

Rafał BRODZIAK¹,
Andrzej URBANIAK²,

¹Institut Inżynierii Środowiska
Politechnika Poznańska

²Institut Informatyki
Politechnika Poznańska

STEROWANIE PROCESEM UJMOWANIA WODY Z UJĘCIA SZTUCZNEJ INFILTRACJI

CONTROL OF WATER DRAWING PROCESSES IN A WATER INTAKE WITH ARTIFICIAL GROUNDWATER RECHARGE

This paper presents a control method of water intake processes in extensive artificial groundwater recharge. The analysis has been subjected to the infiltration water collecting system and measuring system in the exemplary facility of artificial groundwater recharge. The complexity of the subject requires consideration of different pumping systems, which working in the system of reciprocal activities in conditions of incomplete information about the control objects. In the presented case is considered control of wells with submersible pumps, siphon wells, collective and regulative wells. Regarding to the analyzed systems has been specified tasks in layers of multilevel control system. Proposals of algorithm in decision support system defining the control scenario were presented.

1. Wprowadzenie

We współczesnych systemach zaopatrzenia w wodę proces sterowania składa się z wielu złożonych zadań. Priorytetem realizacji sterowania jest zapewnienie bezpieczeństwa życia i zdrowia użytkowników wody, spełnienie wymagań bakteriologicznych oraz toksykologicznych. W następnej kolejności zapewniana jest oczekiwana jakość wody (zgodnie z obowiązującymi przepisami) oraz dostarczenie odpowiedniej ilości wody pod właściwym ciśnieniem. Celem sterowania jest także zapewnienie efektywności ekonomicznej procesu[1]. Realizacja sterowania systemem zaopatrzenia w wodę wymaga, aby przedstawione cele zostały uwzględnione na każdym z jej etapów: ujmowania wody, uzdatniania, magazynowania czy dystrybucji. Pobieranie wody z zanieczyszczonego ujęcia będzie skutkowało trudnością w jej właściwym uzdatnieniu, a dalej może wpłynąć negatywnie na spełnienie wymogów bezpieczeństwa zdrowia lub życia odbiorców wody, jednocześnie zmniejszając efektywność ekonomiczną. Niewłaściwe sterowanie ujmowaniem wody może skutkować niemożliwością dostarczenia odpowiedniej jej ilości, powodując niespełnienie

priorytetu jakości dostawy wody np. zbyt niskie ciśnienie w sieci wodociągowej, przerwy w dostawie. Obecnie dostępnych jest wiele narzędzi umożliwiających analizę procesów ujmowania wody z wykorzystaniem modelu. Poprzez modelowanie i symulacje działania systemu, narzędzia te umożliwiają zaprojektowanie najlepszych rozwiązań [2]. Zastosowanie tego typu narzędzi sprawdza się w systemach o niewielkiej zmienności procesu, przy z góry określonych scenariuszach pracy. Proces ujmowania wody, jako pierwszy w ciągu technologicznym systemu produkcji wody pitnej, wymaga szczególnej uwagi w przypadku, gdy woda pozyskiwana jest z wielu źródeł fizycznie rozproszonych i za pośrednictwem zróżnicowanych systemów pompowych. Opisana sytuacja występuje w przypadku ujęć sztucznej infiltracji, które charakteryzują się dużą złożonością oraz zróżnicowaną dynamiką. Dostępność nowoczesnych urządzeń wykonawczych oraz pomiarowych umożliwia operatorowi ujęcia uzyskanie coraz pełniejszej i bardziej precyzyjnej informacji o stanie obiektu, np. o aktualnym poziomie wody w gruncie czy wydajności pracujących pomp. W nowych systemach zarządzania ujęciem operatorzy mają do dyspozycji system typu SCADA (ang. Supervisory Control And Data Acquisition) zbierający dostępne informacje o pracy systemu. SCADA za pośrednictwem graficznego interfejsu, w przystępny sposób, udostępnia operatorowi informacje o wystąpieniu awarii, umożliwia zapoznanie się z chwilowymi oraz historycznymi wartościami monitorowanych wielkości oraz pozwala na zmianę parametrów pracy urządzeń. Jednak ilość oraz wielość typów zbieranych informacji dla tak złożonego obiektu, jakim jest ujęcie sztucznej infiltracji może powodować trudność w optymalnym zarządzaniu takim systemem. Sterowanie w sytuacjach awaryjnych i zmiennych warunkach eksploatacji wyłącznie w oparciu o wiedzę i doświadczenie operatora może być zadaniem trudnym. W celu spełnienia wymagań stawianych systemom produkcji wody na etapie zarządzania ujęciem należałoby wesprzeć pracę operatora narzędziami wspomagającymi sterowanie. Współczesne systemy zaopatrzenia w wodę powinny charakteryzować się szerokim wykorzystaniem zaawansowanych systemów sterowania z zastosowaniem inteligentnych algorytmów sterowania [3][1].

2. Charakterystyka ujęcia sztucznej infiltracji

Proces sztucznej infiltracji ma na celu retencjonowanie wody w gruncie, wzbogacenie zasobów dynamicznych wód gruntowych oraz poprawę jakości wody powierzchniowej poprzez przefiltrowanie jej przez złoża gruntowe [4]. Woda powierzchniowa z rzek, jezior lub innych zbiorników jest pobierana przez pompownie, skąd transportowana jest na teren ujęcia sztucznej infiltracji. Dostarczona woda surowa rozprowadzana jest na szerokim terenie przy wykorzystaniu systemów drenaży, kwater metody powierzchniowej oraz stawów i rowów infiltracyjnych, skąd infiltruje ona do gruntu. Wstępnie oczyszczona woda pompowania jest za pomocą systemu studni na stację uzdatniania wody (SUW) w celu końcowego jej uzdatnienia.

Wraz z eksploatacją ujęcia wydajność infiltracyjna stawów i rowów spada - wpływ na to ma tworząca się błona biologiczna oraz odkładanie się osadu na dnie stawów. Dlatego okresowo obiekty infiltracyjne należy wyłączać z procesu i dokonywać czyszczenia. Ujęcia sztucznej infiltracji w zależności od wielkości pozwalają na retencję określonej ilości wody. Umożliwia to okresową przerwę w poborze wody zasilającej ujęcie, gdy ujmowanie wody powierzchniowej jest niemożliwe, np. ze względu na

okresowe jej zanieczyszczenie, bądź planowane prace czyszczenia stawów. Planując harmonogram zasilania ujęcia w wodę należy mieć na uwadze:

- wielkość zapotrzebowania na wodę w SUW,
- czas potrzebny na przeniknięcie wody do warstwy wodonośnej,
- wydajność systemu odbiorczego wody infiltrowanej,
- planowane modernizacje/czyszczenie obiektów infiltrujących,
- straty wody.

Zasilanie ujęcia sztucznej infiltracji, uwzględniające powyższe uwarunkowania, musi być zgodne z pozwoleniem wodnoprawnym uzyskanym przez przedsiębiorstwo wodociągowe. Zadanie zasilania ujęcia wodą powierzchniową realizowane jest przez studnie regulacyjno-pomiarowe, które odpowiedzialne są za utrzymanie zadanego poziomu wody w stawach i rowach infiltracyjnych.

2.1. System odbiorczy wody infiltrowanej

Na system odbiorczy wody infiltrowanej mogą składać się drenaże nadbrzeżne i poddenne, bariery studni wierconych lub kopanych rozmieszczonych wzdłuż linii brzegowych stawów oraz ujęcia hybrydowe, łączące w jeden układ studnie i drenaże. Wybór składowych systemu zależy m.in. od budowy geologicznej warstwy wodonośnej, składu wody podziemnej i infiltracyjnej oraz technologii i kosztów budowy [4]. Analizie zostanie poddany system odbiorczy typu hybrydowego, składający się z wzajemnie połączonych studni lewarowych, studni z pompami głębinowymi, studni zbiorczych oraz studni spełniających funkcje regulujące [5].

Tab. 1. Charakterystyka systemu odbiorczego wody infiltracyjnej

Tab 1. Characteristics of the infiltration water collecting system

Obiekt	Urządzenia wykonawcze	Zmienne mierzone	Zmienne sterujące (sterowania)
Studnie zbiorcze drenażowe	<ul style="list-style-type: none"> • pompy głębinowe z możliwością płynnej regulacji wydajności za pomocą falownika, • przepustnice z napędem elektrycznym 	<ul style="list-style-type: none"> • poziom wody w studni, • przepływ za każdą z pomp, • częstotliwości falownika każdej z pomp, • prąd za każdą z pomp 	<ul style="list-style-type: none"> • stan wł. pompy • częstotliwość pracy pompy • stan otwarcia lub zamknięcia przepustnicy
Studnie zbiorcze lewarowe	<ul style="list-style-type: none"> • pompy tłoczne z możliwością płynnej regulacji wydajności • pompy próżniowe do wytworzenia podciśnienia w studni, 	<ul style="list-style-type: none"> • podciśnienie w studni lewarowej zbiorczej, • częstotliwości falownika każdej z pomp, • prąd za każdą z pomp 	<ul style="list-style-type: none"> • stan wł. pompy • częstotliwość pracy pompy • stan otwarcia lub zamknięcia przepustnicy

Obiekt	Urządzenia wykonawcze	Zmienne mierzone	Zmienne sterujące (sterowania)
Studnie lewarowe	<ul style="list-style-type: none"> • przepustnice z napędem elektrycznym. 		
Studnie głębinowe	<ul style="list-style-type: none"> • pompy z możliwością płynnej regulacji wydajności za pomocą falownika. 	<ul style="list-style-type: none"> • przepływ za przepustnicami regulacyjnymi, • częstotliwości falownika, • prąd pomp pracujących na falowniku 	<ul style="list-style-type: none"> • stan wł. pompy
	<ul style="list-style-type: none"> • pompy bez możliwości płynnej regulacji wydajności, • przepustnice z napędem elektrycznym 		<ul style="list-style-type: none"> • stan wł. pompy • stan otwarcia lub zamknięcia przepustnicy
Studnie regulujące zespół studni	<ul style="list-style-type: none"> • przepustnica regulacyjna 		<ul style="list-style-type: none"> • stan otwarcia lub zamknięcia przepustnicy

Studnie drenażowe zbierają wodę napływającą w sposób grawitacyjny z drenów umieszczonych na terenie ujęcia i za pomocą pomp przepompowują wodę na SUW. Studnie lewarowe doprowadzają wodę do studni zbiorczej lewarowej, skąd pompowana jest na SUW. Woda zasysana jest do lewarowych studni zbiorczych z pojedynczych studni lewarowych dzięki podciśnieniu wywołanemu przez pompy próżniowe. Sekcje studni lewarowych wraz z studnią zbiorczą należy identyfikować jako jeden obiekt sterowania. Studnie z pompami głębinowymi można podzielić wg rodzaju zainstalowanej pompy. Wyróżnia się pompy z możliwością płynnej regulacji wydajności za pomocą falownika oraz pompy pracujące ze stałą prędkością obrotową. Zadaniem studni pełniących funkcje regulacyjne jest regulowanie wydajnością w zależności od przepływu lub ciśnienia poszczególnych nitek studni głębinowych, które nie posiadają możliwości regulacji wydajności pomp. Wymienione obiekty dla analizowanego ujęcia zajmują rozległy obszar. Studnie grupowane są w bariery, które skupiają w sobie obiekty odbiorcze na ograniczonych terenie [5].

2.2. System pomiarowy

W celu poznania stanu obiektu w nowoczesnych ujęciach infiltracyjnych instalowane są urządzenia monitorujące wybrane wielkości fizyczne. Na system pomiarowy składać się mogą np. piezometry, przepływomierze i komory pomiarowe. W celu umożliwienia sterowania automatycznego konieczne jest wyposażenie systemu odbiorczego w niezbędne urządzenia monitorujące zestawione w tabeli 2. Oprócz dedykowanych urządzeń pomiarowych elementy wykonawcze pozwalają również na uzyskanie informacji, np. o stanie pracy i awarii pomp we wszystkich typach studni. Dane uzyskane z urządzeń pomiarowych i elementów wykonawczych tworzą system pomiarowy będący częścią SCADA, który dostarcza szeroką wiedzę o ujęciu. Akwizycja danych z urządzeń pomiarowych umożliwia nie tylko badanie aktualnego stanu obiektu.

Tab. 2. Charakterystyka systemu pomiarowego

Tab. 2. Characteristics of the measuring system

Obiekt	Urządzenia monitorujące	Zmienne mierzone
Studnie zbiorcze drenażowe	<ul style="list-style-type: none"> • przepływomierze elektromagnetyczne, • czujniki ciśnienia, 	<ul style="list-style-type: none"> • poziom wody w studni, • przepływ za każdą z pomp, • pomiar ciśnienia na przewodach tłocznych,
Studnie zbiorcze lewarowe	<ul style="list-style-type: none"> • przepływomierze elektromagnetyczne, • piezometry, • czujniki ciśnienia, 	<ul style="list-style-type: none"> • poziom wody w studni lewarowej, • przepływ wody ze studni lewarowej, • poziom wody w studni lewarowej zbiorczej, • przepływ wody ze studni lewarowej zbiorczej, • pomiar podciśnienia,
Studnie lewarowe		
Studnie głębinowe	<ul style="list-style-type: none"> • przepływomierze elektromagnetyczne, • piezometry, • czujniki ciśnienia, 	<ul style="list-style-type: none"> • poziom wody w studni, • przepływ za każdą z pomp, • pomiar ciśnienia w wybranych punktach barier studni.

Zapis w bazach danych pozwala analizować stan obiektu w czasie poprzez system raportowania (np. obliczenia sumarycznych bądź średnich przepływów, czasu pracy urządzeń). Dane z urządzeń pomiarowych mogą być bezpośrednio użyteczną informacją dla operatora, bądź mogą zostać wykorzystane do dalszej analizy i utworzenia systemu alarmów. Za pośrednictwem systemu SCADA powinny być monitorowane także zainstalowane urządzenia kontrolujące i monitorujące dostęp do obiektów ujęcia, takie jak:

- czujniki otwarcia włazów w studniach,
- czujniki otwarcia drzwi w stacjach transformatorowych,
- czujniki otwarcia włazów w komorach na szafy elektryczne,
- czujniki pojawienia się wody w komorach na szafy elektryczne.

Ograniczone środki finansowe oraz możliwości techniczne uniemożliwiają zastosowanie czujników pomiarowych w takiej liczbie, aby w pełnym zakresie znać chwilowy stan ujęcia sztucznej infiltracji na podstawie fizycznych pomiarów. Uzyskane informacje pomiarowe pozwalają tylko na częściowe poznanie stanu obiektu. Procesy hydrologiczne i hydrogeologiczne dynamicznie zachodzące w naturalnym środowisku, jakim pozostają obiekty sztucznej infiltracji, są złożone z wzajemnych interakcji trudnych do identyfikacji i monitorowania. Brak pełnej wiedzy o dynamice procesów infiltracji w gruncie, usuwania niekorzystnych składników oraz wzajemnego oddziaływania zespołów pomp, wymaga sterowania w warunkach niepełnej informacji o dynamice procesów[3]. W takiej sytuacji konieczne jest estymowanie brakujących wielkości charakteryzujących stan obiektu.

3. Algorytmy sterowania

Algorytm sterowania systemem odbiorczym wody ze sztucznego ujęcia infiltracyjnego powinien realizować zadanie regulacji pracy pomp. Algorytm pracy powinien zapewniać dostarczenie odpowiedniej ilości wody infiltrowanej do stacji SUW przy uwzględnieniu ograniczeń technologicznych oraz dodatkowych kryteriów, np. minimalizacji zużycia energii. Teoria sterowania automatycznego zaleca określenie funkcji regulujących w strukturze wielopoziomowego systemu. Przy eksploatacji analizowanego ujęcia wody można wyodrębnić (rys. 1):

- a) warstwę bezpośrednią - sterującą załączaniem pomp, poziom urządzeń wykonawczych, sterowników PLC,
- b) warstwę nadrzędną - nadzorującą i kontrolującą prace warstwy podstawowej, poziom systemu SCADA,
- c) warstwę optymalizacji –poziom wspomagania decyzji i zarządzania.

Warstwa wyższa do wykonania swoich funkcji wymaga działającej warstwy poprzedzającej. Zakłada się, że komunikacja następuje tylko pomiędzy warstwami sąsiadującymi.



Rys. 1. Warstwy wielopoziomowego systemu sterowania

Fig. 1. Layers multilevel control system

Dla zapewnienia bezpiecznej pracy ujęcia wymaga się, aby zadanie sterowania obiektami systemu odbiorczego wody infiltrowanej uwzględniało podstawowe ograniczenia mające na celu eliminację sytuacji awarii lub uszkodzeń urządzeń. Do podstawowych monitorowanych parametrów należą minimalny poziom wody w studniach oraz minimalny przepływ za pompą. Na poziomie najniższej warstwy sterowania należy wykluczyć pracę pomp powodującą spadek poziomu wody w studni głębinowej poniżej określonego technologicznie minimum, przy jednoczesnym uniknięciu częściowego odsłonięcia pomp lub pracy w suchobiegu. Kontrola minimalnego przepływu ma na celu wykrycie niewłaściwego otwarcia przepustnicy spowodowanego jej uszkodzeniem lub zamknięciem. We współczesnych systemach ujęć wody automatyczne sterowanie warstwą podstawową i nadrzędną jest standardem. Sterowanie i komunikacja urządzeń w warstwie nadrzędnej są szczegółowo opisane w literaturze [6],[7]. Warstwa optymalizacji może być odpowiedzialna za analizę danych historycznych, aktualnych danych

systemu oraz może wykonywać symulacje zmiany algorytmów sterowania, a poprzez system wspomaganie decyzji (SWD) (ang. Decision Support System (DSS)) może wspierać pracę operatora. Wykorzystanie warstwy optymalizacji nie jest powszechne w obecnie spotykanych systemach sterowania ujęciami wody. Przyczyn tego można doszukiwać się w nieświadomości potrzeby wykorzystania systemu wspomaganie decyzji bądź – przeciwnie – może to wynikać z przekonania, że zarządzany proces i środowisko (warunki-otoczenie) są stałe i raz skonfigurowane nie wymagają aktualizacji zmiennych. Innym powodem mogą być uwarunkowania ekonomiczne, jako że wdrożenie SWD wiąże się z opracowaniem modeli matematycznych oraz algorytmów obliczeń, w oparciu o które system może wykonywać symulacje [8].

Przy sterowaniu z wykorzystaniem warstwy optymalizacji działanie operatora powinno być ograniczone do zdefiniowania zadania sterowania. Pierwszym koniecznym krokiem jest określenie wymaganego harmonogramu zapotrzebowania na wodę infiltrowaną w SUW, w określonym przedziale czasu, np. 7 dni tygodnia. W efekcie pracy SWD operator powinien otrzymać scenariusz określający pracę pomp wraz z wydajnościami, których uruchomienie zrealizuje zadany cel. Operator następnie zatwierdza lub modyfikuje proponowane rozwiązanie zadania. System SWD powinien być zintegrowany z systemem SCADA, umożliwiając bezpośrednie przekazanie przygotowanego scenariusza do realizacji. Wymiar zadania optymalizacyjnego realizowanego przez system zależy od złożoności ujęcia oraz od wymaganej przez dynamikę procesu długości kroku T dyskretyzacji sterowań [9]. Wymagany krok dla procesów hydraulicznych przyjmuje się w wielkości 0,5 – 2 godzin, kolejne kroki określone są zmienną k .

Na podstawie informacji dostarczonych przez SCADA, proponuje się następujące kroki algorytmu SWD wyznaczające scenariusz sterowania procesem ujmowania wody:

- analizę sprawności urządzeń koniecznych do prawidłowej pracy obiektu, m.in.: pompy, piezometry, przepływomierze, uwzględnienie obiektów wyłączonych i w modernizacji,
- dla $t_0 + kT$, gdzie $k=0$:
 - analiza aktualnych poziomów wody w obiektach,
 - określenie wydajności pojedynczych studni, których sprawność oraz poziom wody kwalifikuje obiekt do użycia,
 - wybór studni i parametrów ich wydajności:
 - algorytm wyboru studni spośród dostępnych (określenie kryteriów funkcji np. minimalizacja kosztu),
 - analiza: czy łączna wydajność wybranych studni zrealizuje wprowadzone zadanie,
 - analiza: jak jednoczesne uruchomienie wybranych studni, bezpośrednio sąsiadujących ze sobą, wpłynie na poziom wody,
 - analiza: czy spełnione są ograniczenia technologiczne, techniczne oraz równania dynamiki systemu,
 - wykonanie końcowych symulacji definiujących stan obiektu,
- dla $t_0 + kT$, gdzie $k=1,2,3 \dots n$:
 - analiza poziomów wody w obiektach, dane uzyskane z kroku $k-1$,
 - określenie wydajności pojedynczych studni, których sprawność oraz poziom wody kwalifikuje obiekt do użycia,
 - wybór studni i parametrów ich wydajności,
 - wykonanie końcowych symulacji definiujących stan obiektu,
- zebranie wyników, przygotowanie algorytmów sterowania do SCADA, prezentacja scenariusza operatorowi.

Należy mieć na uwadze dostępność oraz niepewność pomiarów charakteryzujących obiekt ujęcia wody, a także ograniczenia wynikające z modelu, rozumianego jako uproszczona reprezentacja rzeczywistości. Po przekazaniu scenariusza sterowania do wykonania w systemie SCADA system warstwy optymalizującej powinien monitorować realizację zadanego sterowania. Dla przyjętego kroku dyskretyzacji sterowań system SWD powinien oceniać zbieżność realizacji scenariusza w stosunku do pierwotnie przewidywanych rezultatów. W przypadku zidentyfikowania określonej wielkości uchybu system SWD powinien ponownie wykonać przedstawione kroki algorytmu SWD wyznaczające scenariusz sterowania procesem ujmowania wody. Należy rozważyć dla jakich warunków system SWD powinien automatycznie przekazać skorygowany scenariusz sterowania do systemu warstwy nadrzędnej, a przy poziomie jakiego uchybu ograniczyć swoją rolę do odpowiednich komunikatów.

Realizacja zaproponowanego systemu wspomagania decyzji zakłada wykorzystanie algorytmów regulacji predykcyjnej MPC (ang. Model Predictive Control). W algorytmie regulacji predykcyjnej wartości sterowań wyznaczamy dla każdej iteracji algorytmu (dla każdej chwili kT) dysponując:

- dynamicznym modelem obiektu, zakładającym określony model zakłóceń,
- pomiarami zmiennych wyjściowych obiektu w chwilach bieżącej i poprzednich oraz poprzednimi wartościami sterowania,
- znaną bądź założoną trajektorią wartości zadanych wyjść regulowanych obiektu w chwili bieżącej k i chwilach przyszłych,

dla określonego horyzontu sterowania[10].

4. Wnioski

Zastosowanie systemu SWD w sztucznym ujęciu infiltracyjnym pozwala na analizę stanu obiektu ujęcia oraz opracowanie scenariusza realizacji sterowania pracą zespołów pomp w ramach wyznaczonego zadania. Model matematyczny ujęcia użyty w SWD powinien umożliwić uwzględnienie wzajemnych oddziaływań obiektów ujęcia, w celu przetestowania różnych sytuacji eksploatacyjnych i zaproponowaniu najefektywniejszego rozwiązania realizującego proces odbioru wody infiltrowanej. Zaproponowany algorytm pracy SWD wymaga w pełni wdrożonej warstwy nadrzędnej wraz z urządzeniami monitorującymi. Zaprezentowany system wspomagania decyzji zakłada wykorzystanie algorytmu regulacji predykcyjnej(MPC). Realizacja przedstawionego algorytmu wymaga rozwiązania szeregu problemów określonych w kolejnych punktach kroku „wybór studni i parametrów ich wydajności”. Algorytm wyboru studni powinien uwzględniać określone kryteria funkcji celu np. minimalizacja zużycia energii oraz może wykorzystywać system wag, wynikających z jakości wody infiltrowanej z określonej studni, poziomu wody w studni, uwzględnienie dotychczasowego czasu pracy pompy. Do wykonania symulacji użycia algorytmu wyboru studni konieczne jest zbudowanie modelu hydraulicznego ujęcia. Dodatkowo, wykonanie wymienionych analiz wpływu pracy studni, wymaga użycia modelu hydrogeologicznego ujęcia. W celu umożliwienia pełnej analizy i uwzględnienia ograniczeń technologicznych, technicznych oraz równań dynamiki systemu, wymagane jest zbudowanie pełnego modelu ujęcia. Model ten powinien uwzględniać strukturę i charakterystyki składowych sieci wodociągowych oraz równania przepływu wody w gruncie. Poziomą integracją powyższych modeli jest istotnym i odrębnym problemem badawczym, a równocześnie niezbędnym do syntezy efektywnych scenariuszy sterowania ujęciem.

Bibliografia

- [1] Duzinkiewicz, K. Zintegrowane sterowanie systemami zaopatrzenia w wodę pitną. Kraków: Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, 2005
- [2] Brodziak, R. and Kaźmierski, T. Analiza wybranych narzędzi w modelowaniu procesów eksploatacyjnych ujęć wody. *INSTAL*, 2014, 1/2014, 47-51
- [3] Urbaniak, A. Algorytmy sterowania infiltracyjnym ujęciem wody rzecznej. Aktualne zagadnienia w uzdatnianiu i dystrybucji wody, Gliwice, Politechnika Śląska, Instytut Inżynierii Wody i Ścieków, 2013, 157-166
- [4] Mielcarzewicz, E.Wł., Hotłoś, H., Kotowski, A. and Łomotowski, J. Zasady projektowania obiektów sztucznej infiltracji wody. Mat. seminarium szkoleniowego projektantów wodociągów, Zakopane, 1982
- [5] Miejskie Wodociągi i Kanalizacja w Bydgoszczy Sp. z o.o.. Instrukcja eksploatacji infiltracyjnego ujęcia wody „Czyżkówko” w Bydgoszczy, Dokumentacja wewnętrzna, 2011
- [6] Kubiak, Z. and Urbaniak, A. Uzdatnianie wody i oczyszczanie ścieków – automatyka i sterowanie. *Wodociągi – Kanalizacja*, 2000, 7-8/2010, 77-78
- [7] Sroczan, E.M., Urbaniak, A. Komputerowe sterowanie procesami oczyszczania wody i ścieków. *Przegląd Komunalny*, 2000, 3/2000, 91-94
- [8] Sozański, M.M., Sroczan, E.M., and Urbaniak, A. Komputerowe systemy wspomaganie decyzji w inżynierii środowiska. *Przegląd Komunalny*, 2000, 3/2000, 94-98
- [9] Duzinkiewicz, K. Zintegrowane sterowanie systemami wodociągowymi - struktury i algorytmy cz. I. *Wodociągi – Kanalizacja*, 2005, 11-12/2005, 24-26
- [10] Tatjewski, P. Sterowanie zaawansowane obiektów przemysłowych: struktury i algorytmy. Warszawa: WNT, 2002

