

Janina SZEBESZCZYK  
INSTYTUT AUTOMATYKI  
POLITECHNIKA ŚLĄSKA

#### SYMULACYJNE BADANIA REALIZACJI OPTYMALNYCH HARMONOGRAMÓW PRACY STACJI UZDATNIANIA WODY

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono wyniki symulacyjnych badań algorytmów harmonogramowania, opracowanych dla jednej ze stacji wodociągowych zaopatrujących w wodę GOP. Określono możliwości zmniejszenia kosztów zużycia energii w SUW w wyniku realizacji sterowania pracą pomp i filtrów zgodnie z optymalnymi harmonogramami. Przeanalizowano wpływ losowych zmian poborów wody względem wartości zaplanowanych na możliwości realizacji wyznaczonych harmonogramów pracy SUW.

#### 1. Wprowadzenie

W pracach [1],[2],[3] przedstawiono metodę i algorytm wyznaczania harmonogramów pracy stacji uzdatniania wody (SUW) w oparciu o minimalizację dobowego, zmiennego kosztu zużycia energii elektrycznej. Zastosowano dwuetapowy algorytm optymalizacji oparty na programowaniu liniowym i programowaniu rozdzielnym. Optymalizację realizuje się dla zadanych wartości zapotrzebowania na wodę odbiorców w ciągu rozpatrywanej doby. Wartości planowanych poborów wody są wprowadzane do problemu optymalizacyjnego w postaci ograniczeń. Jako ograniczenia traktowane są również wymagania technologiczne SUW, dotyczące :

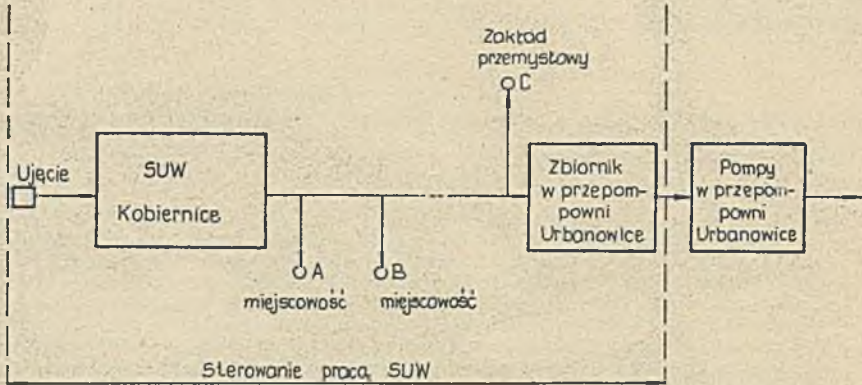
- wartości dopuszczalnych zmian objętości wody gromadzonej w zbiornikach,
- maksymalnej długości filtrocyclu,
- maksymalnych wydajności pompowni wody surowej, uzdatnionej i płucznej.

#### 2. Wpływ dobowego rozkładu poborów wody na koszt zużycia energii w SUW

Opracowaną metodę optymalizacji zastosowano do wyznaczania dobowych harmonogramów pracy SUW w Kobiernicach. Główny ciąg technologiczny tej stacji wodociągowej stanowią : ujęcie, pompownia wody surowej, zbiorniki wstępnego oczyszczania, stacja filtrów kontaktowych, zbiorniki wody uzdatnionej oraz pompownia wody uzdatnionej. Woda do płukania filtrów jest

przepompowywana przez pompy wody płucznej ze zbiorników wody uzdatnionej do zbiorników wody płucznej.

Na rys.1 przedstawiono schemat układu wodociągowego zaopatrywanego przez SUW Kobiernice.



Rys.1. Schemat układu wodociągowego Kobiernice-Urbanowice

Ponieważ SUW Kobiernice jest jedyną stacją wodociągową dostarczającą wodę do przepompowni Urbanowice, przy formułowaniu zadania optymalizacji potraktowano zbiornik dolny w tej pompowni jako zbiornik zewnętrzny SUW. Przyjęto, że ilości wody, które stacja wodociągowa powinna w określonych przedziałach czasu dostarczyć odbiorcom zaopatrywanym z rurociągu Kobiernice-Urbanowice oraz do zespołu pomp w pompowni Urbanowice, stanowią wartości zadane. Wartości te mogą ulegać zmianom w zależności od pory roku, dnia tygodnia oraz od stanu całego systemu wodociągowego GOP. Z tego względu oszacowanie możliwości zmniejszenia dobowego kosztu energii elektrycznej w SUW dzięki zastosowaniu zaproponowanej metody harmonogramowania można przeprowadzić wyznaczając harmonogramy pracy SUW dla szeregu zróżnicowanych dobowych rozkładów poborów wody. Przyjęto przy tym stałą, wynikającą z danych eksploatacyjnych, wartość dobowej produkcji wody w SUW. Ponieważ ok. 98% produkcji SUW jest dostarczane do pompowni Urbanowice, w obliczeniach nie uwzględniono zmian rozkładów poborów wody przez odbiorców zaopatrywanych z rurociągu Kobiernice-Urbanowice. Dobowe rozkłady tych poborów, z uwzględnieniem typu każdego z odbiorców, przyjęto na podstawie opracowania [4], zakładając zarazem, że wymagane jest zaspokojenie maksymalnego zapotrzebowania dobowego. Harmonogramy pracy SUW wyznaczono dla 15 różnych dobowych rozkładów poborów wody ze zbiornika w Urbanowicach. Ze względu na dopuszczalną częstość załączania i wyłąc-

czania pomp w obliczeniach przyjęto podział doby na 12 okresów 2-godzinnych. Dobierając poszczególne zestawy testowe uwzględniono różnorodne przebiegi możliwych zmian poborów wody w ciągu doby, a więc między innymi: równomierny rozkład poborów, rozkład jak dla odbiorców typu wielofunkcyjnego miasta [4], rozkład uzyskany w wyniku analizy układu wodociągowego: pompownia Urbanowice, pompownia Paproćany, zbiornik Mikołów [5]. W modelu matematycznym SUW zastosowano eksploatacyjne parametry filtrów i rurociągów. Jako dobowy zmienny koszt pompowania wody w SUW przyjęto wartość opłat za energię czynną pobieraną w ciągu doby przez pompy wody surowej, uzdatnionej i płucznej. Obliczenia przeprowadzono dla doby, w której występuje największa liczba godzin szczytu energetycznego. Przeanalizowano również możliwość realizacji i obliczono dobowe koszty energii w przypadku realizacji przyjętych zestawów testowych przy sterowaniu tradycyjnym, tj. wg następujących zasad:

- płukania filtrów realizowane są w stałych, określonych terminach,
- w zbiornikach wody uzdatnionej SUW Kobiernice oraz w zbiornikach w Urbanowicach utrzymywany jest w przybliżeniu stały, bliski maksymalnemu poziom wody.

Porównanie dobowych zmiennych kosztów pompowania wody w SUW przy sterowaniu metodą tradycyjną oraz w oparciu o wyznaczone w wyniku optymalizacji harmonogramy przedstawiono w tabl.1.

Przyjęte testowe zestawy dobowych rozkładów poborów wody ze zbiornika w Urbanowicach przedstawiono na rys.2.

Otrzymane wyniki pozwalają wnioskować, że dla wszystkich, charakteryzujących się znaczną różnorodnością, przebiegów zmian poborów wody, sterowanie według wyznaczonego harmonogramu winno umożliwić zmniejszenie dobowego kosztu energii elektrycznej. Średnie obniżenie tego kosztu wynosi około 5.600 zł/dobę, co stanowi ok. 30 % kosztu ponieszonego przy sterowaniu tradycyjnym. Ponadto należy zauważyć, że realizacja niektórych zaplanowanych dobowych rozkładów poborów wody zgodnie z tradycyjną metodą sterowania wymagać będzie odstąpienia od zasady utrzymywania w zbiornikach w Urbanowicach stałej, bliskiej wartości maksymalnej objętości wody.

### 3. Możliwości realizacji harmonogramów pracy SUW przy losowych

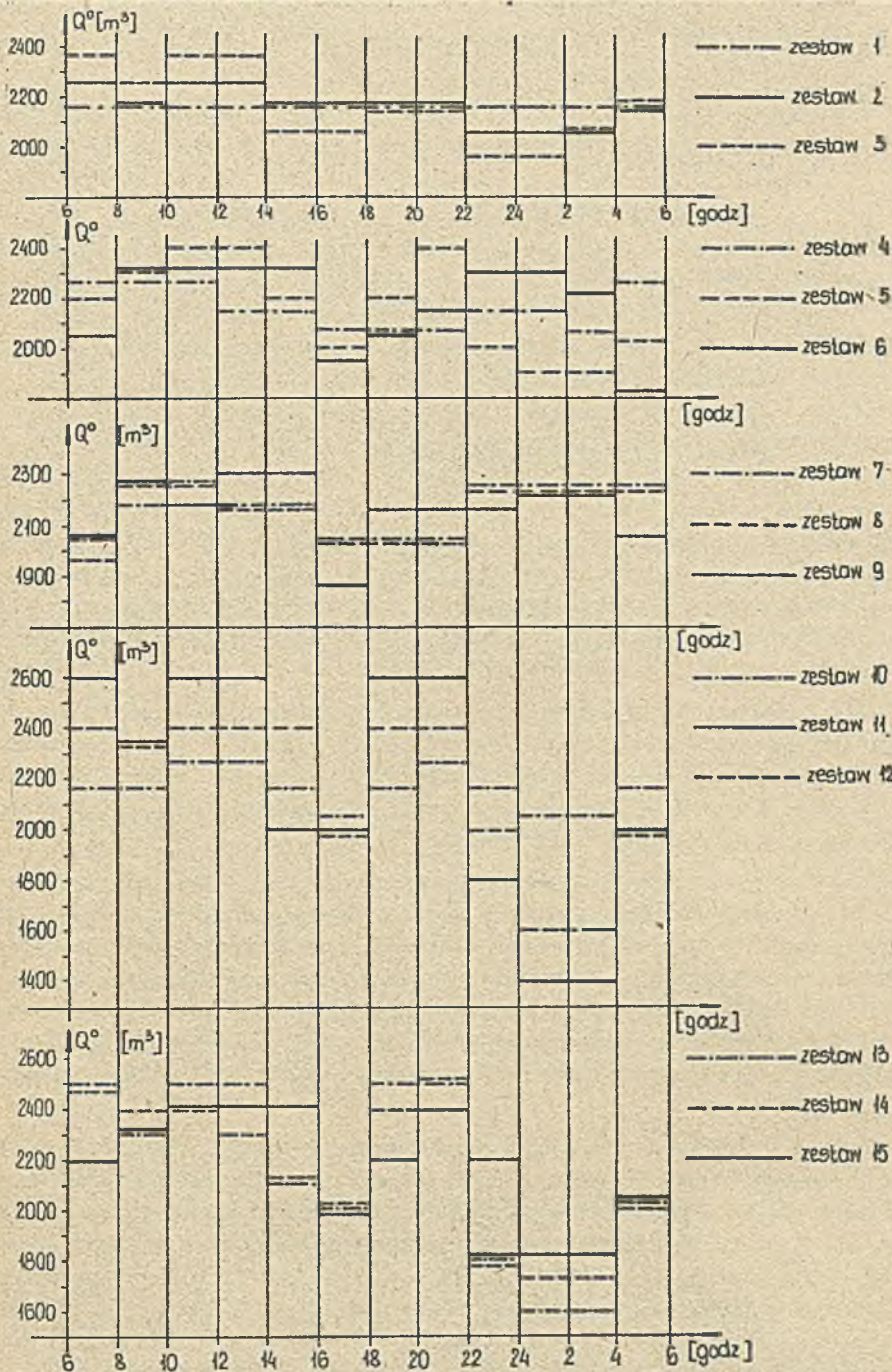
#### zmianach poborów wody przez odbiorców

Dla zbadania przebiegu realizacji wyznaczonych harmonogramów pracy SUW przy zmianach poborów względem wartości zaplanowanych, przeprowadzono symulację poborów wody przez odbiorców zaopatrywanych z rurociągu Kobiernice-Urbanowice oraz ze zbiornika w Urbanowicach. Z powodu braku danych eksploatacyjnych o zmianach poborów wody w ciągu doby przez poszczególnych odbiorców, konieczne stało się wygenerowanie losowych wartości poborów. Przyjęto, że pobory każdego z odbiorców w każdym z okresów harmonogramowa-

Nr zestawu testowego	Dobowy zmienny koszt zużycia energii elektrycznej w SUW [zł] przy sterowaniu :		Zmniejszenie kosztu dobowego wekutek zastosowania harmonogramowania pracy SUW		Uwagi
	metodą tradycyjną	według optymalnych harmonogramów	zł	%	
1	16372	12180	4192	25,6	
2	17033	11164	5869	34,5	
3	18872	12395	6477	34,3	
4	17101	12311	4790	28	
5	18463	12349	6114	33,1	
6	14648	12427	2221	15,2	
7	16996	12342	4656	27,4	
8	17097	12308	4789	28	
9	15518	12366	3152	20,3	
10	16645	12291	4354	26,2	
11	22008	15332	6676	30,3	x/ 8,12,14, 20,22
12	21851	13373	8478	38,8	
13	21503	14120	7383	34,3	x/ 8,12,14, 20,22
14	23171	13020	10151	43,8	x/ 8, 22
15	18874	13722	5152	37,5	
		średnio :	5630	30,5	

x/ dla realizacji zaplanowanych poborów przy sterowaniu metodą tradycyjną wymagane jest zmniejszenie objętości wody zgromadzonej w zbiorniku Urbanowice w godz.....

Tablica 1. Dobowy koszt zużycia energii elektrycznej na pompowanie wody w SUW Kobiernice przy sterowaniu metodą tradycyjną oraz według optymalnych harmonogramów



Rys. 2. Dobowe rozkłady poborów wody ze zbiornika w Urbanowicach - zestawy testowe

nia, na jakie podzielono dobę są niezależne i mają rozkład :

$$Q_{nk}^{r'} = N ( Q_{nk}^o , 0,017 Q_{nk}^o ) \quad /1/$$

$$\text{dla } n = 1, \dots, 4$$

$$k = 1, \dots, 12,$$

gdzie :

n - numer odbiorcy,

k - numer okresu harmonogramowania,

$Q_{nk}^r$  - objętość wody pobierana przez n-tego odbiorcę w k-tym okresie harmonogramowania [m<sup>3</sup>],

$Q_{nk}^o$  - zaplanowana wartość poboru wody przez n-tego odbiorcę w k-tym okresie harmonogramowania [m<sup>3</sup>].

W rozpatrywanym układzie wodociągowym ok. 98 % produkcji SUW Kobiernice jest dostarczane do pompowni w Urbanowicach, która pompuje wodę do zawierającej zbiorniki terenowe sieci wodociągowej o dużej liczbie odbiorców. Powyższy fakt oraz uśrednianie krótkotrwałych zmian poborów w ciągu 2-godzinnych okresów harmonogramowania uzasadniają przyjęcie stosunkowo małej wartości wariancji okresowych poborów wody.

Dla każdego z 15 harmonogramów pracy SUW zrealizowano po 100 symulacji poborów wody. Pozwoliło to na uzyskanie informacji o przekroczeniach minimalnych i maksymalnych (dopuszczalnych ze względów technologicznych i eksploatacyjnych) objętości wody w zbiorniku Urbanowice przy założeniu pracy SUW wg wyznaczonego harmonogramu.

Dla 9 z 15 przebadanych harmonogramów stwierdzono małą częstość przekroczeń wynoszącą, średnio 0,77 % . W tych przypadkach można więc uznać, że przy zakłóceniach o założonych własnościach sterowanie wg wyznaczonego harmonogramu winno zapewnić prawidłowe działanie rozpatrywanego układu wodociągowego. Jednakże dla niektórych z przyjętych dobowych rozkładów poborów wody przekroczenie granicznych poziomów wody w zbiorniku wskutek zakłóceń w poborach występowały dość często (średnia częstość przekroczeń ok. 30 %).

Jednym z możliwych rozwiązań jest w takiej sytuacji dokonanie zmiany realizowanego harmonogramu przy przekroczeniu określonych poziomów wody w zbiorniku. Zmiana harmonogramu może polegać zarówno na jego uaktualnieniu, tj. ponownym wyznaczeniu z uwzględnieniem aktualnego stanu procesu, jak i na przyjęciu heurystycznych zasad sterowania nie zapewniających minimalizacji kosztów. Wartości poziomów wody w zbiorniku, po przekroczeniu których należy zmienić realizowany harmonogram, można wyznaczyć znając rozkłady prawdopodobieństwa poborów wody przez odbiorców.

Przyjmując określony zależnością /1/ rozkład poborów oraz zakładając zaspokojenie zapotrzebowania odbiorców w przedziale :

$$Q_{nk}^r \in \langle Q_{nk}^o - 0,05 Q_{nk}^o, Q_{nk}^o + 0,05 Q_{nk}^o \rangle \quad \begin{array}{l} \text{dla } n = 1, \dots, 4 \\ k = 1, \dots, 12 \end{array}$$

dla każdego z okresów harmonogramowania wyznaczono dopuszczalne, nie wymagające zmiany harmonogramu zakresy zmian objętości wody w zbiorniku Urbanowice.

Dolną granicę dopuszczalnego w danym okresie harmonogramowania zakresu obliczono uwzględniając warunek dostarczenia odbiorcom gwarantowanych ilości wody we wszystkich następnym okresach. Górną granicę zakresu dopuszczalnego w danym okresie stanowi natomiast minimalna objętość wody, dla której mimo założenia maksymalnych poborów w wyniku realizacji przyjętego harmonogramu w okresie następnym wystąpi przelew wody ze zbiornika. W wyniku symulacji stwierdzono, że dla przyjętego modelu zakłóceń średni czas pracy SUW, po upływie którego może wystąpić przekroczenie dopuszczalnych zakresów zmian objętości wody w zbiorniku Urbanowice, wynosi ok. 16 godzin.

Aby uniknąć konieczności dokonywania zmian harmonogramu można również znając rozkład zakłóceń, wyznaczyć harmonogram pracy SUW dla takich zaplanowanych poborów wody, przy których przewidywana częstość przekroczeń dopuszczalnego zakresu zmian objętości wody w zbiorniku będzie dostatecznie mała.

#### 4. Wnioski

Wyniki badań symulacyjnych pozwalają stwierdzić, że optymalizacja harmonogramowania pracy SUW według zaproponowanej metody daje możliwość znacznego zmniejszenia dobowego kosztu energii elektrycznej. Analiza pracy SUW w obecności zakłóceń spowodowanych zmianami poborów wody względem wartości zaplanowanych wskazuje na konieczność realizacji pomiarów poborów celem wyznaczenia rzeczywistych rozkładów zmian okresowych poborów wody w ciągu doby przez poszczególnych odbiorców. Dane te winny stanowić podstawę do wyznaczania zaplanowanych poborów wody z SUW oraz dopuszczalnych zakresów zmian objętości wody w zbiorniku zewnętrznym.

#### LITERATURA

- [1] J.SZEBESZCZYK : Operatywne sterowanie pracą stacji uzdatniania wody. Praca doktorska. Gliwice 1982. (niepublikowana).
- [2] J.Szebeszczyk : Możliwości operatywnego sterowania pracą stacji uzdatniania wody. Zesz.Nauk.Pol.Śl., Automatyka, zesz.60, Gliwice 1981.
- [3] J.Szebeszczyk : The optimal Scheduling Method of the Water Treatment Plant. First International I.A.S.T.E.D. Symposium on Applied Informatics, Lille, France, 1983.

- [4] Wytyczne do programowania zapotrzebowania wody i ilości ścieków w miejskich jednostkach osadniczych. Ministerstwo Administracji, Gospodarki Terenowej i Ochrony Środowiska. Warszawa 1978 (niepublikowane).
- [5] Wojtyła A. : Sterowanie rozpiływem wody w wybranym wycinku sieci wodociągowej na terenie GOP. Praca dyplomowa. Gliwice 1981 (niepublikowana).

#### МАШИННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО СОСТАВЛЕНИЮ ОПТИМАЛЬНЫХ ГРАФИКОВ РАБОТ УТИЛИЗАЦИОННОЙ СТАНЦИИ

/ Резюме /

В работе представлены результаты машинного исследования графиков работ, составляемых для одной из водопроводных станции, снабжающих водой Верхнесилезский Промышленный Округ. Определено возможности понижения стоимости расхода энергии на утилизационной станции в следствии применения управления водонапорных и фильтровых сооружений, согласно оптимальным графикам работ. Дан анализ влияния случайных изменений расходов воды, по отношению к запланированным, на возможности в реализации установленных графиков работ утилизационной станции.

#### SIMULATION OF REALIZATION OF AN OPTIMAL SCHEDULES FOR A WATER TREATMENT STATION WORK

Summary. In the paper some results of simulation of the scheduling algorithms elaborated for the water treatment station which supplies GOP are presented. Possibilities of an increasing of the energy costs in the water treatment plant are indicated. They result from the realization of the control process for pumps and filters according to the optimal schedules. The result of random changes of water consumption in comparison to predicted demands on the realization possibilities of the proposed schedules is analyzed.