

Izabela Zimoch

## Zastosowanie modelowania komputerowego do wspomagania procesu eksploatacji systemu wodociągowego

System zaopatrzenia w wodę stanowi integralną całość współpracujących ze sobą obiektów technicznych, realizujących określone procesy eksploatacyjne obejmujące ujmowanie, oczyszczanie i dystrybucję wody. Obecnie zakres funkcjonowania tych systemów z jednej strony kształtowany jest zmienną jakością i ilością wody w źródle zasilania oraz zmiennym poborem wody w systemie, z drugiej zaś strony uwarunkowany jest zasadą akceptacji przez konsumenta poziomu usług świadczonych przez przedsiębiorstwo wodociągowe. Proces eksploatacji współczesnego systemu wodociągowego stanowi zespół czynności podejmowanych w celu zapewnienia jego niezawodnego działania, podlegający stałej ocenie pod względem efektywności technicznej i ekonomicznej. Ocena ta dokonywana jest na bieżąco w sposób ciągły przez eksploatatorów systemu i odbiorców usług wodociągowych. Dlatego niezbędne jest stałe udoskonalanie zasad zarządzania eksploatacją systemów wodociągowych w aspekcie techniczno-ekonomiczno-niezawodnościowym [1,2].

Zapewnienie wysokiego poziomu świadczonych usług dostawy wody gwarantują nie tylko wysokoeffektywne technologie oczyszczania wody, ale również działania modernizacyjne na sieci wodociągowej, dotyczące poprawy jej stanu technicznego i sanitarnego, jak również optymalizujące parametry hydrauliczne eksploatacji systemu [3,4]. Podejmowane działania modernizacyjne, zwiększając bezpieczeństwo dostarczenia do odbiorcy wody o wysokiej jakości, generują znaczne koszty eksploatacji systemu wodociągowego, a co za tym idzie – wysokość ceny sprzedaży wody. Społeczności lokalne, mimo dużej świadomości konieczności ponoszenia wysokich kosztów prowadzonych prac modernizacyjnych, coraz trudniej akceptują wzrost opłat za dostawę wody. Stąd naciski wywierane przez społeczeństwo na samorządy terytorialne znajdują swoje odzwierciedlenie w niechęci radnych do wyrażania zgody na wzrost opłat usług wodociągowych, które w całości pokryłyby ponoszone koszty eksploatacyjne i inwestycyjne. Prowadzi to do sytuacji, w której przedsiębiorstwa wodociągowe stają przed problemem konieczności ograniczenia kosztów eksploatacji, a jednocześnie podniesienia efektywności ich działania.

Pomocne w osiągnięciu tego celu jest wdrażanie w procesie eksploatacji systemu zaopatrzenia w wodę nowoczesnych narzędzi zarządzania, wykorzystujących zaawansowany poziom nauk informatycznych. Zastosowanie technik komputerowych

obejmuje przede wszystkim obszar modelowania komputerowego, monitoringu wskaźników ilościowych i jakościowych pracy układów technologicznych oczyszczania wody, jak sieci wodociągowej oraz budowy komputerowych baz danych typu GIS (Geographic Information System). Szeroka dostępność narzędzi komputerowych w procesie zarządzania pozwala na wykorzystanie ich do oceny funkcjonowania systemu wodociągowego oraz w analizach jego krytycznych elementów, w aspekcie procesów technologicznych, jak i rozwiązań technicznych. Pozwalają one na prowadzenie symulacji różnorodnych wariantów zdarzeń losowych, o różnym prawdopodobieństwie występowania. Wykorzystanie wyników analiz komputerowych stanowi podstawę do podejmowania kroków minimalizujących skutki tych zdarzeń, a co za tym idzie – zmniejsza ryzyko, jakie ponoszą firmy wodociągowe i zwiększa bezpieczeństwo konsumentów. Działania powyższe przynoszą wymierne efekty w postaci racjonalnego wykorzystania infrastruktury systemu zaopatrzenia w wodę, a co za tym idzie – oszczędności finansowe jego eksploatacji.

### System zaopatrzenia Wrocławia w wodę

Ponad 100-letni system zaopatrzenia Wrocławia w wodę, ciągle rozbudowywany i modernizowany, zaspokaja potrzeby wodne ponad 680 tys. mieszkańców [4]. Woda do Wrocławia, w którym można wydzielić cztery strefy, dostarczana jest z trzech zakładów zasilania (tab. 1) – „Mokry Dwór”, „Na Grobli” i „Leśnica”. Zakład „Na Grobli” dostarcza wodę do około 350 tys. mieszkańców tzw. strefy wewnętrznej, czyli gęsto zaludnionego centrum. Zakład „Mokry Dwór” zaopatruje strefę zewnętrzną, okalającą strefę wewnętrzną, natomiast poprzez pompownię przy ul. Bystrzyckiej – także północno-zachodnie przedmieścia Wrocławia, świadcząc usługi wodociągowe dla około 265 tys. mieszkańców. Pomiędzy tymi strefami zlokalizowana jest tzw. strefa mieszana, znajdująca się w zasięgu oddziaływania zakładów „Na Grobli” i „Mokry Dwór”. Czwartą strefą zaopatrzenia w wodę obejmuje osiedla położone w Leśnicy, gdzie wodę podziemną dostarcza do około 5 tys. mieszkańców zakład „Leśnica”.

Tabela 1. Produkcja zakładów zasilania systemu zaopatrzenia Wrocławia w wodę

Table 1. Capacities of the water treatment plants for the water supply system of the city of Wrocław

Zakład	Średnia produkcja, m <sup>3</sup> /d	Wydajność, m <sup>3</sup> /d
„Mokry Dwór”	58 tys.	98 tys.
„Na Grobli”	61 tys.	120 tys.
„Leśnica”	1,0 tys.	1,1 tys.

Podsystem dystrybucji wody we Wrocławiu jest wyjątkowo rozległy, w większości stanowi układ pierścieniowy. Łączna długość sieci wodociągowej na terenie obsługiwanym przez MPWiK wynosi 1790,41 km. Woda dostarczana jest do mieszkańców za pomocą układu rurociągów magistralnych o średnicach 400+1400 mm i łącznej długości 200,99 km oraz rurociągów rozdzielczych o średnicach 80+300 mm i długości 1192,19 km. Przyłącza wodociągowe, budujące podsystem dystrybucji wody, to przewody o średnicach 25+250 mm i długości 397,23 km. Sieć wodociągowa miasta użytkowana od ponad 130 lat, cechuje się dużym zróżnicowaniem pod względem materiałowym oraz wiekowym. Podstawowy materiał do budowy sieci, w różnych okresach eksploatacji, stanowiły żeliwo, stal, PVC czy też ołów.

Nieodłącznym elementem wrocławskiego podsystemu dystrybucji wody jest centralna pompownia przy ul. Bystrzyckiej, zasila ją w wodę strefę wysokiego ciśnienia, dostarczając wodę do mieszkańców osiedli Nowy Dwór, Kozanów, Gądów i Muchobór Mały. Ponadto w podsystemie tym pracują dwie strefowe hydrofornie (na terenie osiedla Gaj przy ul. Orzechowej i ul. Krynickiej), których celem jest lokalne podnoszenie ciśnienia wody. Integralnymi elementami wspomagającymi pracę sieci wodociągowej są zbiorniki wody czystej zlokalizowane na terenie zakładów oczyszczania wody. Znajdują się tam dwa zbiorniki centralne oraz dwa zbiorniki magazynujące wodę, których łączna pojemność wynosi 45 tys. m<sup>3</sup> [4,5].

### Model hydrauliczny systemu wodociągowego we Wrocławiu

W ciągu ostatnich lat na polskim rynku pojawił się duży wybór profesjonalnego oprogramowania komputerowego, wspomagającego nie tylko proces projektowania, ale również zarządzania eksploatacją komunalnych systemów wodociągowych i kanalizacyjnych. W ofercie tej można wyróżnić zarówno programy służące do doboru urządzeń, jak i pozwalające na kompleksową symulację pracy sieci wodociągowej.

Modelowanie matematyczne hydraulicznej pracy sieci wodociągowej, jak i zmian jakości wody w systemie, stanowi złożone i trudne do rozwiązania zadanie, wymagające interdyscyplinarnego podejścia do rozpatrzenia czynników decydujących o pracy podsystemu dystrybucji wody. Literatura przedmiotu [6–15] dowodzi, iż mimo złożoności rozważanych zagadnień, modele prognostyczne sieci wodociągowej w odniesieniu do wielkości hydraulicznych są dobrze rozpoznane i istnieje szereg pakietów symulacyjnych wykorzystujących te modele. Wśród oprogramowań hydraulicznych modeli matematycznych sieci wodociągowej na szczególną uwagę zasługują pakiety komputerowe EPANET, PICCOLO, Mike Net, czy też program ISYDYW. Pakiety te pozwalają na obliczenie przepływów i ciśnień w systemie dystrybucji wody przy zadanych warunkach jego działania.

Szeroko stosowanym modelem jest EPANET, opracowany przez zespół L. Rossmanna w Agencji Ochrony Środowiska Stanów Zjednoczonych (U.S. EPA) [16]. Program ten stanowi jądro licznych komercyjnych pakietów symulacyjnych. Wiarygodność uzyskanych wyników w modelowanym systemie gwarantowana jest następującymi założeniami:

- przepływ w modelowanym systemie jest przepływem ciśnieniowym,
- w systemie nie występują zdarzenia wymagające uwzględnienia ściśliwości wody i elastyczności rurociągów.

Wielkościami hydraulicznymi pracy sieci wodociągowej, stanowiącymi podstawowe parametry modelowania, są ciśnienie w węzłach oraz przepływy na odcinkach. W takim ujęciu matematyczny opis modelu hydraulicznego sieci wodociągowej jest funkcją dwóch kategorii modeli – węzłów systemu i połączeń systemu. Modele węzłów systemu budowane są w oparciu o prawo zachowania masy (zasada ciągłości), zaś modele połączeń tworzone są w oparciu o zasadę zachowania energii. Zastosowanie powyższych praw pozwala na zbilansowanie układu przepływu wody w systemie wodociągowym.

Podstawowa zasada modelowania pierwszej grupy równań modelu oparta jest na bilansie energii wg równania Bernoulliego dotyczącego cieczy rzeczywistej [7,17]:

$$\frac{p_1}{\gamma_w} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma_w} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \sum h \quad (1)$$

w którym:

$p_1, p_2$  – ciśnienie, odpowiednio w przekrojach obliczeniowych 1–1 i 2–2, N/m<sup>2</sup>

$\gamma_w$  – ciężar właściwy wody, N/m<sup>3</sup>

$z_1, z_2$  – wysokość geometryczna, odpowiednio w przekrojach obliczeniowych 1–1 i 2–2, m

$v_1, v_2$  – średnia prędkość przepływu wody, odpowiednio w przekrojach obliczeniowych 1–1 i 2–2, m/s

$g$  – przyspieszenie ziemskie, m/s<sup>2</sup>

$\sum h$  – suma strat hydraulicznych miejscowych i liniowych, m

W układzie pierścieniowym, jaki tworzy sieć wodociągowa, dodatkowo musi być spełnione II prawo Kirchoffa.

Drugą grupę równań modelu hydraulicznego podsystemu dystrybucji wody stanowią równania bilansu masy w węzłach sieci w postaci zależności [7,17]:

$$\forall n \in N: \sum_{l \in L_{n+}; l \neq l_{dn}} Q_l(t) - \sum_{l \in L_{n-}; l \neq l_{pn}} Q_l(t) = Q_{l_{pn}}(t) - Q_{l_{dn}}(t) \quad (2)$$

w której:

$n$  – węzeł modelu

$N$  – liczba wszystkich węzłów w modelu

$l$  – odcinek, połączenie w modelu hydraulicznym

$L$  – liczba wszystkich odcinków

$i, j$  – indeks, odpowiednio wejście i wyjście

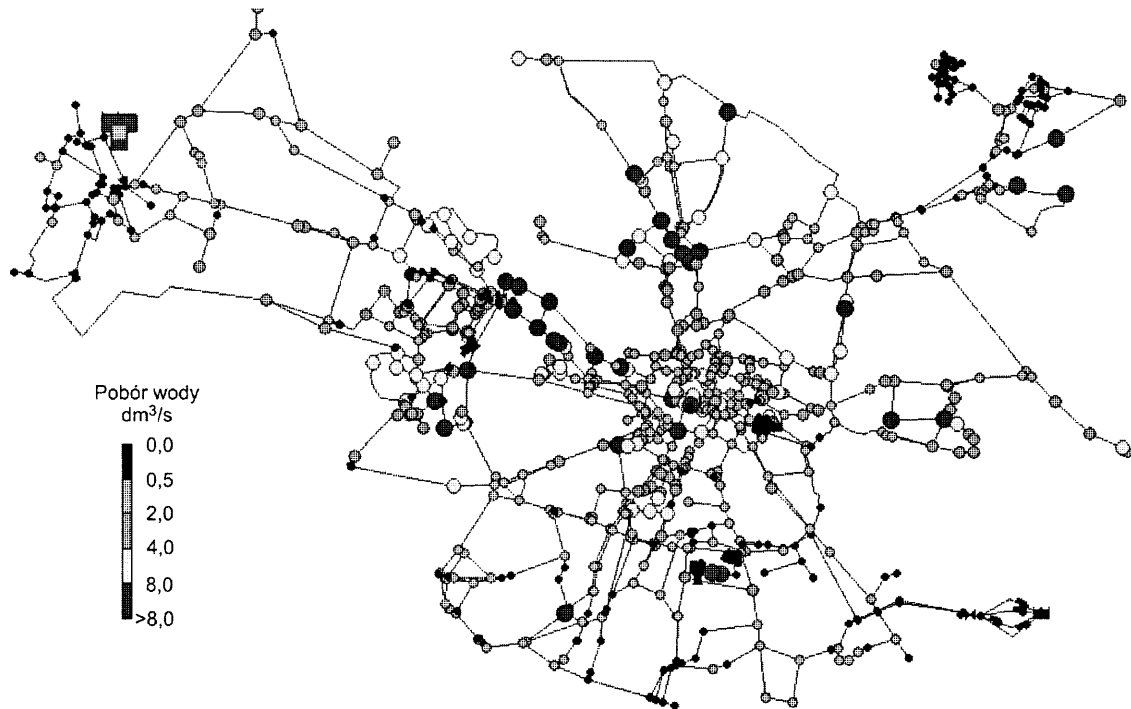
$t$  – czas, s

$Q_{l_{pn}}$  – pobór wody w  $n$ -tym węźle, m<sup>3</sup>/s

$Q_{l_{dn}}$  – ilość wody dostarczanej do  $n$ -tego węzła, m<sup>3</sup>/s

$Q_l(t)$  – natężenie wody dopływającej/odpływającej do/z węzła z odcinka  $l$ , m<sup>3</sup>/s

W ramach realizacji projektu badawczego [17] zebrano parametry techniczne budowy wodociągu wrocławskiego w zakresie topografii i topologii sieci oraz charakterystyki głównych węzłów podsystemu dystrybucji wody. Dane te stały się bazą do odtworzenia geometrii sieci wodociągowej przy wykorzystaniu programu komputerowego EPANET 2. Węzły modelu zostały jednoznacznie zdefiniowane poprzez określenie współrzędnych położenia przestrzennego ( $x, y, z$ ), a także dobrego poboru wody oraz kategorii tego poboru (rys. 1). W budowie modelu hydraulicznego (w procesie schematyzacji) uwzględniono wszystkie przewody sieci tranzytowej, magistralnej i rozdzielczej obejmujące średnice większe od 100 mm. Pełną identyfikację odcinków modelu uzyskano



Rys. 1. Model hydrauliczny systemu zaopatrzenia Wrocławia w wodę (dobowe pobory węzłowe)  
Fig. 1. Hydraulic model of the water supply system for the city of Wrocław: daily water demand

przez określenie ich średnicy, długości, numeru węzła początkowego i końcowego, materiału, z którego przewód został wykonany, jego wieku oraz współczynnika chropowatości. Do oceny obecnej oporności hydraulicznych przewodów sieci wodociągowej we Wrocławiu zostały wykorzystane wyniki badań i analiz hydraulicznej sprawności sieci wykonane w latach 1994–1996 [18].

W strukturze przestrzennej modelu hydraulicznego Wrocławia uwzględniono trzy zakłady zasilania: „Na Grobli”, „Mokry Dwór” oraz „Leśnica”. Ponadto integralnym elementem modelu jest przepompownia centralna przy ul. Bystrzyckiej, obsługująca północno-zachodnie dzielnice miasta, stanowiące strefę wysokiego ciśnienia. Kolejnymi elementami struktury modelu są hydrofornie przy ul. Orzechowej i ul. Krynickiej, obsługujące lokalnie strefę osiedla Gaj. W budowie modelu hydraulicznego Wrocławia zdefiniowano krzywe zmienności poboru godzinowego wody w oparciu o weryfikację rzeczywistych parametrów funkcjonowania systemu zaopatrzenia w wodę, obejmujących eksploatację w latach 2004–2006. Powyższy model składa się z 781 węzłów, 1053 odcinków, 3 układów zasilania, 25 pomp i 24 zasuw. Tak opracowany model matematyczny sieci w czasie realizacji programu badawczego [18] został poddany kalibracji. Oceny zgodności dopasowania utworzonego modelu hydraulicznego dokonano za pomocą statystyki niezgodności Thiela. Statystyki te pozwoliły ocenić błąd dopasowania modelu hydraulicznego poprzez ocenę zgodności symulowanych szeregów czasowych z rzeczywistymi ciśnieniami w węzłach i przepływami na odcinkach. Niezgodność dopasowania wielkości symulowanych z rzeczywistymi może być skutkiem słabości modelu lub dużej losowości zmiennych rzeczywistych. Uwzględniając powyższe, Thiel dokonał podziału błędu średniokwadratowego procesu modelowania (3) na część systematyczną (wartości średnie i wariancje), wynikającą ze źle zweryfikowanego modelu dynamicznego, oraz część losową, kształtowaną zmiennymi warunkami eksploatacji rzeczywistych układów dynamicznych (kowariancja) w postaci:

$$\delta^2 = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (S_t - A_t)^2 = (\bar{S} - \bar{A})^2 + (s_S - s_A)^2 + 2(1-r)S_{SSA} \quad (3)$$

w której:

$\delta^2$  – błąd średniokwadratowy

$n$  – liczba obserwacji

$t$  – indeks oznaczający kolejne godziny pomiaru wartości symulowanych i rzeczywistych

$S_t$  – symulowana wartość parametru w chwili  $t$

$A_t$  – rzeczywista wartość parametru w chwili  $t$

$\bar{S}, \bar{A}$  – wartość średnia, odpowiednio symulowana i rzeczywista

$s_S, s_A$  – odchylenie standardowe, odpowiednio wartości symulowanej i rzeczywistej

$r$  – współczynnik korelacji między wartościami symulowanymi i rzeczywistymi

Analizę stopnia zgodności wartości symulowanych z rzeczywistymi dokonano w 10 punktach pomiarowych. Badania terenowe obejmowały pomiary godzinowej zmienności ciśnienia i przepływów wody w czasie od grudnia 2006 r. do sierpnia 2007 r. Serie badawcze odnoszą się do (tab. 2):

– dwóch węzłów zasilających sieć wodociągową od strony zakładu „Mokry Dwór” magistralą o średnicy 1200 mm oraz od strony zakładu „Na Grobli” magistralą o średnicy 1200 mm,

– trzech węzłów centralnej przepompowni wody przy ul. Bystrzyckiej: wejście do pompowni magistralą o średnicy 1200 mm od strony układów zasilających system oraz wyjścia obszaru zasilania osiedla Nowy Dwór magistralą o średnicy 800 mm i strefy zasilania osiedla Kozanów magistralą o średnicy 1000 mm,

– dwóch węzłów hydroforni osiedla Gaj: sieć rozdzielcza hydroforni przy ul. Orzechowej (śr. 200 mm) i przy ul. Krynickiej (śr. 250 mm),

– trzech węzłów komór pomiarowych: przy ul. Bolesława Krzywoustego (śr. 600 mm), ul. Królewieckiej (śr. 500 mm) i ul. Kosmonautów (śr. 500 mm).

Tabela 2. Statystyki niezgodności Thiela przy przeciętnej wydajności systemu zaopatrzenia Wrocławia w wodę  
Table 2. Thiele's inconsistent statistics for an average capacity of the water supply system for the city of Wrocław

Węzeł pomiarowy	Charakterystyki Thiela		
	$U^M$	$U^S$	$U^C$
Mokry Dwór_1001	0,041666	0,06166	0,896674
Na Grobli_22	0,104146	0,08004	0,815814
Królewiecka_1319	0,188290	0,03899	0,772720
Krzywoustego_336	0,000001	0,09738	0,902619
Kosmonautów_1262	0,006419	0,000042	0,993539
Orzechowa Orzechowa_a	0,030806	0,015515	0,953679
Krynicka_1086a	0,004397	0,281445	0,714158
Bystrzycka Mokry Dwór_320	0,109598	0,017936	0,872466
Bystrzycka Nowy Dwór_1203	0,051736	0,088069	0,860195
Bystrzycka Kozanów_1202	0,080927	0,068841	0,850232

Wartości charakterystyk niezgodności Thiela, pokazane w tabeli 2, wskazują na występowanie błędu niesystematycznego. Ponadto uzyskana przeciętna wartość błędu bezwzględnego 2,338 mH<sub>2</sub>O (zakres zmienności 0,0355÷5,4234 mH<sub>2</sub>O) odpowiada ogólnie obowiązującym standardom dopasowania modeli hydraulicznych sieci wodociągowej (błąd bezwzględny powinien być mniejszy od 2,5 mH<sub>2</sub>O).

Największy błąd średniokwadratowy uzyskano w punkcie pomiarowym hydrofornia przy ul. Krynickiej, co było spowodowane dużą losowością uruchamiania pomp w godzinach porannych (5:00–6:00). Największą dokładność dopasowania uzyskano natomiast w układach zasilania „Na Grobli” (błąd średniokwadratowy 0,0355) oraz Mokry Dwór (błąd średniokwadratowy 0,0416), co tłumaczy w miarę stabilne warunki ich eksploatacji.

Tak skalibrowany model poddano również ocenie stopnia zgodności dopasowania w skrajnych warunkach eksploatacji systemu zaopatrzenia w wodę w 2007 r., obejmujących minimalną (92220 m<sup>3</sup>/d – 8 kwietnia) oraz maksymalną wydajność systemu (129280 m<sup>3</sup>/d – 28 kwietnia). Uzyskane charakterystyki Thiela (tab. 3) potwierdziły prawidłowość i dużą zgodność dopasowania modelu do rzeczywistych warunków eksploatacji systemu zaopatrzenia w wodę. Jedyne w przypadku węzła pomiarowego zlokalizowanego przy ul. Bolesława Krzywoustego i maksymalnych parametrów pracy systemu statystyka Thiela wynosiła 0,392666, co wskazywałoby na złą walidację tego obszaru zasilania w wodę.

Jednak szczegółowa analiza danych wykazała, że 28 kwietnia 2007 r. o godz. 16:00 miała miejsce awaria magistrali o średnicy 600 mm, konsekwencją której był spadek ciśnienia w stosunku do normalnych warunków eksploatacji w zakresie 1,81÷4,42 mH<sub>2</sub>O. Odnotowany o godz. 20:00 maksymalny błąd między wartościami rzeczywistymi a symulowanymi wynosił 3,05 mH<sub>2</sub>O, a zakres zmienności od –0,96 mH<sub>2</sub>O do 3,05 mH<sub>2</sub>O (śr. 1,21 mH<sub>2</sub>O). Wystąpienie powyższego zdarzenia miało charakter losowy, a uzyskana duża zgodność wyników potwierdza właściwe skalibrowanie opracowanego modelu hydraulicznego systemu zaopatrzenia Wrocławia w wodę. Również w odniesieniu do wartości przepływów

Tabela 3. Statystyki niezgodności Thiela przy minimalnej i maksymalnej wydajności systemu zaopatrzenia Wrocławia w wodę w 2007 r.  
Table 3. Thiele's inconsistent statistics for the minimal and maximal capacity of the water supply system for the city of Wrocław in 2007

Węzeł pomiarowy	Charakterystyki Thiela	
	$U^M$ przy minimalnej wydajności systemu	$U^M$ przy maksymalnej wydajności systemu
Mokry Dwór_1001	0,042609	0,061452
Na Grobli_22	0,068182	0,003788
Królewiecka_1319	0,120745	0,358840
Krzywoustego_336	0,138720	0,568004
Kosmonautów_1262	0,174445	0,320400
Orzechowa Orzechowa_a	0,146443	0,017296
Krynicka_1086a	0,088699	0,000489
Bystrzycka Mokry Dwór_320	0,042434	0,040056
Bystrzycka Nowy Dwór_1203	0,028104	0,055941
Bystrzycka Kozanów_1202	0,113326	0,132532

wody na odcinkach pomiarowych analiza odchylenia wartości symulowanych i danych rzeczywistych wykazała dużą zgodność. Odchylenie te kształtowały się w zakresie 2,5÷17,6% (śr. 9,7%).

## Wnioski

◆ Opracowany i skalibrowany model hydrauliczny systemu zaopatrzenia Wrocławia w wodę stanowi cenne narzędzie analityczne, pozwalające na symulowanie różnorodnych zdarzeń eksploatacyjnych o charakterze losowym. Model ten, poprzez uwzględnienie horyzontu czasowego symulacji oraz jej kroku, umożliwia badanie systemu zaopatrzenia w wodę w warunkach dynamicznych, najbardziej zbliżonych do rzeczywistości. Ponadto – w oparciu o uzyskane wyniki – pozwala na określenie zasad racjonalnej eksploatacji systemu wodociągowego. Zaprezentowany model jest pomocnym narzędziem w zarządzaniu przedsiębiorstwem wodociągowym, umożliwiającym rozwinięcie metod wnioskowania o zachowaniu się poszczególnych obiektów systemu zaopatrzenia w wodę.

◆ Wykorzystanie wyników analiz komputerowych funkcjonowania systemu zaopatrzenia w wodę, zarówno w warunkach przeciętnych, jak i ekstremalnych, daje możliwość podejmowania kroków minimalizujących skutki nieoczekiwanych zdarzeń losowych, a co za tym idzie – zmniejsza ryzyko ponoszone przez firmy wodociągowe, wynikające z obszaru ich działalności. Podobne analizy mogą być też pomocne w podejmowaniu decyzji dotyczących kierunków racjonalnej modernizacji i rozbudowy systemów wodociągowych.

◆ Skalibrowany model hydrauliczny stanowi podstawę do budowy dynamicznego modelu jakościowego systemu wodociągowego. Zadaniem pakietu oprogramowania jakościowego jest prognozowanie zmian jakości wody w czasie jej transportu do odbiorcy w zmiennych warunkach hydraulicznego funkcjonowania systemu wodociągowego.

## LITERATURA

1. S. DENCZEW, A. KRÓLIKOWSKI: Podstawy nowoczesnej eksploatacji układów wodociagowych i kanalizacyjnych. Arkady, Warszawa 2002.
2. S. DENCZEW: Koncepcja zrównoważonego systemu eksploatacji wodociągów. *Ochrona Środowiska* 2007, vol. 29, nr 4, ss. 69–71.
3. H. HOTŁOŚ: Metodyka i przykłady prognozowania kosztów naprawy przewodów wodociagowych. *Ochrona Środowiska* 2006, vol. 28, nr 1, ss. 49–54.
4. I. ZIMOCH, M. JAMER, B. BINDA: Eksploatacja systemu dystrybucji wody we Wrocławiu w aspekcie awaryjności sieci wodociagowej. *Ochrona Środowiska* 2005, vol. 27, nr 3, ss. 65–68.
5. I. ZIMOCH: The reliability assessment of water treatment subsystem of Wrocław city. Conf. Proc. 9th Int. Symp. on Water Management and Hydraulic Engineering, Ottenstein 2005, pp. 343–350.
6. P.F. BOULOS *et al.*: Comprehensive Water Distribution Systems Analysis. Handbook for Engineers and Planners. MWH Soft Inc., Pasadena 2004.
7. K. DUZINKIEWICZ, M.A. DRDYS, T. CHANG: Hierarchical model predictive control of integrated quality and quantity in drinking water distribution systems. *Urban Water Journal* 2005, No. 6, pp. 27–30.
8. M. GRECO, G. GIUDICE DEL: New approach to water distribution network calibration. *J. of Hydraulic Eng.* 1999, Vol. 125, No. 8, pp. 815–824.
9. K. KNAPIK i in.: Metody oceny niezawodności podsystemu dystrybucji wody. Monografie PAN, 2001, vol. 2.
10. K.E. LANSEY *et al.*: Calibration assessment and data calibration for water distribution network. *Journal of Hydraulic Eng.* 2001, Vol. 127, No. 4, pp. 58–61.
11. B.E. LSROCK, R.W. JEPSON, G.Z. WATTERS: *Hydraulics of Pipeline Systems*. London, New York, Washington DC, CRC Press, Boca Raton 2000.
12. V. NITIVATTANANON, E.C. SADOWSKI, R.G. QUIMPO: Optimization of water supply system operation. *Journal of Water Research Planning and Management ASCE* 1996, 122(5), pp. 374–384.
13. Z. SIWOŃ, W. CIEŻAK, J. CIEŻAK: Użytkowe metody bieżącego prognozowania krótkotrwałego poboru wody w systemach wodociagowych. Mat. konf. Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód, PZITS, Poznań–Zakopane 2006, tom I, ss. 119–155.
14. T.M. WALSKI, D.V. CHASE, D.A. SAVIC: *Water Distribution Modeling*. Haested Press. Waterbury 2001.
15. I. ZIMOCH: Application of computer techniques in reliability analysis of water supply system operation in the failure conditions. Conf. proc. "Water Supply and Water Quality", PZITS, Poznan–Zakopane 2006, II, pp. 679–691.
16. L.A. ROSSMAN: *EPANET 2 Users Manual*. U.S. EPA, Cincinnati 2000.
17. I. ZIMOCH: Opracowanie modelu niezawodności funkcjonowania systemu zaopatrzenia w wodę (SZW) w aspekcie wtórnego zanieczyszczenia wody w sieci wodociagowej. Sprawozdanie końcowe z realizacji PB nr 5T07E 44 25. Politechnika Śląska, Gliwice 2007 (praca niepublikowana).
18. Z. SIWOŃ i in.: *Badania układów przesyłu i dystrybucji wody na terenie Wrocławia. Część I. Badania rurociągów przesyłowych oraz magistralnej sieci wodociagowej w południowych i zachodnich rejonach Wrocławia. Część II. Badania sieci wodociagowej na terenie Leśnicy, Psiego Pola, Zakrzowa, Pawłowic i zachodnich rejonów Wrocławia*. Politechnika Wrocławska, Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska, Wrocław 1994–1996 (prace niepublikowane).

**Zimoch, I., Computer Simulation as a Tool Assisting in the Operation of a Water Supply System. *Ochrona Środowiska* 2008, Vol. 30, No. 3, pp. 31–35.**

**Abstract:** Procedures are presented for the construction of a hydraulic model describing the water supply system of the city of Wrocław. The model was built using the EPANET 2 computer program, which included such parameters as simulation time and simulation step, and thus enabled the examination of a water-pipe network under actual dynamic conditions. The calibrated hydraulic model of the water supply system for the city of Wrocław (developed *via* the above route) is a valuable analytical tool for the investigation of a diversity of simulated random events that occur when the water-pipe network is in service. Taking into account the results obtained and making use of the model, it is possible to establish the rules of a rational in-service operation of the water-pipe network. The model can also be of use in the management of waterworks as it helps to develop

methods of predicting the behavior of particular objects being part of the municipal water supply system. Using the results of computer analyses which simulate the functioning of the water-pipe network (both under normal and extreme conditions) offers the possibility of taking steps that will minimize the effects of unexpected random events and, in consequence, reduce the risk which the management of the waterworks will have to take. The model may also be of help in making decisions about how to modernize or develop the water-pipe network in a rational way. The calibrated hydraulic model forms the basis for the construction of the dynamic quality model. The aim of the quality software packet is to forecast water quality variations during transport to the user under variable conditions of the hydraulic functioning of the water-pipe network.

**Keywords:** Water supply system, water-pipe network, hydraulic model, calibration of dynamic model, Thiele's inconsistent statistics.