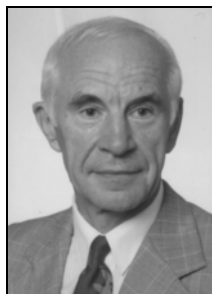


**Andrzej J. GRONO, Leszek RAFIŃSKI**

POLITECHNIKA GDAŃSKA, WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI I AUTOMATYKI, KATEDRA AUTOMATYKI

**Automatyzacja stacji uzdatniania wody****Prof. dr hab. inż. Andrzej J. GRONO**

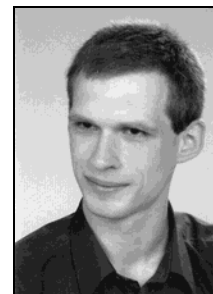
Ukończył studia na Wydziale Elektrycznym Politechniki Gdańskiej w 1963 roku, gdzie również się doktoryzował i habilitował. Tytuł naukowy profesora otrzymał w 2002 roku. Jego działalność naukowa i dydaktyczna koncentruje się na automatyce elektroenergetycznej, w szczególności na zagadnieniach automatycznej synchronizacji prądnic. Ostatnio zajmuje się robotyką i mechatroniką. Jest autorem lub współautorem ponad 300 publikacji i prac naukowych oraz twórcą lub współtwórcą 40 patentów.



e-mail: agrono@ely.pg.gda.pl

**Mgr inż. Leszek RAFIŃSKI**

Absolwent wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej ze specjalnością Automatyka (2006). Słuchacz studium doktoranckiego na wydziale Elektrotechniki i Automatyki od roku 2006.



e-mail: l.rafiniski@ely.pg.gda.pl

**Streszczenie**

Niniejsza praca przedstawia projekt systemu automatyki stacji uzdatniania wody. Przedstawiono procesy technologiczne stosowane na automatyzowanej SUW, wymagania stawiane systemowi automatyki oraz opis zaprojektowanego systemu. Opisano także przeprowadzone podczas rozruchu systemu badania oraz ocenę ich wyników.

**Słowa kluczowe:** woda, uzdatnianie, automatyka.**Control system for a water treatment plant****Abstract**

The paper presents a project of a control system for a water treatment plant. The process flow of water treatment is shown and corresponding control system requirements are discussed. Then a project of a control system is shown. Finally, tests of the implemented system and their results, are discussed.

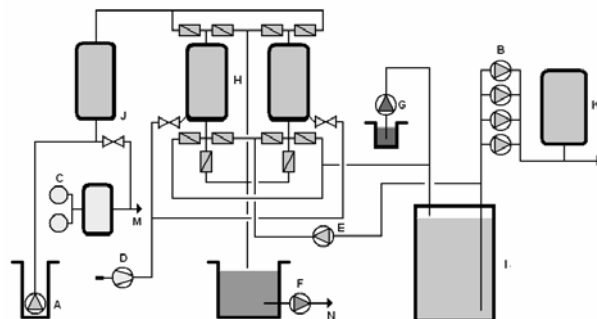
**Keywords:** water, water treatment, control systems.**1. Wstęp**

Woda jest jednym z najważniejszych i najbardziej rozpowszechnionych w przyrodzie związków chemicznych bowiem około 70% powierzchni ziemi jest zajęte przez wody w postaci oceanów, mórz, rzek, jezior i stawów [1]. Woda znajduje szerokie zastosowanie: używana jest do spożycia, do celów gospodarczo bytowych, w rolnictwie i w przemyśle. W przyrodzie w większości przypadków nie ma wody o takiej jakości, aby nadawała się do wszystkich zastosowań. Wymaga ona zatem wstępnego uzdatnienia. Pojęcie to oznacza dostosowanie właściwości i składu wody do wymagań wynikających z jej przeznaczenia. Aby to osiągnąć, wodę należy poddać odpowiednim zabiegom takim jak: klarowanie, odbarwianie, odżelazianie, odmanganianie, dezodoryzacja, dezynfekcja, odgazowanie, zmiękczenie, odkrzemianie, odsalanie, demineralizacja, stabilizacja, dezaktywacja i fluorowanie. Wymienione zabiegi mogą być realizowane za pomocą różnych procesów. Nie stosuje się wszystkich jednocześnie, lecz dokonuje się odpowiedniego ich doboru. Podstawą doboru powinny być fizyczne, chemiczne i biologiczne badania wody z ujęć oraz badania mające na celu ustalenie procesów niezbędnych do uzyskania wymaganego efektu uzdatniania wody [2].

**2. Opis obiektu**

Automatyzowana SUW (stacja uzdatniania wody) jest stacją przeznaczoną do dostarczania wody na potrzeby komunalne mieszkańców oraz na zużycie przez zakłady użyteczności publicznej. Wykorzystywane technologie uzdatniania to odżelazianie, odmanganianie oraz dezynfekcja. Ujęcie wody składa się z jednej studni wierconej. Woda surowa pobierana jest ze studni głębinowej i pompowana do aeratora, gdzie następuje intensywne jej napowietrzanie.

Z aeratora dopływa ciśnieniowo do filtrów ciśnieniowych gdzie odbywa się odżelazianie i odmanganianie, a następnie dopływa do zbiornika wyrównawczego wody pitnej. Ze zbiornika jest pobierana przy pomocy zestawu pomp sieciowych i podawana pod odpowiednim ciśnieniem oraz z potrzebną zróżnicowaną wydajnością do istniejącej sieci wodociągowej, a następnie do odbiorców. W celu amortyzacji uderzeń wodnych oraz zmniejszenia częstotliwości załączeń pomp, zainstalowano do współpracy z zestawem pomp sieciowych, zbiornik wodno-powietrzny (hydrofor). Filtry, używane w procesie technologicznym odżelaziania i odmanganiania wody, muszą być co pewien czas płukane w celu usunięcia z nich nadmiaru zgromadzonego odpadu technologicznego, tzn. wypłukanych z wody związków w postaci stałej, które inhibują przepływ wody przez filtry. Płukanie odbywa się przy zastosowaniu pompy płuczącej oraz dmuchawy powietrza (płukanie wodą i powietrzem). Woda do płukania jest pobierana z zewnętrznego zbiornika wyrównawczego wody pitnej. Do napowietrzania wody oraz do napędu siłowników pneumatycznych przepustnic zastosowano zestaw dwóch sprężarek współpracujących z jednym zbiornikiem powietrza. Do dozowania podchlorynu sodu, w celu dezynfekcji wody, zastosowano kompletny zestaw do dozowania środków chemicznych składający się ze zbiornika zarobowo-roztworowego oraz membranowej pompki dozującej o szerokim zakresie wydajności. Komplet ten umieszczony jest w odrębnym pomieszczeniu objętym oprócz wentylacji grawitacyjnej, awaryjną wentylacją mechaniczną do przewietrzania pomieszczenia. Ze względu na okazyjną potrzebę dezynfekcji na stacji nie zainstalowano systemu monitorowania stężenia chloru w wodociągu. Schemat technologiczny SUW został przedstawiony na rys. 1.



Rys. 1. Schemat technologiczny SUW. A – pompa głębinowa, B – zestaw czterech pomp sieciowych, C – zestaw dwóch sprężarek i zbiornik powietrza, D – dmuchawa, E – pompa płuczająca, F – pompa popłuczyn, G – chlorator (pompka dozująca i zbiornik zarobowo-roztworowy), H – zestaw dwóch filtrów ciśnieniowych wraz z odpowiednimi przepustnicami elektromagnetycznymi, I – zbiornik wyrównawczy, J – aerator, K – hydrofor, L – sieć wodociągowa, M – przyłącze do systemu pneumatyki, N – odpływ ścieków

Fig. 1. Process flow diagram for the water treatment plant (SUW). A – well pump, B – four water-supply system pumps, C – two air compressors, D – air blower, E – rinsing pump, F – sludge pump, G – chlorine pump, H – two filters with corresponding electromagnetic valves, I – water reservoir, J – aerator, K – water pump, L – water-supply system, M – pneumatics system, N – sludge disposal

### 3. Wymagania stawiane systemowi automatyki

Wymagania stawiane systemowi automatyki przeznaczonemu do sterowania uzdatnianiem wody wynikają przede wszystkim z charakterystyki automatyzowanego procesu. Należy wziąć pod uwagę następujące czynniki:

- rodzaj i liczba:
  - sygnałów wejściowych
  - urządzeń wykonawczych,
- dynamika procesu,
- wymagana dynamika systemu automatyki,
- warunki środowiskowe,
- bezpieczeństwo,
- niezawodność systemu,
- odporność na zakłócenia, np. zaniki zasilania,
- wymagania dotyczące archiwizacji danych:
  - alarmów,
  - ważnych zdarzeń,
  - parametrów procesu.

Ponadto pamiętać należy, że od tego czy system będzie działał poprawnie zależy możliwość korzystania z wody pitnej przez mieszkańców albo normalna praca i jakość wytwarzanych wyrobów zakładów produkcyjnych. Pamiętać należy także o tym, aby system zapewniał możliwość zmiany parametrów związanych z procesem uzdatniania, bez konieczności wymiany całego systemu. Spowodowane jest to zmieniającymi się wymaganiami co do jakości produkowanej wody oraz warunkami w jakich jest ona pozyskiwana, np. obniżeniem się lustra wody w studni głębinowej podczas suszy.

### 4. Opis systemu automatyki

Mając na względzie wymienione czynniki oraz możliwości i konkretne wymagania inwestora zdecydowano się na wybór urządzenia sterującego w postaci sterownika PLC typu VersaMax Micro firmy GeFanuc wraz z modułami rozszerzeń: dyskretnym oraz analogowym. Dodatkowo, jako urządzenia do komunikacji z operatorem (HMI – human machine interface), użyto dotykowego panelu operatorskiego QuickPanel CE View 6” z wyświetlaczem monochromatycznym firmy GeFanuc. Oba te urządzenia są konfigurowane za pomocą tego samego programu narzędziowego.

Zaprojektowany system zapewnia sterowanie:

- pompą głębinową dostarczającą wodę do zbiorników wyrównawczych wody czystej poprzez aerator i zespół filtrów,
- pompą płuczącą i dmuchawą, które są wykorzystywane podczas procesu płukania filtrów,
- pompą popłuczyn wykorzystywaną do kontroli poziomu ścieków w zbiorniku popłuczyn,
- sprężarkami dostarczającymi powietrze pod odpowiednim ciśnieniem do układu pneumatyki,
- zaworami elektromagnetycznymi wykorzystywanymi do sterowania przepływem wody i sprężonego powietrza w stacji.

System automatyki jest przystosowany do wykrywania awarii części urządzeń wykonawczych stacji, a silnikowych szczególności urządzeń silnikowych trójfazowych, poprzez sprawdzanie sygnałów z przekaźników przeciążeniowych oraz czujników zaniku faz związanych z układem styczników załączających dane urządzenie. Zastosowany algorytm pozwala na wykrycie awarii oraz pominięcie błędnych sygnałów awaryjnych związanych z chwilowymi zanikami napięcia. W przypadku wykrycia awarii urządzenia nie jest wystawiany sygnał zapotrzebowania na jego pracę a na panelu operatorskim zostaje wyświetlona odpowiednia informacja. Usunięcie wykrytej awarii może nastąpić tylko przez operatora z panelu operatorskiego. Podobny algorytm wykrywania awarii jest stosowany w przypadku pompki dozującej chloratora, lecz badanym sygnałem jest w tym przypadku sygnał z czujnika umieszczonego w pomieszczeniu chlorowni wykrywającego pracę pompki.

System automatyki kontroluje zbiorniki wyrównawcze za pomocą dwóch analogowych czujników poziomu (sondy hydrostatyczne) zawieszonych 1 m nad dnem zbiornika, oraz po jednej

dotatkowej sondzie termistorowej w każdym zbiorniku które są zawieszane nad samym dnem zbiornika i podają sygnały dyskretne. Zadziałanie sondy termistorowej oznacza prawdopodobne uszkodzenie czujnika analogowego i powoduje wyświetlenie alarmu na panelu operatorskim oraz blokadę odpowiednich urządzeń wykonawczych w celu uniknięcia ich awarii.

System steruje pompą głębinową, która dostarcza wody do zbiorników wyrównawczych oraz bierze udział w płukaniu filtrów, korzystając z poziomu wody w aktywnym zbiorniku oraz sygnałów z dwóch sond termistorowych umieszczonych w studni głębinowej przy pompie. Jedną z tych sond ma znaczenie czysto informacyjne, tzn. jej załączenie oznacza, że obniżył się znacznie poziom lustra wody w studni głębinowej. Sytuacja taka występuje zazwyczaj podczas długotrwałej suszy i oznacza potrzebę opuszczenia pompy głębinowej niżej. Druga sonda ma już znaczenie w algorytmie sterowania pompą - jej załączenie powoduje bezwarunkowe wyłączenie pompy głębinowej z pracy na okres 10 min. Spowodowane jest to faktem, że pompa głębinowa nie może działać „na sucho”. Załączenie się tej sondy oznacza opadnięcie poziomu wody w studni poniżej poziomu bezpiecznego.

Sterowanie pompami sieciowymi, odpowiedzialnymi za dostarczanie uzdatnionej wody ze zbiorników wyrównawczych do sieci wodociągowej i utrzymywanie odpowiedniego ciśnienia odbywa się przy pomocy sygnałów z dwustykowego manometru umieszczonego na hydroforze, sygnałów z aktywnego zbiornika wyrównawczego oraz sygnału z przepływomierza impulsowego umieszczonego w miejscu doprowadzenia wody do sieci wodociągowej. Pompy sieciowe pracują ciągle, także podczas procesu płukania filtrów. Ich zadziałanie określa spadek ciśnienia w sieci poniżej ustalonego poziomu, określanego przez załączenie się odpowiedniego styku manometru na hydroforze. Powoduje to załączenie do pracy pierwszej z pomp sieciowych. Załączenie następnych pomp jest zależne od stanu manometru stykowego oraz od aktualnej wartości przepływu w porównaniu do ustawionych z panelu progów załączenia kolejnych pomp sieciowych. Osiągnięcie górnej wartości ciśnienia lub maksymalnej dopuszczalnej wartości przepływu powoduje wyłączenie wszystkich aktualnie pracujących pomp sieciowych, co pozwala na uniknięcie nadwężania rur sieci wodociągowej. Zwykle pracuje jedna lub dwie z czterech dostępnych na stacji pomp sieciowych. To, które pompy aktualnie pracują jest określane poprzez porównanie czasów pracy poszczególnych pomp sieciowych według odpowiedniego algorytmu. Pompa, której sumaryczny czas pracy jest najkrótszy, jest oznaczana jako pompa sieciowa nr 1 i to właśnie ona jest załączana do pracy jako pierwsza. Oczywiście podczas wyboru pompy sieciowej nr 1 są brane pod uwagę także ewentualne awarie oraz ręczne wyłączenia z pracy poszczególnych pomp sieciowych. Taki sposób pracy pomp sieciowych pozwala na zmniejszenie stopnia ich zużycia.

Sterowanie sprężarkami, dostarczającymi powietrza pod odpowiednim ciśnieniem do pracy urządzeń pneumatyki oraz aeratora, odbywa się na podstawie wskazań manometrów kontrolujących ciśnienie we wspólnym dla obu sprężarek zbiorniku powietrza. Poziomy załączenia i wyłączenia sprężarek są ustalone zgodnie z założeniami technologicznymi.

Czas pracy filtrów, po którym jest przeprowadzane ich płukanie jest określany za pomocą odpowiedniej funkcji na panelu operatorskim. Pozostały do płukania czas jest ciągle wyświetlany na panelu. Ponadto możliwe jest ręczne załączenie płukania w dowolnym czasie. Jeżeli filtry są przeznaczone do płukania przez system sterowania, tzn. został przekroczony zaprogramowany czas ich pracy, to sprawdzana jest aktualna godzina i porównywana z przedziałem godzin, w których dozwolone jest płukanie, tzw. oknem czasowym, które można zaprogramować z panelu operatorskiego. Podczas ręcznego załączania płukania warunek okna czasowego nie jest brany pod uwagę. Płukanie filtrów nie załączy się także, jeżeli zbiornik popłuczyn jest pełen. Ponadto system przed załączeniem płukania sprawdza czy system pneumatyki oraz wszystkie urządzenia używane podczas płukania są sprawne i załączone do pracy.

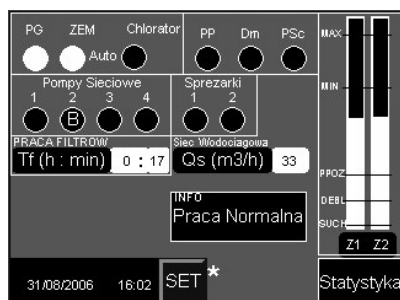
Jeżeli spełnione są wszystkie powyższe warunki system ustawia się w stan oczekiwania na płukanie i załącza pompę głębinową aby dopompować wody do aktywnego zbiornika wyrównawczego,

tak aby osiągnąć odpowiedni jej poziom. Dopiero wtedy jest załączany pierwszy etap właściwego płukania filtrów. Filtry płukane są pojedynczo, ale obydwa bezpośrednio po sobie. Jeżeli rozpoczęło się płukanie pierwszego filtra, to po jego zakończeniu rozpocznie się płukanie drugiego nawet, jeżeli odbędzie się ono już poza zaprogramowanym oknem czasowym. Taki sposób płukania został ustalony z technologiem. Przed płukaniem drugiego filtra system ponownie dopompowuje wodę do zbiornika wyrównawczego aż do osiągnięcia odpowiedniego jej poziomu. Płukanie pojedynczego filtra jest podzielone na 5 etapów, według ustalonej technologii. Czas trwania poszczególnych etapów można zaprogramować przy pomocy panelu operatorskiego. Podczas każdego etapu są ustawiane odpowiednio sygnały sterujące zaworami elektromagnetycznymi płukanego filtra oraz sygnały sterujące urządzeniami wykorzystywanymi podczas płukania, tzn. pompy płuczające, która pobiera wodę do płukania ze zbiorników wyrównawczych, dmuchawy dostarczającej powietrze podczas drugiego etapu płukania, pompy głębinowej oraz pompy popłuczyn wykorzystywanej w piątym etapie. Zostało wprowadzone opóźnienie wykonania kolejnej czynności płukania po każdorazowym przełączeniu zaworów elektromagnetycznych, w celu wyeliminowania błędów wynikających z czasów reakcji tych urządzeń. Opóźnienie to zostało dostosowane do charakterystyk używanych zaworów. Po pomyślnym zakończeniu płukania filtrów ich czas pracy jest ponownie liczony od zera. Ponowne płukanie następuje po ustalonym czasie pracy.

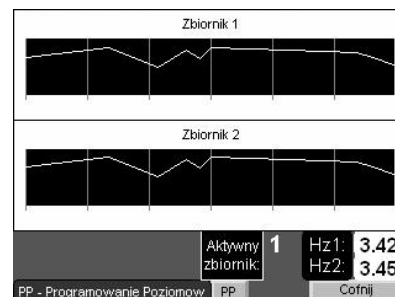
System sterowania jest wyposażony w akumulatorowy układ awaryjnego zasilania na wypadek chwilowego (do 30 min) zaniku napięcia zasilającego. W takim przypadku jest przerywana większość z czynności technologicznych, gdyż zapasowy układ podtrzymuje zasilanie jedynie dla sterownika programowalnego oraz panelu operatorskiego, celem dostarczenia odpowiedniego czasu na przeprowadzenie archiwizacji danych. W przypadku zaniku zasilania trwającego dłużej niż 30 min system wyłącza się całkowicie. Ponowny start systemu następuje w chwili pojawienia się zasilania. System rejestruje wszelkie zaniki zasilania oraz wyłączenia wyłącznika głównego zasilania.

W przypadku awarii podstawowego systemu sterowania pracą SUW istnieje możliwość przełączenia systemu, za pomocą odpowiedniego przełącznika na tablicy synoptycznej, na układ sterowania awaryjnego oparty o system przekąźników. Układ ten oferuje podstawowe możliwości kontroli nad pracą SUW, umożliwiając utrzymanie stacji w ruchu do czasu naprawy podstawowego systemu sterowania. Każdorazowa zmiana sterowania na awaryjne jest odnotowywana przez system sterowania, jeżeli oczywiście nie jest on na tyle uszkodzony, aby to było niemożliwe.

System przeprowadza okresową archiwizację danych dotyczących poziomu wypełnienia wodą aktywnego zbiornika (co 15 min) oraz godzinowego zapotrzebowania na wodę (co 1 godz.). Dane te są zachowywane przez okres 1 miesiąca. System archiwizuje również alarmy występujące podczas jego pracy oraz ważne zdarzenia, np. załączenie płukania filtrów czy ręczne załączenie dowolnego urządzenia do pracy. Przy każdym wpisie, czy to alarmu/zdarzenia czy poziomu wody w aktywnym zbiorniku czy też godzinowego zapotrzebowania na wodę, jest dodawana data i godzina dokonania wpisu.



Rys. 2. Przykładowy ekran interfejsu – Ekran główny  
Fig. 2. Sample interface screen – Main screen



Rys. 3. Przykładowy ekran interfejsu – Ekran kontroli zbiorników wyrównawczych  
Fig. 3. Sample interface screen – Water reservoir control screen

Interfejs użytkownika wykorzystuje możliwości dotykowego panelu operatorskiego i pozwala na kontrolę nad wieloma parametrami pracy SUW. Zaprojektowano ten system biorąc pod uwagę wymaganą jego elastyczność oraz przystosowanie go do obsługi przez mało wykwalifikowany personel, dlatego jednym z głównych założeń było możliwie najmniejsze skomplikowanie oraz możliwie największa przejrzystość interfejsu. Ponadto, w celu ograniczenia możliwości zmiany ważnych parametrów pracy stacji przez osoby niepowołane, wprowadzono kontrolę dostępu do pełnej funkcjonalności interfejsu za pomocą hasła. Na rys. 2 oraz rys. 3 zostały przedstawione przykładowe ekrany interfejsu użytkownika.

## 5. Rozruch i badania systemu automatyki

Podczas rozruchu systemu przeprowadzono szereg testów, a mianowicie:

- test reakcji na wyłączenie napięcia zasilającego, zarówno za pomocą wyłącznika głównego, jak i przez zasymulowanie awarii,
- test reakcji na symulowane awarie poszczególnych urządzeń wykonawczych SUW,
- test płukania filtrów wraz z testem reakcji na zanik zasilania podczas procesu płukania,
- test pracy ciągłej w warunkach normalnego zapotrzebowania na wodę,
- test pracy ciągłej w warunkach zasymulowanego nagłego skoku zapotrzebowania na wodę,
- test pracy ciągłej w warunkach zasymulowanego niskiego poziomu wody w zbiornikach.

System przeszedł z wynikiem pozytywnym wszystkie testy. Podczas pracy ciągłej stacja utrzymuje odpowiednie ciśnienie w sieci wodociągowej oraz planowo realizuje proces technologiczny uzdatniania wody. Nie wpływają na jej pracę znacząco także nagłe skoki zapotrzebowania oraz chwilowe zaniki napięcia. System reaguje także poprawnie na symulowane awarie poszczególnych urządzeń wykonawczych stacji. Podczas testów okazało się także, że system HMI jest odpowiednio zaprojektowany, gdyż wystarczyło kilka chwil instruktażu dla operatora stacji, aby ten przyzwyczaił się do pracy z systemem.

## 6. Podsumowanie

Liczne testy zrealizowanego systemu automatyki wykonane podczas uruchamiania systemu oraz wstępna dwumiesięczna jego eksploatacja wykazały, że wszystkie wymagania ogólne stawiane SUW oraz szczegółowe uzgodnienia z inwestorem są w całości spełnione. System działa poprawnie, zarówno ze względu na uwarunkowania techniczne, jak również pozwala na poprawę wskaźników ekonomicznych. Potwierdza to słuszność założeń przyjętych podczas projektowania systemu automatyki.

## 7. Literatura

- [1] B. Rudziński: Urządzenia do oczyszczania wody, Arkady, Poznań 1965
- [2] A. Chojnacki: Technologia wody i ścieków, PWN, Warszawa 1972