

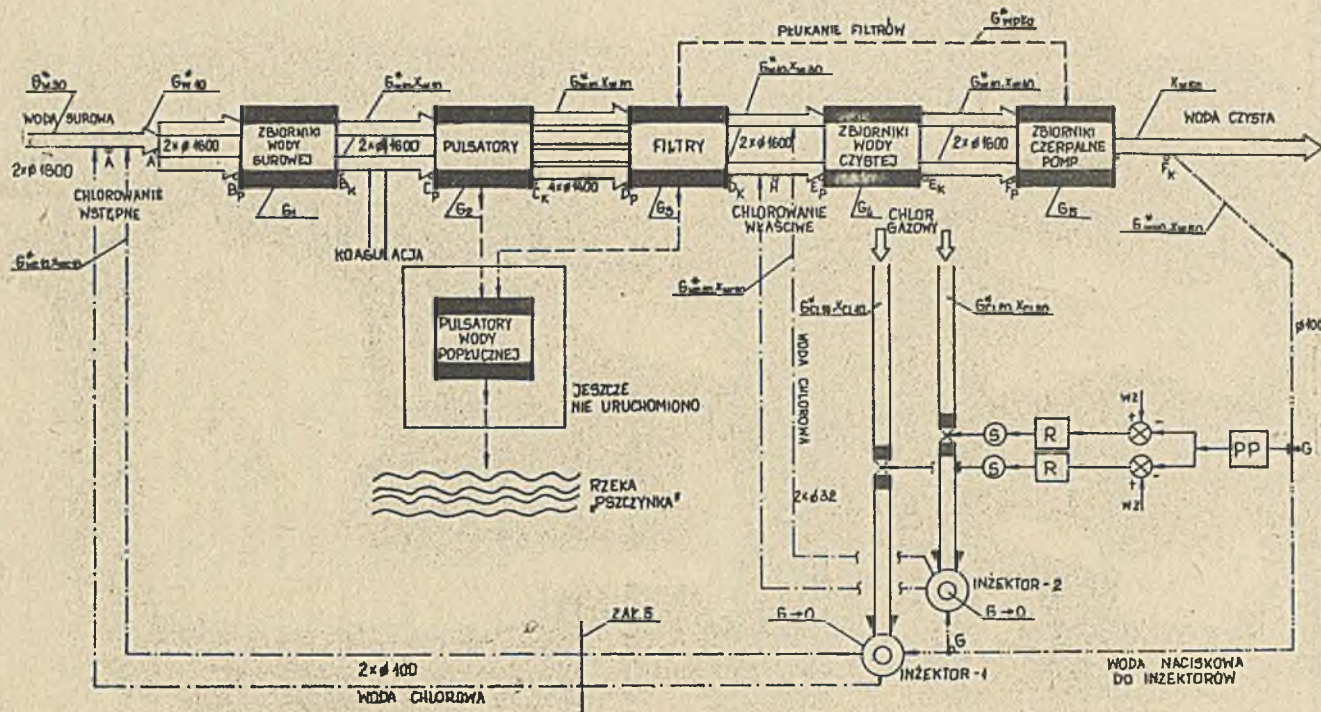
Stanisław KUBIT, Piotr SZOSTOK
Instytut Automatyki
Politechnika Śląska

ZAGADNIENIE AUTOMATYCZNEJ REGULACJI STĘŻENIA CHLORU W WODZIE UZDATNIONEJ
W Z P W GOCZAŁKOWICE

Streszczenie. W referacie przedstawiono technologię ZPW Goczałkowice i omówiono istniejące układy regulacji stężenia chloru w wodzie uzdatnionej. Przeprowadzono analizę stabilności tych układów i zaproponowano struktury poprawnie zaprojektowanych układów, których zastosowanie może zapewnić utrzymanie stałego stężenia chloru w wodzie uzdatnionej.

1. TECHNOLOGIA ZPW GOCZAŁKOWICE

Woda surowa z ujęcia (Zbiornik Goczałkowicki) jest transportowana rurociągiem \varnothing 1800 do zbiorników wody surowej znajdujących się na terenie stacji (ZPW). Zbiorniki te zasilane są również wodą z rzeki Soły, transportowaną grawitacyjnie (z możliwością pompowania) rurociągiem \varnothing 1800. Woda surowa przed podaniem do zbiorników wody surowej jest wstępnie chlorowana. Chlorowanie wstępne poprawiające organoleptyczne własności wody i ułatwiające dalsze uzdatnianie wymaga stosowania dużych dawek chloru ze względu na znaczne zużywanie go na utlenianie związków organicznych obecnych w wodzie surowej. Ze zbiorników wstępnych woda jest doprowadzana dwoma rurociągami \varnothing 1600 do budynku pulsatorów, przechodząc uprzednio przez oddział reagentów, gdzie wprowadzane są do wody siarczany glinu oraz giktar, które to związki posiadają własności koagulacyjne. W procesie pulsacji następuje wstępne oczyszczenie wody z zawieszin stałych. Pulsatory składają się z 8 komór, do których woda doprowadzana jest 2 rurociągami- \varnothing 600 oraz \varnothing 400. Każdy pulsator wyposażony jest w dzwon (komorę dawkującą), w którym wytwarzane jest podciśnienie rzędu 7 [kPa], powodujące cykliczne zasysanie wody, skutkiem czego jej poziom oscyluje w granicach 8 - 20 [mm]. Zawiesziny tworzą osad utrzymujący się na określonej wysokości, który co 1,5 godziny jest odprowadzany. Po pulsacji woda doprowadzana jest czterema rurociągami \varnothing 1400 do budynku filtrów pośpiesznych. W budynku filtrów znajduje się 40 komór podzielonych na 8 grup, przy czym na każde 10 sztuk filtrów jeden stanowi rezerwę. Filtry są cyklicznie płukane strumieniem



Rys.1. Schemat technologiczny ZPW Goczałkowice ze szczególnym uwzględnieniem chlorowania

wody czystej. Woda przefiltrowana poddana zostaje dezynfekcji właściwej, po czym gromadzona jest w zbiornikach wody czystej, skąd rozprowadzana jest do odbiorców.

2. CHLOROWANIE

Chlorowanie, będące jedną z najczęściej stosowanych metod dezynfekcji wody, polega na wprowadzeniu do wody chloru lub jego związków w celu utlenienia zawartych w niej substancji organicznych a także żelaza, manganu, amoniaku. Po utlenieniu w wodzie może pozostać tzw. pozostały użyteczny chlor, który może występować jako wolny chlor lub chlor związany.

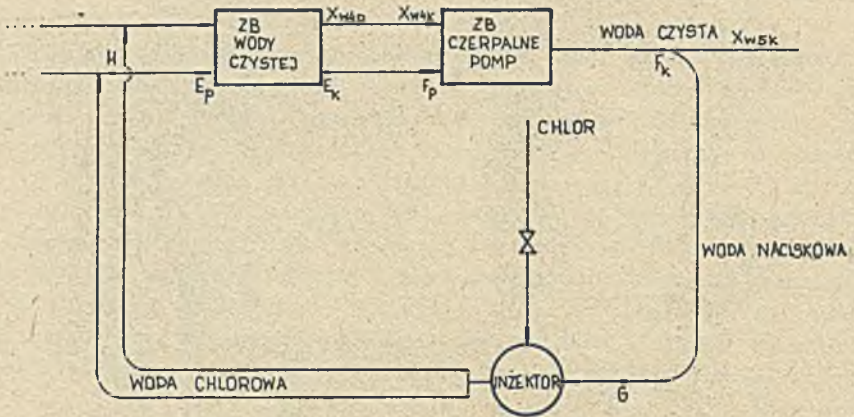
Chlor wolny występuje jako kwas podchlorawy (HClO) lub anion kwasu podchlorawego (ClO^{-1}), natomiast pozostały-chlor związany w postaci chloramin i związków chloroorganicznych. Najsilniejsze działanie bakteriobójcze ma kwas podchlorawy, najsłabsze - chloraminy. Na efekt bakteriobójczego działania ma wpływ nie tylko ilość chloru i jego postać, ale także takie czynniki, jak: pH wody, czas kontaktu chloru z wodą oraz temperatura wody.

Dawka chloru niezbędna do przeprowadzenia dezynfekcji wody powinna być ustalana indywidualnie dla danej wody tak, aby zapewniała odpowiednią zawartość w wodzie pozostałego użytecznego chloru (0,3 - 0,5 mg/l) w miejscu czerpania najbliższym miejsca jej chlorowania. W ZWP Goczałkowice chlor przechowywany jest w zamkniętych zbiornikach w fazie ciekłej, nad którą znajduje się faza gazowa. Z tej fazy chlor doprowadzany jest do chloratorów, w których następuje mieszanie z wodą czystą. Otrzymana w wyniku mieszania woda chlorowa może być wykorzystana do chlorowania wstępnego i chlorowania właściwego.

3. OBIEKT REGULACJI

W przeprowadzonej analizie układu regulacji chloru nie uwzględniono chlorowania wstępnego. Wynika to z faktu stosowania tego chlorowania przez niewielką ilość dni w roku (w przypadku szczególnego zanieczyszczenia wody surowej), a także z przyjęcia założenia, że w przypadku stosowania chlorowania wstępnego ilość dozowanego chloru może być stabilizowana i jej wpływ na działanie układu regulacji chloru będzie wówczas pomijalny. Tak więc obiekt regulacji związany jedynie z chlorowaniem właściwym będzie miał postać jak na rys.2.

Ze względu na istniejące urządzenia do regulacji stężenia chloru oraz przyjęty później zakres badania stabilności układu regulacji zawartości chloru w wodzie czystej interesować nas będą funkcje przejścia :



Rys.2. Obiekt regulacji udziału masowego chloru w wodzie czystej w ZPW Goczałkowice

$$F_{1(p)} = \frac{\Delta X_{w4p}(p)}{\Delta G^*_{Cl_2}(p)} \quad \text{oraz} \quad F_{2(p)} = \frac{\Delta X_{w5k}(p)}{\Delta G^*_{Cl_2}(p)},$$

przy czym :

- X_{w4p} - masowy udział chloru w wodzie za zbiornikami wody czystej,
- X_{w5k} - masowy udział chloru w wodzie za zbiornikami czerpalnymi pomp,
- $G^*_{Cl_2}$ - masowe natężenie przepływu chloru gazowego do iniektora.

Do głównych wielkości zakłócających należy zaliczyć : parametry wody surowej, natężenie przepływu wody surowej, natężenie przepływu wody naciskowej do iniektora oraz natężenie dopływu chloru do iniektora ($G^*_{Cl_2}$).

Z wymienionych wielkości największe zmiany wykazuje natężenie dopływu chloru do iniektora. Istotnym zakłóceniem jest również sezonowa (dwa razy w roku) zmiana ilości pasożytów, ich larw oraz bakterii w wodzie surowej.

Wyodrębniony obiekt regulacji charakteryzuje się dużymi stałymi czasowymi oraz sporym czasem martwym. Ze względu na szczególny charakter produkcji ZPW, mający bezpośredni wpływ na zdrowie ludzi, niemożliwe jest

przewodzenie jakichkolwiek eksperymentów identyfikacyjnych. Dlatego też funkcję przejścia obiektu wyznaczono na podstawie badań analitycznych po przyjęciu następujących dodatkowych założeń :

- opóźnienia wnoszone przez zbiorniki są do pominięcia,
- zapełnienie rurociągów jest całkowite,
- zasoby zbiorników 4 i 5 pozostają niezmiennie,
- rurociągi reprezentują czyste opóźnienie,
- nie zachodzą reakcje chemiczne w wodzie oraz nie występuje ulatnianie chłonu z wody,
- zasoby masowe inżektorów są pomijalne.

Dla tak sformułowanych założeń :

$$F_1(p) = \frac{k_1}{1 + pT_1} \cdot e^{-p\tau_1}$$

$$F_2(p) = \frac{k_1}{(1 + pT_1)(1 + pT_2)} \cdot e^{-p\tau_2}$$

$$k_1 = 20 \cdot 10^{-5} \left[\frac{g}{kg} \right]$$

$$T_1 = 6118 \text{ [s]}$$

$$\tau_1 = 177 \text{ [s]}$$

$$T_2 = 3922 \text{ [s]}$$

$$\tau_2 = 240 \text{ [s]}$$

Z parametrów funkcji przejścia jedynie współczynnik wzmocnienia k_1 można było zweryfikować praktycznie. Na podstawie znajomości k_1 wyznaczono, że w stanie ustalonym natężenie $G_{Cl_2}^*$ powinno wynosić $18,3 \text{ [kg/h]}$.

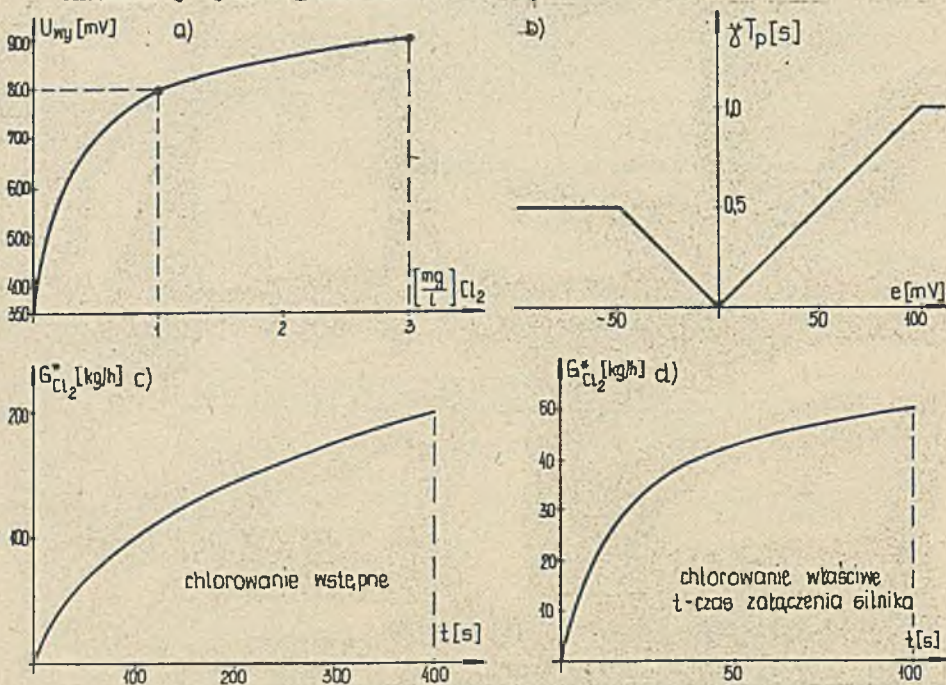
Z praktyki wynika jednak, że stosuje się prawie dwukrotnie większe natężenie przepływu $G_{Cl_2}^*$. Rozbieżność wynika z pominięcia przy obliczeniach reakcji chemicznych chloru w wodzie oraz nieuwzględnienia ulatniania się chloru z wody.

4. URZĄDZENIA UKŁADU REGULACJI

Schemat ideowy układu regulacji stężenia chloru w wodzie surowej przedstawiono na rys.1. Przetwornik pomiarowy PP wypracowuje sygnały kierowane do dwu regulatorów, które sterują organami wykonawczymi na dopływie chloru gazowego do inżektorów. Przetwornik pomiarowy austriackiej firmy "Hauke" mierzy zawartość chloru według metody REDOX. Charakterystykę statyczną przetwornika pokazano na rys.3a. Regulator produkcji tej samej firmy jest typu impulsowego o stałej wysokości impulsu oraz szerokości impulsu zależnej od błęd regulacji. Czas próbkowania T_p można zmieniać w granicach $12 - 230 \text{ [s]}$. Zależność szerokości impulsu γT_p od

błędu regulacji e przedstawiono na rys. 3b. Niesymetryczność tej charakterystyki wynika z dopasowania regulatora do nieliniowej charakterystyki statycznej przetwornika. Organy wykonawcze składają się z zaworów i silników asynchronicznych sterowanych impulsami z regulatorów.

Charakterystyki organów wykonawczych, przedstawiono na rys. 3c i 3d.



Rys. 3. Charakterystyki statyczne urządzeń układu regulacji

5. BADANIA STABILNOŚCI UKŁADU REGULACJI

Analizę stabilności układu automatycznej regulacji zawartości chloru w wodzie uzdatnionej przeprowadzono dla dwóch przypadków :

- dla punktu pomiarowego usytuowanego bezpośrednio za zbiornikami wody czystej,
- dla punktu pomiarowego usytuowanego za zbiornikami czerpalnymi pomp.

W przypadku pierwszym przyjęto najpierw, że regulator posiada impulsator idealny generujący impulsy o zerowej szerokości i tym samym wzmacnieniu. Sporządzono następnie dyskretną transmitancję układu otwartego i badano stabilność układu regulacji stosując kryterium Nyquista. Dalsze badania wykonano zastępując zespół impulsator-silnik idealnym układem całkującym. Podobnie jak poprzednio, badano stabilność liniowego już teraz układu regulacji stosując kryterium Nyquista (nieliniowości urządzeń układu regulacji linearyzowano w poszczególnych punktach pracy). Uzyskano takie same wyniki jak w przypadku badania dyskretną transmitancję układu ot-

wartego, co wskazało na możliwość zastąpienia w dalszej analizie regulatora impulsowego całkującym regulatorem ciągłym o takim samym zastępczym wzmocnieniu.

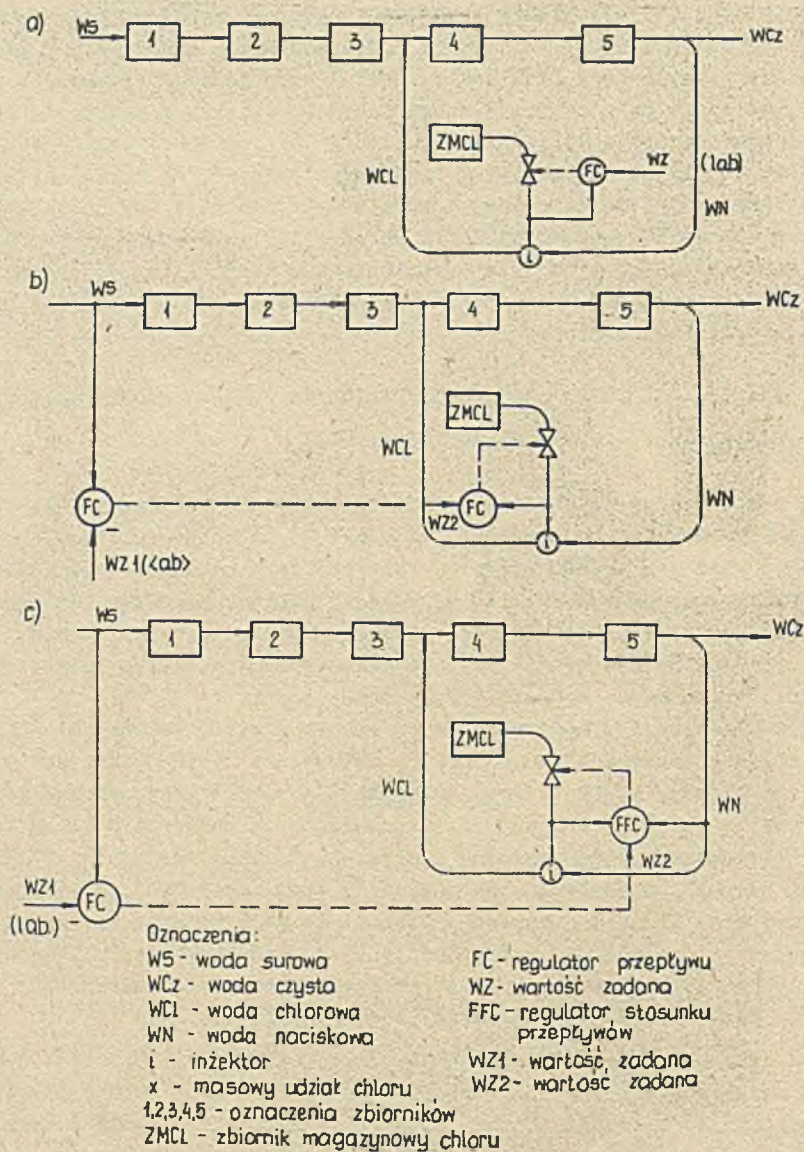
Korzystając z uzyskanych doświadczeń przeprowadzono analizę stabilności układu regulacji przyjmując, że punkt pomiarowy znajduje się za zbiornikami czerpalnymi pomp (tak jak to jest w rzeczywistym obiekcie). Okazało się, że nawet po pominięciu czasu martwego obiektu i przyjęciu minimalnego zastępczego wzmocnienia regulatora ($T_p = 230$ s) układ regulacji nie może pracować stabilnie. Tak więc można przyjąć, że układ automatycznej regulacji zawartości chloru w wodzie uzdatnionej w ZPW Goczałkowice został niewłaściwie zaprojektowany. Urządzenia regulacyjne f-ry "Hauke", przewidziane jak się wydaje do instalowania w niewielkich obiektach, w ZPW Goczałkowice nie są w stanie zapewnić poprawnej regulacji stężenia chloru w wodzie uzdatnionej.

6. ANALIZA MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA INNYCH UKŁADÓW REGULACJI ZAWARTOŚCI CHLORU W WODZIE UZDATNIONEJ

Na rys.4 przedstawiono trzy różne koncepcje układów regulacji zawartości chloru w wodzie uzdatnionej. Ze względu na silne zmiany przepływu chloru, w każdej z przedstawionych koncepcji zastosowano stabilizację przepływu chloru do chloratora. W układzie pokazanym na rys.4a ograniczono się jedynie do stabilizacji przepływu chloru przy założeniu, że wartość zadana układu będzie wypracowywana przez zakładowe laboratorium (podobnie zresztą jak w pozostałych koncepcjach).

Według koncepcji przedstawionej na rys.4b wartość zadana układu stabilizacji natężenia dopływu chloru do chloratora wypracowana jest przez regulator główny, który otrzymuje sygnał o wartości przepływu wody surowej. Przy zmianach przepływu wody uzdatnionej do chloratora korzystnie byłoby zastosować układ pokazany na rys.4c. Zastosowano w nim układ regulacji stosunku przepływów chloru i wody tzw. naciskowej, dopływającej do chloratora. Układ ten zapewnia utrzymanie stałego stężenia chloru w wodzie za chloratorem. Ilość tej wody, dozownej do wody surowej, zależałaby od przepływu wody surowej, a także wskazań laboratorium mierzącego zawartość chloru (stężenie) w wodzie uzdatnionej.

W warunkach ZPW Goczałkowice najbardziej celowe byłoby zastosowanie układu najprostszego, tzn. przedstawionego na rys.4a. Z istniejącego (a niepracującego) układu można byłoby wykorzystać organ wykonawczy, a być może i regulator. Głównym zadaniem (możliwym - jak się wydaje - do zrealizowania) byłoby opracowanie ciągłego pomiaru przepływu chloru do chloratora. W tym kierunku powinny być prowadzone dalsze prace badawcze.



Rys.4. Koncepcje układów automatycznej regulacji zawartości chloru w wodzie uzdatnionej

LITERATURA

- [1] P.SZOSTOK - Analiza układów automatycznego dozowania chloru w ZPW "Goczałkowice". Praca dyplomowa. Instytut Automatyki, Politechnika Śląska, Gliwice 1982 (niepublikowane).
- [2] S.KUBIT - Zagadnienie automatycznej regulacji procesu dezynfekcji wody. Seminarium Urządzeń i Układów Automatyki. Referat. Gliwice 1982.
- [3] PORADNIK - Wodociągi i kanalizacja. Arkady, Warszawa 1971.

AUTOMATIC CONTROL PROBLEM FOR CHLORINE CONCENTRATION IN TREATED WATER
IN Z P W GOCZAŁKOWICE

Summary. Technology of ZPW Goczałkowice is presented and existing control systems of chlorine concentration in treated water are described. Stability analysis of the systems is given. Correctly designed system structures which ensure stabilization of the chlorine concentration are proposed.

ВОПРОСЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЕМ ХЛОРА
В УТИЛИЗОВАННОЙ ВОДЕ СПВ ГОЧАЛКОВИЦЕ

/ Резюме /

В статье представлено технологический процесс на станции приготовления воды СПВ Гочалковице и оговорены действующие схемы регулирования концентрацией хлора в приготовленной воде. Проведено анализ устойчивости этих схем и предложены структуры правильно спроектированных схем, применение которых может обеспечить постоянство концентрации хлора.