

Urszula SZTWIERTNIA-POCIASK

Instytut Automatyki  
Politechniki Śląskiej

## KONCEPCJA UKŁADU STEROWANIA PRZEPOMPOWNIĄ WODY

Streszczenie. Praca dotyczy wielopoziomowego układu sterowania przepompownią wody. Przedstawiono strukturę układu sterowania przepompownią wyposażoną w zbiornik dolny, halę pomp i chlorownię. Jako wielkość zadaną przyjęto wydajność przepompowni, a jako wskaźnik jakości pracy przyjęto koszt przepompowania 1 m<sup>3</sup> wody. Na przykładzie sterowania wydajnością pomp wirkowych omówiono strukturę układu sterowania poprzez regulację prędkości obrotowej, dławienie na rurociągu tłocznym oraz pracę w reżimie załącz-wyłącz.

### 1. Wstęp

Jednym z obiektów systemu wodno-gospodarczego na obszarze Śląska są przepompownie. Koncepcja sterowania systemem, opracowana przez Instytut Automatyki Przemysłowej i Pomiarów Politechniki Śląskiej zakłada, 4-ro poziomową strukturę układu sterowania [1]. Sterowanie obiektami realizowane będzie na poziomie II, a urządzeniami w tych obiektach na poziomie I. Oznacza to, że zagadnienie sterowania przepompownią rozumiane jako sterowanie jednym z obiektów całego systemu wyposażonego w szereg urządzeń będzie realizowane na poziomie I i II.

Na obszarze wodno-gospodarczym GOP jest obecnie 6 przepompowni. Przepompownie te różnią się zadaniami, lokalizacją w strukturze systemu, wydajnością, wyposażeniem oraz obiektami towarzyszącymi. Z punktu widzenia rodzaju pracy przepompownie możemy podzielić na współpracujące ze :

- zbiornikiem dolnym lub górnym,
- zbiornikiem dolnym i górnym,
- bezpośrednio z siecią wodociągową.

Przedstawiona w dalszej części koncepcja sterowania dotyczyć będzie przepompowni o mieszanym charakterze pracy, tzn. współpracującej z dolnym i górnym zbiornikiem oraz tłoczącej część wody bezpośrednio do odbiorników zlokalizowanych na rurociągu łączącym przepompownie ze zbiornikiem górnym.

## 2. Opis schematu technologicznego przepompowni.

Założmy, że :

- przepompownia przetłacza wodę ze stacji wodociągowej do zbiornika górnego,
- woda do zbiornika dolnego przepływowego podawana jest ze stacji wodociągowej grawitacyjnie,
- ze zbiornika dolnego woda jest podawana do hali pomp,
- zespoły pompowe pracują w układzie równoległym na wspólny rurociąg tłoczący wodę do zbiornika górnego,
- przepompownia jest wyposażona w chlorownię.

Przedstawione powyżej założenia ujmują podstawowe urządzenia wchodzące w skład przepompowni. Zbiornik dolny jest wyposażony w upusty dolne i przelewowe, zabezpieczające przed przepełnieniem zbiornika. Zadaniem chloratorów jest dozowanie wody chlorowej do rurociągu dopływowego w zależności od stężenia chloru w wodzie tłocznej. Chlorownia czerpie wodę z rurociągu potrzeb własnych.

Hala pomp jest wyposażona w kilka zespołów pompowych. W skład zespołu pompowego wchodzi silnik napędzający, sprzęgło i pompa wirowa. Schemat przepompowni przedstawiono na rys.1.

## 3. Struktura układu sterowania przepompownią

Zadaniem każdej przepompowni jest przepompowanie określonej ilości wody w jednostce czasu o odpowiednim ciśnieniu.

W sterowaniu przepompownią wielkością zadaną (parametrem wiodącym) może być :

- wydajność przepompowni,
- ciśnienie wody w zadanym punkcie sieci,
- czas pracy przepompowni.

Sterowanie według wydajności polega na takim sterowaniu wydajnością pomp, aby w rurociągu tłocznym w danej chwili czasu uzyskać zadaną wartość natężenia przepływu.

Sterowanie według ciśnienia polega na takim sterowaniu pracą pomp, aby w danej chwili czasu uzyskać zadaną wartość ciśnienia w rurociągu.

Sterowanie według czasu polega na sterowaniu pracą pomp wg harmonogramu. Harmonogram taki powstaje na podstawie danych statystycznych o poborze wody w określonych porach dnia. Ten sposób sterowania w porównaniu z pozostałymi jest mało elastyczny. Nie pozwala na natychmiastowe

dostosowanie się do warunków różnych od założonych w harmonogramie. Metoda ta jest wprawdzie prostsza, ale powoduje z reguły większe zużycie energii. Wynika to z konieczności założenia ciśnień większych (z odpowiednim zapasem) w porównaniu z zapotrzebowaniem.

W przepompowniach objętych układem kompleksowego sterowania celowym jest stosowanie sterowania według wydajności. Z jednej strony umożliwia to dopasowanie pracy pomp w danej chwili czasu do żądanego natężenia przepływu, którego wartość wyznacza się na podstawie znajomości wydajności przepompowni w ciągu doby  $V_d$ . Wartość parametru  $V_d$  jest określona przez poziom III. Z drugiej strony sterowanie według zadanej wydajności w przypadku pomp wirowych (najczęściej stosowanych) jest sterowaniem według jednej wielkości zadanej. Ten sposób sterowania został przyjęty w przedstawionej poniżej koncepcji sterowania przepompownią.

Zadanie sterowania przepompownią można sformułować w następujący sposób: uzyskanie żądanej wydajności  $Q_z$  w danej chwili czasu  $t$ , przy warunku optymalnego wskaźnika jakości  $E_x$  w określonym przedziale czasu, np. w ciągu doby.

Sterowanie przepompownią zostanie rozpatrzone na podstawie schematu przedstawionego na rys.1, gdzie zastosowano oznaczenia:

- $Q'_d = Q_k + Q_{Cl}$  - natężenie wody dopływającej do zbiornika dolnego,
- $Q_p$  - ilość wody przepompowanej przez pompy w jednostce czasu,
- $Q_w = Q_p - Q_o$  - natężenie przepływu w rurociągu tłocznym,
- $Q_z$  - zadana wartość natężenia przepływu w rurociągu tłocznym,
- $Q_o = Q_{Cl} + 0,02 Q'_d$   
0,02  $Q'_d$  zapotrzebowanie własne przepompowni,
- $Q_{Cl}$  - natężenie wody dopływającej do zbiornika z chłowni. Wartość  $Q_{Cl}$  zależy od jakości wody dopływającej ze stacji wodociągowej,
- $Q_u$  - natężenie przepływu w rurociągu upustu,
- $Q_n$  - natężenie przepływu z wieży przelewowej.

Zmiany poziomu wody w zbiorniku dolnym są ograniczone z jednej strony jego wysokością, a z drugiej strony zapowietrzeniem pomp przy zbyt niskim poziomie wody. Zakłada się, że poziom wody w zbiorniku  $h$  musi być zawarty w zakresie  $H_{min} \leq h \leq H_{max}$ .

Zmianę poziomu wody w zbiorniku dolnym przy założeniu  $Q_u = Q_n = 0$  opisuje równanie:

$$Q'_d - Q_p = A_z \frac{dh}{dt} \quad /1/$$

gdzie :  $A_z$  - pole przekroju zbiornika.

Sterowanie pracą pomp będzie wówczas prawidłowe, gdy natężenie przepływu  $Q_w$  w rurociągu tłocznym będzie równe zadanej wartości natężenia przepływu  $Q_z$  oraz nie będzie występowało przepełnienie zbiorników, tzn.

$$\begin{aligned} Q_w &= Q_z \\ Q_u &= Q_n = 0 \end{aligned} \quad /2/$$

Ponieważ otwarcie przelewu ma taki sam wpływ na zmianę poziomu wody w zbiorniku jak otwarcie upustu, przy rozpatrywaniu sterowania można ograniczyć się tylko do jednego z nich.

Zbiornik jest obiektem liniowym, którego model matematyczny na podstawie zależności /1/ można przedstawić w postaci wektorowej

$$\dot{h} = \begin{bmatrix} \frac{1}{A_z} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-f_1(z_1)}{A_z} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{-f_2(z_2)}{A_z} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q'_d \\ z_1 \\ z_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} Q_p \\ Q_u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_1(z_1) & 0 \\ 0 & f_2(z_2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \end{bmatrix}$$

$$\text{przy założeniu } Q_u = \begin{cases} Q_u & \text{dla } h > H_{\max} \\ 0 & \text{dla } h \leq H_{\max} \end{cases}$$

gdzie :

- $z_1, z_2$  - stan otwarcia zaworów w rurociągach wyjściowych ze zbiorników,
- $f_1(z_1)$  - zależność  $Q_p$  od stopnia otwarcia zaworu  $z_1$ ,
- $f_2(z_2)$  - zależność  $Q_u$  od stopnia otwarcia zaworu  $z_2$ .

Wielkością wejściową jest  $Q'_d$ ,  $z_1$  i  $z_2$ . Wielkością wyjściową jest  $Q_p$  i  $Q_u$ . Poziom wody w zbiorniku jest wielkością charakteryzującą stan obiektu.

Warunek /2/ oznacza :

I stabilizację wody w zbiorniku  $\frac{dh}{dt} = 0$  dla  $Q_d = Q_w$ ,

II wzrost poziomu wody w zbiorniku  $\frac{dh}{dt} > 0$  dla  $Q_d > Q_w$ ,

III obniżenie poziomu wody w zbiorniku  $\frac{dh}{dt} < 0$  dla  $Q_d < Q_w$ ,

gdzie :  $Q_d = Q'_d - Q_o$ .

Ponieważ dopuszczalne zmiany poziomu wody w zbiorniku mogą się wahać w granicach  $H_{min} \leq h \leq H_{max}$ , przebieg sterowania pracą przepompowni dla wymienionych powyżej przypadków można rozpatrywać jako proces sterowania poziomem wody w zbiorniku.

Założmy, że przez czas  $\tau_1$  wartość  $Q_d$  i  $Q_w$  nie ulegnie zmianie. Oznaczając przez  $h_0$  początkowy poziom wody w zbiorniku ( $\tau = 0$ ) stan wody po czasie  $\tau_1$  opisuje następujące równanie :

$$h(\tau_1) = h_0 + \Delta h(\tau_1),$$

gdzie :

$$\Delta h(\tau_1) = \int_0^{\tau_1} \frac{Q_d - Q_w}{A_z} dt.$$

Oczywiście dla  $Q_d = Q_w$   $\Delta h(\tau_1) = 0$  i sterowanie może przez cały czas przebiegać zgodnie z zależnością /2/. Natomiast gdy  $Q_d \neq Q_w$ , to po czasie krótszym od  $\tau_1$  poziom wody w zbiorniku może osiągnąć  $H_{min}$  lub  $H_{max}$ . Założmy, że nastąpi to w chwili  $\tau_2$ . Należy wówczas przejść do stanu sterowania, w którym nie będzie spełniony jeden z warunków /2/. I tak dla przypadku II można zwiększyć wydajność pomp, tzn. przejść do stanu, w którym  $\frac{dh}{dt} = 0$  lub też uruchomić upust (przelew). Dla przypadku III możliwe jest tylko zmniejszenie wydajności pomp tak, aby  $\frac{dh}{dt} = 0$ .

Przejsie do stanu stabilizacji poziomu wody w zbiorniku jest możliwe tylko wówczas, gdy

- w czasie  $\tau_2$   $Q_p < Q_p \max$  ( $Q_p \max$  maksymalna wydajność pomp w przepompowni)
- lub  $Q_p > Q_p \min$  ( $Q_p \min$  minimalna wydajność pomp w przepompowni),
- w chwili  $\tau_2$  - zbiornik górny nie jest pełny.

Globalny wskaźnik jakości pracy przepompowni jest funkcją tych wielkości, które mają wpływ na jakość pracy poszczególnych urządzeń, tzn. zbiornika dolnego, pomp i chlorowni. Założmy, że wskaźnik  $E$  jest wskaźnikiem ekonomicznym wyrażonym przez koszt przepompowania  $1 \text{ m}^3$  wody. Podstawą do wydzielenia poziomów sterowania w strukturze układów sterowania jest dekompozycja globalnego wskaźnika jakości na wskaźniki częściowe [3]. Dla przepompowni dekompozycja ta będzie polegała na wyodrębnieniu we wskaźniku  $E$  wskaźników kosztu pracy poszczególnych urządzeń.

Oznaczmy przez :

- $k_1$  - wskaźnik kosztu pracy urządzeń sterujących wpływem wody ze zbiornika w przeliczeniu na  $1 \text{ m}^3$ ,
- $k_2$  - koszt przepompowania  $1 \text{ m}^3$  wody przez pompy,
- $k_3$  - koszt pracy chloratorów w przeliczeniu na  $1 \text{ m}^3$  wody.

Na koszt przepompowania  $1 \text{ m}^3$  wody składają się koszty eksploatacyjne oraz koszt zużytej energii podczas pracy urządzeń. Koszty eksploatacyjne obejmują koszt konserwacji urządzeń, ogrzewania, oświetlenia, obsługi itd. W literaturze krajowej brak jest globalnych wskaźników ich oceny. W literaturze amerykańskiej koszt ten określa się w następujący sposób [1] :

$$k_e = (850 P'_z + 8 P_z^{1,05}) \Delta t,$$

gdzie :

$$P'_z = 0,85 P_z,$$

$P_z$  - moc zainstalowana,

$\Delta t$  - czas pracy przepompowni.

Koszt energii pobranej przez urządzenia przepompowni jest funkcją wydajności, czyli wartości zadanej natężenia przepływu  $Q_z$  oraz czasu pracy urządzeń.

Udział poszczególnych kosztów we wskaźniku  $E$  zmienia się wraz z wydajnością przepompowni. Przy małych wartościach  $Q_z$  większy udział będą miały koszty eksploatacyjne, a przy dużych - koszt pobranej energii.

Wielkością wejściową, którą otrzymuje układ sterowania z poziomu nadzornego, jest np. dobowo wydajność przepompowni  $V_d$ . Ponadto do układu sterowania należy wprowadzić informację dotyczącą prognozy zapotrzebowania oraz aktualnego stanu zapotrzebowania. Na podstawie tych danych ustala się wartość zadaną natężenia przepływu  $Q_z$  w określonych przedziałach czasu  $\Delta t$ .

Sposób wyznaczania  $Q_z$  zależy od obiektów towarzyszących, z którymi współpracuje przepompownia. Jeżeli przepompownia współpracuje ze zbior-

nikiem górnym, wówczas istnieje możliwość magazynowania przepompowanej wody. Powstaje tu zadanie optymalizacji dynamicznej typu planowania produkcji :

$$\min_{Q_z} \int_{t_0}^{t_0+T} E(Q_z) dt \longrightarrow Q_z = Q_z \text{ opt.}$$

To znaczy optymalną wartość  $Q_z$  w przedziale czasu  $T$  określa się na drodze minimalizacji wskaźnika  $E$ .

Gdy przepompownia nie współpracuje z górnym zbiornikiem, to  $Q_z$  ustala się tylko na podstawie prognoz zapotrzebowania. Zmienna  $Q_z$  jest zmienną koordynacyjną i każdy ze wskaźników częściowych  $k_1, k_2, k_3$  jest jej funkcją.

Każdy ze wskaźników  $k_1, k_2$  i  $k_3$  obejmuje koszty eksploatacyjne oraz koszt energii pobranej podczas pracy urządzeń.

Jak już wcześniej stwierdzono, sterowanie pracą przepompowni można sprowadzić do sterowania poziomem wody w zbiorniku dolnym dla zadanego  $Q_z$ . Energia potrzebna do napędu urządzeń sterujących zasuwami na rurociągach wyjściowych ze zbiorników, będzie funkcją czasu pracy i mocy urządzeń zastosowanych do napędu zasuw. Od położenia zasuw zależy natężenie przepływu w rurociągach ssących pomp  $Q_p$  oraz w rurociągu upustu  $Q_u$ , czyli koszt  $k_1$  jest funkcją  $Q_p, Q_u$  i  $Q_z \text{ opt.}$

Pompy wirowe stanowią grupę urządzeń, dla których energia zużyta na przepompowanie  $1 \text{ m}^3$  zależy od sposobu regulacji wydajności pomp oraz od ilości wody, jaką mają przedompować pompy w założonym okresie czasu  $T$ . Koszt  $k_2$  dla określonej wartości  $Q_z \text{ opt}$  jest funkcją wielkości regulowanych wynikających z przyjętego sposobu regulacji, np. prędkości obrotowej i liczby pracujących pomp (pkt 4). Koszt pracy urządzeń chłowni  $k_3$  zależy przede wszystkim od zadanej wartości stężenia chloru  $\varphi_z$  w wodzie przepompowanej przez przepompownię. Dla zadanego  $Q_z$  na podstawie  $\varphi_z$  określa się ilość dozowanego chloru w czasie  $T$ .

Sterowanie poszczególnych grup urządzeń dla określonej wartości  $Q_z \text{ opt}$  należy tak przeprowadzić, aby wskaźniki kosztu ich pracy w przedziale czasu  $\Delta t_1$  miały wartość minimalną.

Na drodze minimalizacji  $k_1, k_2, k_3$  zostają określone wartości zadane  $c_d$  dla poszczególnych grup urządzeń :

- $c_d^1$  - zadana wartość  $Q_p$  i  $Q_u$  (lub  $Q_n$ ),
- $c_d^2$  - zależnie od przyjętego sposobu regulacji wydajnością pomp (pkt 4),
- $c_d^3$  - stężenie chloru  $\varphi_z$ .

Ponieważ wartość  $Q_z \text{ opt}$  jest stała w przedziale czasu  $T$  oraz przedział  $T$  w tego typu obiektach jest stosunkowo duży, np. 1 godzina, to zagadnienie minimalizacji wskaźników  $k_1, k_2, k_3$  sprowadza się do optymalizacji statycznej. Układy regulacji w poszczególnych urządzeniach są układami stażowartościowymi. W układach tych określa się wyjścia sterujące  $m$  tak, aby wyjścia  $c$  były zgodne z wartościami zadanymi  $c_d$ .

Przy czym :

- $m_1$  - położenie zaworów na rurociągach wyjściowych ze zbiorników,
- $m_2$  - zależnie od przyjętego sposobu regulacji wydajności pomp (pkt 4),
- $m_3$  - zależnie od wyposażenia chlorowni,
- $c^1$  - aktualny poziom wody w zbiorniku,
- $c^2$  - aktualna wydajność pomp,
- $c^3$  - aktualne stężenie chloru  $\varphi_k$ .

Pomiędzy układami sterowania poszczególnymi urządzeniami niezbędna jest koordynacja sterowań. Zmiennymi koordynacyjnymi są :

- dla regulatora 2 - aktualny poziom wody w zbiorniku dolnym,
- dla regulatora 3 - dopływ wody  $Q_k$  i stężenie chloru  $\varphi_k$  w wodzie dopływającej ze stacji wodociągowej.

Przedstawiona powyżej dekompozycja zadania optymalizacji sterowania Wydajnością przepompowni wskazuje na hierarchiczny charakter struktury układu sterowania. Na poziomie wyższym (II) realizowana będzie minimalizacja wskaźnika  $E$ , a na niższym (I) - wskaźników  $k_1, k_2, k_3$ .

Przedstawiony na rys.2 dwupoziomowy układ sterowania zawierać będzie nie tylko podział zadania optymalizacji na zadania częściowe, ale również podział czynności sterowania na czynności objęte poszczególnymi warstwami: warstwą sterowania bezpośredniego, warstwą optymalizacji statycznej, warstwą optymalizacji dynamicznej (dynamiczne planowanie produkcji) oraz warstwą adaptacji [3]. Poszczególne warstwy będą obejmowały następujące czynności (rys.3):

- optymalizacji dynamicznej,  
minimalizacja  $E$  dla określonej  $V_d$  i prognoz zmian  $Q_z$   
 $\min_{Q_z} E \longrightarrow Q_z \text{ opt}$ ,
- optymalizacji statycznej,  
minimalizacja  $k_1, k_2, k_3$  dla  $Q_z = Q_z \text{ opt}$   
 $\min_{Q_p, Q_u} k_1(Q_p, Q_u, Q_z \text{ opt})$ ,



$$\min_{c_d^2} k_2 (c_d^2, Q_z \text{ opt}),$$

$$\min_z k_3 (z, Q_z \text{ opt}),$$

- sterowania bezpośredniego,

ustalenie wejść sterujących  $m(c_d, c)$ , aby wyjścia  $c$  zgodne były z trajektornią zadaną  $c_d$ ,

- adaptacji,

aktualizacja charakterystyk obiektów wykorzystywanych przez algorytmy warstw niższych.

Przedstawiona na rys.3 struktura układu sterowania przepompownią obejmuje sterowanie zbiornikiem dolnym, pompami i chlorownią. Nie wszystkie przepompownie zawierają te trzy grupy urządzeń. Ponadto nie zawsze będzie celowa dekompozycja wskaźnika kosztu  $E$  na wskaźniki częściowe  $k_1, k_2, k_3$ . Jeżeli np. koszt pracy urządzeń sterujących wpływem wody ze zbiornika będzie stały, tzn.  $k_1 = \text{const}$ , to wówczas zbiornik i pompy można traktować jako jedną grupę urządzeń. Zagadnienie optymalizacji będzie się wówczas ograniczało do optymalizacji wskaźnika  $k_2$ . Tak więc przedstawiona powyżej struktura układu sterowania będzie w przypadku niektórych obiektów podlegała uproszczeniu.

#### 4. Struktura układu sterowania pompami

W poprzednim punkcie został przedstawiony układ sterowania całą przepompownią. Na poziomie I tego układu będzie realizowane sterowanie poszczególnymi grupami urządzeń. Spośród tych grup najbardziej złożony charakter mają pompy. Z tego względu jako przykład sterowania na najniższym poziomie zostanie przedstawiony układ sterowania wydajnością pomp wirowych.

Sterowanie wydajnością pomp wirowych może być realizowane poprzez :

- regulację prędkości obrotowej,
- dławienie na rurociągu tłocznym,
- pracę pompy w reżimie załącz-wyłącz.

W zależności od przyjętego sposobu regulacji inne będą wielkości zadane  $c_d^2$  i sterujące  $m^2$ .

Wektor  $c_d^2$  dla wymienionych sposobów regulacji ma następującą postać :

$$\begin{aligned}
 - \text{regulacji prędkości obrotowej} & \quad \begin{bmatrix} c_d^2 \\ \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n_z \\ 1 \end{bmatrix} \\
 - \text{regulacji dławieniowej} & \quad \begin{bmatrix} c_d^2 \\ \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z \\ 1 \end{bmatrix} \\
 - \text{pracy w reżimie załącz-wyłącz} & \quad \begin{bmatrix} c_d^2 \\ \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ \tau_1 \\ \tau_{1+1} \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

gdzie :

- $n_z$  - zadana prędkość obrotowa pomp,
- $1$  - liczba pracujących pomp,
- $z$  - położenie zaworu na rurociągu tłocznym pompy,
- $\tau_1$  - czas pracy pomp,
- $\tau_{1+1}$  - czas pracy  $l+1$  pomp.

Wyjścia sterujące stanowią różne sygnały w zależności od przyjętego sposobu regulacji, np. sygnały załączające i wyłączające poszczególne pompy, sterujące układem regulacji prędkości obrotowej, sterujące położeniem zaworu itp.

W przedstawionej na rys.3 strukturze układu sterowania nie został uwzględniony wpływ zakłóceń oddziałujący na poszczególne urządzenia. W przypadku sterowania wydajnością pomp istotne znaczenie będą miały przede wszystkim zakłócenia powodujące zmianę charakterystyki przepływu  $H = f(Q)$ , [gdzie :  $H$  - wysokość podnoszenia pompy,  $Q$  - natężenie przepływu]; sprawności  $\eta = f(Q)$  [ $\eta$  - sprawność pompy], rurociągu  $H_c = f(Q)$  [straty ciśnienia w rurociągu,] zaworu  $z = f(Q)$  [ $z$  - stopień otwarcia zaworu].

Na skutek oddziaływania tych zakłóceń w warstwie adaptacji realizowana będzie aktualizacja wymienionych charakterystyk oraz wyznaczone będą wektory nastawialnych parametrów  $\beta$  i  $\alpha$ . I tak dla regulacji prędkości obrotowej wektor  $[\beta] = \begin{bmatrix} \tau \\ \mu \end{bmatrix}$  zostanie wyznaczony dla różnych prędkości obrotowych. Dla dwóch pozostałych sposobów regulacji dla obrotów nominalnych warstwa optymalizacji dokonuje wyznaczenia trajektorii zadanej  $c_d^2$  przy użyciu algorytmu minimalizacji  $k_2 = k_2(c_d^2, \eta, H, Q_z \text{ opt})$  o stałej strukturze. W warstwie sterowania bezpośredniego w układzie o stałej strukturze o nastawialnym wektorze parametrów  $\alpha$  odbywa się ustalenie wejść sterujących. Składowymi wektora  $\alpha$  będą np. parametry charakteryzujące zależność  $z = f(Q)$  i  $H_c = f(Q)$ .

Struktura układu sterowania pompami wirowymi została przedstawiona na rys.4.

## 5. Podsumowanie

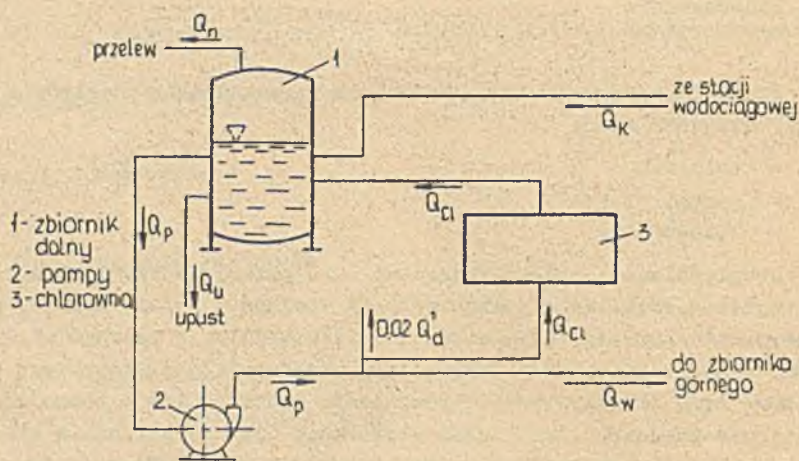
Przedstawiona struktura sterowania przepompownią uwzględnia trzy grupy urządzeń :

- zbiornik,
- pompy,
- chlorownię.

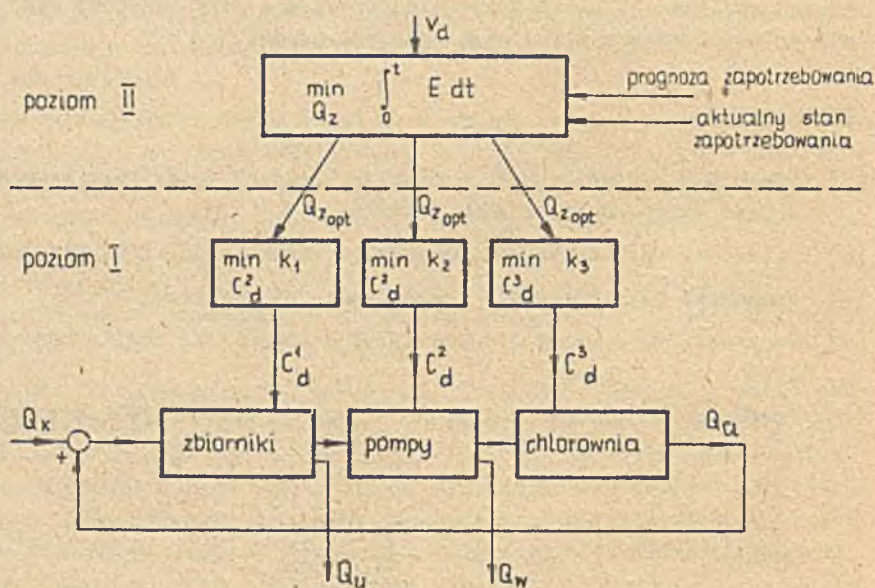
Uwzględnienie dalszych urządzeń (np. przeciwuderzeniowych) oraz szczegółowe określenie poszczególnych wielkości będzie możliwe po przeprowadzeniu pomiarów parametrów i charakterystyk poszczególnych urządzeń. Przedstawiona struktura układu sterowania jest strukturą dwupoziomową oraz trójwarstwową. Wydzielenie dwóch poziomów pozwoliło na wydzielenie poszczególnych zadań sterowania oraz na wskazanie ich wzajemnych powiązań, współzależności i hierarchii celów. Pozwoli to na zmniejszenie pracochłonności regulacji zadania optymalnego sterowania wydajnością przepompowni. Z drugiej strony dokonanie dekompozycji na zadanie częściowe oraz określenie pracochłonności czynności sterowania w poszczególnych warstwach umożliwia prawidłowe określenie środków potrzebnych do ich realizacji. Ma to szczególne znaczenie przy etapowej realizacji układu sterowania systemu wodno-gospodarczego.

## LITERATURA

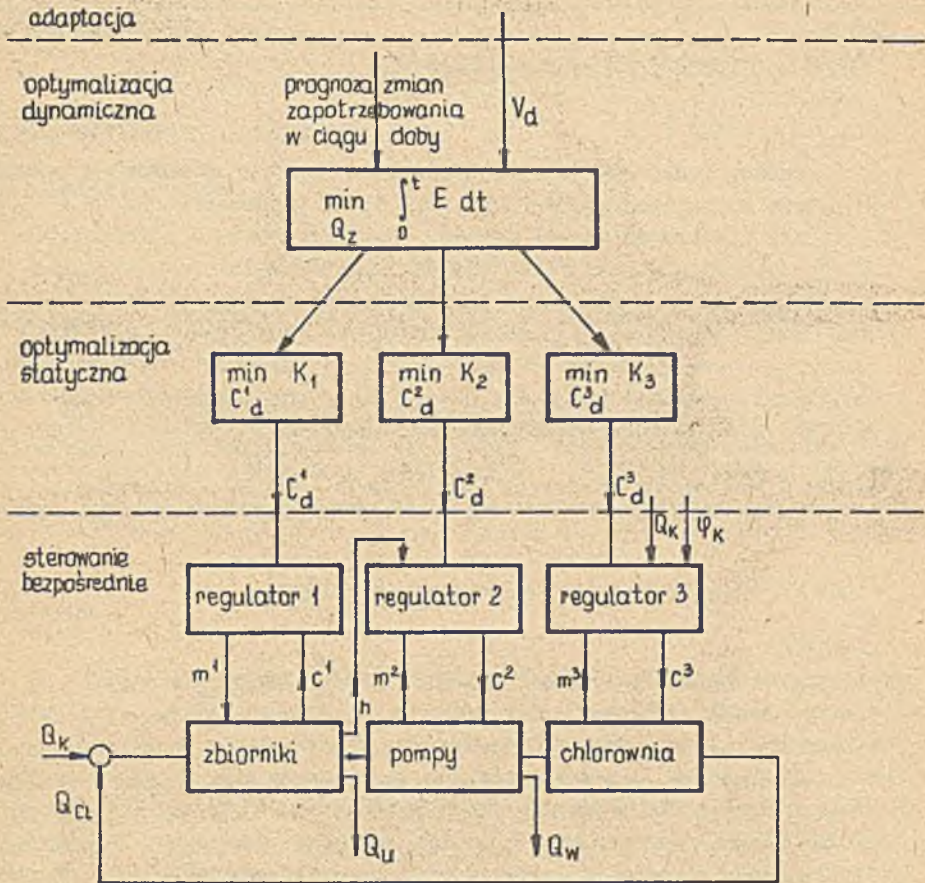
- [1] Singh K.P., Visocky A.P. : Meeting Regional Water Requirements A. Case Study. Journal AWWA 1974/10.
- [2] Findeisen F. : Wielopoziomowe układy sterowania. PWN, Warszawa 1974
- [3] Jankowski F. : Pompownie i urządzenia hydroforowe. Arkady, 1966
- [4] Jankowski F. : Pompy i wentylatory w inżynierii sanitarnej. Arkady, 1975
- [5] Troskolewski T., Łazarkiewicz S. : Pompy wirowe. WNT, Warszawa 1973.



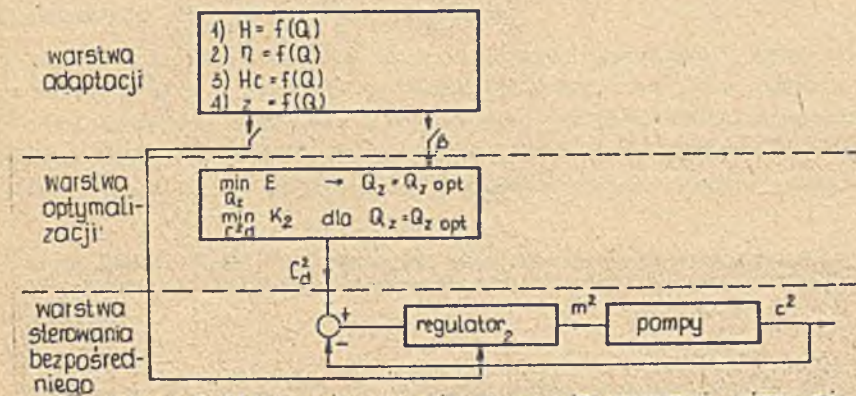
Rys. 1. Uproszczony schemat przepompowni.



Rys. 2. Dwupoziomowa struktura układu sterowania przepompownią.



Rys. 3. Układ sterowania przepompownia, jako układ wielowarstwowy



Rys. 4. Struktura układu sterowania pompami wirowymi.

## КОНЦЕПЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ НАСОСНОЙ СТАНЦИЕЙ

## Р е з ю м е

Работа посвящена многослойной схеме управления насосной станцией. В работе проводится анализ структуры схемы управления насосной станцией содержащей нижний водоём, насосные агрегаты и хлоратор. В качестве заданной величины принято производительность насосной станции. В качестве показателя качества работы принято стоимость  $1 \text{ м}^3$  воды. На примере управления производительностью центробежных насосов проведено анализ структуры схемы управления при управлении скоростью вращения, введением сопротивлений на подающем трубопроводе а также управлении в режиме включен -- выключен.

## IDEA OF A WATER PUMPING STATION CONTROL SYSTEM

Summary

The paper deals with a multi-level control system of a water pumping station. The structure of the control-system is given for a pumping station, that cooperate with the lower reservoir and the chlorination. The output of the pumping-station is taken as the given size and the pumping cost of  $1 \text{ m}^3$  water as the quality-factor of the work. In an example of a regulation of the output of centrifugal pumps, a description is given concerning the structure of the control-system utilising : the controlling of the rotation-speed, the stuffing-box on the pressure-pipe and the "switch on and switch off" system.