

Andrzej Pawlak  
Henryk Pelka

## MODELOWANIE SYSTEMU ZAOPATRZENIA W WODĘ NA PRZYKŁADZIE GÓRNOŚLĄSKIEGO OKRĘGU PRZEMYSŁOWEGO

Rozbudowa istniejących systemów wodociągowych, towarzysząca rozwojowi aglomeracji miejsko-przemysłowych jest problemem bardzo często spotykanym w praktyce projektowej. Problem ten jest szczególnie trudny, gdy dotyczy wielkich systemów wodociągowych o złożonej strukturze. Wówczas prawidłowe projektowanie rozwoju systemu wymaga znajomości struktury systemu istniejącego oraz jego zachowań w czasie eksploatacji. Niestety liczne przykłady wielkich systemów wodociągowych, funkcjonujących w Polsce przeczą zasadzie ich racjonalnego rozwoju. Przyczyn tego należy się doszukiwać przede wszystkim w zaniedbaniach inwestycyjnych, wyrażających się brakiem koordynacji rozwoju aglomeracji i odpowiadającej temu — rozbudowie wodociągów. Doprowadziło to do sytuacji, w której coraz trudniej przewidzieć reakcję systemu wodociągowego na jego dalszą rozbudowę, szczególnie, gdy obejmuje ona wybudowanie zbiorników systemowych, czy też rurociągów o dużych średnicach.

W tej sytuacji konieczne staje się przeprowadzenie badań modelowych, mających na celu uzyskanie odpowiedzi na pytanie o reakcję systemu na proponowane rozwiązania projektowe. Najprostszą i najtańszą realizacją takich badań jest symulacja komputerowa, oparta na odpowiednich programach. Programy takie umożliwiają przede wszystkim zbudowanie modelu systemu wodociągowego, przechowywanego w pamięci maszyny cyfrowej. Dysponując modelem symulacyjnym możliwe jest określenie na drodze obliczeń numerycznych, dowolnego stanu hydraulicznego systemu — wymuszonego dowolnie zadanymi warunkami rozbiórki wody w sieci. Dzięki temu można wszechstronnie poznać właściwości istniejącego systemu, a szczególnie jego zachowań w sytuacji obciążenia o skrajnych wartościach. Analizy tego typu badań pozwalają wskazać rezerwy systemu, obszary i stopień jego przeciążenia, jak również określić zakres koniecznej rozbudowy oraz kierunki ekonomicznie uzasadnionego rozwoju. Korzystając z programów komputerowej symu-

lacji systemów wodociągowych należy pamiętać, że wartość uzyskanych wyników badań oraz przeprowadzonych w oparciu o nie analiz, jest ściśle zależna od dokładności dostarczonych komputerowi informacji o systemie rzeczywistym. O dokładności modelu systemu decydują dwie klasy informacji. Do jednej z nich należą informacje o strukturze systemu, natomiast do drugiej wartości parametrów, opisujących poszczególne elementy systemu. Dokładność opisu struktury systemu związana jest z wielkością systemu wodociągowego. Im system jest większy, tym stopień agregacji informacji o strukturze systemu jest wyższy i obejmuje coraz więcej rurociągów rozdzielczych. Powoduje to, że w modelu są uwzględniane jedynie rurociągi tranzytowe oraz rurociągi z sieci rozdzielczej, o średnicach większych od założonego minimum. Postępowanie takie wydaje się być słuszne, gdyż o funkcjonowaniu systemu decydują przede wszystkim parametry głównych elementów systemu [1].

Poważniejszym źródłem błędów (niż redukcja struktury sieci wodociągowej) są zazwyczaj informacje o wartości parametrów poszczególnych elementów systemu, a w szczególności oporność hydrauliczna rurociągów, wartości oporów miejscowych na sieci oraz charakterystyki zespołów pompowych. W związku z tym, przystępując do budowy modelu systemu powinno się zwrócić szczególną uwagę na określenie wartości tych parametrów. W przypadku modelu systemu wodociągowego GOP, dokładne informacje o parametrach elementów systemu zostały zebrane jedynie dla niektórych obiektów. Dotyczy to chropowatości piaskowej, oporów miejscowych głównych przewodów tranzytowych a także charakterystyk wszystkich pompowni systemowych. Dla pozostałych przewodów wodociągowych przyjęto jednakową wartość chropowatości piaskowej [2—3].

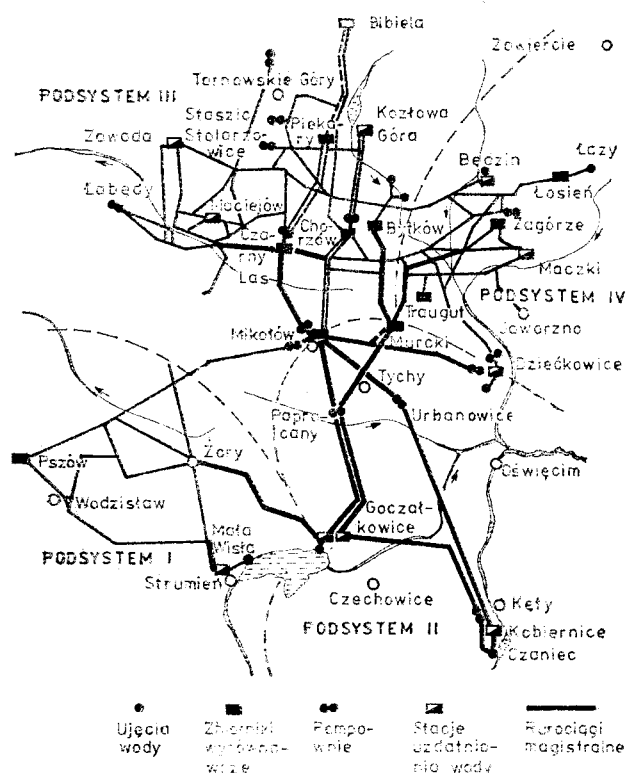
Błędy wniesione do modelu, w wyniku pomyślnych z konieczności uproszczeń sprawiają, że informacje uzyskane z badań symulacyjnych przeprowadzonych na tym modelu, mają charakter bardziej jakościowy niż ilościowy, stanowiąc podstawę do analiz porównawczych funkcjonowania poszczególnych elementów oraz stref tego rozległego systemu.

## Opis systemu

System zaopatrzenia w wodę GOP jest systemem wielostromnie zasilanym i wielostrefowym. W systemie tym można wyróżnić cztery podsystemy zaopatrzenia w wodę.

Podsystem zaopatrzenia w wodę rejonu Rybnika zasilany jest przez pompownię „Goczałkowice”, pompownię „Strumień” i pompownię usytuowaną przy zbiorniku „Mikołów” oraz zbiornik sieciowy „Pszów”.

Drugi podsystem stanowi układ głównego zasilania w wodę GOP z ujęć w Goczałkowicach,



Rys. 1 Schemat systemu zaopatrzenia w wodę GOP

Kobiernicach i Dzieńkowicach. Ze wspomnianych ujęć woda tłoczona jest do zbiorników „Mikołów” i „Murcki” położonych na wysokości około 340–350 m n.p.m.

Trzeci podsystem zaopatrujący w wodę północno-zachodnią część GOP jest zasilany od południa ze zbiorników „Mikołów” i „Murcki”, od zachodu z ujęć „Łabędy”, „Zawada” i „Maciejów”, a od północy z ujęć „Stolarzowice”, „Tarnowskie Góry”, „Staszic”, „Bibiela” i „Kozłowa Góra”. W podsystemie tym występuje duży zbiornik sieciowy „Piekary” o pojemności 340.000 m<sup>3</sup> oraz zbiorniki sieciowe „Chorzów”, „Bytków” i „Czarny Las”. Ponadto ciśnienie w sieci podnoszone jest lokalnie przez pompownie usytuowane przy zbiornikach „Chorzów” i „Czarny Las”.

Czwarty podsystem, zaopatrujący wschodnią część GOP zasilany jest od południa z ujęcia w Dzieńkowicach, od północy z ujęć „Będzin” i „Zagórze”, a od wschodu z ujęcia „Maczki”.

Ponadto w podsystemie tym współpracują z siecią następujące zbiorniki sieciowe: „Murcki”, „Traugutt”, „Warpie” i „Łosień”. Od zachodu podsystem ten połączony jest z trzecim podsystemem dwoma rurociągami o średnicy 600 mm i 800 mm oraz przez wspólny zbiornik „Murcki”.

Z powyższego opisu wynika, że system zaopatrzenia w wodę GOP jest bardzo złożony i jedynie przy pomocy programu na emc można analizować jego działanie na zbudowanym w tym celu modelu. W pierwszym etapie budowy tego modelu przyjęto strukturę, składającą się z 440 przewodów wodociągowych oraz 307 węzłów, będących punktami poboru wody, punktami zasilania oraz punktami połączeń rurociągów. System o tej strukturze zasilany jest przez 22 zestawy pomp zainstalowanych w 15 pompowniach zasilających, 6 pompowni strefowych, znajdujących się na sieci oraz z 15 zbiorników wyrównawczych. W modelu systemu uwzględniono rurociągi o średnicach 400 mm i większych oraz te rurociągi o mniejszych średnicach, które są niezbędne do funkcjonowania systemu. W modelu przyjęto jednakową zastępczą chropowatość piaskową rurociągów  $k=1,5$  mm. Jedynie dla rurociągu  $\varnothing 1400$  mm, na trasie od zbiornika „Mikołów” do zbiornika „Czarny Las” — przyjęto zastępczą chropowatość piaskową  $k=3,0$  mm. Pompownie strefowe czerpią wodę ze zbiorników wyrównawczych sieciowych, a tylko jedna pompownia strefowa czerpie wodę bezpośrednio z sieci. Charakterystyki pomp opisano wielomianami drugiego stopnia.

Wśród 15 zbiorników sieciowych wyrównawczych, 9 zbiorników pełni rolę zbiorników końcowych, 5 zbiorników pełni jednocześnie rolę zbiorników końcowych i zbiorników czerpnych pompowni strefowych, natomiast 1 zbiornik jest początkowym i czerpny pompowni zasilającej.

## Weryfikacja modelu systemu

Opisany model systemu został sprawdzony na drodze obliczeń numerycznych, przy założeniu jedynie maksymalnego godzinowego rozbioru wody w roku 1990 i 2000 i dla projektowanej na ten rok struktury systemu.

Obliczenia wykazały konieczność dławienia niektórych pomp przez wprowadzenie odpowiednich oporów miejscowych w pompowniach, aby nie zostały przekroczone zakresy pracy pomp. Ponadto w kilku pompowniach zmieniono liczbę pracujących pomp, dostosowując ich wydajność do wydajności ujęć i rozbioru wody w systemie.

Analiza wyników obliczeń numerycznych systemu, przy wspomnianym rozborze wody wskazała na konieczność wprowadzenia do modelu automatycznego zabezpieczenia pompowni przed przekraczaniem maksymalnej jej wydajności i drukowanie wysokości dławienia pomp. Z analizy wynika również konieczność:

- ułożenia do roku 1990 kilku odcinków rurociągów odciążających — głównie ru-

ciągi o małych średnicach (do  $\varnothing$  500 mm), — zmiany niektórych rurociągów magistralnych na rurociągi tranzytowe, ze względu na panujące w nich zbyt wysokie ciśnienia (dotychczasowych odbiorców wody z tych rurociągów należy zaopatrywać z innych rurociągów magistralnych).

Kierunki i zakres rozbudowy systemu zaopatrzenia w wodę zostaną określone po kompleksowej analizie symulacyjnej systemu na opracowanym modelu, uwzględniającej wszystkie możliwe parametry i warunki pracy systemu.

### Możliwości rozwojowe modelu

Opisany powyżej i sprawdzony na drodze obliczeń numerycznych model systemu wodociągowego GOP jest wyjściowym modelem tego systemu, zbudowanym w pierwszym etapie analizy systemu. W następnych etapach przewidziano rozwój modelu w dwóch zasadniczych kierunkach:

Pierwszym — nie następczym zbyt wielu trudności natury identyfikacyjnej — jest sukcesywne rozbudowywanie struktury sieci systemu o rurociągi pominięte we wcześniejszych edycjach modelu. Stopniowe rozbudowywanie modelu sieci znajduje swoje uzasadnienie w tym, że od pewnego momentu, którego nie jesteśmy w stanie przewidzieć, dalsze uszczegółowienie struktury systemu nie wpłynie na poprawę dokładności uzyskiwanych wyników obliczeń. Stopniowa rozbudowa modelu sieci pozwoli natomiast wskazać moment, w którym to nastąpi. Zabieg ten jest istotny z punktu widzenia zajętości pamięci maszyny cyfrowej przez informacje o strukturze sieci, jak również ze względu na czas obliczeń hydraulicznych systemu podczas badań symulacyjnych. Niemniej w tym zakresie przygotowano już programy komputerowe do modelowania oraz obliczeń hydraulicznych systemu, składającego się z 1800 przewodów wodociągowych, 1200 punktów poboru wody, zasilanego z 40 pompowni i posiadającego w swojej strukturze 20 zbiorników systemowych. W programach tych przewidziano możliwość wariantowania zarówno struktury modelu, parametrów jego elementów, jak i warunków rozbioru wody w węzłach sieci. Wariantowanie struktury wprowadzone zostało w celu umożliwienia prowadzenia badań zachowania się systemu w czasie awarii istotnych jego elementów oraz określenia reakcji systemu na propozycje rozbudowy systemu. Wariantowanie parametrów opisujących elementy systemu wprowadzono w celu umożliwienia przeprowadzenia przede wszystkim badań zachowania się systemu w czasie. Interesującym w tym zakresie jest wpływ wzrostu oporności hydraulicznej (spowodowanej inkrustacją przewodów) na przepustowość sieci. Procesowi starzenia ulegają także pompy zasilające system i w związku z tym przewidziano również zapis zmian charakterystyk pomp. Oczywistym powodem wariantowania rozbiorów wody w węzłach była natomiast konieczność sprawdzenia

zachowania się systemu w każdych warunkach zasilania i rozbioru, jakie mogą zaistnieć w rzeczywistości.

Wymieniając powyżej możliwości programów przygotowanych do modelowania i analizy hydraulicznej systemu wodociągowego, zasygnalizowano poniekąd drugi kierunek rozwoju systemu — a mianowicie identyfikację parametrów, charakteryzujących przewody wodociągowe, opory miejscowe oraz zestawy pomp. Proces identyfikacji, zmierzający do określenia charakterystyk hydraulicznych wymienionych elementów systemu jest niezwykle złożony i to z wielu względów. Po pierwsze, wielkość systemu sprawia, że proces ten jest bardzo pracochłonny. Po drugie, ze względu na konieczność ciągłej pracy wszystkich elementów sieci wodociągowej nie jest możliwe wyłączenie z eksploatacji kolejno wszystkich elementów sieci i poddawanie ich badaniom identyfikacyjnym. I wreszcie po trzecie, należy liczyć się ze zmianą charakterystyk hydraulicznych w czasie, a w szczególności oporności hydraulicznej przewodów sieci, której identyfikacja jest ponadto najbardziej uciążliwa.

W celu realizacji procesu identyfikacji, przy istnieniu wymienionych uwarunkowań opracowano i zweryfikowano w Instytucie Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej szereg metod. Jedną z nich, zalecaną ze względu na warunek pierwszy i drugi jest metoda identyfikacji stanu hydraulicznego sieci wodociągowej, na podstawie badań terenowych wybranych przewodów [4]. Drugą, uwzględniającą zmianę parametrów hydraulicznych systemu w czasie jest metoda prognozowania stanu hydraulicznego przewodów sieci, na podstawie badań hydraulicznych wybranych rurociągów i znajomości składu fizyczno-chemicznego wody [5].

Chcąc więc uzyskać adekwatny model systemu wodociągowego należy, poza odpowiednim uwzględnieniem struktury systemu, przeprowadzić kompleksową identyfikację parametrów hydraulicznych systemu, zgodnie z zasadami zawartymi w wymienionych powyżej i uzupełniających się metodach. Tak rozbudowany i zweryfikowany model systemu daje gwarancję uzyskania poprawnych wyników badań symulacyjnych i może być wykorzystany do następujących celów:

1. Badania zachowania się systemu w warunkach wyjątkowych:

- konieczność wyłączenia niektórych źródeł wody
- awarii przewodów magistralnych
- awarii pompowni zasilających i strefowych
- awarii zbiorników
- awarii zasilania pompowni w energię.

2. Badania zachowania się systemu w warunkach wyłączenia niektórych elementów z eksploatacji, w celu poddania ich remontowi lub wymianie.

3. Badania wpływu zmian zużycia wody w czasie i przestrzeni.

4. Badania zachowania się systemu, zwłaszcza zbiorników (napełnianie i opróżnianie) w dłuższych okresach czasu (doba, tydzień i więcej). Model ten może być również wykorzystany do doboru średnic projektowanych rurociągów i planowania ich renowacji. Wymienione możliwości wykorzystania modelu mogą być zrealizowane przy użyciu opracowanych programów:

- SGOP do analizy hydraulicznej systemów wodociągowych,
- OSW1 do techniczno-ekonomicznego doboru średnic projektowanych rurociągów sieci wodociągowej,
- RENOS do planowania renowacji przewodów wodociągowych.

## LITERATURA

1. C. L. EGGNER, L. B. POLAKOWSKI: Network models and the impact of modelling assumption. JAWWA 4/76.
2. T. GABRYSZEWSKI: Wodociągi. Arkady, Warszawa 1983.
3. E. W. MIELCARZEWICZ: Obliczanie systemów zaopatrzenia w wodę. Arkady, Warszawa 1972.
4. E. W. MIELCARZEWICZ, A. PAWLAK, H. PELKA: Modele matematyczne układów rozprowadzania wody w aglomeracjach miejsko-przemysłowych dla potrzeb projektowania i eksploatacji grupowych i regionalnych systemów zaopatrzenia w wodę. Raport Inst. Inż. Ochr. Środow. PWr. nr SPR 19/80, Wrocław 1980.
5. H. PELKA: Wzrost oporności hydraulicznej przewodów wodociągowych. Praca doktorska, Wrocław 1977.

---

### A. Pawlak, H. Pelka

#### MODELLING A WATER SUPPLY SYSTEM: THE INDUSTRIALIZED AGGLOMERATION OF UPPER SILESIA

*A mathematical model was constructed for the computer simulation of a water supply system operated in a highly industrialized agglomeration. The model makes it possible to determine (by numerical calcu-*

*lation) an arbitrary hydraulic state of the water supply system under arbitrary conditions of water distribution in the network. The model enables a successful analysis of the system behaviour, particularly during episodes involving extreme loading values. The data sets obtained in terms of the model make it possible to define the available resources, to determine the degree of overloading, as well as to suggest the range of clearing or rehabilitation and to take economic developmental measures.*