

## ROZDZIAŁ 3

### Metody i środki niskokosztowej modernizacji systemu zaopatrzenia gminy w wodę

Mirosław HAJDER, Janusz KOLBUSZ, Roman KOROSTENSKYI

*Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania w Rzeszowie*

*Miroslaw.Hajder@gmail.com, JKolbusz@wsiz.rzeszow.pl, Korostenskyi@gmail.com*

#### Streszczenie

*W rozdziale, przedstawiono podstawowe komponenty systemów zaopatrzenia w wodę oraz metody automatyzacji ich funkcjonowania. Zaprezentowano sposoby modernizacji sprzętu wykorzystywanego w procesach pozyskiwania i dystrybucji wody, oparte na zastosowaniu rozproszonych systemów pomiarowych. Zaproponowano rozwiązania techniczne, których cechą szczególną jest niski koszt realizacji.*

#### 1. Wprowadzenie

Przeznaczeniem instalacji analizowanych w rozdziale jest dostarczanie wody do odbiorców. Jej dostawę na potrzeby gospodarstw domowych, rolnictwa, przemysłu itp. organizują specjalistyczne podmioty, będące najczęściej własnością samorządów lokalnych. Nowoczesny system dostawy wody (SDW), powinien być w pełni zautomatyzowany i niezawodny. Zastosowanie do tego celu narzędzi telemetrii i telematyki zapewnia bezobsługową pracę urządzeń, w tym zdalne monitorowanie głównych komponentów SDW z poziomu centralnego węzła systemu. W rezultacie, koszty eksploatacji są minimalizowane, przede wszystkim, dzięki zmniejszeniu liczby kosztochłonnych wizyt personelu w obiektach. Ponadto, ilościowe i jakościowe parametry dostaw są optymalizowane, a poziom świadczenia usług poprawia się. Z drugiej jednak strony, automatyczne systemy sterowania są skomplikowane, przez co czas identyfikacji oraz usunięcia uszkodzeń może znacząco wzrosnąć.

Budowa lub kompleksowa modernizacja SDW jest czasowo- i kosztochłonna. To rezultat konieczności jednoczesnego wdrożenia szeregu skomplikowanych, złożonych w instalacji komponentów, przy czym czas instalacji i koszty urządzeń automatyki są w całości nakładów stosunkowo niewielkie. W wielu przypadkach, ograniczenia finansowe podmiotów, będących właścicielami instalacji, uniemożliwiają przeprowadzenie powyższych prac. Dlatego, autorzy podjęli działania, których celem było opracowanie rozwiązań technicznych zapewniających niskokosz-

ową, rozłożoną w czasie wieloetapową modernizację istniejących systemów, bazującą na wykorzystaniu urządzeń automatyki do sterowania komponentami SDW.

## 2. Komponenty systemów zaopatrzenia w wodę

Proces przygotowania i dystrybucji wody można podzielić na pięć etapów, wyszczególnionych na rys. 1. W szczególności, są to kroki: pozyskiwania, pompowania, magazynowania, uzdatniania i dostawy wody. Oprócz poszczególnych etapów, na rysunku wyszczególniono podstawowe urządzenia techniczne, niezbędne do ich realizacji. Każde z urządzeń wyszczególnionych na rys. 1, może zostać wyposażone w automatyczny nadzór jego pracy.



Rys. 1. Etapy pozyskiwania, uzdatniania i dostarczenia wody [1]

Wszystkie źródła pozyskiwania wody, można podzielić na: źródła podziemne oraz powierzchniowe. Do źródeł *podziemnych* zaliczamy: baseny oraz warstwy wodonośne, w tym wody artezyjskie. Wody podziemne, nie zawierają zanieczyszczeń, zazwyczaj są przejrzyste i bezbarwne. Od powierzchni ziemi oddzielone są wodoszczelną warstwą o wysokim współczynniku filtracji, oddzielającą je od zanieczyszczeń. Wody podziemne są zazwyczaj wysokozmineralizowane, w zależności od rodzaju rozpuszczonych w nich substancji, mogą mieć one korzystne lub szkodliwe właściwości (różną twardość, brak lub wyrazisty smak, zawartość substancji przyjaznych lub szkodliwych dla organizmu człowieka) [1], [2].

Do źródeł *powierzchniowych* zaliczamy: morza lub ich fragmenty (zatoki, zalewy, cieśniny), rzeki, potoki, naturalne zbiorniki wodne (jeziora, stawy), sztuczne zbiorniki wodne, tereny podmokłe, naturalne ujścia wód podziemnych (gejzery, źródła), lodowce. Wodę rzeczną charakteryzuje wysoka mętność (zwłaszcza w trakcie powodzi lub bezpośrednio po niej), a także znacząca zawartość substancji organicznych, w tym bakterii. Jednocześnie, woda rzeczna jest miękka, tj. zawiera stosunkowo niewielką ilość soli mineralnych. Wodę z jezior wyróżnia wysoka przezro-

czystość, zmniejszająca się wraz z przybliżaniem do brzegu. Stopień jej mineralizacji (tj. twardość) jest bardzo różny.

Wszystkie źródła powierzchniowe charakteryzują się znacznymi wahaniami parametrów jakościowych, szczególnie poziomu zanieczyszczeń w poszczególnych porach roku. Jakość wody, zależy od intensywności opadów atmosferycznych, szybkości topnienia pokrywy śniegowej, a także od jej zanieczyszczenia ściekami pochodzącymi z miast i zakładów przemysłowych. Na sezonowe wahania, szczególnie narażone są wody rzeczne: w okresie powodzi znacząco wzrasta mętność oraz poziom zanieczyszczeń organicznych, jednocześnie maleje ich twardość [3].

### 3. Automatyzacja systemów dostawy wody

Automatyzację opartą na specjalistycznych programach i urządzeniach sterujących procesami technologicznymi, wykorzystuje się na wszystkich etapach funkcjonowania SDW. W odróżnieniu do innych systemów technicznych, złożoność narzędzi automatyki jest tutaj stosunkowo niewielka. Wyróżniają ją rygorystyczne wymagania niezawodnościowe, bowiem nieakceptowalna jest sytuacja, kiedy odbiorcy są pozbawieni dostaw wody bieżącej.

Urządzenia automatyki wykorzystywane są w SDW do utrzymania na określonym poziomie parametrów ilościowych (ciśnienie, przepływ, poziom w zbiornikach, temperatura itd.) oraz jakościowych (poziom zasadowości i kwasowości pH, twardość, kolor i in.) wody oraz procesu jej przesyłania [4]. W szczególności, realizują one następujące działania:

1. Sterują agregatami pompowymi, zapewniając osiągnięcie wymaganych parametrów technologicznych (poziomów wody w zbiornikach magazynujących, jej ciśnienia i przepływu w rurociągach itp.);
2. Generują określoną sekwencję operacji niezbędnych do rozruchu lub zatrzymania agregatów pompowych, płukania filtrów oraz innych urządzeń i mechanizmów SDW;
3. W przypadku pojawienia się awarii lub usterki, wyłączają uszkodzone i uruchamiają urządzenia rezerwowe;
4. Regulują liczbę funkcjonujących pomp, dostosowując ich obroty do poboru wody bądź jej poziomu w zbiornikach magazynujących;
5. Stabilizują ciśnienie w rurociągach oraz poziomy wody w zbiornikach magazynujących;
6. Włączają lub wyłączają urządzenia pomocnicze, w tym: pompy ciepłej wody, pompy głębinowe, systemy ogrzewania, wentylacji, oświetlenia itp.;
7. Sterują dozowaniem reagentów.

Podstawową koncepcją architektoniczną SDW jest centralizacja, zakładająca monitorowanie i sterowanie procesem technologicznym z poziomu jednego centralnego węzła. Najważniejszymi komponentami SDW są rozrzucone terytorialnie uję-

cia i stacje uzdatniania wody oraz urządzenia wykorzystywane do jej dystrybucji. Odległości pomiędzy nimi mogą sięgać nawet kilkunastu kilometrów. W przypadku niewielkich, pozbawionych automatyki obiektów, centralizacja zapewniana jest manualnie przez dyżurny personel, w oparciu o obserwację urządzeń pomiarowych bądź polecenia przekazywane telefonicznie. Powyższe rozwiązanie jest nieefektywne i powinno być eliminowane. Do centralizacji większych instalacji, wykorzystuje się telemechanikę, której środki ze względu na charakter wykonywanych funkcji dzielą się na: telesygnalizację, telepomiar oraz telesterowanie.

Zadaniem *telesygnalizacji* jest przekazywanie do centralnego węzła informacji o funkcjonowaniu urządzeń SDW. Przesyłane są dane o stanie pomp (funkcjonują czy znajdują się w stanie spoczynku), zaworów (zamknięte czy otwarte), filtrów (filtr w trybie pracy, płukania lub gotowości). Telesygnalizacja nie przekazuje informacji o parametrach procesu technologicznego (ciśnienie i temperatura wody, jej przepływ i in.). Informacje te gromadzą i przesyłają systemy *telepomiarowe*. Za ich pomocą, do węzła centralnego mogą być również przekazywane dane o wartości natężenia i napięcia prądu zużywanego przez agregaty pompowe, poziomie wody w zbiornikach magazynujących, jej mętności i kolorze, parametrach fizykochemicznych dystrybuowanej wody itp. Systemy *telesterowania* zapewniają sprzężenie zwrotne pomiędzy centralnym węzłem, a komponentami systemu. W szczególności, generują i rozsyłają sygnały sterujące, nakazujące zatrzymanie lub uruchomienie agregatów pompowych, otwarcie lub zamknięcie zaworów, rozpoczęcie procedury czyszczenia filtrów, zmianę dozowania reagentów itp.

Zbieranie informacji z lokalnych węzłów, celem przekazania ich do węzła centralnego opiera się na kanałach telekomunikacyjnych. W osprzęt transmisyjny wyposażane są wszystkie węzły nowoczesnego SDW. Jako środowisko transmisji, wykorzystywane mogą być: elektryczne lub optyczne kable transmisyjne, kanały telefoniczne, a także media bezprzewodowe, w tym: telefonia GSM, sieci WI-FI, dedykowane kanały radiowe. Z uwagi na wysoki koszt budowy i późniejszej eksploatacji, fizyczne kable transmisyjne wykorzystywane są stosunkowo rzadko. W praktyce, znajdują one zastosowanie do połączeń w ramach konkretnego obiektu, a także dla SDW z niewielką ilością tworzących je fragmentów, zlokalizowanych w pobliżu centralnego węzła. Dla systemów rozmieszczonych na znacznym obszarze, zastosowanie znajdują systemy transmisyjne, oparte na kanałach telefonii publicznej, zarówno przewodowej, jak i bezprzewodowej. W tym przypadku, systemy automatyki zostają wyposażone w profesjonalne urządzenia teletransmisyjne, najczęściej dostarczane przez operatorów telekomunikacyjnych.

Obowiązującą tendencją budowy i modernizacji SDW jest szerokie wykorzystanie programowalnych systemów informatycznych. Ich zastosowanie pozwala minimalizować gabaryty sprzętu sterującego, zarówno w węzłach lokalnych, jak i w węźle centralnym, znacznemu ograniczeniu podlega także rola operatora, w wielu przypadkach SDW są bezobsługowe. Zastosowanie technik informatycznych zapewnia dodatkowo wysoką elastyczność zmiany trybów pracy węzłów, a także bezpro-

blemowe włączanie do użytku nowych komponentów, co wymaga wyłącznie przeprogramowania urządzeń sterujących. Dzięki zastosowaniu narzędzi informatyki, rośnie także niezawodność i efektywności funkcjonowania SDW, możliwa jest przejrzysta wizualizacja powiązań obiektów oraz parametrów procesów technologicznych [5].

Różnorodność technologii wykorzystywanych w SDW, narzuca wielowarstwowość architektury systemów automatyzacji. Zazwyczaj, zastosowanie znajduje trójpoziomowa hierarchia komponentów, składająca się z poniższych poziomów:

1. *Poziom 1* – systemy o lokalnym znaczeniu. Automatyzacja opiera się na zastosowaniu rozwiązań autonomicznych względem innych komponentów systemu, bez względu na poziom hierarchii, na którym są one zlokalizowane. Zdarza się, że urządzenia pierwszego poziomu generują sygnały, wykorzystywane w wyższych warstwach;
2. *Poziom 2* – systemy wpływające na cały proces dystrybucji, funkcjonujące jako autonomiczne systemy lokalne. Ich elementy są integralną częścią urządzeń automatyki SDW. Komponenty drugiej warstwy, obligatoryjnie przekazują informacje o stanie procesu technologicznego do elementów trzeciego, najwyższego poziomu;
3. *Poziom 3* – systemy automatyzacji bezpośrednio zapewniające optymalną pracę SDW. Poziom ma charakter globalny, a swoje działanie opiera na wykorzystaniu generowanych lokalnie, również na innych poziomach, sygnałów informacyjnych. Na ich podstawie, tworzone są polecenia sterujące elementami wykonawczymi systemu, gwarantujące optymalność funkcjonowania całego SDW [4].

Polecenia generowane w warstwie trzeciej, mogą m. in. sterować włączaniem lub wyłączaniem urządzeń SDW (pomp, zaworów, zasuw itp.), a także uruchamianiem czynności serwisowych (płukanie filtrów, dezynfekcja komponentów instalacji i in.). W rozbudowanych SDW, złożonych ze zbioru niepowiązanych instalacji, zazwyczaj buduje się autonomiczne systemy sterowania, obsługiwane przez wspólnego lub niezależnych operatorów.

#### **4. Automatyzacja stacji pomp**

Automatyzując główne agregaty pompowe, szczególną uwagę zwraca się na procedury ich startu i zatrzymywania. Polecenie włączenia agregatów może pochodzić od operatora systemu bądź automatycznego włącznika, reagującego na wartość określonego parametru technologicznego (poziomu w zbiornikach magazynujących, ciśnienia wody w wodociągach itp.). Pozostałe operacje, związane z uruchomieniem SDW są konsekwencją rozruchu pomp i wykonywane są automatycznie. Do takich operacji należą: otwieranie i zamykanie bram i zasuw, doprowadzenie wody do pomp, dopływ wody chłodzącej do łożysk, sterowanie łącznikami elek-

trycznymi. Uproszczenie sterowania oraz zwiększenia niezawodności rozruchu uzyskuje się poprzez instalację pomp poniżej poziomu wody w zbiornikach.

W podobny sposób, wykonywane jest zatrzymanie agregatów pompowych. Polecenie zatrzymania może pochodzić od operatora systemu lub czujnika monitorującego wskazany parametr procesu technologicznego. Oprócz planowego zatrzymania agregatu, możliwe jest również zatrzymanie awaryjne, aktywowane w przypadku zagrożeń bezpieczeństwa osób lub sprzętu, uruchamiające odpowiedni system ochronny. W SDW wykorzystuje się najczęściej dwa rodzaje systemów ochronnych: ochronę obwodów zasilania oraz ochronę technologiczną. *Ochrona obwodów* elektrycznych aktywuje się przy zwarcjach obwodów silnika, jego przeciążeniach, zaniku napięcia oraz po pojawieniu innych uszkodzeń obwodów elektrycznych pompy. *Ochrona technologiczna* związana jest bezpośrednio z procesem produkcji i chroni urządzenia przed stanami grożącymi ich uszkodzeniem. Mogą to być nadmierne spadki poziomu wody w zbiornikach magazynujących, gwałtowne zmiany ciśnienia i przepływu w wodociągu i in. Wszystkie systemy ochronne bazują na specjalistycznych czujnikach, nieprzerwanie śledzących funkcjonowanie konkretnych komponentów SDW.

Instalacja pomp poniżej poziomu lustra wody w zbiorniku magazynującym ma na celu grawitacyjne zatapianie wirników pomp. W przeciwnym przypadku, niezbędne jest zastosowanie do tego wytwarzających podciśnienie pomp próżniowych. W takim przypadku, układy automatyki sterują zarówno pompą główną, jak i próżniową. W pierwszej kolejności, uruchamiana jest pompa próżniowa. Po wytworzeniu podciśnienia otwierany jest obwód zasysania wody, komora wirnika pompy głównej jest zapełniana, a ona sama uruchamiana. Następnie, obwód zasysania wody jest zamykany, a pompa próżniowa zatrzymywana [4].

Sterowanie pompami konieczne jest również w trakcie planowej eksploatacji SDW. Wynika to ze zmiennej konsumpcji wody i konieczności stabilizacji parametrów jej dostawy. Do tego celu, wykorzystuje się zmienne tryby pracy agregatów pompowych, w szczególności zmieniana jest liczba pracujących agregatów, ich prędkość obrotowa. W SDW, często wykorzystuje się wielobiegunowe silniki asynchroniczne, zapewniające skokową zmianę prędkości obrotowej. Silniki te zwiększają liczbę możliwych charakterystyk pompowania, bez potrzeby zastosowania dodatkowych pomp. Nowocześniejszym rozwiązaniem jest zastosowanie silników z płynną regulacją prędkości, lepiej dostosowujących się do aktualnych potrzeb, określanych przez bieżącą konsumpcję. Dzięki temu ciśnienie w sieci wodociągowej i poziom wody w zbiornikach magazynujących stabilizują się. W efekcie zmniejszają się: zużycie energii niezbędnej do napędzania pomp oraz nieproduktywne zużycie wody.

Dylematem stojącym przed projektantem jest określenie liczby oraz mocy pomp. Zastosowanie większej ilości pomp o mniejszej mocy pozwala wykorzystać tańsze układy sterujące oraz zadbać o równomierne zużycie poszczególnych urządzeń. Z kolei urządzenia o większej mocy są standardowo wyposażane w płynną regula-

cję prędkości obrotowej, charakteryzują się wysoką dynamiką i niestety, nierównomiernym zużyciem pomp zestawu. Zazwyczaj efektywne jest zastosowanie 3-4 pomp o mocy określonej wielkością konsumpcji [5]. Moce agregatów powinny być różne, a w płynne sterowanie należy, w pierwszej kolejności, wyposażyć urządzenie o największej mocy. Takie rozwiązanie zapobiega tworzeniu się martwych stref sterowania. Jeżeli w SDW wykorzystywane są wyłącznie pompy dużej mocy, wyposażenie każdej z nich w sterowanie może być zbyt kosztowne. Ma ono sens tylko wtedy, gdy zmiana prędkości negatywnie wpływa na agregaty nieregulowane, wprowadzając je w anormalne tryby pracy, charakteryzujące się niską sprawnością lub kawitacją.

Rozwiązaniem charakteryzującym się umiarkowaną ceną jest jednoczesne wykorzystanie regulowanych i nieregulowanych agregatów pompowych. W SDW, systemy automatyki mogą zapewniać zmianę prędkości obrotowej jednostek sterowanych, uruchamianie bądź zatrzymywanie pomp nieregulowanych z jednoczesnym ograniczeniem niezbędnego zakresu zmian wydajności jednostek sterowanych. Algorytm regulacji jest zazwyczaj skonstruowany tak, aby zapewnić optymalną sprawność i równomierne zużycie wszystkich pomp.

Oprócz zbiornika magazynującego, SDW wyposażane są zbiorniki wyrównawcze (kompensacyjne) oraz ciśnieniowe (wieże ciśnień). Zadaniem zbiorników kompensacyjnych jest stabilizacja, w czasie rzeczywistym, ciśnienia w końcowych odcinkach wodociągu, zbiorniki ciśnieniowe służą do zapewnienia stabilnego ciśnienia w momentach wzrostu zapotrzebowania na wodę. W odróżnieniu od zbiorników wyrównawczych, ciśnieniowe są zazwyczaj wspólne dla całej sieci. W SDW, nieposiadających wieży ciśnień, parametrem sterowania jest ciśnienie w krytycznym punkcie (punktach) sieci. Jeżeli stacje pomp położone są w pobliżu odbiorców lub kiedy spadek ciśnienia w rurociągu pomiędzy punktem krytycznym a pompami tylko nieznacznie zależy od zużycia wody, jako parametr sterowania wykorzystuje się ciśnienie w zbiorniku kompensacyjnym. W SDW wyposażonych w wieże ciśnień, parametrem sterowania może być poziom wody w wieży.

Zasięg działania wykorzystywanych w SDW systemów automatyki może być lokalny lub globalny. W pierwszym przypadku jest on ograniczony do urządzeń sterujących wybranym procesem technologicznym, w drugim zarządza się całym systemem przygotowania i dystrybucji wody. W większości SDW wykorzystuje się, oparte na zastosowaniu mikroprocesorów, sterowniki proporcjonalno-całkujące PI. Określone przez elementy pomiarowe wartości parametrów przekształca się do niskonapięciowych cyfrowych lub analogowych sygnałów elektrycznych. Następnie, za pomocą linii transmisyjnych przesyła się je do sterownika, wyposażonego w możliwość ustawienia ich wzorcowych wartości. Sterownik, na bazie algorytmu określa wartości sygnałów, przesyłanych do urządzeń wykonawczych. Sterowniki są w istocie komputerami o ograniczonym zakresie funkcjonalnym. Pozwalają one elastycznie zmieniać algorytm sterowania, w sytuacji, kiedy zmieniły się charakterystyki obiektu. Wykorzystywane do tego celu komputery przemysłowe,

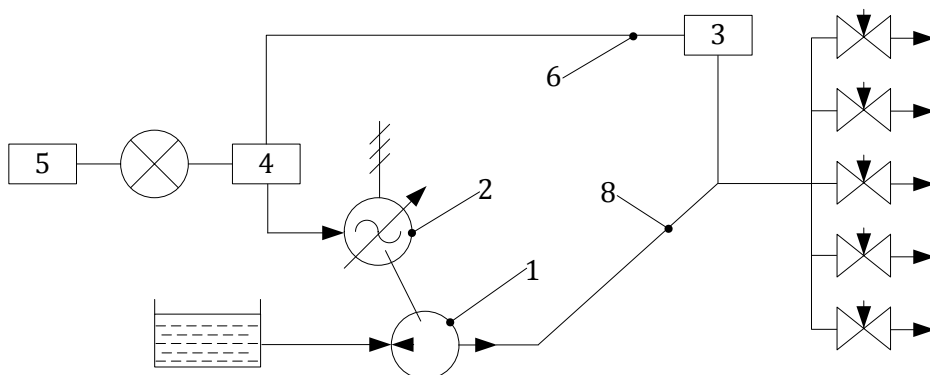
charakteryzuje, szeroki zakres temperatur pracy, odporność na działanie czynników szkodliwych, wysoka stabilność funkcjonowania i niezawodność.

## 5. Stabilizacja ciśnienia w SDW

Konieczność stabilizacji ciśnienia w SDW, wynika ze zmienności zapotrzebowania na wodę i jest realizowana za pomocą zmian trybu pracy agregatów pompowych. Zmiany te muszą być wykonywane tak, aby wymagane wartości parametrów technologicznych (przepływ, ciśnienie) utrzymywać na niezmiennym poziomie w całym systemie, zapewniając jednocześnie minimalne możliwe zużycie pomp oraz energii. W rozbudowanych, wielopoziomowych systemach bez wież ciśnieniowych, stabilizację zapewniają pompy II i III poziomu. Stabilizacji podlega ciśnienie w wybranych punktach SDW, jej realizacja we wszystkich punktach sieci jest praktycznie niemożliwa.

Jako krytyczne, wybierane są te spośród węzłów, w których prawidłowe wartości, gwarantują utrzymanie tego samego lub większego ciśnienia w pozostałych punktach SDW. Zazwyczaj, jako krytyczny traktowany jest węzeł, najbardziej oddległy hydraulicznie od stacji pomp, na przykład, zlokalizowany w punktach sieci, położonych najwyżej względem poziomu morza [6]. Węzły krytyczne wyznacza się na podstawie obliczeń lub empirycznie, na bazie wyników długoterminowych obserwacji eksploatacyjnych. Jeżeli pobór wody jest zmienny, węzeł krytyczny może się przemieszczać.

Schemat blokowy automatycznego sterowania stacją ujęcia wody ze sterowaną pompą, przedstawiono na rys. 2. System składa się z: pompy 1, wyposażonej w sterowany silnik 2; czujnika ciśnienia 3; pokrętła regulatora PI 4; urządzenia określającego wartości regulowanego parametru 5 oraz kanałów komunikacyjnych 6, łączących czujnik ze sterownikiem.



Rys. 2. Schemat klasycznego układu stabilizacji ciśnienia w krytycznym punkcie SDW [4]

Sygnały pochodzące z czujnika ciśnienia zlokalizowanego w krytycznym punkcie sieci oraz urządzenia definiującego jego wzorcową wartość są przekazywane



do regulatora PI, w którym są porównywane. Wypracowana na ich podstawie sekwencja rozkazów zostaje przekazana do bloku wykonawczego systemu sterowania. Jeżeli ciśnienie w punkcie krytycznym jest większe od wymaganego, zmniejsza się prędkość obrotowa pompy i odwrotnie. W przypadku osiągnięcia żądanej wartości ciśnienia, procedura regulacji prędkości kończy się. System sterowania należy skonfigurować tak, aby zmiany prędkości pomp były wykonywane nawet przy niewielkiej różnicy ciśnień. Dzięki temu, możliwa jest praktycznie płynna regulacja parametrów w całym rurociągu.

Złożoność procesu stabilizacji ciśnienia zależy od ilości agregatów – im większa jest liczba pomp, tym procedura jest bardziej skomplikowana. Jeśli wszystkie pompy posiadają identyczne parametry i są wyposażone w regulowany napęd, sterowanie przebiega analogicznie do opisanego powyżej, z tą różnicą że polecenia zmiany prędkości obrotowej generowane są jednocześnie dla wszystkich pracujących pomp. Prędkości obrotowe agregatów zmieniają się synchronicznie, dzięki czemu można uzyskać równomierny podział obciążeń pomiędzy urządzeniami. Jeżeli SDW wykorzystuje pompy o różnych parametrach, przepływ przez każdą z nich dobiera się tak, aby poziom ich obciążenia był zbliżony [4], [6].

Jeżeli w systemie pracują jednocześnie sterowane i niesterowane agregaty pompowe, regulacja sprowadza się do zmiany prędkości obrotowej jednostek sterowanych i określenia liczby aktywnych jednostek niesterowanych. W rzeczywistych rozwiązaniach, permanentnie włączone jest jedno urządzenie sterowane. Jego pracę wspomagają włączane w razie potrzeby urządzenia niesterowane, których liczba jest zależna od aktualnych parametrów konsumpcji w SDW. Algorytm funkcjonowania architektury heterogenicznej jest zbliżony do analizowanego wcześniej dla systemu z homogenicznym zestawem pomp: po zmniejszeniu poboru wody i wzroście ciśnienia w punkcie krytycznym, prędkość obrotowa pomp sterowanych jest zmniejszana, a w przypadku spadku ciśnienia – wzrasta.

W heterogenicznych SDW przepływy pomp sterowanych i niesterowanych różnią się. Wynika to z odmienności funkcjonowania obu urządzeń: charakterystyka pompy sterowanej zmienia się, a niesterowanej jest stała. W rezultacie, po zmniejszeniu obrotów pompa ze sterowaną charakterystyką pracuje z mniejszym przepływem, a przepływ pompy niesterowanej wzrasta. Przepływ to nie jedyny parametr, różniący agregaty pompowe. Istotnie różnią się także chwilowa moc i sprawność urządzeń. Jeżeli konsumpcja znacząco się zmniejsza, przepływ pompy nieregulowanej spada do zera i jej zawór zwrotny jest zamykany, w przeciwnym przypadku woda zacznie przepływać przez pompę w odwrotnym kierunku. Jeżeli system pozbawiony jest zaworu zwrotnego, układ automatyki uruchamia z maksymalnymi obrotami pompę sterowaną, zatrzymując jednocześnie pompy niesterowane. Dalsze zmniejszanie poboru wody skutkuje zmianą prędkości obrotowej pompy sterowanej.

Podobne operacje sterujące wykonywane są w przypadku wzrostu zapotrzebowania na wodę. Przy minimalnej konsumpcji funkcjonuje wyłącznie pompa

sterowana, której obroty będą zwiększane wraz ze wzrostem popytu. Jeżeli osiągnie ona maksymalną prędkość obrotową, a w rezultacie dalszego wzrostu konsumpcji ciśnienie w rurociągu będzie spadać system sterowania uruchomi pompę niesterowaną, zmniejszając jednocześnie obroty pompy sterowanej. Włączenie każdej kolejnej pompy niesterowalnej wykonywane jest po osiągnięciu przez pompę sterowaną maksymalnych obrotów i wiąże się z ich ograniczeniem do niezbędnej wartości.

Zmiany poziomu konsumpcji wody nie zawsze mają charakter monotoniczny. Często, po osiągnięciu pewnej wartości, zmiany zatrzymują się bądź zmieniają kierunek. W takich przypadkach, możliwe jest wielokrotnie włączanie i wyłączanie pomp niesterowanych. Aby uniknąć takich zjawisk, układ sterowania powinien zawierać element określający tendencję zmian, co zapewni włączanie i wyłączanie pomp nieregulowanych tylko w przypadku trwałej tendencji zmian konsumpcji wody. W SDW ze zużyciem wody permanentnie wahającym się w okolicach wartości przełączania, celowe zastosowanie kilku pomp ze sterowanymi charakterystykami, dzięki czemu rozszerza się obszar efektywnego sterowania. Wtedy, z ograniczoną prędkością obrotową mogą pracować dwie pompy.

Wykorzystywanie zestawu pomp złożonego z urządzeń sterowalnych i niesterowalnych może skutkować pojawieniem się martwych stref regulacji. Powstają one wtedy, kiedy możliwość sterowania posiadają pompy, których charakterystyka ciśnieniowa leży poniżej charakterystyki pompy niesterowanej. W takim przypadku, po osiągnięciu maksymalnych wartości przepływu, pompy niesterowanej nie można wyłączać, ponieważ urządzenie sterowane, pracując nawet z maksymalną prędkością, nie zapewni odpowiedniego ciśnienia. Ponieważ przepływ generowany przez pompę sterowaną jest mniejszy od przepływu pompy o stałych charakterystykach, pompa taka nie ma żadnego wpływu na proces sterowania SDW. Aby uniknąć pojawiania się martwych stref sterowaniem powinny dysponować najwydajniejsze pompy systemu dysponujące najbardziej stromą charakterystyką. W takim przypadku, układ sterowania, może z pewnym wyprzedzeniem wyłączyć pompę niesterowaną tak, aby ciśnienie wody nie spadło poniżej granicznej wartości. Podobnie, włączenie pompy niesterowanej może nastąpić zanim ciśnienie wody nie sięgnie granicznej wartości. Dzięki temu eliminuje się pracę pomp w obszarze niskiej sprawności i poprawia jakość regulacji [7].

Zadanie stabilizacji ciśnienia komplikuje się, jeżeli w SDW wykorzystuje się kilka zestawów pomp. W takim przypadku, algorytm sterowania powinien zapewnić optymalny podział przepływu pomiędzy wszystkimi zestawami. Kryteriami optymalizacji będą minimalizacja zużycia energii oraz zapewnienie równomiernego zużycia wszystkich agregatów systemu. Wymaga to utrzymania równowagi pomiędzy parametrami funkcjonowania wszystkich zestawów pompowych.

## 6. Stabilizacja poziomu w zbiornikach magazynujących

Obsługa zbiorników magazynujących ze zmiennym poziomem wody za pomocą systemu pomp z cyklicznym włączaniem agregatów wiąże się z wysokim zużyciem energii. Najlepszym rozwiązaniem jest automatyczne utrzymywanie poziomu w zadanych, niezbyt szerokich granicach. Z punktu widzenia oszczędności energii, w zbiornikach należy utrzymać maksymalny poziom, co pozwala ograniczać zużycie energii niezbędnej do utrzymania stałego ciśnienia w sieci wodociągowej. Jednak, aby ograniczyć wycieki wody ze zbiornika jej poziom powinien być niższy o 30-50 cm od poziomu rury przelewowej. Jednocześnie należy wyeliminować opróżnianie zbiornika do poziomu wywołującego kawitację pomp.

Wykorzystując tradycyjne technologie, ustalony poziom można skutecznie utrzymywać z dokładności 50 mm. Zastosowanie do tego celu nowoczesnych rozwiązań technicznych poprawia dokładność do nawet 10 mm. Jednak zbyt wysoka precyzja nie jest zalecana, bowiem powoduje ona nadmierne zużywanie wybranych elementów agregatów pompowych. Wymaga ona częstego włączania pomp w systemach bez sterowania prędkości lub ciągłymi zmianami obrotów pomp sterowanych. W obu przypadkach, przedwczesnemu zużyciu ulegają łożyska silników i pomp oraz sprzęgła je łączące. Ponadto, praca pomp ze sterowanymi charakterystykami w obszarze minimalnych wydajności, może być nieefektywna energetycznie. Z opisanych powyżej powodów warto jest wykorzystywać szersze strefy niewrażliwości sterowania, obniżając dokładność stabilizacji do kilkudziesięciu centymetrów [4].

Podobnie jak i w systemach stabilizacji ciśnienia, w stabilizując poziom w zbiorniku, wskazanym jest zastosowanie dodatkowych pomp nieregulowanych. Ich wykorzystanie jest celowe w sytuacjach znacznego zwiększenia dopływu lub poboru wody. Podobnie jak poprzednio, sterowany napęd powinny posiadać najwydajniejsze agregaty z najbardziej stromą charakterystyką. Jeżeli w SDW stosowane są pompy tego samego typu, aby zapobiec powstawaniu martwych stref, odpływy urządzeń niesterowanych powinny mieć mniejsze średnice. Zastosowanie w SDW agregatów z regulowaną charakterystyką minimalizuje liczbę ich włączeń i wyłączeń, zwiększając tym samym niezawodność zaopatrzenia w wodę [7].

Wszystkie pompy wykorzystywane w SDW, powinny być zabezpieczone przed suchobiegiem.

## 7. Podsumowanie

Dostawa wody do celów konsumpcyjnych i gospodarczych obok dostawy energii elektrycznej jest dzisiaj jedną z najbardziej newralgicznych usług świadczonych na rzecz mieszkańców i podmiotów gospodarczych. Z procesem dostawy wiążą się dwa podstawowe problemy. Pierwszy z nich, to ogólnoświatowy deficyt wody, która po przetworzeniu, mogłaby być wykorzystana do celów konsumpcyjnych.

cyjnych. Drugi problem, to systematyczny wzrost kosztów dostawy, przewyższający zmiany cen innych dóbr konsumpcyjnych.

Systematyczne obniżanie się poziomu wód powierzchniowych i podziemnych wymaga pilnego poszukiwania alternatywnych źródeł wody. Niezbędna jest również racjonalizacja jej zużycia, która powinna być osiągnięta zarówno metodami technicznymi, jak również poprzez uświadamianie odbiorców o konieczności jej oszczędzania.

Funkcjonujące obecnie SDW są nieprzygotowane do racjonalizacji zużycia wody i energii potrzebnej do jej przygotowania. W większości przypadków, powstawały one 30-40 lat temu i opierają się na przestarzałym sprzęcie i technologiach. Proces sterowania produkcją i dystrybucją bazuje się na nieprecyzyjnych, nierejestrowanych pomiarach. W wielu przypadkach diagnostyka i nawet najprostsze czynności serwisowe wykonywane są manualnie. Rozwiązaniem większości powyższych problemów jest zastosowanie rozproszonych systemów pomiarów i sterowania, opartych na szerokim wykorzystaniu narzędzi informatyki i telekomunikacji.

## Bibliografia

- [1] K. Duzinkiewicz, Zintegrowane sterowanie systemami zaopatrzenia w wodę pitną, Kraków: Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, 2005.
- [2] F. R. Spellman, Handbook of water & wastewater treatment plant operations, Boca Raton: CRC Press LLC, 2003.
- [3] HDR Engineering, Handbook of Public Water Systems, Third red., New York: Wiley, 2010.
- [4] C. C. Patton, Applied Water Technology, Third red., Norman: Campbell Petroleum, 2007.
- [5] L. D. Mackenzie, Water and Wastewater Engineering. Design Principles and Practice, New York: McGraw-Hill Companies, 2010.
- [6] Ю. Сербин, В. Прокопов і А. Бугров, *Параллельная работа насосных агрегатов при использовании технологии частотного регулирования.*, ИНЖЕНЕРНЫЙ ЦЕНТР "АРТ", 2007.
- [7] Б. Лезнов, Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках., Москва: Энергоатомиздат, 2006.