

**Dr hab. inż. Izabela Zimoch, prof. nzw. w Pol. Śl.**

Politechnika Śląska w Gliwicach  
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki  
Instytut Inżynierii Wody i Ścieków  
ul. Konarskiego 18, 44-100 Gliwice  
Tel. +48 32 2372884, Faks: +48 32 2371047  
e:mail izabela.zimoch@polsl.pl

---

---

### **Recenzja**

**rozprawy doktorskiej mgr inż. Rafała Brodziaka  
pt. „Synteza scenariuszy eksploatacji i sterowania  
procesami ujmowania wody metodą sztucznej infiltracji ”**

**Promotor: dr hab. Andrzej Urbaniak, prof. nadzw. PP**

**Promotor pomocniczy: dr inż. Tomasz Schiller**

#### **1. Podstawa opracowania recenzji rozprawy**

Podstawę formalną przygotowania recenzji rozprawy doktorskiej mgr inż. Rafała Brodziaka pt.: „*Synteza scenariuszy eksploatacji i sterowania procesami ujmowania wody metodą sztucznej infiltracji*” stanowi uchwała Rady Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Poznańskiej z dnia 31 marca 2017 r. oraz pismo (nr: WB/78/2018) Dziekana Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska prof. dr hab. inż. Tomasza Mróz z dnia 4 kwietnia br.

#### **2. Celowość podjęcia tematu**

Wydarzenia z ostatnich 25 lata jednoznacznie wyznaczają kierunki zmiany w podejściu Unii Europejskiej do gospodarki wodnej, uznając wodę za podstawy gwarantujące szeroko rozumiany progres cywilizacyjny oparty na zasadach zrównoważonego rozwoju. Strategia zarządzania zasobami wodnymi uwzględniająca średnio i długoterminowe cele została określona w preambule Ramowej Dyrektywy Wodnej z 23 października 2000 roku poprzez wyznaczenie ram wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej, uwzględniającego zasadę iż *...woda nie jest produktem handlowym takim jak każdy inny, ale raczej dziedzictwem, które musi być chronione, bronię i traktowane jako takie*”. Od tego czasu powstało wiele bardzo istotnych dokumentów wytyczających politykę w tym zakresie na najbliższe 10-20 lat. Komitet Regionów w dokumencie *"Rola władz lokalnych i regionalnych w propagowaniu zrównoważonej gospodarki wodnej"* (2011/C 259/03 z 02.09.2011r.) stwierdził, *„że właściwe i zgodne z etyką ochrony środowiska korzystanie z zasobów wodnych możliwe jest dzięki zastosowaniu - tam, gdzie to możliwe i uzasadnione z ekonomicznego punktu widzenia - najlepszych technik pobierania wody, jej dystrybucji i wykorzystania, przy jednoczesnym zapewnieniu, dzięki rzetelnemu a zarazem elastycznemu modelowi zarządzania, równowagi między wymaganiami ekologicznymi, a imperatywami rozwoju społeczno-gospodarczego w perspektywie średnioterminowej”*. Równocześnie Parlament Europejski

przyjmując Rezolucję z dnia 3 lipca 2012 r. w sprawie wdrażania prawodawstwa UE w dziedzinie wody w obliczu konieczności przyjęcia całościowego podejścia do wyzwań europejskiej polityki wodnej miał na uwadze, że „woda jest niezbywalnym dobrem publicznym mającym decydujące znaczenie dla życia, a właściwe gospodarowanie wodami odgrywa kluczową rolę dla zachowania naturalnego kapitału świata i usług ekosystemowych, (...), że przyszłość (...) zależy od odpowiedzialnego i skutecznego zarządzania istniejącymi zasobami wodnymi, gdyż ma ono bezpośredni wpływ na ludzkie zdrowie, produkcję energii, rolnictwo i bezpieczeństwo żywnościowe”. 25 września 2015 r. na forum ONZ została przyjęta Agenda 2030, której zdefiniowanym celem programu 6 jest zapewnienie dostępności wody dla wszystkich ludzi oraz zrównoważone zarządzanie wodą i infrastrukturą sanitarną. Cele szczegółowe nakreślone agenda mają być osiągnięte do 2030 roku, w tym zapewnienie powszechnego i równego dostępu do bezpiecznej wody pitnej w przystępnej cenie oraz wdrożenie zintegrowanego zarządzania zasobami wodnymi. Cele te jednoznacznie określiły wymogi efektywnej eksploatacji systemów wodociągowych.

Systemy zaopatrzenia w wodę (SZW) są złożonymi systemami technicznymi, których podstawową funkcją jest dostarczenie do konsumenta bezpiecznej wody o parametrach zgodnych z rozporządzeniem Ministra Zdrowia z dnia 13 listopada 2015 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz. U. 2015 r. poz. 1989). Sposób funkcjonowania SZW został natomiast precyzyjnie zdefiniowany wprost art. 5 ust. 1 *Ustawy o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków* (Dz. U. nr 72, poz. 1747 z 2001 r.) narzuceniem na przedsiębiorstwa wodociągowo – kanalizacyjne obowiązku zapewnienia zdolność posiadanych urządzeń wodociągowych do realizacji dostaw wody w wymaganej ilości i pod odpowiednim ciśnieniem w sposób ciągły i niezawodny. SZW są to systemy o bardzo długim okresie eksploatacji (niejednokrotnie przekraczającym 100 lat), które w zależności od potrzeb jednostki osadniczej były i są sukcesywnie rozbudowywane. Integralnym elementem SZW jest podsystem ujmowania wody, którego bezpośrednią funkcją jest pobór i dostarczenie wody do układu uzdatniania. Podsystem ten jest kluczowym ogniwem w łańcuchu dostaw wody, warunkującym funkcjonowanie pozostałych podsystemów począwszy od uzdatniania, poprzez magazynowanie, a na dystrybucji wody skończywszy. Z uwagi na pogłębiający się deficyt wody oraz dużą sezonową zmienność ilościową i jakościową zasobów wód powierzchniowych, wiodącym kierunkiem rozwoju tego podsystemu będzie retencjonowanie wód w warstwach wodonośnych poprzez wykorzystanie sztucznej infiltracji. Sztuczna infiltracja stanowi dodatkowo pierwszy stopień uzdatniania, oparty na procesach naturalnych, które stabilizują parametry jakościowe ujmowanej wody.

Zatem aktualnie, w świetle europejskiej polityki wodnej oraz działań na rzecz zrównoważonego rozwoju, uwzględniającego racjonalne i zintegrowane zarządzania infrastrukturą wodociągową, koniecznym jest efektywne korzystanie z zasobów wodnych. Cechą systemów zaopatrzenia w wodę jest ich duża złożoność struktury i mnogość stawianych im wymagań, rozległy obszar eksploatacji, jak i duża zmienność czynników zewnętrznych oraz wewnętrznych (nie tylko sezonowa, ale również i dobową) istotnie kształtujących warunki ich funkcjonowania. W takich okolicznościach w procedurach zarządzania funkcjonowaniem systemów wodociągowych coraz częściej wykorzystuje się zintegrowane systemy informatyczne, bazujące na modelach predykcji parametrów eksploatacji systemu w procedurach optymalizacji ich pracy oraz wykorzystujące zaawansowane systemy sterowania z zastosowaniem inteligentnych algorytmów sterowania. Działania powyższe podejmuje się w celu zapewnienia efektywności ekonomicznej procesów dostaw wody do konsumenta.

Rozprawa doktorska Pana mgr inż. Rafała Brodziaka, której głównym celem było opracowanie oryginalnej metodyki budowy scenariuszy eksploatacji ujęcia, wykorzystywanych do sterowania układami pompowymi w procesie poboru wody w ujęciach

infiltracyjnych zbudowanych z wielu studni odpowiada aktualnym wyzwaniom zrównoważonego rozwoju SZW. Opracowana metoda jako element systemu wspomaganie decyzji (DSS - Decision Support System) podejmowanych przez operatora SZW, trafnie wpisuje się we współczesny nurt złożonych, interdyscyplinarnych badań naukowych procesów sterowania, monitorowania oraz w proces rozwoju modeli zarządzania opartych na zaawansowanych algorytmach optymalizacji. Ponadto odpowiada aktualnej tematyce naukowo-badawczej z zakresu rozwijania nowoczesnych technik i modeli predykcji integrujących zaawansowane narzędzia informatyczne.

Na szczególną uwagę zasługuje podjęcie przez Doktoranta próby poszerzenia wiedzy w zakresie wielokryterialnego procesu sterowania systemem ujmującym wodę metodą sztucznej infiltracji. Istotną cechą prowadzonych przez Doktoranta prac badawczych jest fakt realizacji ich na rzeczywistym ujęciu infiltracyjnym Czyżkówko, będącym w gestii zarządzania przez spółkę Miejskie Wodociągi i Kanalizacja w Bydgoszczy. Pozwoliło to na precyzyjne sformułowanie najważniejszych elementów, istotnych w procesie syntezy scenariuszy eksploatacji i sterowania pracą ujęciami infiltracyjnymi.

### **3. Ogólna charakterystyka rozprawy**

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Rafała Brodziaka liczy 192 strony. Część przeglądowa pracy stanowi około 29%, a część badawcza wraz z dyskusją otrzymanych wyników 62%, pozostałą część rozprawy stanowią wnioski, bibliografia, spis rysunków i tabel oraz załącznik nr 1 *Algorytm syntezy scenariuszy - skrypty*. Integralnym elementem rozprawy jest załącznik nr 2 stanowiący płytę CD zawierającą model hydrauliczny ujęcia, pliki środowiska symulacyjnego oraz analizowany przez Doktoranta przykład. Praca zawiera opracowania w postaci elementów graficznych stanowiących łącznie 43 rysunki oraz 38 tabel, które w logiczny sposób powiązane są z prezentowanymi treściami. Bibliografia przedmiotowej dysertacji obejmująca 104 pozycje, w tym 85 opracowań naukowych w postaci artykułów i monografii (83%), pozostałe 19 elementów bibliografii stanowią raporty międzynarodowych organizacji, sprawozdania, dyrektywy oraz przewodniki i instrukcje, dane archiwalne, wytyczne. Opracowania anglojęzyczne to 25 pozycji (24,5%). Blisko 70% przytoczonej literatury to opracowania z ostatnich 10 lat. Elementem prezentowanej bibliografii jest 12 pozycji odwołań do ogólnie dostępnych stron internetowych.

Praca posiada tradycyjny układ, obejmujący 7 podstawowych rozdziałów, który można podzielić na trzy zasadnicze części. Część pierwsza mająca charakter rozważań teoretycznych obejmuje strony od 1 do 70 i zawiera 3 rozdziały: rozdział 1 – *Wstęp*, rozdział 2 stanowiący *Charakterystykę infiltracyjnych ujęć wody*, rozdział 3 mieszczący *Wybrane narzędzia informatyczne*. Część drugą - badawczą, zawierającą strony od 71 do 167, stanowi treści rozdziału 4 pt. *Sterowanie układami pomp w procesie ujmowania wody (na przykładzie wybranego ujęcia)*, rozdziału 5 *Synteza scenariuszy eksploatacji i sterowania* oraz rozdziału 6 pt. *Badania symulacyjne*. Ta część dysertacji poświęcona jest między innymi prezentacji obiektu badań wraz z charakterystyką obiektów i procesów, wykorzystanych modeli badawczych, struktur systemów nadzorujących i monitorujących, wielkości sterujących i sterowanych, zdefiniowanych kryteriów sterowania, autorskiej metodyce budowy scenariuszy eksploatacji i sterowania pracą ujęć infiltracyjnych wraz z dogłębną interpretacją uzyskanych wyników przeprowadzonych eksperymentów. Część trzecia rozprawy to *Wnioski* – rozdział 7. Integralnymi elementami rozprawy są: *Bibliografia*, zawierający obszerny zestaw literatury w zakresie tematyki dysertacji, *Spis rysunków i Spis tabel* oraz *Załączniki*. W pracy Autor zamieścił streszczenie w języku polskim i angielskim.

## 4. Zakres i ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej

### 4.1 Treść rozprawy

Uważam, że problemy prezentowane w ocenianej pracy są ważne i aktualne, odpowiadające na rzeczywiste wyzwania zarządzania eksploatacją systemami wodociągowymi, opartego na efektywnym korzystaniu z zasobów wodnych z wykorzystaniem sztucznej infiltracji. Praca napisana jest bardzo starannie, jasno i poprawnym językiem. Została podzielona na logicznie ułożone rozdziały wzajemnie ze sobą korespondujące.

Na wstępie, w wprowadzeniu (rozdział 1.1), na tle faktów i wyzwań światowej oraz europejskiej polityki wodnej, Autor przedstawił w sposób zwięzły istotę współczesnych uwarunkowań środowiskowych, technicznych i ekonomicznych eksploatacji systemów wodociągowych, w ścisłym powiązaniu z potrzebami efektywnego korzystania z zasobów wodnych. Wykazał, iż eksploatacja SZW, w tym między innymi wykorzystujących metodę sztucznej infiltracji, jako złożonych systemów technicznych wymaga zintegrowanego zarządzania wieloma procesami. W takim ujęciu według Autora interpretacja zarządzania to całość ciągłych i usystematyzowanych działań obejmujących planowanie i monitorowanie realizacji procesu, dla osiągnięcia założonego celu. Doktorant podkreślił, iż spektrum, zagadnień wpływających na realizację dostaw wody do konsumenta jest na tyle szerokie, że obecnie jest ono postrzegane jako interdyscyplinarne zagadnienie badawcze integrujące wiedzę z obszarów teorii modelowania, systemów środowiskowych, systemów sterowania i technologii informacyjnych. Takie szerokie spojrzenie na zagadnienie eksploatacji i sterowania procesem ujmowania wody metodą sztucznej infiltracji oraz stosowanych narzędzi informatycznych pozwoliło Doktorantowi podkreślić istotę podjętego problemu badawczego, którego cel i tezę w sposób zwięzły sformułował w rozdziale 1.2 pt. *Przedmiot, cel i teza rozprawy*.

W kolejnym rozdziale 2, na podstawie dokonanego przeglądu literatury krajowej i zagranicznej, Autor zaprezentował zagadnienia budowy i zasad eksploatacji infiltracyjnych ujęć wody. Szczegółowo scharakteryzował ujęcia wody wykorzystujące metodę sztucznej infiltracji. Uzupełnieniem tych rozważań jest zagadnienie badawcze dotyczące problemów eksploatacji i sterowania w obiektach wodociągowych ujęć. Doktorant podkreślił, że założenia zrównoważonego zarządzania wymagają różnych kryteriów składowych takich jak: ekologiczne (ograniczenia hydrogeologiczne), techniczne (np. wydajność pomp, charakterystyki armatury, przepustowość systemu przesyłu wody), ekonomiczne (minimalizacja kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych) i prawne (pozwolenia wodno-prawne określające maksymalną godzinową i średnio-dobową wydajność studni, maksymalną objętość wody jaką można pobrać w ciągu roku ze studni). Mając na uwadze zdefiniowane kryteria zrównoważonego zarządzania, Autor słusznie podkreślił, iż nie jest oczywistym czy zmienną decyzyjną w procesie sterowania praca ujęcia infiltracyjnego ma być minimalizacja energochłonności, czy utrzymanie stałych wydajności barier, czy też stałego poziomu zwierciadła wody w studniach. Fakt ten w opinii Doktoranta wymaga syntezy algorytmów, które dla określonego stanu obiektu i zdefiniowanych kryteriów oraz ograniczeń pozwolą na wybór optymalnego scenariusza sterowania poprzez wskazanie, które pompy należy włączyć w proces eksploatacji ujęcia.

W rozdziale trzecim, również na podstawie dokonanego przeglądu najnowszej literatury naukowej, Pan mgr inż. Rafał Brodziak omówił narzędzia informatyczne wspomagające proces zarządzania systemami wodociągowymi w aspekcie budowy modeli DSS wspierających podejmowanie decyzji przez operatora. Przedstawił wielopoziomową strukturę współczesnych systemów informatycznych oraz podkreślił jej zalety tj. oddzielenie funkcji prezentacji danych, interfejsu użytkownika oraz logiki przetwarzania, wyodrębnienie składowych realizujących zadanie krytyczne, wykorzystanie standardowych protokołów

komunikacyjnych, integracja ze standardowymi bibliotekami komponentów i obiektów, zmieszenie obciążenia stacji roboczych, sprawniejsza i łatwiejsza administracja systemem, czy też ujednolicony dostęp do rozproszonych baz danych. Autor zwrócił uwagę, iż zgodnie z definicją systemem informatyczny można określać ogół metod i środków zbierania i przetwarzania, przechowywania i udostępniania informacji przy wykorzystaniu środków automatycznych. Zatem system ten wg Autora to współpracujące ze sobą komponenty, obejmujące: oprogramowanie, infrastrukturę sprzętową, dane, ludzi i organizację przedsiębiorstwa (jego cele i zadania). W dalszej części rozdziału (3.2. *Modele symulacyjne*) przedstawił podstawowe informacje determinujące proces modelowania, podkreślając istotę ustalenia celu jakiego ma służyć budowany model symulacyjny, bowiem, cele te mogą stanowić: estymację w oparciu o pomiary pośrednie, predykcję działania systemu, czy też sterowanie procesami w celu optymalizacji. Ponadto w tej części dysertacji odniósł się do znaczenia modelowania hydraulicznego pracy sieci wodociągowej oraz ich funkcji w wspieraniu procesu projektowania lub modyfikacji elementów podsystemu dystrybucji wody (tj. sieć wodociągowa, lokalizacja ujęć, pompowni i zbiorników), wspierania diagnostyki istniejącej infrastruktury wodociągowej (identyfikacja słabych punktów) i analiz sytuacji kryzysowych, optymalizacji parametrów pracy sieci wodociągowej (np. energia) oraz optymalizacji procedur zarządzania, optymalizacji planu konserwacji i napraw itp. W podrozdziale 3.3 *Systemy nadzoru, monitorowania i sterowania (SCADA)* zwięźle przedstawił charakterystykę tych systemów, strukturę przepływu danych w ideowym systemie SCADA oraz realizowane przez niego podstawowe funkcje tj. komunikacja ze sterownikami, regulatorami, mikroprocesowymi koncentratorami danych pomiarowych, przetwarzanie zmiennych procesowych, sterowanie procesami, monitorowanie, archiwizowanie danych, raportowanie, wizualizacja przebiegu procesu, konfigurowanie struktur algorytmicznych i ekranów synoptycznych oraz wymiana danych z innymi systemami i bazami danych. Natomiast w podrozdziale 3.4. *Systemy Wspomagania Decyzji* Doktorant syntetycznie opisał metody zarządzania wykorzystujące systemy IT w procesie eksploatacji poprzez DSS wraz z charakterystyką funkcjonowania systemu obejmującego współpracujące element: interfejs użytkownika, moduł sterowania, moduł uczący się, baz danych, modeli i wiedzy. Swoje rozważania zakończył problematyką integracji komponentów systemu zarządzania SZW, stanowiącą treść podrozdziału 3.5. *Integracja narzędzi informatycznych*.

Treść rozdziałów części teoretycznej konsekwentnie i wyczerpująco wprowadza czytelnika w problematykę, która stanowi zasadniczy przedmiot badań Doktoranta, prezentowany w części analitycznej dysertacji. Rozdział 4 obejmujący 5 części (podrozdziały: 4.1 *Charakterystyka obiektu badań*, 4.2 *Struktura systemów nadzorujących i monitorujących*, 4.3 *Identyfikacja procesów, wielkości sterujących i sterowanych*, 4.4 *Analiza doświadczeń eksploatacyjnych*, 4.5 *Zadanie sterowania i ograniczenia*) stanowi opis przedmiotu prac badawczych rzeczywistego obiektu, ujęcia wód infiltracyjnych Czyżkówko w Bydgoszczy wraz z pełną charakterystyką procesu, struktury systemów nadzorujących i monitorujących, procedur sterowania (wielkości sterujące i sterowane). Doktorant dokonał pełnej analizy doświadczeń eksploatacyjnych rzeczywistego obiektu badawczego wraz ze szczegółową syntezą procesu sterowania, co stanowiło podstawy dalszych jego prac obejmujących opis zadań sterowania wraz z ich ograniczeniami i kryteriami dodatkowymi tj. eksploatacja studni z najwyższym zwierciadłem wody, równomierna eksploatacja warstwy wodonośnej oraz równomierny czas pracy pomp. Ta dogłębna analiza pracy rzeczywistego ujęcia wraz z procedurami sterowania, pozwoliły Doktorantowi na opracowanie autorskiej metodyki tworzenia scenariuszy eksploatacji i starowania, która stanowi treść rozdziału 5 pt. *Synteza scenariuszy eksploatacji i sterowania*. W rozdziale tym zostały wydzielone 4 główne podrozdziały (5.1 *Opis stanu obiektu oraz przyjęte założenia*, 5.2 *Parametry pracy systemu zasilające ujęcie woda surową*, 5.3 *Parametry pracy systemu ujmującego wodę infiltrowaną*,

5.4 *Proponowana metodyka budowy scenariuszy*). Autor zdefiniował wymagane informacje o stanie obiektu i założenia niezbędne do budowy scenariuszy oraz usystematyzował parametry pracy układów zasilającego ujęcie wodą surową i ujmującego wodę infiltrowaną (m.in. zakładana sumaryczna wydajność ujęcia  $Q_{out}$ , zakładana retencja wody  $Q_{ret}$ , czy zakładana wydajność i-tej bariery  $q_i$ , wektor zakładanej wydajności barier studziennych  $Q_B$ , stan pracy pomp). Integralnym elementem rozdziału 5 było zidentyfikowanie ograniczeń i kryteriów sterowania procesem eksploatacji systemu pomp w oparciu o opracowane 4 priorytety. Prace te pozwoliły Doktorantowi na budowę algorytmu tworzenia scenariuszy eksploatacji systemu ujmującego wodę, typujących konfigurację włączania pomp, których załączenie gwarantuje osiągnięcie celu sterowania tj. zakładanej wydajności ujęcia dla przyjętych ograniczeń i kryteriów. W konsekwencji realizacji tych procedur jest sformułowanie zaleceń do Systemu Wspomagania Decyzji.

Wykorzystując opracowany algorytm tworzenia scenariuszy eksploatacyjnych Doktorant przeprowadził badania na rzeczywistym obiekcie – ujęcie Czyżkówko w Bydgoszczy, których rezultaty stanowią treść rozdziału 6 *Badania symulacyjne*. W rozdziale tym wyodrębnione zostały 4 podrozdziały: 6.1 *Środowisko symulacyjne*, 6.2 *Model, stan i struktura danych badanego obiektu*, 6.3 *Synteza scenariusza eksploatacji* i 6.4 *Weryfikacja scenariusza*. Autor przedstawił tu środowisko symulacji integrujące narzędzia EPANET 2 i MATLAB, dla realizacji poszczególnych kroków budowy scenariuszy eksploatacyjnych. W procedurach badawczych (rozdział 6.2) wykorzystano model hydrauliczny EPANET 2 w celu predykcji działania ujęcia Czyżkówko oraz na poziomie środowiska MATLAB utworzono bazy danych zawierające zmienne opisujące 6 barier studziennych, w celu indywidualnej identyfikacji studni. Następnie algorytm w kolejnych iteracjach (rozdział 6.3), uwzględniając zdefiniowane ograniczenia, dokonuje syntezy scenariuszy eksploatacyjnych z uwzględnieniem 4 priorytetów. Efektem poszczególnych iteracji jest wyznaczenie wektora stanu  $S_i$ , wektora wydajności barier  $Q_B$  oraz obliczeniowej wydajności ujęcia  $Q_{out}$  należącej do przedziału rozwiązań dopuszczalnych. Spójnym uzupełnieniem procedur obliczeniowych jest weryfikacja scenariusza (rozdział 6.4) w oparciu o symulację jego pracy na modelu hydraulicznym ujęcia.

W końcowej części rozprawy, rozdział 7 zatytułowany *Wnioski*, Pan mgr inż. Rafał Brodziak zawarł krótką interpretację i podsumowanie uzyskanych wyników oraz wnioski końcowe.

Podsumowując merytoryczną ocenę rozprawy pragnę podkreślić, iż w mojej opinii do głównych osiągnięć naukowych i aplikacyjnych Pana mgr inż. Rafała Brodziaka należą:

- opracowanie oryginalnej metodyki tworzenia scenariuszy sterowania systemem ujmującym wodę na ujęciach infiltracyjnych w ramach przyjętych ograniczeń i kryteriów eksploatacyjnych, koniecznej do wykorzystania zaawansowanych systemów sterowania do zapewnienia efektywnej pracy ujęcia zgodnie z ideą zintegrowanego zarządzania zasobami wodnymi,
- interdyscyplinarne podjęcie w analizie struktury obiektu, obejmujące aspekt techniczny, środowiskowy i ekonomiczny, realizowane na rzeczywistym obiekcie jakim jest ujęcie Czyżkówko w Bydgoszczy,
- potwierdzenie oraz wykazanie konieczności uwzględnienia w procedurach analitycznych (w celu wyznaczenia akceptowalnego przedziału przynależności obliczeniowej wydajności ujęcia  $Q_{out}$ ) wyznaczenia współczynnika dokładności zakładanej wydajności  $e_U$ , wynikającego z ograniczonej możliwości regulacji strumienia objętości w poszczególnych barierach, w celu uzyskania zakładanej, zdefiniowanej jako cel analizy wydajności ujęcia,

- wydzielenie w prowadzonych badaniach dwóch współpracujących systemów: zasilającego stawy infiltracyjne i ujmującego wodę, uwzględniając jednocześnie wymagania hydrauliczne oraz hydrogeologiczne,
- utworzenie charakterystyki struktury informacji o stanie obiektu z systemów nadzorujących i monitorujących ujęcie,
- identyfikacja i sformułowanie, na podstawie analiz doświadczeń eksploatacyjnych operatorów ujęcia Czyżkówko oraz danych historycznych, ograniczeń oraz kryteriów sterowania,
- opracowanie, w ramach proponowanej metodyki, algorytmu pracy systemu wspomaganie decyzji operatora nadzorującego proces sterowania pracą wielobarierowego ujęcia wód infiltracyjnych,
- podjęcie wyzwania realizacji badań na rzeczywistym obiekcie – ujęcie Czyżkówko w Bydgoszczy, efektem których opracowana przez Doktoranta metodyka syntezy scenariuszy (wraz z zdefiniowaniem niezbędnych kroków) została zaimplementowana w postaci środowiska informatycznego (wykorzystanie programu MATLAB do budowy baz danych) integrującego utworzony algorytm pracy DSS oraz model matematyczny systemu ujmowania wód Czyżkówko, dla którego utworzono scenariusz sterowania pracy systemu pomp w barierach studziennych, a następnie poddano go weryfikacji,
- zaproponowanie architektury bazy wiedzy odwzorowującej strukturę obiektu oraz stan jego poszczególnych obiektów tj. pomp w barierach, za pomocą wektorów: stanu gotowości studni do pracy  $G_i$ , położenia lustra wody  $H_i$ , wydajności pompy  $Q_i$ , czasu pracy pompy  $T_i$  oraz przyjęte ograniczenia wartości położenia lustra wody w  $i$ -tej barierze w macierzy  $uH_i$ ,
- zdefiniowanie ograniczeń i kryteriów sterowania w postaci hierarchicznej struktury zdefiniowanych 4 priorytetów,
- opracowanie autorskiej metody typowania pompy do włączenia uwzględniającej równomierne obciążenie warstwy wodonośnej na całej długości bariery, w oparciu o zdefiniowane Współczynnik Sumy Sąsiedztwa  $WSS$  oraz Stopnie Sąsiedztwa  $StS$  jednoznacznie wskazujące pompę do włączenia w danym kroku iteracji; ponadto Doktorant zaproponował mechanizm dla przypadków, gdy kilka pomp uzyskało takie same największe wartości  $WSS_{StS}$  (dla obliczonego  $StS$ ), ostatecznego wyboru pompy do włączenia w oparciu o priorytet<3> tj. w oparciu o najkrótszy czas pracy spośród elementów z największym  $WSS$ ,
- wykazanie poprawności postawionej tezy, iż modelowanie pracy ujęcia wody ze sztuczną infiltracją w celu syntezy scenariuszy eksploatacyjnych, wynikających ze zmiennych warunków pracy ujęcia, wraz z wykorzystaniem nowoczesnych narzędzi informatycznych pozwoli na jego efektywne sterowanie w świetle obowiązujących kryteriów technicznych i ekonomicznych.

#### 4.3. Ważniejsze uwagi dyskusyjne

Zakres merytoryczny wynikający z prezentowanych w rozprawie prac badawczych i dyskusji uzyskanych wyników, został podzielony na logicznie ułożone rozdziały wzajemnie ze sobą korespondujące. Uzyskane wyniki badań i przeprowadzona ich dogłębna dyskusja, pozwoliła Doktorantowi na uzyskanie założonego celu badawczego. W pracy pojawiły się drobne „potknięcia” niemające wpływu na końcową ocenę rozprawy doktorskiej. Ważniejsze z nich, o charakterze dyskusyjnym, przedstawiam poniżej.

1. Doktorant słusznie wskazał w rozdziale 2.3 (str. 30), iż zarządzanie pracą ujęć wody, zgodnie z idea zrównoważonego rozwoju, wymaga uwzględnienia licznych

kryteriów: ekologicznych, technicznych, ekonomicznych i prawnych. W grupie kryteriów technicznych Doktorant formułuje problem „... Z drugiej strony ważne ograniczenia wynikają z parametrów hydrogeologicznych, tj. z wysokości zwierciadła wody i z przyczyn technologicznych wysokość ta powinna być utrzymana w pewnym ściśle określonym zakresie...” Brak precyzji jednoznaczności sformułowania nasuwa pytanie: jakie przyczyny technologiczne miał Autor na myśli, czy wynikające z procesów uzdatniania wody, czy warunków eksploatacji układów pompowych. Ponadto, w mojej opinii również Autor nie powinien użyć określenia „ściśle określonym zakresie” ale jednoznacznie podać granice tego zakresu.

2. Doktorant w rozdziale 4.1 (str. 73) podkreślił cechy ujęć infiltracyjnych, dających możliwość retencjonowania wody w warstwie wodonośnej bez konieczności budowy dodatkowych zbiorników. Woda ta może być wykorzystana w sytuacjach kryzysowych np. w czasie pogorszenia jakości wody w rzece i zatrzymania nawadniania stawów. Nasuwa się więc pytanie, jakie przyjęto kryteria pogorszenia jakości wody w rzece Brda wpływające na warunki eksploatacyjne pracy ujęcia Czyżkówko – wstrzymanie procesu zasilania stawów? Co więcej, w jaki sposób została wyznaczona 21 dniowa rezerwa wody w warstwie wodonośnej.
3. Na rysunku 4.2 (str. 74) w budowie ujęcia Czyżkówko przedstawiono 13 stawów do numeracji 17 (brak numeracji stawów 6, 7, 14 i 15), natomiast na stronie 83 dysertacji Autor podczas identyfikacji procesów przytacza, że „...System zasilający ujęcia składa się z 9 stawów, 4 kwater metody powierzchniowej, ...”. W mojej opinii winna być zachowana bezwzględna spójności pomiędzy treściami prezentowanymi na rysunku 4.2, a opisem obiektu badań przedstawionym na stronie 83. Proszę też o wyjaśnienie technicznych różnic między wprowadzonymi przez Autora pojęciami staw i kwatera powierzchniowa.
4. Doktorant słusznie analizuje doświadczenia eksploatacyjne oraz dane historyczne pracy ujęcia Czyżkówko, w celu opracowania metodyki budowy scenariuszy eksploatacji ujęcia ze sztuczną infiltracją. Autor podaje między innymi, iż na podstawie tych danych sporządzono bilans zasilania i poboru wody oraz wyznaczona dla każdej zasuwy regulującej przepływ (RP) obszar jaki jest zasilany wodą, która przepływa przez daną zasuwę (rys. 4.4, str. 93). W jaki sposób zostały wyznaczone te obszary?
5. Doktorant w tabeli 4.5 (str. 95) prezentuje przyporządkowanie stosunku zasilania studni regulujących do poboru wody w barierach. W jaki sposób został wyznaczony współczynniki określające wielkość poboru wody z danego obszaru przez każdą z barier z rozdzielaczem na zasuwy RP?
6. Jaka jest interpretacja współczynnika zwiększającego ze względu na porę roku  $\alpha$ ? Proszę również o wyjaśnienie, dlaczego latem wartość tego współczynnika maleje wraz ze wzrostem wydajności ujęcia.
7. Jaka jest interpretacja współczynnika  $\theta$ , jakie uwzględnia on straty wody?
8. W opracowanej autorskiej metodyce budowy scenariuszy eksploatacji i sterowania pracą ujęć infiltracyjnych Doktorant wprowadziła dwa oryginalne parametry w poszczególnych etapach algorytmu budowy scenariuszy StS – stopień sąsiedztwa oraz WS – współczynnik sąsiedztwa, w oparciu o które wyznaczany jest Współczynnik Sumy Sąsiedztwa WSS, pozwalający na wskazanie pompy do włączenia w danej rozważanej barierze. Zgodnie z interpretacją współczynnika WSS dla danego Stopnia Sąsiedztwa oraz wzorem 5.18 pozwalającym na wyznaczenie jego wartości, w mojej opinii bardziej precyzyjną nazwą oddającą



istota tego parametru jest określenie parametr (indeks) sumy współczynników sąsiedztwa, bowiem jest on sumą WS dla przyjętego StS.

9. Na stronie 109, Doktorant podaje, iż w pierwszej iteracji obliczania WSS bazuje na wektorze  $^1S_i$  powstałym na podstawie priorytetu <2>, w mojej opinii w pierwszym kroku iteracji obliczania WSS bazuje na wektorze stanu pomp wyznaczonym wg priorytetu <1>, na co również wskazuje lewy górny indeks.

#### 4.4. Uwagi szczegółowe i redakcyjne

Na podstawie lektury i analizy recenzowanej rozprawy można sformułować kilka zastrzeżeń natury redakcyjnej, które przedstawiam poniżej.

1. W mojej opinii, przy tak wieloaspektowej metodyce budowy scenariuszy eksploatacji i sterowania pracą ujęć infiltracyjnych, bazującej na licznych parametrach i zmiennych definiowanych przez Doktoranta, uzasadnionym z punktu widzenia przejrzystości prezentowanych algorytmów byłoby zamieszczenie zbiorczego wykazu ważniejszych oznaczeń, symboli i skrótów.
2. Autor w dysertacji używa różnych określeń opisując te same zjawiska i obiekty, np. obiekt infiltracyjny, staw infiltracyjny itp.
3. Autor w swojej dysertacji nie ustrzegł się pewnych błędów literowych, interpunkcyjnych czy stylistycznych np.:

str. 23 ... *zbieracze rozmieszczone są symetryczne* – powinno być *symetrycznie*

str. 31.... *Budowa takich systemu jest zadaniem złożonym* – powinno być *systemów*

str. 54... *Im większą liczbą punktów pomiarowych, tym...*- powinno być *Im większa*

str. 79 ... *piezometriach drenaży...* - powinno być *w piezometrach drenaży*

str. 108 W opisie priorytetu <0> w mojej opinii bardziej precyzyjnym niż  $H_i$  (aktualna wysokość lustra wody w studni) byłby zapis  $H_{ij}$ , który wskazywałby iż jest to wysokość lustra wody w j-tej studni i-tej bariery

str. 109 drugi wiersz od góry jest  $h_{ii}$ , a powinno być wg mojej opinii  $h_{ij}$ , bowiem na stronie 105 Autor zdefiniował  $l$  – jako liczba barier,  $i$  - oznacza numer kolejnej bariery, a  $j$ - numer kolejnej studni w i-tej barierze

str. 129 ... *Studnia zbiorcze drenażowe...*- powinno być *Studnie zbiorcze*

#### 4.5. Szczegółowe uzasadnienie spełnienia warunków § 6.4 Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 14.10.2014 (Dz. U. 2014, poz. 1383) r. uwzględnionych w art. 13 ust. 1 Ustawy o stopniach i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami)

##### 4.5.1. Oryginalność rozwiązania problemu naukowego

Kandydat w swojej dysertacji w rozdziale 5 przedstawił autorską metodykę budowy scenariuszy eksploatacji i sterowania pracą ujęć infiltracyjnych oraz zaprezentował szerokie możliwości zastosowania opracowanej metodyki z uwzględnieniem zdefiniowanych ograniczeń i kryteriów. Ponadto, na podstawie opracowanego algorytmu zweryfikował go na rzeczywistym obiekcie, jakim jest ujęcie wód infiltracyjnych Czyżkówko w Bydgoszczy. Podkreślenia wymaga fakt, iż zaprezentowane rozwiązanie cechują nie tylko walory poznawcze, ale również wartości praktyczne o wysokim potencjale wdrożeniowym wyników prac badawczych Doktoranta do sterowania pracą ujęcia Czyżkówko, zgodnie z zasadą zrównoważonego zarządzania zasobami wodnymi.

Stwierdzam, że omówione rozwiązanie jest oryginalne i spełnia wymogi badań naukowych, stosowanych zdefiniowanych w art. 2. pkt 3 lit.b. Ustawy z dnia 30 kwietnia 2010 r. o zasadach finansowania nauki (Dz. U. nr, 95 poz. 615; zm. z 2015 r. poz. 249).

#### **4.5.2. Wykazanie ogólnej wiedzy Kandydata**

Rozdział 4 zawiera omówienie procesu sterowania układami pomp w ujęciu infiltracyjnym z pełną charakterystyką struktury systemów nadzorujących i monitorujących wraz z identyfikacją procesów oraz wielkości sterujących i sterowanych, a w dalszych częściach pracy Doktorant przedstawił algorytm syntezy scenariuszy (rozdział 5) wraz wyczerpującą dyskusję uzyskanych wyników badań symulacyjnych dla ujęcia Czyżkówko, co pozwoliło mu na ocenę wad i zalet opracowanego modelu badawczego i jego potencjału aplikacyjnego do opracowywania strategii sterowania pracą pomp w wielobarierowych ujęciach infiltracyjnych. Z przywołanych 104 pozycji, 72 pochodzi z ostatnich 10 lat, co świadczy, że kandydat na bieżąco śledzi najnowsze osiągnięcia tej dziedziny.

Stwierdzam, że Kandydat wykazał się ogólną wiedzą na temat metod modelowania i sterowania pracą SZW, w tym ujęć infiltracyjnych, które stanowią istotne zagadnienia badawcze w obszarze nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiska (*Rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 8 sierpnia w sprawie obszarów wiedzy, dziedzin nauki i sztuki oraz dyscyplin naukowych i artystycznych*, Dz. U. 2011.179.1065).

#### **4.5.3. Wykazanie umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Kandydata**

Szczegółowo i dogłębnie opisana analiza parametrów pracy wielobarierowych ujęć infiltracyjnych pozwalająca na opracowanie algorytmu optymalnej pracy ujęcia, stanowiącego potencjalny element Systemu Wspomagania Decyzji wskazują na ważną umiejętność - naukową dociekliwość i skuteczność Kandydata. Powołując się w rozprawie na 104 pozycje piśmiennictwa krajowego i zagranicznego, Pan mgr inż. Rafał Brodziak wykazał, że posiada umiejętność wyszukiwania właściwej literatury naukowej i metod badawczych, co potwierdzają opracowane przez niego obszernie i szczegółowe rozdziały 2 i 3. Poprawność redakcyjna i klarowność opracowanej rozprawy świadczy, że Kandydat potrafi w sposób zwięzły i przejrzysty przekazywać swoją wiedzę.

Uważam, że Kandydat swoją rozprawą dowiódł umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

### **5. Podsumowanie i wniosek końcowy**

Podsumowując recenzję rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Rafała Brodziaka oceniam pozytywnie zarówno przeprowadzony przegląd aktualnego stanu wiedzy w zakresie poruszanej w doktoracie tematyki, jak i część analityczną odniesioną do badań rzeczywistych systemów eksploatacji i sterowania procesem ujmowania wody metodą sztucznej infiltracji. Przytaczając w tym miejscu słowa Antoine de Saint-Exupéry, które trafnie charakteryzują dążenia poznawcze:

*... Tylko nieznanne przeraża człowieka.*

*Ale dla tego, kto mu stawia czoło, ono już nie jest nieznanne ....*

mogę z pełną odpowiedzialnością stwierdzić, że Autor przedmiotowej rozprawy doktorskiej poradził sobie z trudnymi rzeczywistymi badaniami eksploatacyjnymi, osiągając satysfakcjonujące rezultaty.

Opinie zawarte w recenzji pozwalają mi pozytywnie ocenić rozprawę doktorską. W moim przekonaniu, przedłożona do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr inż. Rafała Brodziaka

pt.: *Synteza scenariuszy eksploatacji i sterowania procesem ujmowania wody metoda sztucznej infiltracji*” wykonana pod opieką naukową promotora – dr hab. inż. Andrzeja Urbaniaka, prof. nadzw. PP, spełnia ustawowe wymagania dotyczące rozpraw doktorskich zawarte w art. 13 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. *o stopniach i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki* (tj. Dz. U. z 2014 r. poz. 1852; zm. Dz. U. z 2015 r. poz. 249) w korespondencji z Ustawą z dnia 27 lipca 2005 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym* (Dz. U. nr 164, poz. 1365 z późniejszymi zmianami). Stanowi ona oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, z wysokim potencjałem aplikacyjnym, wykazuje ogólną wiedzę Doktoranta, a także umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Zatem wnioskuję do Rady Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Poznańskiej o dopuszczenie mgr inż. Rafała Brodziaka do dalszego postępowania kwalifikującego w kierunku uzyskania stopnia doktora nauk technicznych.

Ponieważ recenzowaną rozprawę uważam za wyróżniającą, pod względem podjęcia ciekawego i aktualnego, lecz jednocześnie trudnego i żmudnego w realizacji wielopłaszczyznowego algorytmu analitycznego oraz biorąc pod uwagę uniwersalność opracowanego modelu syntezy scenariuszy eksploatacyjnych jak i walory poznawcze, a także aplikacyjne rozprawy, wnioskuję o jej wyróżnienie.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'J. Urbanek', written in a cursive style.

Gliwice, 29 maj 2017 r.