

Henryk BYLKA<sup>1</sup>, Wojciech GÓRA<sup>1</sup>,  
Olimpia KORPETA<sup>2</sup>, Andrzej MALINOWSKI<sup>2</sup>, Marta SROCZYK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut Inżynierii Środowiska  
Politechnika Poznańska

<sup>2</sup>Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji  
w Dąbrowie Górniczej

## WDRAŻANIE KOMPUTEROWEGO MODELU SIECI WODOCIĄGOWEJ W PWIK W DĄBROWIE GÓRNICZEJ

THE IMPLEMENTATION OF A COMPUTER MODEL OF THE WATER  
DISTRIBUTION SYSTEM IN DĄBROWA GÓRNICZA

*In the paper it was highlighted the works performed during the development of a computer model of the water distribution system in Dąbrowa Górnicza. A modeled system is described which incorporates the initial and base models, and how they were implemented. Example applications for solving practical problems are discussed. Building on the experience from this work and similar problems of system implementation processes, i.e. validation, calibration, model management, utility rate and application efficiency were described. The conclusions presented recommend changes in the organizational and legal requirements of companies which are needed to increase efficiency of integrated information systems and applications in water supply and sewerage system companies.*

### 1. Wprowadzenie

Matematyczny model sieci wodociągowej, obok takich systemów jak GIS (*Geographic Information System*), SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*), CIS (*Customer Information System*), ERP (*Enterprise Resource Planning*), może być uzupełniony o systemy oceny awaryjności, czy też ograniczania strat wody i stanowi jeden z modułów systemów informatycznych, stosowanych jako narzędzia wspomagające proces podejmowania decyzji w projektowaniu, eksploatacji i planowaniu inwestycji [5]. Systemy takie oferowane są [10, 12] jako kompleksowe narzędzia podniesienia innowacyjności procesowej, organizacyjnej i marketingowej przedsiębiorstwa, postulując znaczny stopień ich integracji.

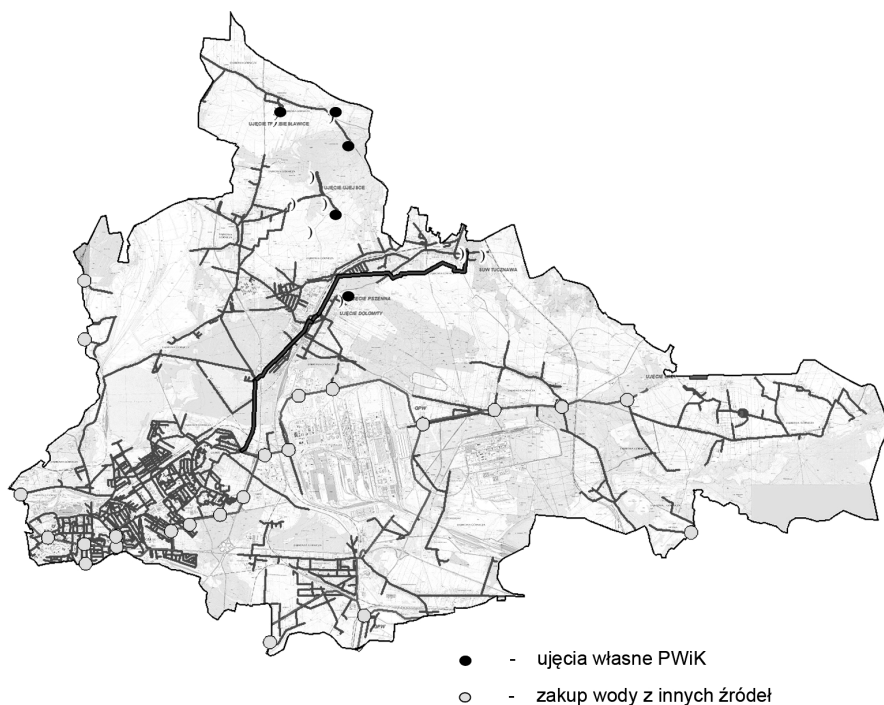
W Polsce modele sieci wodociągowych opracowywano już w latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku. W literaturze krajowej można znaleźć szereg informacji o realizowanych lub już zrealizowanych pracach związanych z budową modeli komputerowych sieci wodociągowych. Prezentuje się w nich wybrane modelowane układy i modele, problemy związane z ich realizacją i kalibracją oraz aktualizacją [6, 7, 8, 11].

Przedmiotem referatu jest komputerowy model układów rozprzewadzających wodę wdrożony w Przedsiębiorstwie Wodociągów i Kanalizacji w Dąbrowie Górniczej. Doświadczenia związane z budową i korzystaniem z modelu Przedsiębiorstwo zdobyło już ponad dwadzieścia lat temu, gdy zespół z Politechniki Krakowskiej opracował pierwszy model. W późniejszych latach wdrożono szereg nowych systemów, między innymi korzystający z mapy numerycznej system GIS (MapInfo), systemy ewidencji sprzedaży, gromadzenia i wizualizacji danych z monitoringu, oraz systemy umożliwiające odczyty z rejestratorów Cello i CDL.

W referacie zostaną przedstawione prace związane z opracowywaniem i wdrażaniem nowego komputerowego modelu układów rozprzewadzających wodę rozpoczęte w 2010 r. Doświadczenia związane z ich realizacją, skonfrontowane z dostępnymi w literaturze informacjami o problemach w trakcie tworzenia podobnych modeli, będą podstawą do sformułowania ogólniejszych uwag i wniosków dotyczących metodyki prac związanych z ich implementacją. Przedstawione zostaną przykłady wykorzystania modelu dla rozwiązywania wybranych zagadnień praktycznych, sformułowane zostaną też wnioski odnoszące się również do warunków zwiększenia efektywności zastosowanych zintegrowanych systemów informatycznych w przedsiębiorstwach wodociągowo-kanalizacyjnych.

## **2. Charakterystyka modelowanych układów**

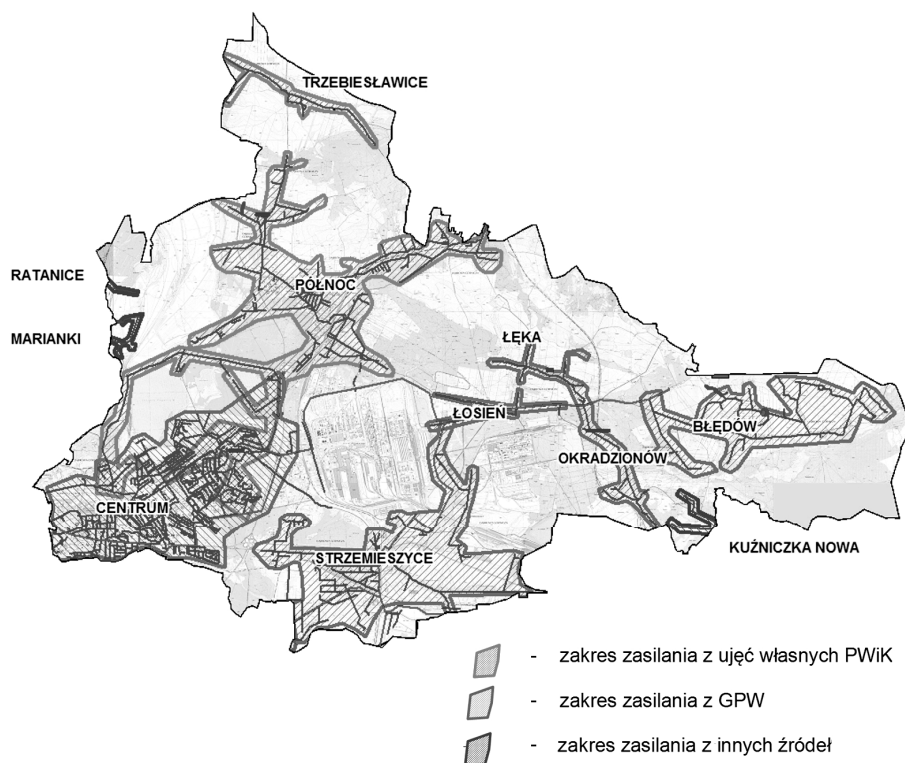
System wodociągowy miasta Dąbrowa Górnicza zaopatruje w wodę aglomerację liczącą około 127 tys. mieszkańców. Eksploatowana przez Przedsiębiorstwo sieć wodociągowa dostarcza przez 11880 przyłączy ponad 5 mln m<sup>3</sup> wody rocznie, przewodami o łącznej długości około 450km. Obok sieci i przyłączy elementami systemu są trzy ujęcia wody, zbiorniki retencyjne, przepompownie sieciowe i hydroforowe podnoszące ciśnienie w wyżej położonych rejonach, bądź do wysokich budynków. Sieć miasta Dąbrowa Górnicza zaopatrywana jest z własnych ujęć głębinowych, sieci magistralnej Górnośląskiego Przedsiębiorstwa Wodociągowego (GPW) oraz sieci gmin ościennych. Schemat układu zasilania Dąbrowy Górniczej przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Schemat zasilania sieci Dąbrowy Górniczej

Fig. 1. Scheme of the Dąbrowa Górnicza water supply points

W większości punktów zakupu wody od zewnętrznych dostawców zamontowane są regulatory ciśnienia. Biorąc pod uwagę stopień integracji oraz obsługiwany obszar wyodrębniono jedenaście układów, które przedstawiono na schemacie (rys. 2). Największy obszarowo dostarczający około 78% wody sprzedanej a zarazem najbardziej skomplikowany układ ze wszystkich podsystemów Dąbrowy Górniczej to układ **Centralny**. Stanowi on spójną sieć na obszarze w centrum miasta i jego bliskim otoczeniu. Woda do tej sieci jest dostarczana z wysoko usytuowanych zbiorników ujęcia własnego poprzez magistrale zaczynającą się przy zbiornikach, a kończącą w centrum miasta oraz z siedmiu włączeń do sieci GPW



Rys.2. Układy wyodrębnione w systemie dystrybucji wody w Dąbrowie Górniczej

Fig. 2. Separated networks in the water distribution system in Dąbrowa Górnicza

Kręgosłup układu **Północ** stanowi magistrała dostarczająca wodę do układu **Centralnego**, od której odgałęzniają się lokalne sieci zasilające dzielnice: Ząbkowice, Tucznawa oraz Ujejsce. Układ ten jest zaopatrywany w wodę z dwóch zbiorników retencyjnych ujęcia Ujejsce oraz ze studni przy ul. Pszennej w Ząbkowicach. Okresowo, niewielkie ilości wody gromadzą zbiorniki retencyjne zlokalizowane na wyłączonym z eksploatacji ujęciu Tucznawa po to, aby w godzinach dużych rozbiorów wtłaczać ją pompami do sieci.

Odrębne układy dostarczają wodę do mniejszych jednostek osadniczych takich jak: **Błędów, Łosień, Strzemieszyce, Okradzionów, Łęka, Ratanice, Marianki, Kuźniczka Nowa**. Z lokalnego ujęcia dostarczana jest woda do układu Trzebiesławice. W tabeli 1 zestawiono dane dotyczące objętości wody wtłoczonej średnio w dobie w 2010r. w każdym z wyodrębnionych rejonów.

Tab. 1. Średnie dobowe objętości wody wtłoczonej do wyodrębnionych regionów w 2010 roku

Tab. 1. Average diurnal capacity of water pumped into the separated networks in 2010.

Rejon	Woda wtłoczona do sieci		
	m <sup>3</sup> /d	m <sup>3</sup> /h	%
Centrum	11072	461,33	71,40
Północ	1927	80,29	12,42
Błędów	246,7	10,28	1,60
Łosień	137,3	5,72	0,88
Strzemieszyce	1808,2	75,34	11,65
Okradzionów	89	3,71	0,57
Łęka	86	3,58	0,55
Trzebieślawice	80,64	3,36	0,52
Marianki	19,74	0,82	0,13
Ratanice	9,3	0,38	0,06
Kuźniczka Nowa	34,50	1,40	0,22
<b>RAZEM</b>	<b>15 429, 74</b>	<b>646,22</b>	<b>100,00</b>

### 3. Prace związane z opracowaniem modelu

Opracowanie modelu rozpoczęto od określenia celów jakie spodziewano się zrealizować z wykorzystaniem modelu oraz wyboru programu komputerowego. Obok celu ogólnego, jakim jest wspomaganie w zarządzaniu siecią wodociągową, jako cele szczególne, realizowane w pierwszej kolejności, przyjęto analizę i ocenę możliwości zwiększenia zdolności dostawczych magistrali doprowadzającej wodę z ujęcia Ujejsce, ustalenie warunków technicznych przyłączania nowych odbiorców oraz ocena energochłonności układu transportującego wodę ze studni do zbiorników na ujęciu w Ujejscu. Zdefiniowano ponadto zadanie polegające na określeniu zasad sterowania źródłami zasilania sieci – urządzeniami, przez które dopływa woda z GPW. Zadanie to będzie jednak rozwiązywane w dalszej kolejności. W drugim etapie działań gromadzono i weryfikowano dane, które były wprowadzane następnie do modelu komputerowego. Można dwie grupy danych: dane, które można transformować z dostępnych źródeł oraz te, których pozyskanie wymaga odrębnych działań, np. przeprowadzenia wizji lokalnych, zainstalowania przyrządów pomiarowych, czy też wykonania pomiarów. Dostępne dane wymagały weryfikacji i sprawdzenia, szczególnie w zakresie topologii sieci odwzorowanej na mapach o różnym stopniu wiarygodności. Natomiast w ramach prac związanych z pozyskiwaniem nowych danych przeprowadzono wizje lokalne, wykonano pomiary i schematy technologiczne lokalnych układów. Dokonano także identyfikacji użytkownika systemów informatycznych, a w szczególności systemu MapInfo, systemu ewidencji sprzedaży oraz systemów gromadzących i przetwarzających dane z monitoringu. Następnie odwzorowano na schematach miejsca połączeń sieci przedsiębiorstwa z siecią

GPW, studnie na ujęciu w Ujejscu oraz w Ząbkowicach i Trzebiesławicach, zbiorniki wody oraz układy pompowe. Ponadto zinventaryzowano wszystkie miejsca, w których zainstalowane są już na stałe, lub mogą być instalowane urządzenia do pomiaru ciśnienia i przepływu. Prace te trwały kilka miesięcy. W ramach trzeciego etapu prac, opracowywano model hydrauliczny układów. Po wprowadzeniu zebranych danych uzyskano pierwszy, tzw. wyjściowy model i wykonano obliczenia hydrauliczne dla wybranych ustalonych warunków pracy układu. Wyniki obliczeń porównano z dostępnymi wynikami pomiarów wykonywanych w ramach monitoringu. Rozbieżności pomiędzy wynikami obliczeń i wynikami pomiarów były podstawą do pierwszej weryfikacji danych. Konieczną okazała się weryfikacja topologii sieci układu Centralnego oraz układu dostarczającego wodę do Strzemieszyc. Realizując weryfikację modelu w dużym stopniu wykorzystano wiedzę i doświadczenie pracowników, którzy od lat zajmowali się eksploatacją sieci. Model, po korektach, wykorzystano do rozwiązywania sformułowanych wcześniej wybranych zadań związanych z zarządzaniem układem. Te działania były pierwszym krokiem czwartego etapu prac – pierwszej kalibracji modelu. Tak skalibrowany model nazwano modelem bazowym.

W ramach ostatniego etapu przystąpiono do opracowania zasad zarządzania modelem. Opracowano zasady gromadzenia, analizowania i weryfikacji danych pozyskiwanych z monitoringu, z działu sprzedaży oraz z działu eksploatacji sieci. Przeprowadzono szkolenie pracowników z działów, dla których model może być pomocny do rozwiązywania interesujących ich zagadnień. Zespół, który od początku prac brał czynny udział w ich realizacji, będzie odpowiedzialny za zarządzanie danymi, a w szczególności ich permanentną aktualizację oraz przygotowywanie danych w formacie programu EPANET2 dla osób przeszkolonych w zakresie korzystania z modelu.

## **4. Komputerowy model układów**

### **4.1. Uwarunkowania istotne dla prac związanych z wdrażaniem modelu**

Wdrażając model hydrauliczny sieci wodociągowej należy uwzględniając lokalne uwarunkowania związane ze stanem danych, narzędziami ich gromadzenia i przetwarzania. W przypadku rozwiązania, w którym model stanowi funkcjonalnie wydzielone narzędzie, z własną obiektową bazą danych, problem wdrożenia ogranicza się do zdefiniowania obiektów bazy danych oraz ich atrybutów w zakresie niezbędnym do korzystania z równań matematycznych oraz uzyskania porządanej dokładności obliczeń. W przypadku wdrażania modelu hydraulicznego zintegrowanego z systemem GIS, gdzie model stanowi jedynie pojedynczy moduł całej struktury danych przestrzennych, a dane do obliczeń pozyskiwane są bezpośrednio z modułu centralnego, wymagana dokładność danych w module centralnym, ze względu na pozostałe moduły funkcjonalne jest niewspółmiernie większa, niż dla modelu hydraulicznego wdrażanego jako odrębny system. Dodatkowo, obiektowy model danych przestrzennych jest różny, dla różnych modułów systemu GIS [9]. Zestawienie podstawowych wymagań dotyczących danych przestrzennych w zależności od ich zastosowania przedstawiono w tabeli 2.

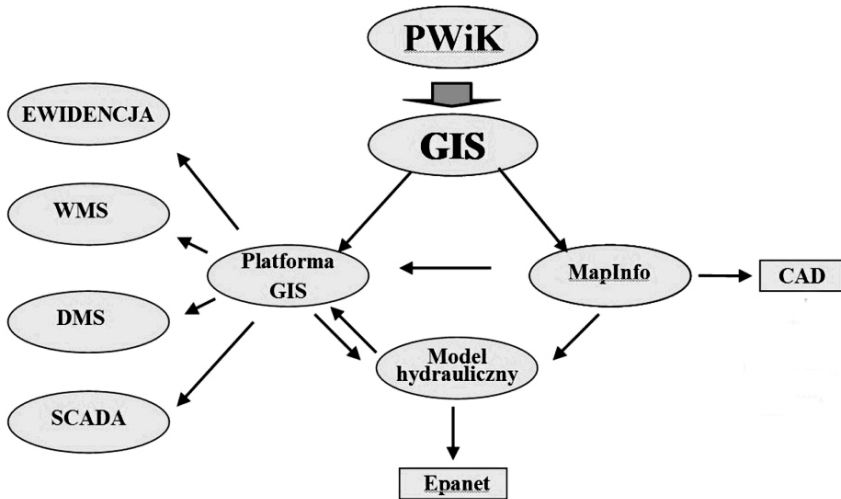
Tab. 2. Wymagania dotyczące danych przestrzennych obiektowej bazy danych systemu GIS dla przykładowych modułów funkcjonalnych.

Tab. 2. The requirements for spatial data of object databases in the GIS system for the exemplary functional modules.

Nazwa modułu	Ewidencja sieci	System zarządzania dokumentami	System zarządzania awariami	Model hydrauliczny
Duplikaty obiektów sieci	dopuszczalne	dopuszczalne	niewskazane	niedopuszczalne
Topologia	brak szczególnych wymogów	brak szczególnych wymogów	wymagana spójność sieci	wymagana pełna identyfikacja w zakresie topologii
Model danych dla obiektów typu: pompa, zasuwa	punkt	punkt	punkt/łuk	łuk
Dokładność i szczegółowość odwzorowania danych	bardzo duża	duża	duża	względnie mała

Czynnikami determinującymi wymagane nakłady w procesie wdrożenia modelu są stan danych o topologii sieci, o atrybutach obiektów oraz konwersja obiektów punktowych na obiekty łukowe. Dostawcy oprogramowania do modelowania hydraulicznego sieci wodociągowych udostępniają najczęściej narzędzia do konwersji danych. Odwzorowanie topologii sieci wymaga natomiast stosowania zaawansowanych procedur, wiedzy eksperckiej oraz szczegółowej znajomości modelowanego systemu.

Na etapie wstępnym procesu wdrożenia modelu hydraulicznego sieci wodociągowej w PWiK Dąbrowa Górnicza, system GIS (*MapInfo*) stosowany był jedynie do ewidencji sieci wodociągowej i bazował na wektoryzowanych mapach rastrowych, które nie stanowiły spójnego topologicznie układu. Z uwagi na przyszłościowe plany wdrożenia zaawansowanego – wielomodułowego systemu GIS, który ma współpracować również z modelem, w fazie opracowania bazy danych dla modelu, należało zachować dokładność przestrzennego odwzorowania sieci z istniejącego GIS, z jednoczesnym zapewnieniem cech topologicznych układu rzeczywistego. Sytuacja taka dla pewnych obszarów wymagała nowego – „ręcznego” definiowania obiektów, a co się z tym wiąże, dodatkowych nakładów względem sytuacji, w której efektem końcowym byłby tylko model hydrauliczny. Jednak opracowana w ten sposób baza danych może stanowić podstawę dla modułu centralnego wdrażanego w przyszłości. Na schemacie (rys. 3) przedstawiono przewidywaną architekturę systemu GIS, po wdrożeniu modelu hydraulicznego wraz z planowanymi modułami dodatkowymi.



Rys. 3. Architektura GIS po wdrożeniu modelu hydraulicznego z modułami planowanymi w przyszłości

Fig. 3. GIS architecture after the implementation of the hydraulic model together with scheduled modules.

## 4.2. Programy komputerowe

Wspomniany wcześniej pierwszy model komputerowy układów rozprwadzających wodę w Dąbrowie Górniczej korzystał z autorskiego oprogramowania wymagającego wówczas znacznych uproszczeń struktury sieci. Stan technik programowania, a w szczególności wizualizacji struktury układu skorelowanej z możliwością wprowadzania danych, utrudniał korzystanie z modelu. Stąd zaistniała potrzeba opracowania nowego modelu. Na rynku dostępnych jest szereg programów komputerowych, które umożliwiają opracowanie modeli sieci. W zestawieniu zawierającym opis ich podstawowych funkcji, zrealizowanym w Politechnice Poznańskiej, zawarto podstawowe dane dotyczące ponad trzydziestu programów. Znane są już wielokryterialne metody wyboru optymalnego oprogramowania [2]. Biorąc pod uwagę uwarunkowania lokalne, związane ze stanem danych oraz ofertami rynkowymi, zdecydowano się wykorzystać program *MikeUrban*, który umożliwia tworzenie odrębnej bazy danych, zarówno o konfiguracji przestrzennej modelowanych układów jak i parametrach ich elementów. Program *MikeUrban* jest programem współpracującym z platformą GIS firmy *ESRI* w środowisku bazodanowym *Microsoft Access*. *MikeUrban* do obliczeń hydraulicznych wykorzystuje program *EPANET2*. Zastosowanie zintegrowanego narzędzia bazodanowego GIS daje możliwość wiązania i transportu danych z programu typu *MapInfo* (wersja 7.5 lub nowsza) pośrednio do bazy *Access* lub bezpośrednio do *ArcGIS* za pomocą wpisanych procedur „eksport/import”.



Założono, że podstawowa baza danych będzie zapisana w programie *MikeUrban*, co nie przeszkadza, aby wykorzystywano go także do realizacji obliczeń hydraulicznych w powszechnie dostępnym programie *EPANET2*. Model powinien mieć szerokie możliwości zastosowań, w różnych działach. Stąd zarządzający modelem, wykorzystując program *MikeUrban* będą przygotowywać dla osób zamierzających wykorzystać model dla własnych celów zestawy danych w formacie właściwym dla powszechnie dostępnego programu *EPANET2*.

### 4.3. Odwzorowanie konfiguracji przestrzennej sieci

Dla odwzorowania planu sieci korzystano z dwóch map wektorowych, mapy źródłowej oraz mapy stanowiącej część wdrożonego wcześniej w Przedsiębiorstwie systemu *MapInfo*. W trakcie budowy systemu *MapInfo* skorygowano i uszczegółowiono szereg danych. Jednak po automatycznym przeniesieniu danych do modelu wejściowego zauważono liczne nieścisłości i podjęto decyzję o celowości „ręcznej” korekty, wykorzystując informacje pozyskiwane od pracowników z działu odpowiedzialnego za eksploatację sieci.

### 4.4. Dane o parametrach przewodów

Modelowaną sieć stanowią przewody stalowe, żeliwne, AC, PVC i PE. Dane o średnicach sieci wprowadzono korzystając z systemu *MapInfo*. Na mapie nie zawsze stosowano zasadę zapisu średnicy nominalnej. Ułatwiłoby to identyfikację rodzaju materiału. Zdarzało się, że przewodom z PVC lub PE przypisywano średnice nominalne, odpowiednio dla przewodów stalowych i żeliwnych, np. 150mm dla przewodów PE o średnicy nominalnej 160mm. W bazie danych o przewodach sieci obok miejsca usytuowania – ulicy, znalazły się informacje o rodzaju materiału i roku budowy przewodu. Korzystając z tych danych, przyjęto wstępnie zastępcze chropowatości przewodów żeliwnych i stalowych w zakresie od 2mm do 10mm. Dane o rzędnych terenu, w miejscu usytuowania początkowego i końcowego węzła łuku odczytywano z map podstawowych. W trakcie rozwiązywania wcześniej wspomnianych zagadnień dokonano pierwszych korekt chropowatości niektórych przewodów magistralnych.

### 4.5. Odwzorowanie źródeł zasilania sieci

Dwa zbiorniki w Ujejscu zasilające sieć układu Północ i układu Centralnego odwzorowano jako rezerwuary, przypisując im rzędne poziomu zwierciadła wody. W modelu odwzorowano również studnie, pompy w studniach i rurociągi stanowiące układ transportujący wodę ze studni do zbiorników na ujęciu. Zgodnie z danymi w kartach studni przyjęto rzędne statycznego zwierciadła wody, przypisując je do zbiorników typu rezerwar zasilających odrębnie każdą ze studni oraz charakterystyki studni. Studnię odwzorowano zaworem typu GPV, przypisując mu ustawienie – krzywą odpowiadającą charakterystyce. Dwa zbiorniki typu rezerwar zasilające sieć można zastąpić zbiornikami typu tank, w kształcie walca z danymi o średnicy zbiorników, rzędnych ich dna i wysokości maksymalnego poziomu wody w zbiornikach. Studnię przy ul. Pszennej,

zasilającą układ Północny, odwzorowano podobnie jak studnie na ujęciu w Ujejscu. Do sieci układu Centralnego woda może być doprowadzana przez dwa zawory redukcyjne na końcówkach magistrali z Ujejsca, oraz sześć zaworów redukcyjnych i jedną zasuwę, na połączeniach sieci centralnej z magistralami GPW. Pracownicy Przedsiębiorstwa wykonali schematy węzłów sieciowych – komór z reductorami ciśnienia, łącznie z komorami na rurociągu doprowadzającym wodę ze zbiorników Ujejsce. W modelu odwzorowano także komory redukcyjne, z których zasilana jest sieć Błędowna, Okradzionowa-Łęki i Łosienia oraz zbiornik zasilający sieć Strzemieszyc. W układzie Trzebieszawice odwzorowano studnie z pompami tłoczącymi wodę do sieci, a współpracujący z siecią zbiornik, jako zbiornik o zmiennym poziomie wody (*Tank*). Zawór redukcyjny typu PRV odwzorowuje reductor ciśnienia.

#### 4.6. Odwzorowanie przepompowni hydroforowych

Przepompownie zasilają odrębne układy sieci drugiej strefy. Są to zestawy pomp, bez klasycznych zbiorników hydroforowych, z układem sterującym ich pracą tak, aby na wyjściu z pompowni utrzymywać zadane ciśnienie. W modelu na wyjściu z przepompowni odwzorowano zbiornik – rezerwuar, w którym rzędna poziomu zwierciadła odpowiada rzędnej manometru na wyjściu z przepompowni powiększoną o wysokość ciśnienia, utrzymywanego przez układ regulowanych pomp z przetwornicą częstotliwości. Do węzła sieci, z którego zasilana jest pompownia, przypisano rozbiór obliczeniowy oraz wzorzec jego zmian w godzinach doby. Dane dla wzorca ustalono na podstawie danych z monitoringu. Węzeł ten nie jest połączony ze zbiornikiem stanowiącym zastępcze źródło zasilania sieci lokalnej. Opracowano schematy obliczeniowe dla pompowni hydroforowych, stąd istnieje możliwość zamodelowania pompowni hydroforowej, po uzupełnieniu bazy danych o węzły i łuki odwzorowujące urządzenia wyodrębnione na schematach.

#### 4.7. Rozbiory obliczeniowe przyjęte w modelu

Podstawą ustalania rozbiórów obliczeniowych były dane o sprzedaży oraz objętości wody tłocznej do sieci, w każdym z wyodrębnionych układów. Program *MikeUrban* posiada funkcję przetwarzania danych o sprzedaży z bilingu, ustalając rozbiory bazowe dla węzłów. Sprzedaż przypisuje się do ulic, stąd każdemu odcinkowi sieci z przyłączami przyporządkowano adres ulicy, ujętej w spisie prowadzonym przez dział sprzedaży. Wartości rozbiórów bazowych ustalone na podstawie danych o sprzedaży średniej godzinowej w dobie, powiększono o różnicę pomiędzy objętością wody włączanej do sieci, a objętością wody sprzedanej nazywaną potocznie stratami wody. Dla wody niesprzedanej przyjęto wartości współczynników nierównomierności dobowej i godzinowej równe 1. W zestawieniu ujęto 440 ulic.

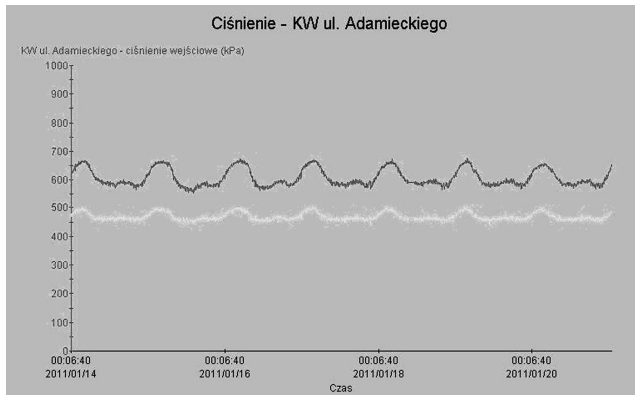
## 5. Weryfikacja modelu

Po raz pierwszy weryfikowano model nazwany wcześniej wyjściowym (pkt 3). Dokonano pierwszych obliczeń, których wyniki posłużyły do wprowadzenia wstępnych korekt, a w konsekwencji do określenia pierwszego modelu bazowego. Zakłada się, że zarządzający danymi będą w miarę pozyskiwania nowych informacji o modelowanym układzie, korygować model bazowy wykorzystując wyniki kalibracji danych, rozumianej, jako korekta przyjętych wcześniej parametrów, w szczególności zaś chropowatości przewodów, rozmiarów oraz wzorców zmian rozbiorów w godzinach doby.

Podstawowym źródłem informacji o ciśnieniu utrzymywanym w sieci są dane pozyskiwane z przyrządów pomiarowych. W przypadku układów modelowanych, zidentyfikowano ponad siedemdziesiąt miejsc usytuowania punktów pomiarowych, z których pozyskuje się dane w ramach prowadzonego ciągłego lub okresowego monitoringu, z zastosowaniem przenośnych urządzeń rejestrujących wyniki pomiarów. Aby korzystać z pomiarów dla weryfikacji wyników obliczeń prowadzonych z wykorzystaniem modelu, opracowano zasady zbierania i przechowywania danych z monitoringu.

Reduktory w modelu utrzymują stałe zadane ciśnienie na wyjściu. Przykładem realnej pracy, może być wykres na rys.4. Kolorem czerwonym przedstawiono ciśnienie na włączeniu do sieci obcej, natomiast kolorem żółtym ciśnienie na wejściu do sieci Przedsiębiorstwa.

Z wykresu wynika, że urządzenie utrzymuje ciśnienie w zakresie 4,5 do 5 bar. Dodatkowe pomiary zmian ciśnienia w sieci wodociągowej, wykonywane w różnych punktach sieci, z wykorzystaniem przetworników ciśnienia umożliwiających pomiar z częstotliwością mniejszą niż sekunda wykazały, że ciśnienie w sieci ulega wahaniom - pulsacjom, zależnym od miejsc usytuowania punktów pomiarowych. Wyniki odczytów ciśnienia wykonywane z małą częstotliwością mogą być średnią wartością z dłuższego przedziału czasu.



Rys. 4. Zmiany ciśnienia w jednym z miejsc zasilania układu Centralnego.

Fig. 4. Pressure variation in the exemplary water supply point of the Central network.

Istniejący system monitoringu umożliwia wizualizację zmian wartości mierzonych parametrów, w tym ciśnień i przepływów. Nie można jednak automatycznie transmitować danych z monitoringu do innych programów, w celu ich przetworzenia w ramach odrębnych analiz. Projektując system monitoringu nie przewidywano pozyskiwania danych w formie plików, które można zapisywać w formacie umożliwiającym edytowanie ich i przetwarzanie w arkuszu kalkulacyjnym. Opracowano nowe programy dla konwersji tych danych, co umożliwiło w sposób pośredni lub bezpośredni przenosić do programu dane zarejestrowane na sieci poprzez poszczególne urządzenia (w tym rejestratory ciśnienia, wodomierze oraz przepływomierze).

Uzupełnienie danych w mniejszym zakresie dotyczy danych o parametrach rurociągów. Nieznaczną jest liczba przewodów, dla których nie znaleziono pełnych danych o atrybutach. Ponadto dane dotyczące klasycznych przewodów rozdzielczych nie mają istotnego wpływu na wyniki obliczeń. Trudniejszym zadaniem jest przygotowanie i weryfikacja danych o rozbiorach w węzłach sieci, objętości wody tłoczonej do sieci i ich zmianach w godzinach doby. Dane o ilości wody wprowadzanej do sieci mogą mieć różny stopień szczegółowości. Nie we wszystkich źródłach zasilania znajdują się rejestratory przepływu z ciągłym automatycznym odczytem. Alokacja wody niesprzedanej na węzły, jako dodatkowe rozbiory, wymagała odrębnej „ręcznie realizowanej” procedury. Układy wyodrębnione wcześniej stanowią pierwsze rejony – sektory, dla których można niezależnie wykonywać obliczenia hydrauliczne. W ramach tych układów, biorąc pod uwagę cechy struktury sieci oraz usytuowanie przyrządów pomiarowych wyodrębniono kilka mniejszych sektorów.

## 6. Wykorzystanie modelu w podejmowaniu decyzji w ramach zarządzania systemem

W przedsiębiorstwie Wodociągów i Kanalizacji Sp. z o.o. w Dąbrowie Górniczej program hydrauliczny wykorzystywany jest do bieżącej pracy przez działy zajmujące się eksploatacją sieci, przygotowaniem inwestycji oraz wydawaniem warunków przyłączenia do sieci wodociągowej nowych odbiorców, jak również przez dyspozytora. Program wykorzystywany jest do realizacji zadań operacyjnych między innymi do wyznaczania odcinków sieci do płukania (odcinki sieci o najmniejszym przepływie), określania optymalnych nastaw regulatorów, strefowania sieci. W przypadku wystąpienia awarii lub realizacji planowanych prac związanych z wyłączeniem wody, w modelu określany jest obszar pozbawiony wody oraz określone są możliwości podania wody z innej strony. Bardzo ważną funkcję pełni program w zakresie działań rozwojowych. Każde zadanie inwestycyjne rozbudowy sieci wodociągowej, jak również podłączanie nowych odbiorców typu obiekty, zakłady, osiedla domów czy budynki wielorodzinne jest analizowane w programie hydraulicznym. Kolejnym ważnym elementem do którego wykorzystywany jest program to zarządzanie jakością wody. W programie sprawdzane są czasy retencji wody w wybranych punktach sieci (analiza wieku wody), na podstawie czego ustalany jest harmonogram płukania sieci. Program wykorzystywano do sytuowania punktów stałego dozowania polifosforanów.

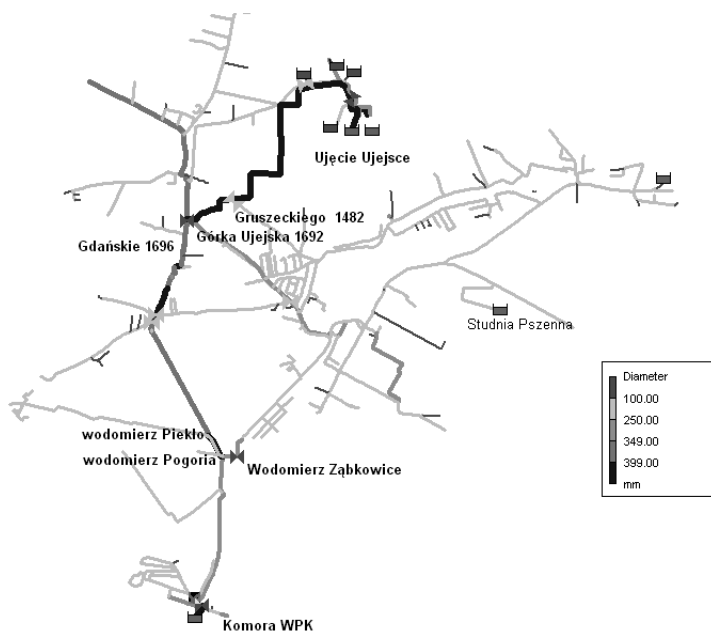
Poniżej opisano trzy przykłady, w których wykorzystano model:

## 6.1. Ocena warunków przyłączenia nowego, znaczącego odbiorcy wody

W celu oceny potencjalnych zdolności dostawczych sieci w rejonie Północnym zasympulowano podłączenie nowego odbiorcy na obrzeżach terenu zasilanego ze źródeł własnych. Na podstawie danych od potencjalnego inwestora tj. lokalizacji, deklarowanego zapotrzebowania na wodę i wymaganego ciśnienia, ustalono najkorzystniejszą trasę przebiegu sieci wodociągowej, a następnie wykonano symulację w programie *EPANET2*. W wyniku analiz wykryto rozbieżności, które wynikały z nieprawidłowego odwzorowania planu sieci. Po wprowadzeniu stosownej korekty uzyskano zamierzony efekt. Obliczenia hydrauliczne wykonane z wykorzystaniem modelu oraz prowadzone pomiary stanowiły podstawę do opracowania przez Przedsiębiorstwo technicznych warunków realizacji inwestycji doprowadzenia wody dla strategicznego odbiorcy.

## 6.2. Ocena możliwości zwiększenia dostaw wody z ujęcia Ujejsce

Jednym z najważniejszych zadań realizowanych w PWiK Dąbrowa Górnicza w oparciu o program hydrauliczny jest określenie możliwości technicznych podania wody z ujęć własnych w szerszy rejon miasta. Z ujęcia w Ujejscu do układu Centralnego wodę doprowadzają przewody stanowiące główną magistralę o średnicach 500mm, 400mm i 350mm. Z magistrali są także zasilane sieci rozprowadzające wodę w układzie Północnym. Schemat układu przedstawiono na rys. 5. Ze względu na fakt, że przedmiotowe ujęcie wykazuje większe zdolności produkcyjne niż maksymalne odnotowane przez PWiK, rozpatrzono możliwość zwiększenia ilości wody z ujęcia własnego i zmniejszenia tym samym zakupu wody z obcych źródeł. To rozwiązanie wymaga większych zdolności dostawczych wody do sieci układu Centralnego. Aktualnie rozpatrywane są przy pomocy programu hydraulicznego rozwiązania koncepcyjne, które będą stanowiły postawę do analiz techniczno – ekonomicznych przy planowaniu rozwoju układu zasilania i tworzeniu planów inwestycyjnych.

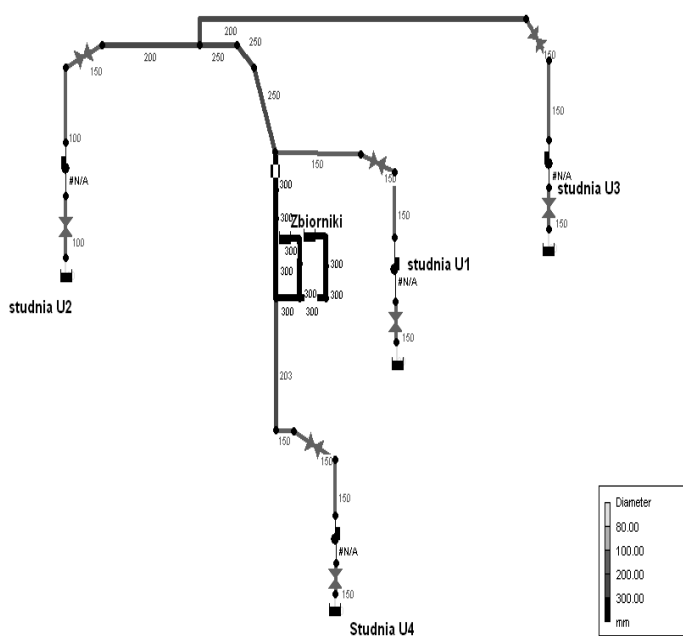


Rys.5. Schemat układu Północ z magistralą z Ujejsca

Fig. 5. Scheme of the North Network with the water main from Ujejsce

### 6.3. Ocena energochłonności układu pompowego dostarczającego wodę ze studni do stacji uzdatniania

Analizowano energochłonność układu pompowego dostarczającego wodę z czterech studni ujęcia Ujejsce do zbiorników retencyjnych. Schemat układu przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Schemat układu transportującego wodę ze studni do zbiorników

Fig. 6. Scheme of the water transportation system from the well to the reservoirs

W modelu odwzorowano studnie, pompy oraz przewody z elementami armatury. Zainstalowane w układzie wodomierze i przyrządy mierzące ciśnienie są elementami układu monitoringu. Należy nadmienić, że model nie służył do ustalania parametrów układu, lecz stanowił narzędzie oceny, w jakim stopniu parametry mierzone różnią się od optymalnych, to znaczy takich, przy których wydajność eksploatacyjna studni osiągnięta jest przy minimalnym zużyciu energii. Model pozwolił oszacować graniczną wartość energochłonności jednostkowej – najmniejszą, jaką można osiągnąć wtedy, gdy cztery pompy pracują ze sprawnościami równymi maksymalnej sprawności pomp, a studnie i rurociągi miały charakterystyki właściwe dla nowych urządzeń. Graniczna energochłonność stanowiła podstawę do szacowania efektywności potencjalnych nakładów potrzebnych przede wszystkim na wymianę agregatów pompowych, ale także działania związane ze zmniejszeniem dławień i oporności eksploatowanych rurociągów i armatury. Choć oszacowano, że średni wskaźnik energochłonności jednostkowej układu jest większy o około 15–18% od wskaźnika granicznego, to przy wskaźniku notowanym i średniej jednostkowej cenie energii bardziej efektywną jest lokata środków potrzebnych na inwestycje w banku. Potwierdziło to zasadę, że w każdym przypadku należy indywidualnie ustalić efektywność ekonomiczną planowanych działań i decydować korzystając z wyników rachunków.

## 7. Ocena użyteczności modelu

W powszechnej opinii model sporządzony na podstawie dokumentacji, nieskalibrowany i bez przeprowadzenia odpowiednich pomiarów i porównania ich wyników z wynikami obliczeń, a potem korekcie parametrów nie jest użyteczny. Na przykładzie wykazano, że dla wcześniej rozpatrywanego trzeciego z zadań, użytecznym jest tylko model nieskalibrowany. Racją jest także to, że podejmowanie decyzji z zastosowaniem modelu, nawet gdy nie jest on skalibrowany, rokuje większe efekty i stwarza mniejsze ryzyko, niż w przypadku braku modelu. Nie znaczy to, że winno się dużą wagę przypisywać kampanii pomiarowej i związanej z nią kalibracji. Na ogół stopień użyteczności modelu utożsamia się, ze stopniem jego wiarygodności, ocenianej na podstawie różnic pomiędzy wynikami obliczeń hydraulicznych, realizowanych w ramach symulacji różnych warunków pracy układu, a wynikami pomiarów.

Wyniki porównań są podstawą do weryfikacji przyjętych danych. W ramach weryfikacji najczęściej wykonuje się pomiary oporności rurowciągów, ustalając ich zastępczą chropowatość bezwzględną, ale także weryfikuje się założenia dotyczące rozbiórów obliczeniowych.

Podstawy teoretyczne kalibracji modeli sieci wodociągowej są przedmiotem licznych publikacji, szczególnie w literaturze amerykańskiej. Podstawy formułowano jeszcze w latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku [13]. W dostępnej w sieci internetowej, liczącym pięćdziesiąt stron omówieniu monografii poświęconej problemom kalibracji modeli systemów dystrybucji wody, zestawiono ponad 160 pozycji bibliograficznych, prac z zakresu problematyki kalibracji, które ukazały się do 2008r [3]. Opracowano klasyfikację modeli układów dystrybucji wody, wyodrębniono trzy kategorie modeli opracowanych dla celów związanych z kalibracją, omówiono siedem etapów procedury realizacji prac związanych z kalibracją modelu, przedstawiono syntetycznie matematyczne i heurystyczne metody kalibracji sieci. Przytaczane wyniki prac dotyczą zarówno podstaw jak i metod kalibracji. Opracowano automatycznie realizowane programy komputerowe wspomagające kalibrację, stanowią one elementy systemu programów komputerowych służących do modelowania układów.

Kryterium oceny modelu może być określone formalną zależnością stopnia dokładności odwzorowania układu w modelu. We wspomnianej wcześniej monografii przytoczono sformułowanie problemu kalibracji jako zadania matematycznej optymalizacji w którym minimalizuje się funkcję celu, czyli bezwzględną różnicę pomiędzy wynikami pomiarów, a wynikami obliczeń, przy ograniczeniach określających warunki związane z prawem zachowania masy i energii.

Mimo licznych prac, brak jest jednolitych sformalizowanych zasad – standardów, określających jak winno się prowadzić proces kalibracji modelu, jakie, i w zależności od czego stosować procedury, jak wybierać rodzaj mierzonych parametrów, jak sytuować miejsca pomiarów i punkty pomiarowe, a w końcu, w jakim zakresie winny się mieścić różnice wyników pomiarów oraz obliczeń. Postuluje się aby model w miarę dokładnie odwzorowywał obiekt modelowany. Trudno jednak określić, co oznacza wymóg „w miarę dokładnie”, choć można spotkać sugestie, że np.: różnice pomiędzy mierzonymi i obliczanymi wartościami ciśnienia powinny się mieścić w zadanym przedziale wartości, bez doprecyzowania, jaki powinien być zakres różnic pomiędzy mierzonymi i obliczanymi wartościami przepływów w przewodach.

W pracy [1] przytoczono wymagania nazwane kryteriami kalibracji opublikowane przez WRC w 1989r. Dotyczyły one względnych różnic pomiędzy objętościowymi natężeniami przepływu mierzonymi i obliczanymi oraz bezwzględnych wartości różnic ciśnienia. Kryteria te zaleca się stosować dla modeli przeznaczonych do sterowania oraz projektowania sieci wodociągowej. Ponadto zestawiono także bardziej uszczegółowione kryteria,



publikowane przez amerykańską agencję EPA w 2005r . Zawierają one wymagania odnoszące się także do liczby punktów pomiarowych ciśnienia i przepływu, w zależności od przeznaczenia modelu, poziomu jego uszczegółowienia i rodzaju symulacji.

Innym kryterium oceny stopnia użyteczności modelu może być jego przydatność dla rozwiązywania określonego problemu związanego z podejmowaniem decyzji w ramach projektowania modernizacji i rozwoju układu lub zarządzania procesami technologicznymi w eksploatacji. W tym przypadku winno się określić efekty jakie uzyskuje się dzięki korzystaniu z modelu oraz nakłady jakie się ponosi na pozyskiwanie danych, opracowanie modelu, weryfikację danych, jego kalibrację i realizacją obliczeń potrzebnych dla rozwiązania sformułowanych wcześniej zagadnień. Miarą użyteczności modelu może być różnica pomiędzy uzyskanymi efektami i nakładami. Zarówno nakłady i efekty winny być możliwe do identyfikacji i kwantyfikacji. Mogą one być wyrażane nie tylko w kategoriach ekonomicznych. Mogą to być np.: większa pewność i niezawodność działania, czy też większy stopień bezpieczeństwa. Stąd można mówić o ocenie wielokryterialnej. Najłatwiej kwantyfikuje się nakłady i efekty w postaci kosztów, stąd ekonomiczna efektywność może być najprostszym kryterium oceny użyteczności modelu. Nie można ustalać efektów i szacować nakładów bez sformułowania konkretnych zagadnień z zakresu projektowania i eksploatacji, rozwiązywanych z wykorzystaniem modelu. Ponadto dla określonego zagadnienia można ustalać potencjalne efekty i nakłady związane z jego realizacją i powiązany z nim zakres kalibracji modelu. Wdrożenie modelu wymaga szeregu prac organizacyjnych. Podmiot wdrażający model ponosi nakłady, zakupuje nowe programy komputerowe, finansuje prace związane z budową i wdrażaniem modelu. Pojawia się w związku z tym pytanie o efektywność tych nakładów. Analizując efekty uzyskane w wyniku zastosowania modelu, można wykazać na ile wyniki uzyskane z zastosowaniem modelu są bardziej wiarygodne od tych jakie uzyskałoby się w przypadku braku modelu.

W przypadku analizy użyteczności modelu dla rozwiązań trzech wcześniej sformułowanych zagadnień, w pierwszym przypadku efekt wiąże się z większą pewnością zapewnienia osobie przyłączonej do sieci dostaw wody w wymaganej ilości, a ponadto potencjalnymi oszczędnościami kosztów inwestycji związanych z podłączeniem nowych odbiorców. W drugim przypadku jest to zmniejszenie kosztów zakupu wody. Uzyskane wyniki oceny zdolności dostawczych magistrali zainspirowały nowe działania osób zarządzających siecią, w kierunku poszukiwania nastaw reduktorów, takich, aby zwiększyć dopływ do sieci z własnego ujęcia. Uzyskane wyniki przyczyniły się także do opracowania bardziej wiarygodnego, optymalnego programu inwestycji, których celem będzie zwiększenie dostaw wody z własnych źródeł. W trzecim przypadku zastosowanie modelu pomogło w oszacowaniu efektywności wymiany pomp oraz działań zmierzających do zmniejszenia energochłonności eksploatowanych układów pompowych.

Zgodnie z obowiązującymi zasadami stanowienia taryf [1, 5] potencjalne efekty uzyskane przez przedsiębiorstwo zmniejszają koszty, a tym samym niezbędne przychody, przyjmowane jako podstawa kalkulacji taryfowych cen i stawek w taryfach za dostarczanie wody. Zysk przedsiębiorstwa nie jest efektem obniżenia kosztów, ale ustaleń przyjmowanych w ramach procedury stanowienia taryf. Jest to obok kosztów poniesionych w roku poprzedzającym stanowienie taryfy lub przewidywanych kosztów w roku obowiązywania taryf, jeden ze składników planowanych niezbędnych przychodów. Obniżanie kosztów w dłuższej perspektywie skutkuje obniżeniem planowanych przychodów, a tym samym taryfowych cen i stawek. W konsekwencji stosowanie tańszych technik i technologii nie przynosi przedsiębiorstwu efektów ekonomicznych w dłuższym okresie czasu. Dlatego nie jest ekonomicznie efektywne dla przedsiębiorstwa.

Oferując zastosowania zintegrowanych systemów informatycznych w przedsiębiorstwach wodociągowo-kanalizacyjnych, krytycznie ocenia się [12] stan ich informatyzacji twierdząc, że technologie informatyczne wprowadza się w nich w sposób samodzielny i niezorganizowany. Jako przyczynę tego stanu uważa się brak wiedzy przedsiębiorstw o możliwościach zastosowań informatyki oraz niechęć do przeznaczania środków na cele o wątpliwych z ich punktu widzenia korzyściach. Wydaje się, że w świetle omówionych wcześniej uwarunkowań, prawdziwym powodem braku zainteresowania, a co się z tym wiąże, także wiedzy, są obowiązujące uwarunkowania organizacyjno-prawne, szczególnie te, które odnoszą się do zasad stanowienia taryf.

## 8. Uwagi dotyczące zarządzania modelem

Na ogół prace związane z modelowaniem są realizowane przez firmy zewnętrzne. Dostarczają one oprogramowanie oraz realizują prace związane z wprowadzeniem danych. Różny jest udział pracowników przedsiębiorstwa w pracach związanych z budową modelu. Zwykle jednak ogranicza się on do pomocy przy pozyskiwaniu danych, a po zakończeniu prac, do przeszkolenia w zakresie realizacji obliczeń hydraulicznych z wykorzystaniem modelu. Na ogół, w klasycznych schematach organizacyjnych krajowych przedsiębiorstw nie ma odrębnych jednostek zajmujących się zbieraniem i przetwarzaniem danych pozyskiwanych w różnych działach firmy, w trakcie projektowania i eksploatacji urządzeń, bądź w ramach realizacji zadań wymagających kontaktu z odbiorcami, np. przy odbieraniu reklamacji dotyczących poziomu świadczonych usług, wydawaniu warunków technicznych przyłączenia do sieci, a także zadań związanych z planowaniem i realizacją inwestycji. Programy komputerowe wspomagające zbieranie i przetwarzanie danych w jednostkach organizacyjnych przedsiębiorstwa są w małym stopniu zintegrowane. Opracowując model pozyskuje się dane z różnych działów. Wraz z budową modelu pojawia się potrzeba reorganizacji systemu gromadzenia i przetwarzania danych w przedsiębiorstwie. Trudno wskazać, która komórka w schematach organizacyjnych przedsiębiorstw ma największe kompetencje dla bieżącego zarządzania modelem sieci, a w szczególności odbioru modelu zrealizowanego przez podmiot zewnętrzny, ciągłej weryfikacji danych oraz udostępniania modelu dla rozwiązywania praktycznych zagadnień.

Zwykle, gdy firma zewnętrzna zakończy prace związane z budową modelu, osoby odpowiedzialne za jego utrzymanie zostają obciążone dodatkowymi zadaniami, a nie są zwalniane z realizacji zadań wcześniej zleconych. Nie tylko ze względu na brak czasu, także z powodu braku niekonwencjonalnych umiejętności, a także braku zadań wymagających permanentnego zastosowania modelu, rzadko korzysta się z modelu, tracąc umiejętności nabyte w trakcie szkoleń po zakończeniu prac związanych z jego budową. Po pewnym czasie model staje się zdezaktualizowanym i niestosowanym narzędziem.

Rozpoczynając prace związane z budową modelu w Przedsiębiorstwie w Dąbrowie Górniczej powołano zespół w dziale zajmującym się między innymi programowaniem rozwoju układów wodociągowych. Osoby te realizowały większość prac związanych z przygotowaniem danych i ich wprowadzaniem do programu komputerowego. Osoby te opracowały procedury pozyskiwania potrzebnych danych. Równoległe z pracami związanymi z budową modelu rozwiązywały szczegółowe problemy, w tym te, które wcześniej opisano. Osoby z Politechniki Poznańskiej opracowały z zespołem koncepcję prac wdrożeniowych, a potem pełniły funkcje konsultantów i doradców. Założono, że zespół

dysponując programem *MikeUrban* będzie aktualizować dane, a potem przygotowywać dla osób z innych działów, przeszkolonych w zakresie korzystania z programu *EPANET2*, zestawy aktualnych danych w formacie programu *EPANET2*, konsultując sposoby jego wykorzystania dla rozwiązywania interesujących ich zagadnień.

## 9. Wnioski i uwagi końcowe

1. Wprowadzenie modelu hydraulicznego jest procesem długotrwałym i pracochłonnym. Pierwszym krokiem do jego wdrożenia w przedsiębiorstwie jest decyzja zarządu oraz przeświadczenie wśród pracowników że, będzie on ułatwieniem codziennej pracy.
2. Choć metodyka prac realizowanych w ramach budowy modelu, rodzaje działań, kolejne etapy, czy fazy realizacji są w różnych przedsiębiorstwach podobne, to lokalne uwarunkowania stwarzają cały szereg problemów wymagających indywidualnych rozwiązań [4]. Do takich należy określenie zakresu prac realizowanych przez podmiot zewnętrzny oraz przez jednostki własne, organizacja współpracy osób w trakcie realizacji modelu, powołanie zespołu zarządzającego modelem w przedsiębiorstwie i jego udział w pracach związanych z opracowaniem modelu. Od uwarunkowań lokalnych może zależeć wybór oprogramowania, zakres kalibracji modelu oraz związanej z tym kampanii pomiarowej. W PWiK Dąbrowa Górnicza powołany został zespół, który przy stałej współpracy ze specjalistami z Politechniki Poznańskiej budował model hydrauliczny sieci wodociągowej. Dzięki przyjęciu takiego systemu wdrażania pracownicy znają program, potrafią samodzielnie tworzyć bazy danych oraz modelować układy wodociągowe (rozbudowa układu o nie wprowadzone dzielnice Marianki i Ratanice będzie realizowana we własnym zakresie przez PWiK)
3. Efektywne zarządzanie modelem wymaga ciągłej aktualizacji i modyfikacji danych wprowadzonych do modelu bazowego. Stąd potrzebne jest określenie zadań dla podmiotu zarządzającego modelem oraz zasad integracji danych istotnych dla modelu, pozyskiwanych z różnych jednostek organizacyjnych. W Przedsiębiorstwie Wodociągów i Kanalizacji w Dąbrowie Górniczej zarządzającymi modelem, odpowiedzialnymi za aktualizację programu są wyznaczeni pracownicy w Dziale Rozwoju Technicznego. Aktualizacja programu jest prowadzona w oparciu o harmonogram stanowiący załącznik do Zarządzenia Prezesa Zarządu w sprawie wykorzystania wdrożonych w Przedsiębiorstwie Wodociągów i Kanalizacji Spółka z. o.o. programów do modelowania sieci wodociągowej *MikeUrban* i *EPANET2*. Zarządzający będą aktualizować model bazowy korzystając z programu *MikeUrban*. Inne podmioty z przedsiębiorstwa będą mogły korzystać z aktualnego modelu bazowego z danymi w formacie programu *EPANET2*.
4. Model informatycznego zarządzania siecią wodociągową winien być standardem określającym poziom świadczenia usług zbiorowego zaopatrzenia w wodę. Zasadne jest, aby w ramach obowiązujących przepisów zrealizować postulat wprowadzenia przez regulatora w regulaminach dostarczania wody i odprowadzania ścieków wymogu posiadania przez przedsiębiorstwo określonych informatycznych narzędzi wspomagających zarządzanie układami w eksploatacji, ze szczególnym uwzględnieniem modeli hydraulicznych. W PWiK Dąbrowa Górnicza model wykorzystywany jest do codziennej pracy przez pracowników z działów zarówno eksploatacji sieci, dyspozytorów, jak i działów zajmujących się przygotowaniem inwestycji czy wyda-

waniem warunków dla podłączania nowych odbiorców. Zgodnie z informacjami z PWiK Dąbrowa Górnicza, podsumowującymi dotychczasową ponad roczną pracę w modelu hydraulicznym, w Spółce osiągnięto wymierne efekty ekonomiczne.

## Bibliografia

- [1] Bałut A., Urbaniak A., Weryfikacja i walidacja jako niezbędne etapy tworzenia modelu symulacyjnego sieci wodociągowych. *Gaz Woda i Technika Sanitarna*, 2012, Nr 4.
- [2] Bałut A., Urbaniak A., Aspekty praktyczne wyboru oprogramowania. *Wodociągi – Kanalizacja*, 2010, Nr 72,
- [3] Dragan A. Savic, Zoran S. Kapelan and Philip M. R. Jonkergouw, Quo vadis water distribution model calibration Centre for Water Systems, *School of Engineering, Computing and Mathematics, University of Exeter*, North Park Road, Exeter, EX4 4QF, United Kingdom, [www.centres.exeter.ac.uk](http://www.centres.exeter.ac.uk).
- [4] Góra W., Klawczyńska A., Problemy wdrożeniowe systemów informacji przestrzennej; *Wodociągi–Kanalizacja*, 2008, Nr 4 (50),
- [5] Góra W.; Zastosowanie GIS w systemach wodociągowych i kanalizacyjnych, *Rynek Instalacyjny*, 2008, Nr 5,
- [6] Knapik K., Płoskonka R.; *Krakowski Model. Ochrona Środowiska*, 2012, nr 1,
- [7] Kotowski A., Pawlak A., Wójtowicz P. Modelowanie miejskiego systemu zaopatrzenia w wodę na przykładzie osiedla mieszkaniowego Baranówka w Rzeszowie. *Ochrona Środowiska*, 2010, Nr 2,
- [8] Kulbik M., Badania terenowe i tarowania modelu przepływów w przewymiarowanych sieciach wodociągowych. *Zaopatrzenie w wodę i jakość wód*, XVII Krajowa Konferencja V Międzynarodowa Konferencja Poznań, Woda 2002, Wielkopolski Oddział PZITS,
- [9] Longley P.A., Goodchild M.F., Maguire D.J., Rhind D.W., GIS Teoria i praktyka, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2006, Warszawa.
- [10] Przygotowanie założeń i wdrożenie Zintegrowanego Systemu Zarządzania Infrastrukturą Techniczną Przedsiębiorstwa, *Aktualności marzec 2012*. [mpwik.pulawy.pl](http://mpwik.pulawy.pl)
- [11] Siwoń Z., Ciężak J. Analiza hydraulicznej sprawności systemu dystrybucji wody w Jeleniogórskim Zespole Miejskim; *Ochrona Środowiska*, 1999, Nr 1,
- [12] Studziński J. Narzędzia informatyzacji miejskich sieci wodociągowych. *Wodociągi - Kanalizacja*, 2010, 5/2010 75,
- [13] Walski T. Analysis of water distribution systems. Van Nostrand Reinhold Company, 1984, New York.