

Janina SZEBESZCZYK
Instytut Automatyki
Politechnika Śląska

MOŻLIWOŚCI OPERATYWNEGO STEROWANIA PRACĄ STACJI UZDATNIANIA WODY

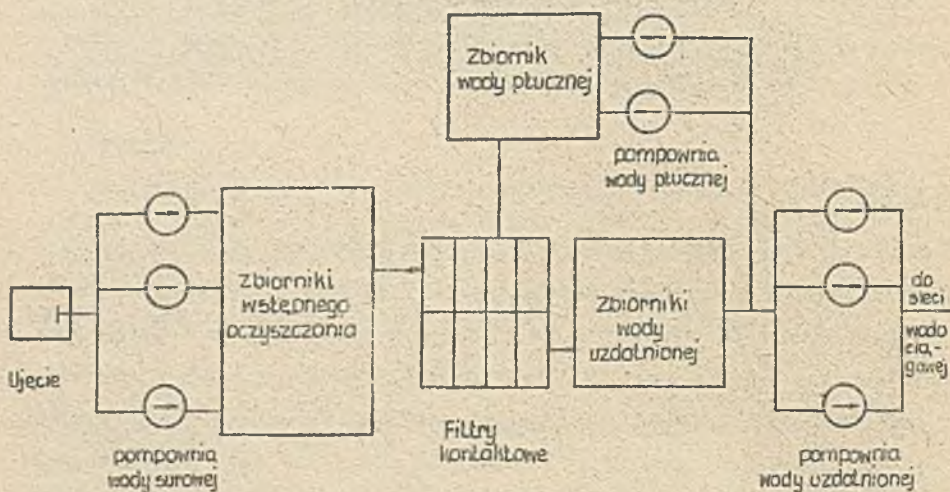
Streszczenie. W artykule przedstawiono metodę rozwiązania problemu operatywnego sterowania pracą stacji uzdatniania wody. Jako cel operatywnego sterowania przyjęto zapewnienie możliwości dostarczenia odbiorcom określonych ilości wody przy minimalnym jednostkowym zmiennym koszcie produkcji. Omówiono metodę wyznaczania dobowych harmonogramów pracy urządzeń stacji oraz przedstawiono wyniki obliczeń numerycznych zrealizowanych na przykładzie SUW Kobiernice.

1. W s t ę p

Zadanie stacji uzdatniania wody (SUW), jako jednego z obiektów systemu zaopatrzenia w wodę, można najogólniej określić jako zaspokojenie zapotrzebowania na wodę odbiorców. Zgodnie z przyjętą strukturą układu sterowania zaopatrzeniem w wodę [1] określenie wielkości okresowych poborów wody przez poszczególnych odbiorców jest realizowane na nadrzędnym poziomie sterowania. Celem optymalnego sterowania pracą SUW jest zapewnienie możliwości dostarczenia odbiorcom określonych ilości wody przy minimalnym jednostkowym zmiennym koszcie produkcji [2], [3]. Jako odbiorcy wody z rozpatrywanej stacji uzdatniania traktowane są obiekty pobierające wodę z jej rurociągów wylotowych bądź ze zbiorników zaopatrywanych w wodę wyłącznie przez tę stację. Z powyższego założenia wynika, że jeżeli w sieci wodociągowej występują zbiorniki zasilane przez jedną stację uzdatniania, to w zadaniu sterowania pracą SUW zawarte jest również sterowanie pracą współpracujących z nią zbiorników.

2. Technologia produkcji wody w SUW z filtrami kontaktowymi

Zadanie operatywnego sterowania pracą SUW zostanie przedstawione na przykładzie obiektu, w którym zasadniczy proces uzdatniania jest realizowany w filtrach kontaktowych. Uproszczony schemat technologiczny SUW z filtrami kontaktowymi przedstawiono na rys.1.



Rys.1. Uproszczony schemat technologiczny SUW z filtrami kontaktowymi

Prędkość filtracji w każdym z filtrów może być zmieniana w zakresie $0 - v_{max}$. Zanieczyszczone złożo filtracyjne powinno zostać wypłukane. Do płukania używana jest woda uzdatniona, którą pompy wody płuczącej przetłaczają ze zbiornika wody uzdatnionej do zbiornika wody płuczącej. Przyjęto, że sterowanie wydajnością pompowni wody surowej i pompowni wody uzdatnionej realizuje się poprzez zmianę czasu pracy pomp oraz przez regulację dławieniową. Wydajność pompowni wody płuczącej jest sterowana przez

dobór czasu pracy pomp.

3. Realizacja zadania sterowania pracą SUW w układzie wielowarstwowym

Wprowadzenie podziału czynności sterowania umożliwia wyodrębnienie w układzie sterowania pracą SUW trzech warstw : adaptacji, optymalizacji i sterowania bezpośredniego [4] .

Zadanie minimalizacji zmiennego kosztu pracy SUW przy określonych ograniczeniach jest realizowane w warstwach adaptacji i optymalizacji.

W warstwie adaptacji powinny być wyznaczane następujące parametry procesu produkcji wody :

- średnia dobowa prędkość filtracji,
- optymalna długość filtrocyklu,
- optymalne dawki reagentów,
- czas płukania jednego filtru.

Ponadto przewiduje się uaktualnianie charakterystyk pomp i rurociągów.

Zadaniem warstwy optymalizacji jest minimalizacja dobowego kosztu energii elektrycznej zużywanej w procesach pompowania wody surowej, uzdatnionej i płucznej. Jako wynik optymalizacji otrzymuje się dobowe harmonogramy pracy poszczególnych pompowni oraz stacji filtrów. Optymalizacja jest realizowana dla zadanych z poziomu nadrzędnego wartości okresowych poborów wody przez odbiorców. Ponadto, wartościami zadanymi dla warstwy optymalizacji są następujące wielkości określane na podstawie wyników adaptacji :

- najpóźniejsze terminy płukań filtrów w rozpatrywanej dobie,
- minimalna liczba filtrów, które powinny pracować w ciągu rozpatrywanej doby,
- objętość wody zużywana do wypłukania jednego filtru.

Korzyść z wprowadzenia podziału zadania minimalizacji kosztu pracy SUW na zadania warstwy adaptacji i optymalizacji polega na możliwości przedstawienia modelu obiektu w postaci znacznie ułatwiającej przeprowadzenie bieżącej optymalizacji. Horyzont optymalizacji dla zadań warstwy adaptacji jest dłuższy niż dla zadań warstwy optymalizacji. Przykładowo, średnią częstość wyznaczania optymalnej długości filtrocyklu przy pracy w wa-

runkach typowych dla średniorocznej jakości wody surowej można oszacować jako 1 tydzień - 1 miesiąc. Zakłócenie stanowi tu zmiana jakości wody surowej względem jakości prognozowanej. Natomiast zadanie wyznaczania harmonogramów pracy urządzeń SUW powinno być realizowane z horyzontem 1 doby ze względu na możliwość zmian poborów w porównaniu do ich wartości określonych na poziomie nadrzędnym.

Zadaniem warstwy sterowania bezpośredniego jest realizacja harmonogramów pracy SUW wyznaczanych w warstwie optymalizacji. W tym celu dla poszczególnych procesów jednostkowych stosowane są odpowiednie układy regulacji. Podstawowymi zadaniami sterowania bezpośredniego w SUW z filtrami kontaktowymi są :

- sterowanie zakłączaniem i wyłączeniem zespołów pompowych,
- regulacja wydajności pomp,
- regulacja wydajności komór filtracyjnych,
- realizacja procesu płukania filtrów,
- regulacja wydajności urządzeń przygotowania i dozowania reagentów,
- regulacja wydajności chloratorów.

4. Metoda wyznaczania dobowych harmonogramów pracy SUW

Wyznaczenie optymalnego dobowego harmonogramu pracy SUW można przedstawić jako następujący problem optymalizacyjny

$$\min_Q F = \min_{Q_{jk}} \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^l P_{jk}(Q_{jk}) \cdot c_k \cdot \Delta t_k \dots \quad /1/$$

przy ograniczeniach :

$$Q_{jk \min} < Q_{jk} < Q_{jk \max} \quad \begin{matrix} j = 1, 2, 3 \\ k = 1, \dots, l \end{matrix}$$

$$V_{11} = V_1$$

$$V_{21} = V_2$$

/2/

$$V_{1k \min} < V_{1k} < V_{1k \max} \quad k = 2, \dots, l$$

$$V_{2k \min} < V_{2k} < V_{2k \max} \quad k = 2, \dots, l$$

$$V_{1k} - V_{1(k+1)} + Q_{1k} - Q_{2k} - Q_{3k} = 0 \quad k = 1, \dots, l$$

$$V_{2k} - V_{2(k+1)} + Q_{2k} = Q_{0k} \quad k = 1, \dots, l$$

$$\sum_{k=1}^l Q_{3k} = n_p \cdot V_p,$$

gdzie : l - liczba okresów harmonogramowania,

$$\Delta t_k = \frac{24}{l} \text{ [godz.]},$$

j - wskaźnik określający pompownie. Przyjęto, że :

$j = 1$ - dot. pompowni wody surowej,

$j = 2$ - dot. " " uzdatnionej,

$j = 3$ - dot. " " płucznej,

k - wskaźnik określający numer kolejny okresu harmonogramowania,

Q_{jk} - wydatek j -tej pompowni w okresie k -tym [m^3],

P_{jk} - pobór mocy przez j -tą pompownię w okresie k -tym [kW],

c_k - cena energii elektrycznej w okresie k -tym [zł/kWh],

V_{1k} - objętość wody w zbiorniku wody uzdatnionej na początku okresu k -tego [m^3],

V_{2k} - objętość wody w zbiorniku zewnętrznym na początku okresu k -tego [m^3],

n_p - liczba filtrów, które powinny zostać wypłukane w ciągu rozpatrywanej doby,

V_p - objętość wody zużywanej do wypłukania jednego filtra [m^3],

Q_{0k} - sumaryczny pobór wody przez odbiorców w okresie k -tym [m^3].

Charakterystyki poboru mocy przez pompownie : wody surowej i wody uzdatnionej ($P_{1k}(Q_{1k})$ i $P_{2k}(Q_{2k})$ dla $k = 1, \dots, l$) są nieciągłymi funkcjami wydajności tych pompowni. Przyczynę nieciągłości stanowi skokowy wzrost poboru mocy przy włączaniu kolejnych zespołów pompowych. W praktyce funkcje te można zastąpić przez funkcje ciągłe, niewypukłe, nie zmieniając zasadniczo rozpatrywanego problemu. Pobór mocy przez pompownię wodny płucznej ($P_{3k}(Q_{3k})$ dla $k = 1, \dots, l$) jest wprost proporcjonalny do wydajności tej pompowni.

Zagadnienie opisane zależnościami /1/ /2/ dotyczy więc minimalizacji funkcji niewypukłej, przy czym rozwiązania dopuszczalne tworzą zbiór wypukły. Ponieważ każdy ze składników $P_{jk} \cdot c_k \cdot \Delta t_k$ minimalizowanej funkcji kosztów jest funkcją pojedynczego argumentu Q_{jk} , do rozwiązania rozpatrywanego problemu można zastosować metodę programowania rozdzielnego.

W tym celu zagadnienie /1/ zastąpiono przez :

$$\min_{\Delta} F' = \min_{\lambda_{ijk}} \sum_{k=1}^3 \sum_{j=1}^3 \sum_{i=0}^{r_{jk}} \beta_{ijk} \lambda_{ijk} \dots, \quad /3/$$

natomiast w ograniczeniach /2/ wprowadzono :

$$Q_{jk} = \sum_{i=0}^{r_{jk}} \alpha_{ijk} \lambda_{ijk}, \quad /4/$$

$$\sum_{i=0}^{r_{jk}} \lambda_{ijk} = 1 \quad j = 1, 2, 3 \quad k = 1, \dots, l \quad /5/$$

$$\lambda_{ijk} \geq 0 \quad i = 0, \dots, r_{jk}, \quad j = 1, 2, 3 \quad k = 1, \dots, l \quad /6/$$

Zagadnienie /3/ jest liniowe wtedy i tylko wtedy, gdy dla każdej pary j, k co najwyżej dwie ze zmiennych : λ_{ijk} , $\lambda_{(i+1)jk}$ lub $\lambda_{(i-1)jk}$, λ_{ijk} (dla $i = 0, \dots, r_{jk}$) są dodatnie.

Umożliwia to rozwiązanie przedstawionego problemu przy pomocy metody simpleks ze zmodyfikowaną procedurą wyboru zmiennych do bazy, tj. tzw. metodą programowania rozdzielnego [5]. Ponieważ minimalizowana funkcja /3/ nie jest wypukła, uzyskane rozwiązanie może stanowić optimum lokalne. Celem wyeliminowania większości optimum lokalnych oraz uzyskania przybliżonego rozwiązania optymalnego zastosowano 2-etapowy algorytm optymalizacji. W etapie pierwszym optymalizuje się wskaźnik jakości uzyskany w wyniku zastosowania przybliżenia poszczególnych niewypukłych składowych funkcji /3/, tj. $P_{jk}(Q_{jk}) c_k \cdot \Delta t_{jk}$ dla $j = 1, 2$

i $k = 1, \dots, 1$ przy pomocy funkcji wypukłych. Zagadnienie to jest rozwiązywane metodą simpleksu. Uzyskane w ten sposób rozwiązanie przybliżone pozwala na zmniejszenie liczby węzłów aproksymacji odcinkowych poszczególnych składników niewypukłej funkcji kosztów [3].

W etapie drugim realizowana jest minimalizacja funkcji :

$$\min_{\lambda} P'' = \min \sum_{k=1}^1 \sum_{j=1}^3 \sum_{i=0}^{P_{jk}} \beta_{ijk} \lambda_{ijk} \quad /7/$$

przy czym

$$P_{jk} < r_{jk}.$$

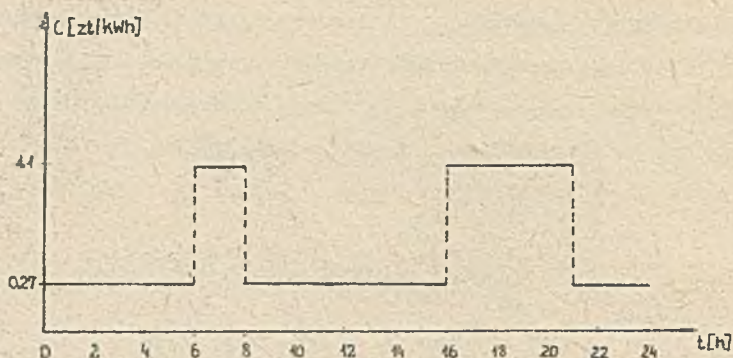
Do rozwiązania powyższego zadania optymalizacji wykorzystuje się metodę programowania rozdzielnego.

5. Wyznaczanie dobowego harmonogramu pracy SUW Kobiernice

Przedstawiona metoda została zastosowana do wyznaczania dobowego harmonogramu pracy SUW Kobiernice. Do obliczeń przyjęto aktualne wartości średnich miesięcznych poborów wody przez poszczególnych odbiorców. Godzinowe rozkłady poborów wody przez odbiorców z rurociągu Kobiernice-Urbanowice przyjęto na podstawie [6], natomiast rozkład poborów godzinowych ze zbiornika w Urbanowicach na podstawie [7]. Ponadto założono, że długość filtrocyclu w rozpatrywanej dobie wynosi 48 godz., a średnia prędkość filtracji 5 [m/s].

Przyjęto okres roku, dla którego występuje największa liczba godzin szczytu w ciągu doby (m-cielistopad, grudzień, styczeń, luty). Na rys.2 przedstawiono cenę energii elektrycznej w poszczególnych godzinach doby w rozpatrywanym okresie.

W pierwszym etapie optymalizacji wyznaczono przybliżone wartości wydatków pompowni: wody surowej, wody uzdatnionej i wody płucznej w poszczególnych okresach harmonogramowania. Celem określenia zależności poboru mocy przez pompownię wody surowej w funkcji wydajności tej pompowni przyjęto aproksymację liniową. Charakterystykę poboru mocy w funkcji wydajności pompowni wody uzdatnionej aproksymowano 3-odcinkową

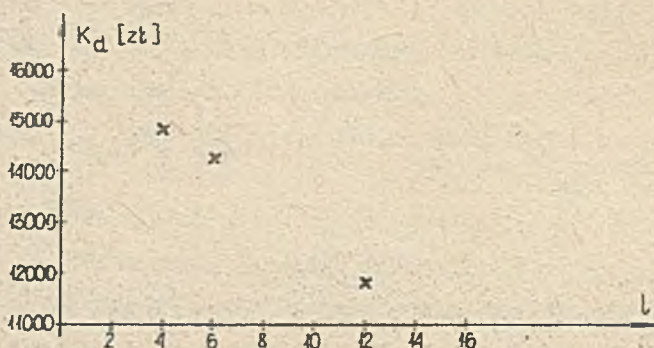


Rys. 2. Cena energii elektrycznej w rozpatrywanym okresie roku

funkcją wypukłą.

W etapie drugim zadanie minimalizacji dobowego kosztu pracy SUW rozwiązano metodą programowania rozdzielnego dla zmniejszonej liczby węzłów aproksymacji poszczególnych składników funkcji kosztów.

Wartości dobowych kosztów pracy SUW Kobiernice w zależności od przyjętej liczby okresów harmonogramowania przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Zależność dobowego kosztu pracy SUW od przyjętej liczby okresów harmonogramowania

Dla porównania, obliczony koszt energii elektrycznej zużywanej w ciągu doby przez pompownię w SUW Kobiernice, przy dotychczas stosowanym sposobie sterowania jej pracą i przy założeniu braku przelewów wynosi ok. 16

6. Podsumowanie

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że w efekcie zastosowania przedstawionej metody harmonogramowania pracy SUW możliwe będzie zmniejszenie dobowych kosztów zmiennych stacji o ok. 25%. Przewiduje się, że dodatkowe zmniejszenie tych kosztów powinna zapewnić realizacja zadań warstwy adaptacji, a w szczególności wyznaczanie optymalnych długości filtrocycli przy uwzględnieniu zmian jakości wody surowej. Dalsze prace powinny dotyczyć sprawdzenia funkcjonowania przedstawionej metody operatywnego sterowania pracą SUW w rzeczywistych warunkach pracy obiektu.

7. Literatura

- [1] J.PIOTROWSKI, U.POCIASK, J.SOBSTEL, J.SZEBESZCZYK: Koncepcja układu sterowania systemem wodno-gospodarczym. Zesz.Nauk.Pol.Śl., Automatyka, zesz.48, Gliwice 1979.
- [2] J.SZEBESZCZYK: Koncepcja sterowania pracą stacji uzdatnienia wody. Zesz.Nauk.Pol.Śl., Automatyka, zesz.48, Gliwice 1979.
- [3] J.SZEBESZCZYK: Harmonogramowanie procesu produkcji wody w stacji uzdatnienia z filtrami kontaktowymi. Zesz.Nauk.Pol.Śl., Automatyka, zesz.55, Gliwice 1980.
- [4] W.FINDEISEN: Wielopozycyjne układy sterowania. PWN, 1974.
- [5] R.L.GRAVES, Ph.WOLFE: Recent Advances in Mathematical Programming McGraw Hill, New York 1963.
- [6] Wytyczne do programowania zapotrzebowania wody i ścieków w miejskich jednostkach osadniczych. Warszawa 1968. (Opracowanie Ministerstwa Administracji, Gospodarki Terenowej i Ochrony Środowiska, Instytut Kształtowania Środowiska).
- [7] U.POCIASK, A.BARGIELA: Model matematyczny i algorytm optymalnego sterowania układem pompownia-rurociąg-zbiornik. Praca NB-170/RAu1/76 Gliwice 1979.

ВОЗМОЖНОСТИ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ СТАНЦИИ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ВОДЫ.

Резюме :

В статье представлено метод решения проблемы оперативного управления станцией приспособления воды. Принято, что цель оперативного управления является обеспечение возможности поставления потребителям определённого количества воды с учётом минимизации переменной составляющей удельной стоимости производства. Представлено метод определения суточных графиков работы оборудования станции а также представлено итоги цифровых расчётов на примере станции Кобиернице.

POSSIBILITIES OF DESIGNING OF THE WATER TREATMENT PLANT DISPATCH CONTROL

Abstract.

A method of solving the dispatch control problem in case of the water treatment plant is being presented. The possibility of supplying of pre-determined amount of water with minimum cost is considered to be the aim of the dispatch control. Both the method of determination of the work schedule of the water treatment plant instalations and the numerical computations for the examplary SUW Kobiernice are being discussed.