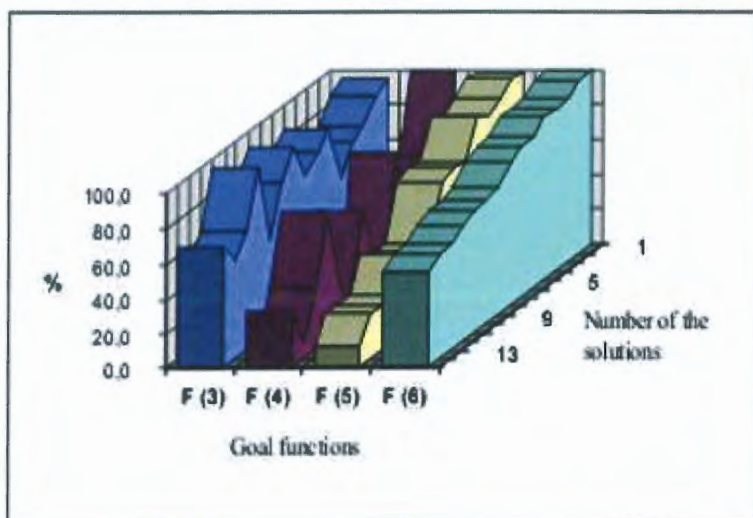
• *Algorytm optymalizacji wielokryterialnej*

Algorytm optymalizacji wielokryterialnej, sprzężony z modelem hydraulicznym MOSUW, jest algorytmem heurystycznym opracowanym przez Reinharda Straubela [10] i stosowanym przez niego do optymalizacji, projektowania i także sterowania siecią wodociągową w Königs Wusterhausen pod Berlinem.

Przykładowe kryteria celu stosowane w takich przypadkach mogą być następujące:

- $F(1)$ (min): maksymalna różnica między zadaniem i obliczonym ciśnieniem w węzłach końcowych sieci wodociągowej,
- $F(2)$ (min): suma strat ciśnienia we wszystkich przewodach sieci,

- F(3) (min): maksymalne ciśnienie pompowania pomp w przepompowniach strefowych,
- F(4) (max): minimalna szybkość przepływu wody w przewodach sieci,
- F(5) (min): łączne koszty inwestycyjne prac modernizacyjnych,
- F(6) (min): cena 1 m³ wody.



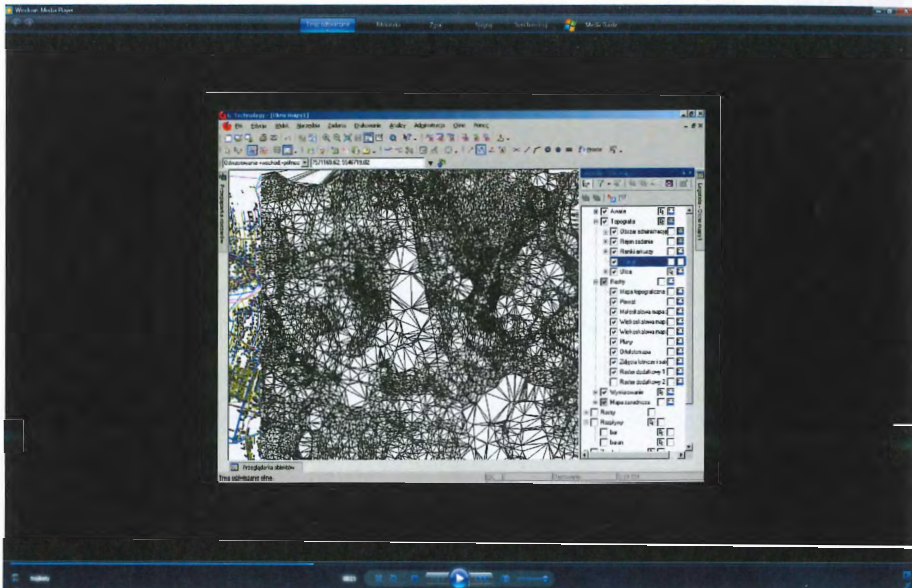
Rys. 9. Rozwiązania zadania optymalizacji wielokryterialnej [10].

W wyniku obliczeń otrzymuje się zbiór tzw. rozwiązań Pareto-optymalnych (Rys. 9), z których projektant względnie operator sieci wybiera rozwiązanie według niego najlepsze. Algorytm wymaga bardzo dużej liczby obliczeń optymalizacyjnych, dlatego stosując go należy korzystać z uproszczonych grafów sieci wodociągowej, to znaczy grafu minimalnego lub mieszanego.

- *Algorytm wyznaczania wysokości węzłów sieci*

Mapa numeryczna utworzona na podstawie mapy geodezyjnej nie posiada zdefiniowanych węzłów sieci wodociągowej. Dlatego jedną z podstawowych operacji wykonywanych przez system G/Technology jest utworzenie warstwy węzłów. Utworzone nowe obiekty są automatycznie zorientowane w płaszczyźnie (x,y), natomiast nie posiadają współrzędnej wysokościowej, która jest niezbędna do obliczeń hydraulicznych. Dlatego w strukturze systemu informatycznego zawarto algorytmy do obliczania wysokości węzłów sieci wodociągowej. Obliczenia wykonuje się na

podstawie danych wysokościowych posiadanych dla tzw. miejskich punktów geodezyjnych, które wyznacza się rutynowo dla każdego miasta.

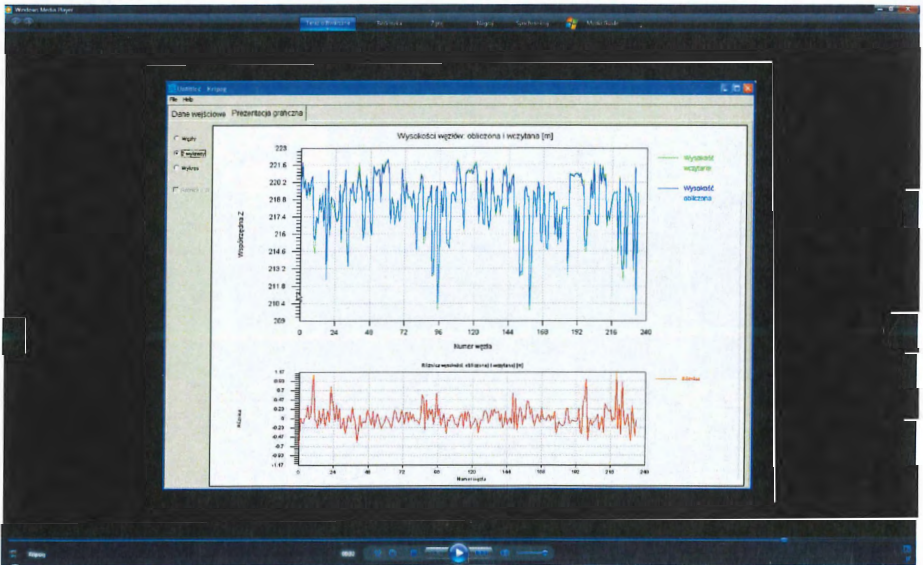


Rys. 10. Mapa terenu obejmującego sieć wodociągową, pokryta trójkątami do obliczenia wysokości węzłów sieci.

Są do dyspozycji dwa takie algorytmy. W pierwszym algorytmie do obliczania wysokości węzłów pokrywa się teren obejmujący sieć wodociągową trójkątami wyznaczonymi przez sąsiadujące ze sobą punkty geodezyjne (Rys. 10). Następnie wyznacza się równania powierzchni tych trójkątów i na podstawie wyznaczonych równań oblicza się wysokości punktów węzłowych, zlokalizowanych na ogół wewnątrz odnośnych trójkątów [7].

Drugim algorytmem obliczania wysokości węzłów jest algorytm aproksymacji kringowej [1]. Aproksymacja kringowa polega w ogólności na obliczeniu wartości danego parametru w zadanym punkcie obszaru na podstawie znanych wartości tego parametru w innych punktach obszaru, przy wykorzystaniu do tego celu funkcji analitycznej aproksymującej tzw. histogram eksperymentalny. Histogram ten jest wyznaczany na podstawie znanych wartości badanego parametru, grupowanych parami w zbiorach zdefiniowanych dla różnych zadanych odległości między punktami tworzącymi pary.

Obliczenia wykonywane za pomocą algorytmu aproksymacji krigingowej służą do weryfikacji wyników otrzymanych za pomocą algorytmu z pokryciem obszaru sieci wodociągowej trójkątami. Porównanie wyników wskazuje, że obliczenia wysokości węzłów jest poprawne, ponieważ różnice między wynikami otrzymanymi za pomocą tak różnych metod są na poziomie parę procent (Rys. 11).

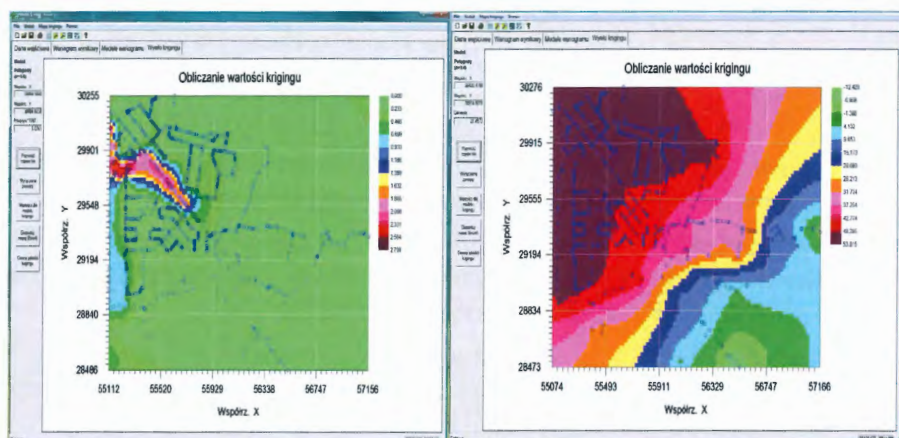


Rys. 11. Porównanie wyników wyznaczania wysokości węzłów sieci wodociągowej za pomocą aproksymacji krigingowej i metodą pokrycia terenu trójkątami; dolny wykres pokazuje różnice w wynikach dla obu algorytmów.

- **Program wyznaczania map rozkładów ciśnień i przepływów**

Jednym z zadań operatora sieci wodociągowej jest ocena jej aktualnego stanu pracy dla przedsięwzięcia określonych działań zaradczych w przypadku, gdy sieć pracuje nieprawidłowo. Do oceny jakości pracy sieci służą obliczenia symulacyjne wykonywane za pomocą modelu hydraulicznego i weryfikowane za pomocą pomiarów z monitoringu. Jednak szybka analiza wyników obliczeń hydraulicznych jest trudna ze względu na wielką liczbę otrzymywanych danych, które wymagają oceny. Dlatego w opracowanym systemie informatycznym umieszczono program do wyznaczania map rozkładów ciśnień i przepływów w sieci wodociągowej za pomocą algorytmów aproksymacji krigingowej. Dane do obliczeń aproksymacyjnych są przekazywane do programu tworzenia map z modelu hydraulicznego.

Mapy rozkładów przepływów i ciśnień umożliwiają operatorowi sieci szybką jakościową ocenę stanu jej pracy i lokalizację obszarów o niewłaściwych prędkościach lub ciśnieniach wody. Na tych mapach fragmenty sieci funkcjonujące poprawnie lub niepoprawnie są zaznaczone różnymi kolorami. Na pokazanych przykładach (Rys. 12) widać, że zaznaczone fragmenty sieci działają nieprawidłowo, ponieważ przepływy wody w przewodach wodociągowych są zbyt wolne oraz ciśnienia w węzłach końcowych sieci są zbyt wysokie. W takiej sytuacji występującej w rzeczywistości operator powinien podjąć działania zmniejszające ciśnienia w węzłach i zwiększające prędkości przepływu w rurach. Dokładna identyfikacja nieprawidłowo pracujących węzłów i przewodów wodociągowych wymaga już dokładnej analizy wyników otrzymanych z obliczeń hydraulicznych, wykonanych za pomocą jednego z modeli sieci (EPANET, OHIO lub MOSUW).



Rys. 12. Rozkłady przepływów (rysunek lewy) i ciśnień (rysunek prawy) w sieci wodociągowej.

4. Dalszy rozwój systemu zarządzania

Opracowany system informatyczny jest w sposób ciągły rozbudowywany o nowe algorytmy i moduły realizujące nowe zadania, wynikające z potrzeb przedsiębiorstw wodociągowych, artykułowanych przez pracowników przedsiębiorstw w wyniku prowadzonych rozmów i konsultacji. Kolejne zadania znajdujące się obecnie w trakcie oprogramowywania, to: lokalizacja awarii i wycieków w sieci wodociągowej, diagnozowana na podstawie pomiarów z monitoringu i wyników obliczeń hydraulicznych; lokalizacja optymalnych punktów pomiarowych dla systemu monitoringu, realizowana

na podstawie obliczeń hydraulicznych i optymalizacji wielokryterialnej; automatyczna kalibracja modelu hydraulicznego, wykonywana za pomocą algorytmu optymalizacji wielokryterialnej; oraz generowanie optymalnych planów rewitalizacji sieci wodociągowej, z zastosowaniem do tego celu mapy numerycznej, modelu hydraulicznego i optymalizacji wielokryterialnej.

Ponadto podobny system informatyczny, jak dla sieci wodociągowej, opracowuje się w IBS PAN dla sieci kanalizacyjnej a także dla oczyszczalni ścieków. W dalszej perspektywie planuje się połączenie tych trzech autonomicznych systemów do postaci jednego zintegrowanego systemu informatycznego, przeznaczonego do kompleksowego zarządzania całym systemem wodno-ściekowym w miejskim przedsiębiorstwie wodociągowym.

5. Wnioski końcowe

Dzięki swoim modułom opracowany system informatyczny realizuje następujące funkcje zarządzania miejską siecią wodociągową:

- komputerowa wizualizacja sieci lub jej wybranych fragmentów w formie mapy numerycznej generowanej przez system GIS,
- wyznaczanie aktualnego stanu pracy sieci za pomocą modelu hydraulicznego i algorytmów aproksymacji krigingowej,
- optymalizacja, projektowanie i sterowanie operacyjne siecią wodociągową z wykorzystaniem modelu hydraulicznego sieci i programu optymalizacji wielokryterialnej,
- bieżąca weryfikacja wyników obliczeń modelu hydraulicznego za pomocą danych pomiarowych dostarczanych do systemu i wizualizowanych za pomocą systemu monitoringu,
- lokalizacja awarii i wycieków w sieci wodociągowej za pomocą bieżących pomiarów z systemu monitoringu.

Wdrożenie tego systemu w przedsiębiorstwie wodociągowym wymaga przeprowadzenia w nim określonych zmian organizacyjnych. Polegają one między innymi na tworzeniu nowych stanowisk pracy w różnych działach przedsiębiorstwa do obsługi różnych modułów systemu, takich jak:

- mapa numeryczna do wizualizacji sieci i wykonywania analiz
- system monitoringu do obserwacji aktualnego stanu sieci
- modele hydrauliczne i programy optymalizacji do sterowania siecią oraz planowania i wykonywania prac projektowych.

Konieczność wprowadzenia tych zmian oraz koszty związane z zakupem odpowiedniego oprogramowania i prowadzeniem koniecznych prac badawczych są obecnie, niestety, podstawowymi barierami hamującymi systemową komputeryzację i informatyzację krajowych przedsiębiorstw wodociągowych.

Literatura

- [1] Bogdan L.: *Some properties of kriging calculations for environmental measurements data*, [In]: Proceedings of the ASIS'2007 Conference. Brno 2007.
- [2] Bogdan L., Studziński J.: *The kriging approximation: algorithms, program and calculation results*. In: Eco-Info and Systems Research (J. Studzinski, O. Hryniewicz, eds.) PAN IBS, Warsaw 2006, 67-88.
- [3] Bogdan L., Studziński J.: *Anwendung von Kriging-Approximation zur Anfertigung der Regenfallkarten fuer Polen*, [In]: GI-Edition, Lectures Notes in Informatics (K.O. Wenkel, P. Wagner, M. Morgenstern, K. Luzi, P. Eisermann, Hrsg.) Koellen Druck Verlag, Bonn 2006, 33-36.
- [4] Bogdan L., Studziński J.: *Entwicklung von Algorithmen zur Krigingsapproximation zur Modellierung von Umweltdaten*, [In]: Wittmann J., Mueller M. (Hrsg.) Simulation In Umwelt- und Geowissenschaften. Shaker Verlag, Reihe Umweltinformatik, Aachen 2006.
- [5] Bogdan L., Studziński J. (2007) *Modeling of water pressure distribution in water nets using the kriging algorithms*, [In]: Industrial Simulation Conference ISC'2007 (J. Ottjes and H. Vecke, eds.), June 11-13, 2007, Delft, TU Delft Netherlands, 52-56.
- [6] Bogdan L., Studziński J.: *Mathematical models for hydraulic calculation and optimization of commnal waternets*, [In]: ESM 2008: Modelling and Simulation (Cyrille Bertelle and Aladdin Ayeshe, Eds.) Le Havre (October) Université du Havre France 2008.
- [7] Bryłka R., Studziński J.: *Integrated solution for water industry*. Prezentacja systemu zarządzania siecią wodociągową na Targach Brussels Innova 2008.
- [8] Hryniewicz O., Studziński J.: *Development of computer science tools for solving the environmental engineering problems*, [In]: K. Tochtermann, A. Scharl. (Eds.) Managing Environmental Knowledge. 20th International Conference on Informatics and Environmental Protection: EnviroInfo'2006, Graz. September 6-8.
- [9] Karczmarska D.: *Uruchomienie komputerowego systemu wspomagania decyzji projektanta i operatora sieci wodociągowej w Rzeszowie*. Raport badawczy IBS PAN nr 11B/2007, Warszawa 2007.

- [10] Straubel R.: *REH – Ein Program für Rechnerunterstützte Entscheidungshilfen*. Ingenieurbüro Dr. Straubel, Berlin 2007.
- [11] Straubel R., Holznagel B.: *Mehrkriteriale Optimierungen für Planung und Steuerung von Trink- und Abwasser-Verbundsystemen*, [w]: Problemy monitoringu i automatyzacji oczyszczalni ścieków bytowo-gospodarczych. PZiITS, Oddział w Poznaniu, Ustronie Morskie 1998, 30-42.
- [12] Straubel R., Studzinski J.: *Computer aided planing and operating of the water networks in Koenigs-Wusterhausen and Rzeszow*, [In]: Proceedings of 4th International Conference in Water Supply and Quality, Ed. M.M. Sozański, Kraków 2000, 43-54.
- [13] Studzinski J.: *Entwicklung von Modellen und Algorithmen zur Simulation und Optimierung von komplexen Wassernetzen*, [In]: Modellierung und Simulation von Oekosystemen. Workshop Koelpinsee 2004 (A. Gnauck, Hrsg.) Shaker Verlag, Aachen 2006, 1-12.
- [14] Studziński J.: *Computer aided management of waterworks*, [In]: Proceedings of QRM'2007, 6th Intern. Conference on Quality, Reliability and Maintenance (R.A. Tomas, ed.), Oxford 2007, 254-258.
- [15] Studziński J.: *Zastosowanie danych z monitoringu w systemie zarządzania miejską siecią wodociagową*. Studia i Materiały PSZW (W. Bojar, red.) tom 9, PSZW Bydgoszcz 2007, 154-164.
- [16] Studzinski J.: *Rechnergestützte Entscheidungshilfe zur Führung eines kommunalen Wassernetzes*, [In]: Modellierung und Simulation von Ökosystemen (A. Gnauck, Hrsg.) Shaker Verlag, Aachen 2008.
- [17] Studziński J., Bogdan L.: *Application of kriging algorithms for environmental and engineering parameters approximation*, [In]: O. Hryniewicz, J. Studzinski, M. Romaniuk (eds.) Environmental Informatics and Systems Research, EnviroInfo'2007 Conference, Warsaw, 12-14 September 2007, 1, Shaker Verlag Aachen 2007, 185-192.
- [18] Studziński J., Karczmarska D., Popek J.: *Uwagi o wdrożeniu, eksploatacji i propozycjach rozbudowy GIS-Geomedia w wodociągach rzeszowskich*, [w]: Eksploatacja wodociągów i kanalizacji: GIS, modelowanie i monitoring w zarządzaniu systemami wodociagowymi i kanalizacyjnymi, 7, PZSiITS, Warszawa 2005, 117-128.
- [19] Studziński J., Straubel R.: *Optymalizacja i sterowanie miejskiej sieci wodociagowej na podstawie modeli matematycznych*. Studia i Materiały PSZW (W. Bojar, red.) 10, PSZW Bydgoszcz 2007, 181-191.
- [20] Żyła A.: *Opracowanie algorytmów obliczeniowych do wykrywania stanów awaryjnych i nieuszczelności sieci wodociagowej*. Raport badawczy IBS PAN nr 4B/2007, Warszawa 2007.

Computer aided management of water distributed system in communal waterworks

Jan Studziński, Lucyna Bogdan

Systems Research Institute of Polish Academy of Sciences

Pl 01-447 Warsaw, Newelska 6

e-mail: studzins@ibspan.waw.pl

In the paper the current state of Polish waterworks and the advantages of their complex and system computerization are described. Also a concept of a computer aided system to support the management of communal water network as well as a concept of its development to the form enfolding all water and wastewater system in a city, considering the wastewater network and the wastewater treatment plant, are presented.

Keywords: System analysis, computer aided management of waterworks, hydraulic models of water net, GIS and SCADA for water distributed systems.

IBS PAN

46358

ec.europa.eu/enterprise-europe-network

Górnośląska Agencja Przekształceń Przedsiębiorstw S.A.
Regionalne Centrum Innowacji i Transferu Technologii
ul. Astrów 10, 40-045 Katowice
Tel.: 032 730 48 90
Fax.: 032 251 58 31
een@gapp.pl
www.gapp.pl

ISBN 978-83-8947-526-8

