

Zbigniew Siwoń

Niektóre aspekty nowoczesnego projektowania i eksploatacji układów dystrybucji wody

W metodologii projektowania oraz w eksploatacji systemów wodociągowych obecne tendencje wskazują (np. [1 — 10]) na ważną i stale rosnącą rolę komputerowych badań i analiz symulacyjnych działania tych systemów i ich elementów w rozwiązywaniu różnorodnych zagadnień projektowych i eksploatacyjnych. Wynika to między innymi z faktu, że w miarę wzrostu liczby ludności, aktywności gospodarczej oraz doskonalenia sposobów zaopatrzenia w wodę, zapotrzebowanie na nią osiągnęło rozmiary równe, a w pewnych regionach nawet przekraczające dyspozycyjne zasoby wody.

Różnorodne implikacje tego zjawiska stawiają nauce i technice coraz to nowe zadania, do których należy zaliczyć całokształt problematyki związanej z technikami projektowania i eksploatacji systemów wodociągowych oraz dotyczącej sterowania w nich dystrybucją wody. Ważne znaczenie ma zagadnienie racjonalizacji poboru wody przez jej odbiorców, który jest skorelowany między innymi ze średnim ciśnieniem w instalacjach wewnętrznych budynków. Z tego względu warunki ciśnieniowe w miejskich i wiejskich sieciach wodociągowych, a także celowość i sposoby strefowania układów dystrybucji wody muszą być wnikliwie rozważane i analizowane, zarówno na etapach projektowania, jak i w czasie eksploatacji systemów zaopatrzenia w wodę. Uzyskanie optymalnych parametrów pracy systemu wodociągowego jest możliwe poprzez sterowanie rozumiane jako automatyczna regulacja, uwzględniająca warunki ograniczające. Innym zagadnieniem, również związanym z racjonalną eksploatacją, jest umiejętność przewidywania zachowania się systemu jako całości lub poszczególnych jego elementów w sytuacjach awaryjnych, powodowanych występowaniem nieprzewidzianych uszkodzeń urządzeń zasilających (pompownie, zbior-

niki, przewody przesyłowe i magistralne) lub wynikających z planowanych wyłączeń w celu remontów lub przeglądów konserwatorskich. Podobnie jak przy rozwiązywaniu innych zadań wymagających symulowania zachowania się systemu wodociągowego, również i w tym wypadku nieodzowną informacją jest przewidywane zapotrzebowanie na wodę. Stanowi ono parametr wyjściowy i jest zwykle podawane w postaci listy prognoz poboru wody, kwantowanych w równych przedziałach czasu.

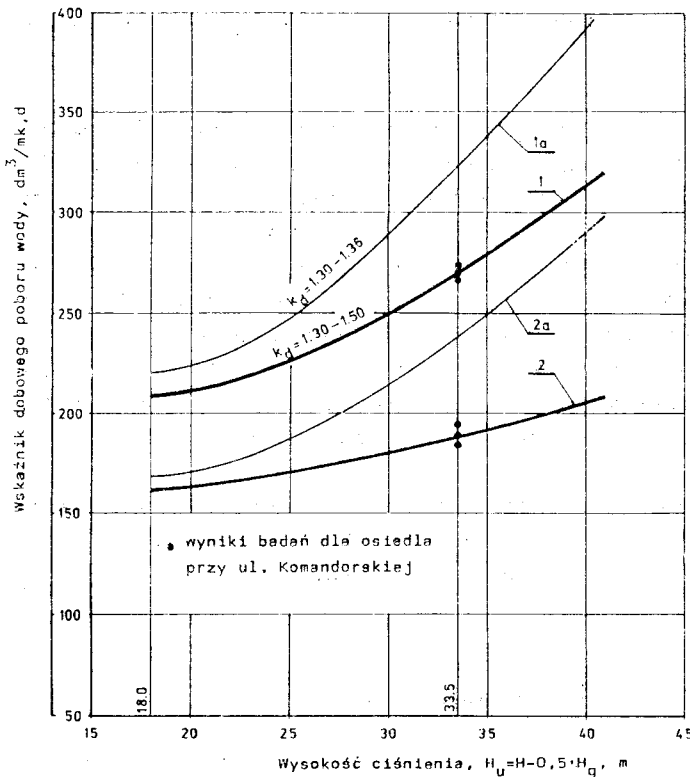
Wymienione aspekty zagadnień projektowych i eksploatacyjnych są przedmiotem rozważań zaprezentowanych w niniejszym artykule.

Racjonalizacja poboru wody

Istotne znaczenie dla miejskich i wiejskich systemów wodociągowych mają potrzeby bytowo-gospodarcze ludności w budynkach jedno- i wielorodzinnych. Charakteryzują się one priorytetem i często 50- i więcej procentowym udziałem w ogólnym rozborze wody. Jednym z czynników znacząco wpływających na poziom i zmienność w czasie poboru wody przez tę grupę jej odbiorców, a także na poziom strat wody spowodowanych przeciekami z nieszczelnych przyborów sanitarnych w mieszkaniach, jest ciśnienie w instalacjach wewnętrznych.

W celu wyjaśnienia m.in. tego problemu, w latach 1982÷88 w Instytucie Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej zostały przeprowadzone badania poboru wody w 7 osiedlach mieszkaniowych we Wrocławiu [11], liczących od 729 do 4090 mieszkańców i o jednorodnym (najwyższym aktualnie stosowanym) standardzie wyposażenia mieszkań w urządzenia techniczno-sanitarne. Na podstawie wyników tych badań zaprezentowanych w publikacjach [12, 13] oraz rezultatów innych porównywalnych ba-

dań wykonanych w Polsce, podjęto próbę sformułowania empirycznych zależności ujmujących wpływ wysokości przeciętnego umownego ciśnienia (H_u) w instalacjach wewnętrznych budynków na wskaźniki średniego ($q_{sr\ d}$) i maksymalnego dobowego ($q_{max\ d}$) poboru wody w przeciętnych obecnie warunkach eksploatacyjnych (bez specjalnego ograniczania przecieków wody), a także na wskaźniki poboru racjonalnego, odpowiadającego uzasadnionym potrzebom odbiorców wody, powiększonym o względnie dopuszczalną (20%) wielkość dobowych strat wody (rys. 1).



Rys. 1. Empiryczne wykresy zależności między wysokością ciśnienia H_u a wskaźnikami dobowego poboru (1,2-maksymalne i średnie w czasie roku zużycie racjonalne; 1a, 2a — maksymalny i średni pobór wody aktualnie obserwowany)

Zmienną zależną w formułach empirycznych jest umowna wysokość ciśnienia H_u w instalacji wewnętrznej, określona przez:

$$H_u = H - 0,5 H_g, \text{ m sł. wody}$$

gdzie: H — średnia w czasie doby wysokość ciśnienia w ulicznym przewodzie wodociągowym przy budynku, liczona od rzędnej terenu,

H_g — wysokość budynku określona liczbą jego kondygnacji.

Równania opisujące zależności $q_{sr\ d}(H_u)$ i $q_{max\ d}(H_u)$ mają postać:

- dla poboru obserwowanego w przeciętnych obecnie warunkach eksploatacyjnych (bez specjalnego ograniczania przecieków wody) i $18 \leq H_u \leq 41$ m sł. wody:

$$q_{sr\ d} = 188,7 - 4,236 H_u + 0,1704 H_u^2 \quad [\text{dm}^3/\text{mk} \cdot \text{d}] \quad (1)$$

$$q_{max\ d} = 225,2 - 4,108 H_u + 0,2081 H_u^2 \quad [\text{dm}^3/\text{mk} \cdot \text{d}] \quad (2)$$

$$k_d = \frac{q_{max\ d}}{q_{sr\ d}} = 1,3 \div 1,36$$

— dla poboru racjonalnego:

$$q_{sr\ d} = 147,4 + 0,1466 H_u + 0,0326 H_u^2 \quad [\text{dm}^3/\text{mk} \cdot \text{d}] \quad (3)$$

$$q_{max\ d} = 216,7 - 2,868 H_u + 0,133 H_u^2 \quad [\text{dm}^3/\text{mk} \cdot \text{d}] \quad (4)$$

$$k_d = 1,30 \div 1,50$$

Dotyczą one budynków o najwyższym obecnie standardzie sanitarnego wyposażenia mieszkań i potwierdzają znany fakt, że efektywne ciśnienie w instalacji wewnętrznej nader istotnie wpływa zarówno na całkowitą ilość wody zużywanej przez jej odbiorców, jak i na poziom strat spowodowanych przeciekami z nieszczelnych przyborów sanitarnych (głównie ze zbiorniczkowych spłuczek ustępowych). Dla przykładu, wzrost wysokości umownego ciśnienia H_u od 17,5 m sł. wody (przy ciśnieniu w przewodzie ulicznym równym 0,25 MPa, tj. wystarczającym do bezpośredniego zaopatrzenia budynków 5-kondygnacyjnych) do 38,5 m sł. wody (przy ciśnieniu w przewodzie ulicznym lub tłocznym urządzenia hydroforowego równym 0,46 MPa) prowadzi w przeciętnych warunkach do zwiększenia wskaźnika średniego dobowego poboru wody o ok. 107 $\text{dm}^3/\text{mk} \cdot \text{d}$ (o 63%), a poboru maksymalnego dobowego o ok. 155 $\text{dm}^3/\text{mk} \cdot \text{d}$ (o 70%). W odniesieniu do zużycia racjonalnego wartości te wynoszą odpowiednio: 40 $\text{dm}^3/\text{mk} \cdot \text{d}$ (25%) i 145 $\text{dm}^3/\text{mk} \cdot \text{d}$ (69%).

Na ten wzrost rozbiórki wody, spowodowany nadwyżką ciśnienia ponad wartość wystarczającą do sprawnego działania armatury czerpalnej składa się zarówno zwiększona ilość wody pobieranej przez jej odbiorców, jak i powiększone straty wody wskutek przecieków — głównie ze zbiorniczkowych spłuczek ustępowych. Stopień niezawodności działania zaworów pływakowych w tych spłuczkach, a tym samym częstotliwość ich awarii, jest bowiem istotnie zależny od ciśnienia w instalacji wewnętrznej.

W przypadku budynków 11-kondygnacyjnych wszyscy odbiorcy w mieszkaniach położonych na niższych kondygnacjach będą pobierali więcej wody, niż jest to niezbędne. W tym kontekście należy stwierdzić, że minimalizacja poboru wody powinna stanowić jedno z ważniejszych kryteriów w rozważaniu celowości lokalnego strefowania układów dystrybucji wody, odnoszącego się do pojedynczych budynków lub osiedli mieszkaniowych. Z zasady należałoby w budynkach wysokich (np. 11- i więcej kondygnacyjnych) stosować układy dwu- i wielostrefowe, tj. do-

datkowo podnosić ciśnienie dla odbiorców położonych wyżej albo redukować ciśnienie dla odbiorców w mieszkaniach położonych niżej. Przyjęcie — jak to częstokroć czynią projektanci systemów wodociągowych — ciśnienia w sieci miejskiej lub osiedlowej zbliżonego do wartości dopuszczalnej (0,50 MPa lub wyjątkowo 0,60 MPa, co wynika z wytrzymałości instalacji wewnętrznych z normalną armaturą), prowadzi do znacznego zwiększenia poboru wody.

W kontekście powyższych rozważań należy podkreślić ważną rolę komputerowych analiz symulacyjnych działania systemów wodociągowych w różnych warunkach eksploatacyjnych, w tym przy różnych stanach rozbioru wody. Ich wyniki umożliwiają bowiem m.in. zaprogramowanie racjonalnych — również pod względem minimalizacji poboru wody — strategii eksploatacji tych systemów.

Badania terenowe i analizy symulacyjne działania czynnych systemów wodociągowych

W rozwiązywaniu różnorodnych zagadnień związanych z eksploatacją i projektowaniem racjonalnej przebudowy lub rozbudowy systemów wodociągowych są niezwykle przydatne, a w przeważającej większości przypadków wręcz niezbędne, wyniki terenowych badań czynnych układów dystrybucji wody i powiązanych z nimi komputerowych analiz symulacyjnych działania tych układów. Łącznie umożliwiają one m.in.:

- ocenę warunków pracy systemu wodociągowego, w tym: określenie głównych kierunków tranzytu wody, zasięgu oddziaływania poszczególnych źródeł zasilania systemu, przewodów limitujących warunki ciśnieniowe w sieci wodociągowej, przewodów charakteryzujących się dużą opornością hydrauliczną, a także wykrycie hydraulicznych oporów miejscowych, które ewentualnie mogą wystąpić w różnych punktach sieci wodociągowej,
- ocenę warunków zaopatrzenia w wodę jej odbiorców w różnych sytuacjach eksploatacyjnych, zlokalizowanie rejonów o stale lub okresowo niekorzystnych (zbyt niskich, zbyt wysokich lub podlegających znacznym wahaniom) ciśnieniach w sieci oraz określenie najkorzystniejszych sposobów redukcji zbyt wysokich ciśnień powodujących nadmierny pobór wody, sposobów dostawy wody podczas usuwania awarii, przewodów lub obiektów wodociagowych, determinujących niekorzystne warunki ciśnieniowe w sieci oraz przewodów kwalifikujących się w określonej kolejności do renowacji lub wymiany,

- ocenę hydraulicznej oporności poszczególnych przewodów wodociagowych oraz hydraulicznej sprawności całego układu dystrybucji wody,
- sprecyzowanie wytycznych do racjonalnego — pod względem rozkładu i zmienności ciśnień w sieci wodociągowej, minimalizacji poboru wody przez jej odbiorców, stopnia awaryjności sieci oraz kryteriów ekonomicznych — sposobu eksploatacji systemu wodociagowego oraz wytycznych do optymalnej jego przebudowy lub rozbudowy,
- wdrożenie algorytmów optymalnego sterowania szeroko pojętym procesem zaopatrzenia w wodę, bowiem wyniki komputerowych analiz symulacyjnych stanowią podstawę do wyboru optymalnej — w żądanym horyzoncie czasu — strategii eksploatacji systemu.

Wdrożenie metod analiz symulacyjnych jest możliwe pod warunkiem dysponowania zestawem informacji wyjściowych, niezbędnych do identyfikacji matematycznych modeli sieci wodociagowych, hydraulicznych charakterystyk i zbiorów stanów poszczególnych elementów systemów oraz modeli prognostycznych poboru wody w zakresie tzw. prognoz bieżących [7]. O praktycznej przydatności wyników komputerowych analiz symulacyjnych w znacznej mierze decydują jakość i stopień wiarygodności danych (informacji) wyjściowych. Z tego względu konieczne jest przeprowadzenie odpowiednio zaprogramowanych i zrealizowanych badań wstępnych. Kompleksowy ich program w najbardziej ogólnym ujęciu obejmuje: ciągłe pomiary ciśnienia w charakterystycznych węzłach sieci wodociagowej, dokonywane przez okres od kilku do kilkunastu dni, pomiary rozkładu godzinowych poborów wody oraz pomiary hydraulicznej oporności wybranych czynnych przewodów wodociagowych.

Odpowiednio opracowane wyniki badań są wykorzystywane między innymi do oceny i prognozy hydraulicznej sprawności układu dystrybucji wody, zatem umożliwiają uwzględnienie w analizach symulacyjnych wyników procesu „starzenia się” przewodów żeliwnych i stalowych, sprawiającego, że ich oporność hydrauliczna jest częstokroć kilkanaście i więcej razy większa, niż oporność przewodów nowych. Przykładem tego mogą być rezultaty kompleksowych badań terenowych układu dystrybucji wody na obszarze Jeleniogórskiego Zespołu Miejskiego [15]. Pomiary hydraulicznej oporności 15 czynnych żeliwnych i stalowych przewodów wodociagowych zostały wykonane przy użyciu m.in. trójotworowych sond piętrzących oraz specjalnych sond umożliwiających zmierzenie w dwóch płaszczyznach wewnętrznej średnicy przewodu. Sondy były wprowadzane do wnętrza czynnego rurociągu poprzez nawiert. Próba

uogólnienia wyników badań są następujące formuły empiryczne [14, 15]:

— dla rur żeliwnych:

$$k_{i0} = 0,6 + 0,047t \quad [\text{mm}] \quad (5)$$

— dla rur stalowych:

$$d_t = d_0 - 0,52t \quad [\text{mm}] \quad (6)$$

$$k_t = 0,15 + 0,121t \quad [\text{mm}] \quad (7)$$

gdzie: k_{i0} — sprowadzona zastępcza chropowatość piaskowa ścianki przewodu eksploatowanego przez t lat, obliczona w odniesieniu do wewnętrznej średnicy przewodu nowego,

d_0, d_t — średnice przewodu nowego i eksploatowanego przez t lat,

k_t — zastępcza chropowatość piaskowa ścianki przewodu eksploatowanego przez t lat.

Szybkość procesu „starzenia się” przewodów z rur stalowych okazała się wielokrotnie wyższa, niż przewodów z rur żeliwnych (wynika to przede wszystkim z fizyczno-chemicznych właściwości wody z rz. Bóbr i z potoków górskich). Zmniejszenie przepływności przewodu stalowego o 50%, w stosunku do przepływności przewodu nowego, następowało przeciętnie w przybliżeniu już po ok. 25 latach eksploatacji, a przewód 40-letni ma zaledwie 1/3 przepływności początkowej (jego oporność hydrauliczna jest przeciętnie ok. 9-krotnie większa, niż oporność przewodu nowego). Natomiast spadek przepływności rur żeliwnych o 20% ujawnia się dopiero po ok. 50 latach eksploatacji. W niektórych wypadkach są obserwowane jeszcze wyższe, niż w warunkach JZM intensywności procesu „starzenia się” żeliwnych rurociągów wodociagowych. Przeprowadzone badania hydraulicznej sprawności sieci wodociagowej na obszarze Sulechowa wykazały [16], że wartości zastępczej chropowatości piaskowej k_{i0} ścianek przewodów żeliwnych o średnicy od 80 do 350 mm, eksploatowanych przez 20 do 80 lat, wynoszą od 3 do 50 mm (spośród 78 odcinków przewodów 64 charakteryzowały się parametrem k_{i0} równym lub wyższym niż 19 mm). Wartości te zostały obliczone wg opracowanej i oprogramowanej przez autora metody, która umożliwia ocenę hydraulicznych parametrów każdego eksploatowanego przewodu sieci wodociagowej. W zbiorze danych wyjściowych ujęte są m.in. rezultaty odpowiednio zaprogramowanych hydraulicznych badań terenowych czynnego układu dystrybucji wody. W algorytmie obliczeń zostały uwzględnione następujące parametry: materiał każdego przewodu, jego wiek (czas eksploatacji), średnia prędkość przepływu wody oraz umiejscowienie w sieci wodociagowej.

Powyższa metoda została poddana szczegółowej weryfikacji w układzie dystrybucji wody na terenie Su-

lechowa [16]. Program terenowych badań hydraulicznych został specjalnie opracowany i zrealizowany tak, aby m.in. umożliwić ocenę efektywności proponowanej metody, a w szczególności sprawdzenie stopnia zgodności pomiędzy wynikami obliczeń i wynikami pomiarów terenowych, przy kilku istotnie odmiennych stanach rozbioru wody. Ponadto przeprowadzono pomiary w warunkach relatywnie wysokiego rozbioru wody, który pojawił się w końcowym okresie eksperymentalnego opróżniania sieciowego końcowego zbiornika wieżowego, jeszcze nie przekazanego do eksploatacji (zbiornik został wcześniej częściowo napełniony wodą). Różnice między rezultatami obliczeń a wynikami pomiarów w różnych warunkach eksploatacyjnych okazały się niewielkie (mniejsze od przyjętych wartości dopuszczalnych) mimo dużych spadków hydraulicznych w sieci wodociagowej (przeciętnie ok. 0,30 MPa na długości 1,5 km). Opisana metodyka wyznaczania hydraulicznych parametrów czynnych przewodów wodociagowych, zweryfikowana również w innych obiektach (m.in. w Nowogrodzie Bobrzańskim [17]), umożliwia uwzględnienie nie tylko materiału i czasu eksploatacji przewodów, lecz również innych, poprzednio wymienionych czynników (obserwacje empiryczne wskazują, że częstokroć odcinki rurociągów z tego samego materiału i o tym samym wieku charakteryzują się odmienną opornością hydrauliczną).

Rezultaty badań (w tym opisanych badań symulacyjnych) umożliwiają sformułowanie prawidłowej bazy danych wyjściowych do komputerowych obliczeń symulacyjnych działania systemu wodociagowego w różnych warunkach eksploatacyjnych i stanach rozbioru wody oraz przy różnych wariantach jego modernizacji lub rozbudowy. Umożliwia to m.in. wybór wariantu optymalnego i częstokroć uzyskanie znaczących oszczędności w kosztach inwestycyjnych i eksploatacyjnych. Przykładem mogą być rezultaty badań i symulacyjnych analiz działania układu dystrybucji wody w Nowogrodzie Bobrzańskim [17], które pozwoliły na uzyskanie w krótkim czasie radykalnej poprawy warunków zaopatrzenia w wodę jej odbiorców praktycznie bezinwestycyjnie (poprzez zmianę sposobu sterowania pracą pomp, zainstalowanie we wskazanym punkcie sieci zaworu redukcyjnego, zlikwidowanie wykrytych oporów miejscowych oraz zamknięcie niektórych zasuw). W innym obiekcie [16] w wyniku badań przeprowadzonych wg opisanej metodyki zalecono zmianę proponowanej przez projektantów koncepcji rozbudowy sieci wodociagowej, co spowodowało — przy zagwarantowaniu właściwych warunków pracy systemu wodociagowego i pełnego zaspokojenia w każdej porze potrzeb odbiorców wody — znaczące obniżenie kosztów inwestycji.

W wypadkach, gdy analizy symulacyjne są prowadzone dla kolejno pojawiających się stanów rozbioru wody (m.in. w optymalnym sterowaniu systemami wodociągowymi) niezbędne jest uwzględnienie w algorytmach obliczeń prognostycznych modeli poboru wody, bazujących na łatwo dostępnych danych do identyfikacji modeli oraz predyktorach (danych wyjściowych do prognoz). Pod kierunkiem autora został sformułowany, oprogramowany oraz zweryfikowany w kilku wodociągach miejskich (w tym w wodociągu łódzkim) i wiejskich prognostyczny model godzinowego lub/i dobowego poboru wody, który w postaci zalgorytmizowanej może być bezpośrednio wprowadzony do pakietu zarządzającego sterowaniem i automatycznie uruchamiany każdorazowo, gdy zostanie uaktualniona lista parametrów sterowania. Zasady jego konstrukcji i wyniki weryfikacji zostały zaprezentowane w publikacjach [9, 18]. Stanowi on pewne połączenie metody potrójnie wykładniczego wygładzania szeregów czasowych z multiplikatywnym sezonowym modelem ARIMA i pozwala na szybkie ustalenie znaczących cech procesu poboru wody, które są następnie wykorzystywane do wyznaczania bieżących i krótkoterminowych prognoz. Dla uzyskania odpowiednich wyników konieczna jest relatywnie niewielka liczba danych, a w skład zbioru predyktorów wchodzi jedynie empiryczne obserwacje poboru wody.

Wyniki weryfikacji wykazały dokładność prognoz satysfakcjonującą dla potrzeb sterowania systemami wodociągowymi. Opisany model został włączony do opracowanego i wdrożonego w wodociągu łódzkim systemu programów użytkowych do operacyjnego prognozowania dyspozycyjnej pojemności zbiorników wodociągowych [19]. Jest on wykorzystywany dla potrzeb prawidłowej eksploatacji układu dystrybucji wody, w tym przy planowaniu remontów pompowni lub magistral zasilających oraz w czasie wystąpienia awarii urządzeń dostarczających wodę do systemu.

Podsumowanie

W projektowaniu modernizacji lub rozbudowy oraz programowaniu strategii eksploatacji systemów wodociągowych ważną i stale rosnącą rolę odgrywają komputerowe analizy symulacyjne ich działania w różnych sytuacjach eksploatacyjnych i różnych stacjach rozbioru wody. Umożliwiają one m.in. uwzględnianie przy wyborze wariantów optymalnych kwestii minimalizacji poboru wody przez jej odbiorców, istotnie skorelowanego z ciśnieniem w sieci wodociągowej. Cytowane w pracy wyniki badań dowodzą,

że czynnik ten powinien być jednym z ważniejszych kryteriów w rozważaniu celowości lokalnego sterowania układów dystrybucji wody. O praktycznej przydatności wyników komputerowych analiz symulacyjnych w znacznej mierze decyduje jakość i stopień wiarygodności niezbędnych informacji wyjściowych. Z tego względu konieczne jest prowadzenie odpowiednio zaprogramowanych i zrealizowanych terenowych badań wstępnych. Ich metodyka oraz sposoby i przykłady wykorzystania wyników zostały w pracy omówione.

Kierowany przez autora zespół badawczy w Instytucie Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej jest w pełni przygotowany pod względem metodologicznym (w tym dysponuje odpowiednimi programami komputerowymi) i aparaturowym do realizacji kompleksowych badań i analiz symulacyjnych systemów wodociągowych w różnym zakresie, odpowiednim do potrzeb. Obecnie zespół prowadzi tego typu prace badawcze w jednym z większych systemów wodociągowych na Dolnym Śląsku. Ich wyniki będą przedmiotem odrębnej publikacji.

LITERATURA

1. B. COULBECK, S. T. TENNET, C. H. ORR: Development of a demand prediction program for use in optimal control of water supply. 3-rd International Conference on Systems Engineering, Lancaster Polytechnic, Coventry 1985.
2. R. HARRIS: Computer modeling in water system planning and design. Journal AWWA, 1984, nr 7, ss. 78—51.
3. E. HEYMANN, H. NIMITZ, D. MOSBRUCK: Prognosegestützte PROZESSAUTOMATISIERUNG in einem Wasserwerk. GWF Wasser-Abwasser 1987, nr 1, ss. 15—18.
4. D. HÜNERBEIN: Steuerung und Überwachung von Wasserwerken mit Automationssystemen. GWF Wasser-Abwasser, 1986, nr 4, ss. 167—174.
5. W. NESTLER, L. LUCKNER, J. HUMMEL: Die Nutzung von Signalmodellen zur Wasserbedarfsprognose als Basis einer effektiven Steuerung von Wasserversorgungsprozessen. Wasserwirtschaft-Wassertechnik 1982, nr 12, ss. 414—418.
6. A. RICHTER, A. BÖHM, I. MENTZEL, I. HÄUSSLER: Computer-gestützte Zustandanalyse der Wasserversorgung der Stadt Meissen. Wasserwirtschaft-Wassertechnik 1988, nr 4, ss. 89—90.
7. Z. SIWOŃ: Stochastyczne modelowanie procesu zużycia wody i prognozowanie zapotrzebowania na wodę w miastach. Prace Naukowe Inst. Inż. Ochr. Środow. Politechniki Wrocławskiej Nr 56, Monografie nr 25, Wrocław 1986.
8. Z. SIWOŃ, J. STANISŁAWSKI: Über die stochastische Wasserbedarfsprognose als Basis zur Steuerung und Kontrolle von Wasserversorgungsprozessen. GWF Wasser-Abwasser 1988, nr 3, ss. 159—166.

9. Z. SIWOŃ, J. STANISŁAWSKI: Über Prognose von Zeitreihen des Stundenwasserbedarfs in Städten und Regionen. GWF-Wasser/Abwasser 1991, nr 6, ss. 322—329.
10. R. WOBERSCHILL, K. LIPPELT: Computergestützte Prozessführung im Produktionsbereich Lobenstein. Wasserwirtschaft-Wassertechnik 1988, nr 7, ss. 146—148.
11. Z. SIWOŃ i inni: Badania zużycia wody w osiedlach mieszkaniowych na terenie Wrocławia. Raporty Inst. Inż. Ochr. Środow. Politechniki Wrocławskiej, SPR nr 12/84, 39/84, 1/85 i 1/89, Wrocław 1984—89.
12. Z. SIWOŃ: Statystyczna metoda analizy obserwacji zużycia wody w budynkach i osiedlach mieszkaniowych. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 1985, nr 7, ss. 150—154.
13. Z. SIWOŃ, J. CIEŻAK, S. BOGACZEWICZ: Syntetyczne wskaźniki dobowego i godzinowego zużycia wody w osiedlach mieszkaniowych we Wrocławiu. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 1987, nr 1, ss. 10—13.
14. A. KOTOWSKI, E.W. MIELCARZEWICZ i inni: Badania hydrauliczne sprawności sieci wodociągowej JZM. Raport Inst. Inż. Ochr. Środow. PWr., Wrocław 1991.
15. Z. SIWOŃ i in.: Studia nad racjonalną modernizacją i rozbudową systemu zaopatrzenia w wodę Jeleniogórskiego Zespołu Miejskiego. Etap I: Badania rozkładu ciśnień w sieci wodociągowej i hydraulicznej sprawności czynnych przewodów wodociągowych. Raport Inst. Inż. Ochrony Środow. P. Wr., Wrocław 1991 r.
16. Z. SIWOŃ i inni: Ekspertyza na temat poprawy warunków zaopatrzenia w wodę m. Sulechów, Wrocław 1991.
17. Z. SIWOŃ i inni: Ekspertyza na temat poprawy warunków zaopatrzenia w wodę m. Nowogród Bobrzański, Wrocław 1991.
18. Z. SIWOŃ, J. STANISŁAWSKI: Komputerowy system programów użytkowych do statystycznej analizy i bieżącego prognozowania poboru wody w miastach i rejonach wiejskich. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 1990, nr 11, ss. 214—216.
19. Z. SIWOŃ, J. STANISŁAWSKI: System programów użytkowych do operacyjnego prognozowania dyspozycyjnej pojemności zbiorników wodociągowych. Prace Naukowe Inst. Inż. Ochr. Środow. P. Wr., nr 67, Seria: Konferencje nr 11, Wrocław 1991.

NEW TRENDS IN MODERN DESIGN AND OPERATION OF WATER SUPPLY SYSTEMS

Computer simulation is of vital importance when designing the retrofit of development of, or when programming the operating strategies for the water supply system. Simulation of various operating conditions makes it possible to chose an optimum variant which includes minimization of water consumption, significantly correlated with the pressure in the water-pipe network. The results of investiga-

tions have revealed that this factor should be regarded as a paramount criterion when evaluating the usefulness of local zoning in the water supply system. The practical importance of analysis involving computer simulation depends primarily on the quality and reliability of the input data. To obtain reliable data of the quality desired, it is necessary to design and perform appropriate field investigations as a prior step. In this paper relevant methods are reviewed, and the applications of the results obtained via this route are discussed in detail.