

Janusz ŻELEZIK
Instytut Automatyki
Politechnika Śląska

ALGORYTM SYMULACJI SIECI ZAOPATRZENIA W WODĘ PRZY WYKORZYSTANIU
MODELU FIZYKALNEGO

Streszczenie: W pracy omówiono model fizyczny sieci dystrybucji wody; na bazie tego opracowano algorytm i program obliczeniowy "WODA", który przeznaczony jest między innymi do badań symulacyjnych sterowania zaopatrzeniem w wodę w zadanym okresie czasu, przy różnych strategiach sterowania i zmiennym zapotrzebowaniu na wodę.

1. Wstęp

W ramach tematu PR-7.05.01 prowadzono w Instytucie Automatyki prace, które dotyczyły modelu fizycznego oraz algorytmów symulacji sieci zaopatrzenia w wodę [7, 8]. Model fizyczny opisuje zależności między ciśnieniami wody w określonych punktach sieci dystrybucji, a rozpiływami w rurociągach i rozbiorami wody przez odbiorców, przy założeniu ustalonych warunków pracy; przy czym zależności te wyprowadza się z bezpośrednich związków fizycznych między zmiennymi procesowymi.

Model fizyczny był od dawna stosowany przy projektowaniu sieci wodociągowych [2, 4, 5]. Obecnie model fizyczny oraz regresyjny są również podstawowym narzędziem przy analizie i sterowaniu siecią zaopatrzenia w wodę [10]. Z tej dziedziny zastosowań wynikają inne wymagania dla modelu. Przy projektowaniu sieci chodzi przede wszystkim o jednorazowe obliczenie hydrauliczne sieci dla stanu ustalonego, przy założeniu maksymalnych i minimalnych poborów wody przez odbiorców. Z kolei przy rozwiązywaniu zagadnień sterowania i kontroli za-

opatrzenia w wodę model fizyczny może być wykorzystany między innymi:

- przy symulacji pracy systemu zaopatrzenia w wodę w okresie dobowym czy tygodniowym celem ustalenia optymalnego planu pracy systemu na ten okres lub sprawdzenia strategii sterowania wypracowanych innymi metodami,
- do bezpośredniego sterowania pracą systemu zaopatrzenia w wodę. Optymalne sterowanie wybiera się z pewnego zbioru sterowań dopuszczalnych zbadanych wcześniej metodą symulacji;
- do wykrywania i lokalizowania nieszczelności,
- do zaplanowania pracy systemu w okresie awarii.

W związku z tymi potrzebami opracowano model fizyczny sieci dystrybucji wody, a na jego bazie algorytm i program w języku FORTRAN, który przeznaczony jest przede wszystkim do symulacji sterowania systemem zaopatrzenia w wodę w pewnym okresie czasu przy zastosowaniu różnych strategii sterowania i przy zmieniającym się zapotrzebowaniu na wodę

2. Model fizyczny sieci zaopatrzenia

W sieci wodociągowej wyróżnia się ogólnie następujące elementy :

- węzły sieci, w tym:
 - węzły normalne - miejsce połączenia co najmniej dwóch gałęzi, a także początek lub koniec gałęzi mający połączenie jedynie z odbiorcą wody,
 - zbiorniki wody,
- gałęzie łączące - mogą zawierać: odcinek rurociągu, opór miejscowy i pompę o zadanej charakterystyce,
- odbiorcy wody - zakłada się, że są skupieni w węzłach sieci i scharakteryzowani sumarycznym poborem wody. Pompę o zadanej wydajności dostarczającą wodę do węzła traktuje się również jako uogólnionego odbiorcę.

W opracowanym modelu fizycznym wykorzystuje się następujące zależności - równania:

- I prawo Kirchhoffa dla węzłów normalnych - suma algebraiczna przepływów wody q_i w gałęziach połączonych w węzle k-tym jest równa sumarycznemu poborowi wody Q_k z węzła:

$$\sum q_i = Q_k, \quad //1/$$

gdzie: $k = 1, 2, \dots, N$ - nr węzła normalnego

- odpowiednie równanie dla zbiorników - suma algebraiczna dopływów q_1 i poboru Q_1 wody ze zbiornika 1-tego jest równa szybkości zmiany objętości wody V_1 w zbiorniku, tj.

$$\sum q_1 = Q_1 + \frac{d V_1}{d t} = Q_1 + \dot{V}_1, \quad /2/$$

gdzie: 1 = N+1, N+2, ..., N1 - nr zbiornika;

Przy założeniu, że powierzchnia S_1 zwierciadła wody w zbiorniku nie zmienia się w dopuszczalnym zakresie zmienności poziomu wody H_1 , równanie /2/ można zapisać

$$\sum q_1 = Q_1 + S_1 \cdot \dot{H}_1, \quad /3/$$

- równania charakterystyk statycznych typu: przepływ - spadek ciśnienia dla gałęzi sieci. Ogólna postać tej zależności jest następująca:

$$H_p - H_k = \psi_1 (q_1), \quad /4/$$

gdzie: 1 = 1, 2, ..., M - nr gałęzi,

H_p, H_k - ciśnienia bezwzględne wody odpowiednio w węzłach początkowym i końcowym,

Każda gałąź może zawierać szeregowe połączenie dowolnych 3 elementów: odcinka rurociągu, oporu miejscowego i pompy o zadanej charakterystyce. Do opisu charakterystyk tych elementów przyjęto następujące zależności:

- dla odcinków rurociągów obowiązuje w zakresie przepływów turbulentnych równanie Darcy-Weisbacha [1]

$$\Delta h_r = \frac{8 \lambda l}{\pi^2 g d^5} \cdot q^2, \quad /5/$$

gdzie: Δh_r - spadek ciśnienia na rurociągu,
 l, d - długość i średnica rurociągu,
 g - przyspieszenie ziemskie,

λ - współczynnik oporu hydraulicznego zależny od liczby Reynoldsa Re .

Z kolei współczynnik oporu λ oblicza się wg wzoru Chodenowicza [6]:

$$\lambda = 0,077 \cdot \left(\frac{70}{Re} + \frac{K}{d} \right)^{0,2}, \quad /6/$$

gdzie: K - chropowatość bezwzględna rurociągu,

- charakterystyka oporu miejscowego jest dana wzorem [1]

$$\Delta h_z = \frac{B z}{\pi^2 g d^4} \cdot q_v^2, \quad /7/$$

gdzie z - tzw. współczynnik oporu miejscowego,

- zadane charakterystyki pomp - zakłada się, że w zakresie roboczym mogą być aproksymowane zależnością

$$\Delta h_p = a q_v^2 - E, \quad /8/$$

gdzie: Δh_p - spadek ciśnienia na wyjściu pompy,

E - zastępcza siła elektromotoryczna,

a - współczynnik zastępczego oporu hydraulicznego pompy.

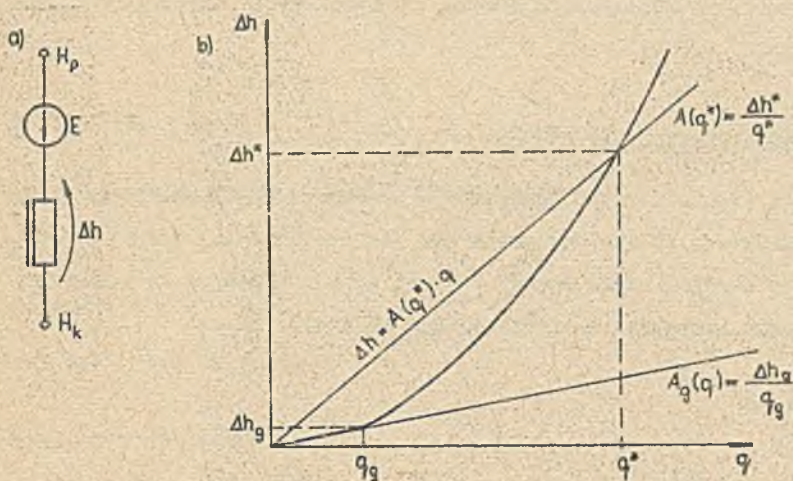
W sumie dla gałęzi sieci będącej szeregowym połączeniem w n elementów można przyjąć schemat zastępczy przedstawiony na rys.1a, tj. połączenie siły elektromotorycznej E /wynikającej z charakterystyki pompy/ i oporu hydraulicznego nieliniowego /odpowiadającego odcinkowi rurociągu, oporowi miejscowemu oraz oporowi zastępczemu pompy/. Równanie /4/ charakterystyki gałęzi uogólnionej można zapisać jako:

$$H_p - H_k = \Delta h(q) - E, \quad /9/$$

gdzie $\Delta h(q)$ oznacza spadek ciśnienia na zastępczym oporze.

$$\Delta h = \left[\frac{B l \lambda}{\pi^2 g d^5} + \frac{B z}{\pi^2 g d^4} + a \right] \cdot q_v^2 = f(q). \quad /10/$$

Typowa charakterystyka oporu hydraulicznego gałęzi przedstawiona jest na rys.1b; w zakresie przepływów turbulentnych na postać w przybliżeniu kwadratową / λ - zależy dodatkowo od Re /.



Rys.1 a/ schemat zastępczy gałęzi sieci,
b/ typowe charakterystyka oporu hydraulicznego gałęzi,
interpretacja oporu statycznego A .

Definiuje się hydrauliczny opór statyczny gałęzi A/q^* w punkcie pracy $[\Delta h^*, q^*]$ jako

$$A/q^* = \frac{\Delta h^*}{q^*} \quad /11/$$

Dla przepływów turbulentnych $q > q_g$ (gdzie q_g odpowiada granicznej liczbie Reynoldsa $Re_g = 2320$) wielkość A jest funkcją przepływu. Z kolei dla mniejszych przepływów $q \leq q_g$ przyjmuje się, że charakterystyka oporu hydraulicznego $\Delta h = f/q$ jest liniowa, zaś opór A jest stały i wynosi

$$A_g/q = \frac{\Delta h_g}{q_g} = \text{const.} \quad /12/$$

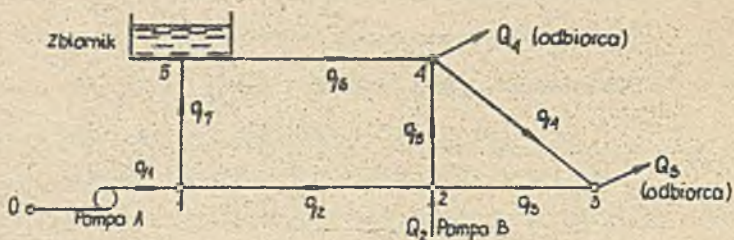
Ostatecznie równanie charakterystyki statycznej i-tej gałęzi sieci /9/ można zapisać jako

$$H_p - H_k = A_1/q_1/ \cdot q_1 - B_1 \quad /13/$$

Opracowany model fizyczny sieci zawiera równania w postaci /1/, /3/, /13/ odpowiednio dla węzłów normalnych, zbiorników i gałęzi sieci.

3. Macierzowy zapis modelu

Model fizyczny jest pamiętany w pamięci m.c. w postaci macierzowej. Strukturę modelu otrzymuje się bezpośrednio ze schematu sieci, stosując bardzo proste reguły kodowania [8]. Zostanie to pokazane na prostym przykładzie sieci podanym na rys.2.



Rys.2 Schemat przykładowej sieci.

Fragment sieci zawiera 5 węzłów normalnych /0+4/, 1 zbiornik i 7 gałęzi. Jeden z węzłów /0/ przyjmuje się za węzeł odniesienia, dla którego dane jest ciśnienie - poziom odniesienia H_0 . Można pokazać, że nie traci się na ogólności modelu, gdy założyć $H_0 = 0$. Wtedy pozostałe ciśnienia węzłowe oraz poziomy wody w zbiornikach są liczone względem tego poziomu odniesienia. Równania charakterystyk

dla gałęzi są następujące:

$$\left. \begin{array}{l} \Delta_1/q_1 \cdot q_1 + H_1 = E_1 \\ \Delta_2/q_2 \cdot q_2 + H_2 - H_1 = 0 \\ \vdots \\ \Delta_7/q_7 \cdot q_7 + H_5 - H_1 = 0 \end{array} \right\} /14/$$

Dla węzłów normalnych ważne jest I prawo Kirchoffa:

$$\left. \begin{array}{l} q_1 - q_2 - q_7 = 0 \\ \dots \\ -q_4 + q_5 + q_6 = q_4 \end{array} \right\} /15/$$

natomiast dla zbiornika:

$$-q_6 + q_7 = S_5 \cdot \dot{H}_5 \quad /16/$$

Równanie I prawa Kirchoffa dla węzła zerowego nie wchodzi do modelu, ponieważ jest ono kombinacją liniową równań /15/ dla pozostałych węzłów.

Podany układ równań może być zapisany w bardziej zwartej formie:

	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5	q_6	q_7	H_1	H_2	H_3	H_4	H_5		E	Q	\dot{V}_E	
1	Δ_1							1					$\cdot X =$	E_1			
2		Δ_2						-1	1					0	0	0	
3			Δ_3					-1	1					0	0	0	
4				Δ_4						1	-1			0	0	0	
5					Δ_5			-1		1				0	0	0	
6						Δ_6					1	-1		0	0	0	
7							Δ_7	-1						0	0	0	
8	1	-1													0		
9			1	-1	-1										$-S_5 \cdot \dot{H}_5$		
10				1	1					0					0	0	
11					-1	1	1								0	0	
12						-1	1								0	$S_5 \cdot \dot{H}_5$	

Jest to układ nieliniowy, bo opory hydrauliczne A_i są funkcjami przepływów. Uogólniając wyniki dla sieci zaopatrzenia w wodę, która zawięra M gałęzi i N_1 węzłów /w tym N węzłów normalnych oraz (N_1-N) zbiorników/ model fizyczny da się zapisać w postaci macierzowej:

$$\left\{ \begin{array}{l} \underline{A} \cdot \underline{X}_1 + \underline{B}_1 \cdot \underline{X}_2 + \underline{B}_2 \cdot \underline{H}_z = \underline{E} \quad /M \text{ równań/} \quad /17/ \\ \underline{B}_1^T \cdot \underline{X}_1 = \underline{Q}_1 \quad /N \text{ równań/} \quad /18/ \\ \underline{B}_2^T \cdot \underline{X}_1 = \underline{Q}_2 + \underline{S} \cdot \underline{H}_z \quad /N_1-N \text{ równań/} \quad /19/ \end{array} \right.$$

gdzie: $\underline{X}_1 = [q_1, q_2, \dots, q_M]^T$ - wektor przepływów gałęziowych,
 $\underline{X}_2 = [H_1, H_2, \dots, H_N]^T$ - wektor ciśnień węzłowych,
 $\underline{H}_z = [H_{N+1}, \dots, H_{N_1}]^T$ - wektor poziomów wody w zbiornikach,
 $\underline{E} = [E_1, E_2, \dots, E_M]^T$ - wektor zastępczych SEM,
 $\underline{Q}_1 = [Q_1, Q_2, \dots, Q_N]^T$ i $\underline{Q}_2 = [Q_{N+1}, \dots, Q_{N_1}]^T$ - wektory poborów wody odpowiednio z węzłów normalnych i zbiorników,
 $\underline{A} = \text{diag} [A_1, A_2, \dots, A_M]$ - macierz oporów hydraulicznych gałęzi,
 $\underline{S} = \text{diag} [S_{N+1}, S_{N+2}, \dots, S_{N_1}]$ - macierz powierzchni zbiorników,
 \underline{B}_1 i \underline{B}_2 - macierze opisujące strukturę sieci. Elementami tych macierzy są liczby: 0, 1 lub -1.

Jest to najbardziej ogólny zapis modelu; po przekształceniu można otrzymać inne postaci. Przy zapisie modelu w pamięci komputera wykorzystano szczególne własności macierzy w nim występujących /diagonalność \underline{A} i \underline{S} , rzadkość \underline{B}_1 , \underline{B}_2 itd/, przez co oszczędza się pamięć i czas obliczeń.

4. Obliczenia hydrauliczne sieci dla stanu ustalonego

Jednorazowe rozwiązanie sieci dla stanu ustalonego polega na wyliczeniu przepływów wody w gałęziach i ciśnień w węzłach przy zadanych wymuszeniach i parametrach sieci. Dane są:

- pobory wody $\underline{Q} = [Q_1, Q_2]^T$,
- poziom wody w zbiornikach \underline{H}_z ,
- dane do wyliczenia oporów hydraulicznych \underline{A} ,
- wymuszenia: E , dane o charakterystykach pomp, położeniu zasuw itp.

Niewiadomymi są $\underline{X1}$ oraz $\underline{X2}$ /w sumie M+N-niewiadomych/. Można wyznaczyć je z układu /17/ /18/ zawierającego M+N równań skalarnych, w tym M-nieliniowych. Do rozwiązania układu równań zastosowano metodę iteracyjną, tzw. aproksymacji po siecznej, zbliżoną do metody zastosowanej w [3]. Poniżej podano krótki opis metody iteracyjnego rozwiązywania układu; odpowiada temu schemat blokowy na rys.3 i interpretacja graficzna na rys.4.

- krok "0" -

Przyjmuje się początkowe przybliżenia przepływów $\underline{X1}/_0$; odpowiadające przeciętnej liczbie Reynoldsa $Re_N = 6 \cdot 10^5$. Stan licznika iteracji ustalony zostaje na $k = 0$.

- krok "1" -

Dane jest k-te przybliżenie przepływów $\underline{X1}/_k$. Oblicza się odpowiadające opory hydrauliczne gałęzi \underline{A}_k wg wz. /11/ lub /12/.

- krok "2" -

Rozwiązuje się układ równań /17/, /18/ przy założeniu stałości $\underline{A} = \underline{A}_k$, dzięki czemu jest to układ liniowy. Otrzymuje się /k+1/-sze przybliżenie ciśnień $\underline{X2}/_{k+1}$ i przepływów $\underline{X1}/_{k+1}$:

$$\underline{X2}/_{k+1} = \underline{B1}^T \cdot \underline{A}_k^{-1} \cdot \underline{B1}/^{-1} \cdot [\underline{B1}^T \underline{A}_k^{-1} (\underline{E} - \underline{B2} \cdot \underline{H}_z) - \underline{Q1}] \quad /20/$$

$$\underline{X1}/_{k+1} = \underline{A}_k^{-1} \cdot [\underline{E} - \underline{B2} \cdot \underline{H}_z - \underline{B1} \cdot \underline{X2}/_{k+1}] \quad /21/$$

Można również obliczyć spadki ciśnień na oporach hydraulicznych gałęzi wynikające z wyliczonych /20/ ciśnień węzłowych:

$$\Delta h_{k+1} = \underline{E} - \underline{B2} \cdot \underline{H}_z - \underline{B1}/\underline{X2}/_{k+1} \quad /22/$$

Na rys.4 otrzymane rozwiązanie odpowiada punktowi $\Delta h_{k+1}, q_{k+1}^*$.

- krok "3" -

Rzeczywiste spadki ciśnienia na oporze Δh_{k+1}^* wyliczone dla każdej gałęzi ze wzoru /10/ różnią się od obliczonych w kroku 2. Bada się, czy błąd przybliżenia jest mniejszy od zadanej dokładności ϵ , tj.:

$$\Delta h_{k+1} - \Delta h_{k+1}^* \leq \epsilon \quad /23/$$

Gdy warunek /23/ jest spełniony dla każdej gałęzi $i = 1, 2, \dots, M$, wtedy uzyskane przybliżenia $\underline{X1}^*$ i $\underline{X2}$ są rozwiązaniami końcowymi; w przeciwnym wypadku realizuje się krok "4".

- krok "4" -

Zwiększa się stan licznika iteracji $k = k+1$ i proces iteracyjnego rozwiązywania jest kontynuowany. Przed przejściem do kroku 1 usku-
alnia się przepływy gałęziowe. Za kolejne początkowe przybliżenie

przepływu w gałęzi sieci przyjmuje się średnią geometryczną wartości otrzymanej po ostatniej iteracji q_{k+1}^* i przed nią q_k , tj.:

$$q_{k+1} = \sqrt{q_{k+1}^* \cdot q_k} \quad /24/$$

Łatwo uzasadnić, że przy kwadratowej zależności $\Delta h = f/q$, nowe przybliżenie q_{k+1} odpowiada punktowi charakterystyki, dla którego spadek ciśnienia wynosi Δh_{k+1} . Powyższą modyfikację /24/ wprowadzono w czasie próbnych obliczeń i pozwoliło to znacznie zmniejszyć liczbę iteracji.

Przy realizacji komputerowej algorytmu rozwiązywania sieci wykorzystano własności występujących macierzy. Między innymi opracowano specjalne procedury mnożenia i odwracania macierzy rzadkich; w rezultacie uzyskano skuteczne zmniejszenie czasu obliczeń.

5. Metoda symulacji sieci zaopatrzenia w wodę

Zasadniczym celem opracowania modelu fizycznego sieci dystrybucji wody jest symulacja pracy i sterowania siecią w pewnym horyzoncie czasu T, np. doby czy tygodnia. Poniżej podano ogólne zasady dla opracowanego algorytmu symulacji.

Okres czasu O+T należy podzielić na dostatecznie małe odcinki czasu Δt /np. 1 godz./, w których można założyć stan ustalony sieci, tzn. stałość wymuszeń, poborów wody przez odbiorców i przyjęć za stałe poziomy wody w zbiornikach. Obliczenia składają się z tylu etapów, na ile został podzielony przedział czasu O+T.

W każdym etapie znane są: wymuszenia, pobory wody przez odbiorców, początkowe poziomy wody w zbiornikach. Dla tych danych rozwiązuje się sieć, jak w p.4, tzn. oblicza ciśnienia i przepływy w gałęziach. Z kolei z układu /19/ zawierającego N1 - N równań wyznacza się niewiadome pochodne \dot{H}_z poziomów wody w zbiornikach

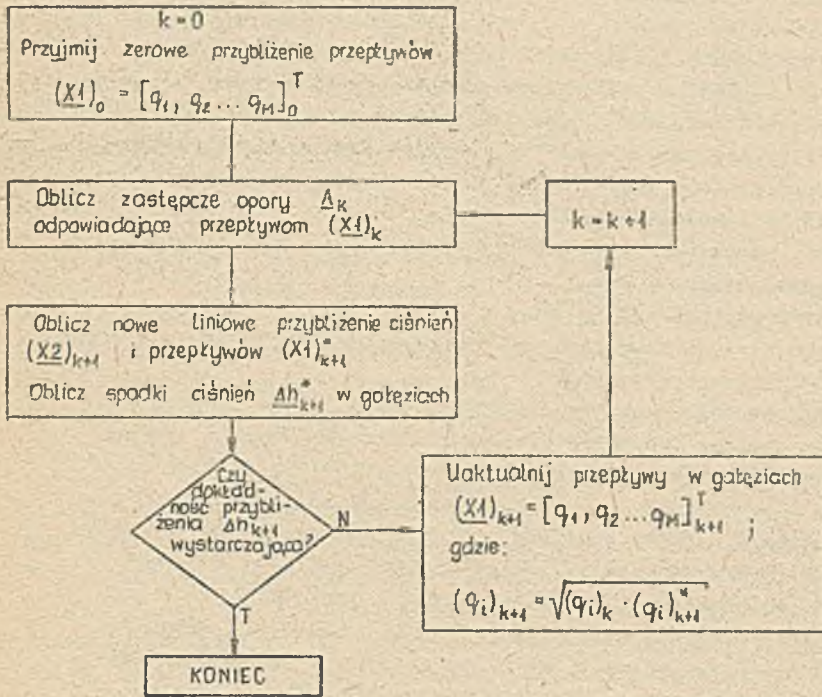
$$\dot{H}_z = S^{-1} \cdot /B2^T \cdot X1 - Q2/ \quad /25/$$

Korzystając z zależności $\dot{H}_z = \Delta H_z / \Delta t$ oblicza się przyrosty poziomów

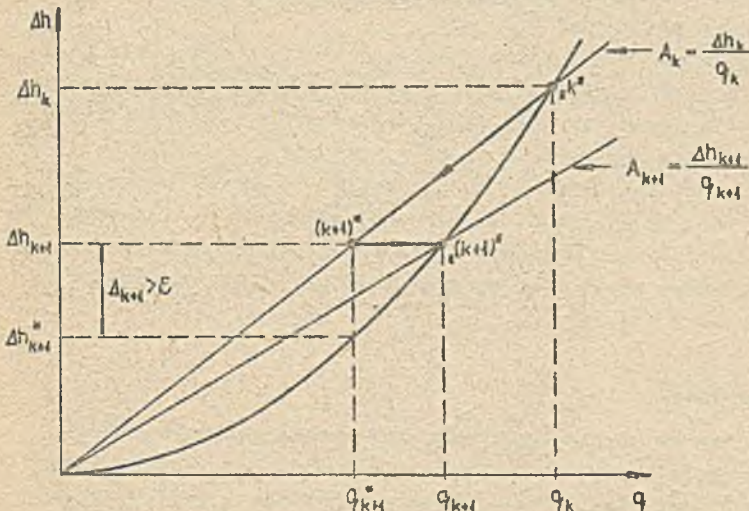
$$\Delta H_z = \dot{H}_z \cdot \Delta t \quad /26/$$

a następnie końcowe poziomy wody w zbiornikach po danym etapie symulacji jako

$$/H_z/_{k+1} = /H_z/_{p} + \Delta H_z \quad /27/$$



Rys.3 Schemat blokowy algorytmu rozwiązywania sieci



Rys.4 Interpretacja graficzna iteracyjnego rozwiązywania

Uzyskane rozwiązania są jednocześnie warunkami początkowymi w kolejnym etapie symulacji.

W każdym kroku sprawdza się, czy są spełnione ograniczenia dla ciśnień węzłowych i dopuszczalne poziomy wody w zbiornikach. Bada się i uwzględnia wzajemne położenie zwierciadła wody w zbiornikach względem rurociągów odprowadzających i doprowadzających wodę.

Zgodnie z podanymi zesełami opracowano program "WODA" symulacji sieci zaopatrzenia w wodę [8]. W danych do programu podaje się:

- odpowiednio zakodowany schemat sieci,
- parametry potrzebne do zbudowania modelu sieci /np. długości rurociągów, średnice itp./
- początkowe poziomy wody w zbiornikach,
- przebiegi czasowe poborów wody /prognozy poborów/ przez odbiorców w zadanym okresie symulacji,
- przebiegi czasowe sterowań /np. stany pomp, zaworów itp./

Program oblicza i drukuje przebiegi czasowe ciśnień w węzłach sieci, poziomów wody w zbiornikach i przepływów w gałęziach sieci. Budane są i sygnalizowane przekroczenia ograniczeń dla zmiennych. W szczególnym przypadku algorytm może być zastosowany do jednorazowych obliczeń hydraulicznych. Program został napisany w języku "FORTRAN", uruchomiony i sprawdzony na m.c. Odra 1305.

O zajętości pamięci m.c. decyduje liczba węzłów normalnych N . Dla komputera zawierającego pamięć operacyjną 64 k możliwe jest wykonanie obliczeń sieci o liczbie węzłów ok. 230. Czas obliczeń zależy od:

- liczby etapów symulacji na jaki podzielono okres $O+T$,
- liczby iteracji w każdym etapie,
- czasu obliczeń dla [jednej iteracji].

Opracowana metoda rozwiązywania sieci charakteryzuje się szybkością, liczbą iteracji w każdym etapie symulacji wynosi od kilku do kilkunastu, co jest wynikiem lepszym od podanego w [3].

Wykonano przykładowo obliczenia między innymi dla fragmentu rzeczywistej sieci magistralnej zaopatrzenia w wodę GOP Wschód [6]. Sieć ta zawierała 65 węzłów normalnych, 5 zbiorników i 87 gałęzi. Sumaryczny czas obliczeń w jednym kroku symulacji wynosił ok. 30 [s]. Dla innego schematu sieci o 20 węzłach i 30 gałęziach odpowiedni czas wynosił ok. 7 [s].

6. Uwagi końcowe

Dotychczasowe obliczenia wykonane przy pomocy programu "WODA" wskazują, że spełnia postawione wymagania i może być wykorzystywany zarówno przy projektowaniu sieci wodociagowych, jak i przy rozwiązywaniu różnych problemów z zakresu sterowania systemem zaopatrzenia

w wodę. Przygotowanie danych do programu jest proste i sprowadza się do zakodowania odpowiedniego schematu sieci. Program charakteryzuje się stosunkowo krótkim czasem obliczeń.

Opracowane są dodatkowe procedury do programu "WODA", między innymi podprogram generowania rozbiórów wody w czasie dla różnego typu odbiorców [9]. Pozwala to uprościć przygotowanie danych do obliczeń i rozszerzyć możliwości zastosowania algorytmu.

Literatura

- [1] Gbryszewski T. "Wodociągi", Warszawa, PWN, 1975 r.
- [2] Szablek S. "Obliczenia hydrauliczne instalacji do transportu cieczy. HPPC, Warszawa 1973 r. /niepublikowane/.
- [3] Collins A.G., Johnson R.L. "Finite Element Method for Water Distribution Networks". Journal AWWA, July 1975 r.
- [4] Mielcarzewicz E.W. "Obliczenia systemów zaopatrzenia w wodę", Arkady, Warszawa 1977 r.
- [5] Abramow N. "Teoria i Metodika Rosceta Sistem Podači i Raspredelenija Wody", Moskwa 1972 r.
- [6] Rożałowska R., Malicka K. "Sprawozdanie z pracy NB-438/340/RI-1 "Wytyczne do projektowania wodociągu Skawa" Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska Pol. Śl. Gliwice 1976 r. /niepublikowane/.
- [7] Lisak L., Żelezik J. "Sformułowanie modelu fizycznego i wybór metody badań modelowych". Sprawozd. z pracy NB-170/RAU1/76.. Cz.I. Inst. Automatyki Pol. Śl. Gliwice 1977 r.
- [8] Żelezik J. "Model fizyczny sieci dystrybucji wody i badania symulacyjne" Sprawozdanie z pracy NB-170 Inst. Automatyki Pol. Śl. Gliwice, 1980 r. /niepublikowane/.
- [9] Wałach Z. "Symulacja algorytmów sterowania fragmentem magistralnej sieci zaopatrzenia w wodę GOP przy wykorzystaniu modelu fizycznego. Praca dyplomowa na Wydziale Automatyki i Informatyki Pol. Śl. /w przygotowaniu/ Gliwice 1981 r.
- [10] Gilman M.D., i in. "Replication Modeling for Water - Distribution Control". Journal AWWA, April 1973.

АЛГОРИТМ СИМУЛИРОВАНИЯ СЕТЕЙ СНАБЖЕНИЯ ВОДОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ.

Резюме :

В работе оговорено физическую модель сети распределения воды. На этом основании разработано алгоритм и программу расчёта "РОДА" предназначенную между прочим для симуляционных испытаний управления водоснабжением в заданном периоде времени с учётом различных стратегий и меняющимся запросе на воду.

AN ALGORITHM OF SIMULATION OF THE WATER DISTRIBUTION NETWORK BASING ON PHYSICAL MODEL

The paper presents the physical model of a water distribution network. Basing on this model an algorithm and a computational programme have been worked out. This programme is intended at being used for simulation researches of a water supply control for different control strategies and varying demands.