

dr hab. inż. Dariusz Kowalski, prof. uczelni
Dyscyplina Inżynieria Środowiska, Górnictwo
i Energetyka
Wydział Inżynierii Środowiska
Politechnika Lubelska
ul. Nadbystrzycka 40B
20-618 Lublin

Lublin, 23.01.2023 r.

PRZEWODNICZĄCY RADY DISCYPLINY
Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika
i Technologie Kosmiczne



DZIEKAN
Wydziału Automatyki, Robotyki i Elektrotechniki
Szeląg
prof. dr hab. inż. Wojciech Szeląg

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Ariela Antonowicza
pt. „Algorytmy wspomaganie decyzji w zakresie działań naprawczych na
przykładzie systemu dystrybucji wody”**

1. Podstawy formalne sporządzenia recenzji

Recenzja przygotowana została w związku z decyzją, z dnia 07.12.2022 r. Rady Dyscypliny Automatyka Elektronika Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne, Politechniki Poznańskiej. O decyzji powołującej mnie na recenzenta w przewodzie doktorskim mgr inż. Ariela Antonowicza zostałem poinformowany przez Przewodniczącego Rady Dyscypliny, prof. dr hab. inż. Wojciecha Szeląga, w piśmie z 15 grudnia 2022 r. Podstawą opracowania recenzji był przesłany na mój adres wydrukowany egzemplarz pracy.

2. Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż. Ariela Antonowicza, pracownika Instytutu Informatyki, Wydziału Informatyki i Telekomunikacji. Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. inż. Andrzej Urbaniak.

Rozprawa obejmuje 250 stron, w tym streszczenie, abstract, wykaz akronimów i ważniejszych oznaczeń, spis rysunków, spis tabel oraz 13 załączników. Podzielona jest na 9 numerowanych rozdziałów. W rozprawie zamieszczono 63 rysunki oraz 23 tabele. Pracę uzupełnia wykaz literatury obejmujący 124 pozycje. Do wydrukowanego egzemplarza pracy dołączono płytę CD zawierającą elektroniczną wersję rozprawy wraz z załącznikami.

3. Charakterystyka i ocena rozprawy doktorskiej

3.1. Zawartość i układ pracy

Jak wcześniej wspomniałem praca została podzielona na 9 numerowanych rozdziałów, które uzupełnia wykaz literatury. Dodatkowo w pracy zamieszczono wykaz ważniejszych skrótów i oznaczeń, streszczenia w języku polskim i angielskim, spis treści, rysunków i tabel oraz załączniki.

Pierwszy rozdział „Wstęp” obejmuje wprowadzenie do tematyki badań, jak również krótkie uzasadnienie ich podjęcia. Następny rozdział obejmuje przegląd wybranych nowoczesnych systemów sterowania i monitorowania, ze szczególnym uwzględnieniem systemów SCADA, powszechnie wykorzystywanych w przedsiębiorstwach wodociągowych. Rozdział trzeci to krótki, ogólny, opis systemów wodociągowych, o charakterze definicyjnym. W rozdziale czwartym Doktorant przedstawił problematykę modelowania komputerowego procesu dystrybucji wody, ze szczególnym uwzględnieniem wykorzystania ogólnodostępnych narzędzi: EPANET oraz WNTR. Kolejny rozdział to kontynuacja przeglądu literatury dotyczący

narzędzi informatycznych procesu typowania zasuw, których zamknięcie warunkuje możliwość realizacji naprawy uszkodzeń wodociągu. Rozdział szósty związany jest z problematyką podejmowania decyzji o kolejności naprawiania awarii. Zawiera on dodatkowo ogólną koncepcję rozwiązania tego problemu. Rozdział ten stanowi jednocześnie wstęp do opracowania grupy algorytmów niezbędnych do budowy proponowanego przez Doktoranta systemu wspomagania decyzji, co przedstawiono w rozdziale siódmym. Rozdział ósmy to weryfikacja opracowanych algorytmów i narzędzi w warunkach sieci modelowej oraz rzeczywistej. Weryfikację Doktorant przeprowadził wykorzystując badania symulacyjne. Pracę kończy rozdział dziewiąty, zawierający podsumowanie i wnioski końcowe.

Recenzowana rozprawa prezentuje kompletny proces naukowy: od postawienia tezy i celów badawczych, poprzez badania studialne i koncepcyjne, do opracowania narzędzi finalnych, przetestowanych w warunkach sieci modelowej oraz rzeczywistej. Przyjęty układ pracy jest poprawny.

3.2. Dyscyplina naukowa

Recenzowana rozprawa doktorska ma charakter interdyscyplinarny. Zawiera w sobie elementy charakterystyczne dla trzech dyscyplin naukowych: automatyka elektronika elektrotechnika i technologie kosmiczne, informatyka techniczna i telekomunikacja oraz inżynieria środowiska górnictwo i energetyka. W takiej sytuacji wybór dyscypliny w której realizowany jest przewód należy do doktoranta oraz stosownej Rady Dyscypliny. Zdaniem recenzenta rozprawa mogłaby być przedłożona Radzie każdej z wymienionych dyscyplin. Niniejsza recenzja została sporządzona z punktu widzenia recenzenta reprezentującego dyscyplinę inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

3.3 Podjęta tematyka badawcza

Podjęta tematyka badawcza nie jest nowa, jednak stale zyskująca na aktualności. Wpisuje się w trend wdrażania tzw. Zintegrowanych Systemów Zarządzania Przedsiębiorstwami Wodociągowymi (ZSZPW), integrujących różne aspekty funkcjonowania przedsiębiorstw. Ich centrum stanowi zwykle baza danych GIS, o różnym stopniu szczegółowości i złożoności. Miejskie systemy wodociągowe osiągnęły już taki stopień złożoności, który przekroczył możliwości percepcji dyspozytorów. Dotyczy to między innymi wykrywania, lokalizacji oraz planowania usuwania awarii. Stopień złożoności zadania, przed jakim stoją dyspozytorzy rośnie wraz ze wzrostem liczby jednocześnie występujących awarii. Konieczne jest wyposażanie dyspozytorów w narzędzia wspomagające podejmowanie kluczowych decyzji. W tym kontekście podjęcie przez autora rozprawy problemu opracowania algorytmów i narzędzi wspomagania decyzji w sytuacjach pokatastrofalnych (np. powódzie czy inne klęski żywiołowe) jest jak najbardziej uzasadnione. Doświadczenia zbierane w trakcie toczących się za naszą granicą działań wojennych stawiają wagę podjętej tematyki w nowym świetle.

Głównym celem funkcjonowania systemu wodociągowego jest zapewnienie dostawy wody o odpowiedniej jakości, wymaganej ilości i ciśnieniu, w porze dogodnej dla odbiorców, jednocześnie na całym obszarze objętym tym systemem. Jednym z ważniejszych zadań jest utrzymanie ciągłości dostawy wody. Konieczne jest tu zarówno jak najszybsze wykrywanie awarii oraz możliwie najszybsze i skuteczne ich usuwanie, w warunkach ograniczonych zasobów ludzkich, sprzętowych i magazynowych. Recenzowana rozprawa ukierunkowana jest na drugą część tego zadania. W chwili obecnej nie funkcjonują w naszym kraju wdrożone

narzędzia wspomagające podejmowanie decyzji o kolejności napraw, szczególnie w przypadku jednoczesnego występowania awarii. Dyspozytorzy muszą podejmować decyzje kierując się głównie doświadczeniem i stosunkowo rzadko posiadanymi cząstkowymi narzędziami - np. do lokalizowania zasuw niezbędnych do zamknięcia fragmentu sieci poddawanego naprawie. Brakuje nie tylko narzędzi, ale również uniwersalnych zasad klasyfikowania awarii, nadawania im priorytetów czy agregowania napraw realizowanych przez pojedyncze ekipy naprawcze. Konieczne jest zatem prowadzenie prac badawczych, w tym koncepcyjnych oraz opracowywanie bazujących na nich metod i wreszcie narzędzi możliwych do wdrożenia w praktyce.

Biorąc pod uwagę powyższe uznaję, że podjęta przez mgr inż. Ariela Antonowicza tematyka badawcza jest aktualna i spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim.

3.4. Teza, cel i zakres pracy

Teza pracy ma charakter ogólny, została jednak uszczegółowiona poprzez sprecyzowanie głównego celu „opracowanie grupy algorytmów stanowiących fundament systemu wspomagania decyzji, których zadaniem jest poprawa efektywności procesu przywracania ciągłości dostawy wody w sytuacji pokatastroficznej”. Zawarte w pracy całościowe podejście do opracowania powyższego systemu spełnia warunek nowości. Istnieją już algorytmy pozwalające na rozwiązanie cząstkowych problemów w powyższym procesie wspomagania decyzji. Brak jednak zarówno algorytmów pozwalających na całościowe rozwiązanie tego problemu, jak również jednolitego środowiska informatycznego, w którym algorytmy te mogłyby być wykorzystane.

Oceniam, że zawarta w pracy teza, jak i główny cel pracy spełniają warunek oryginalności.

3.5. Kompletność i spójność pracy

W ocenianej rozprawie Doktorant musiał zmierzyć się z problemem wielowątkowości i interdyscyplinarności. Interdyscyplinarność jest obecna praktycznie we wszystkich rozdziałach pracy, choć z różnym rozłożeniem wag. Podejście takie uważam za celowe i prawidłowe. Podjęty przez Doktoranta wątek badawczy jest konsekwentnie realizowany we wszystkich etapach. Wyraźnie widoczna jest ciągłość i przejrzystość wyводу. Praca jest spójna i prowadzi od popartych przeglądem literatury początkowych założeń do kolejnego rozwiązania postawionych problemów. Doktorant zawarł w pracy wykaz problemów do rozwiązania, założenia niezbędne do realizacji tego rozwiązania, koncepcję rozwiązania poszczególnych problemów, tytułowe algorytmy i opracowane na ich podstawie narzędzia obliczeniowe oraz weryfikację ich wykorzystania w warunkach modelowej oraz rzeczywistej sieci wodociągowej. Zawarte w końcowej części pracy wnioski zostały udowodnione. Cel pracy został osiągnięty. Przedstawiona teza także została udowodniona w przyjętym zakresie rozważań. Opracowane algorytmy cechują się znaczącym rozszerzeniem w stosunku do algorytmów już stosowanych, co stanowi niewątpliwe osiągnięcie Doktoranta.

Biorąc pod uwagę powyższe oceniam, że praca spełnia wymogi formalne stawiane rozprawom doktorskim.

3.6. Przyjęte założenia

W tej części recenzji chciałbym odnieść się do założeń związanych z zarządzaniem i sterowaniem pracą sieci wodociągowych. W początkowej fazie rozważań Doktorant musiał

zdefiniować potrzeby dyspozytorów sieci. Wykorzystał w tym celu zarówno dane literaturowe, jak i wiedzę ekspercką osoby/osób zarządzających eksploatacją konkretnej sieci. Jest to moim zdaniem prawidłowe podejście. Powstało tu jednak niebezpieczeństwo ukierunkowania pracy na konkretne przedsiębiorstwo. Na szczęście Doktorant, choć spełnił wymagania konkretnego przedsiębiorstwa, przewidział możliwość łatwej adaptacji opracowanych narzędzi do zmieniających się wymagań dyspozytorów innych sieci. Na podkreślenie moim zdaniem zasługują założenia przyjęte do opracowania algorytmu klasyfikacji, określania priorytetów i agregacji awarii, w warunkach ograniczonej dostępności sił i środków (ekip naprawczych, lokalizacji i wyposażenia magazynów). Bardzo ciekawym i prawidłowym założeniem jest przyjęcie przez Doktoranta założenia o braku pewności stanu i lokalizacji zasuw sieciowych, a także dostępności ekip naprawczych i niezbędnego sprzętu. Założenia te uznaję za jedną z nowości zawartych w recenzowanej rozprawie. Przyjęte założenia są zgodne ze stosowanymi przez inżynierów i badaczy z dyscypliny inżynieria środowiska. Obejmują nie tylko elementy wiedzy dotyczącej funkcjonowania i eksploatacji sieci wodociągowych ale także niezawodności i zarządzania ryzykiem.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że założenia przyjęte do realizacji pracy są prawidłowe, wykraczają poza dotychczasowy zakres wykorzystywany w podobnych narzędziach.

3.7. Zastosowane i opracowane narzędzia

Podobnie jak w poprzedniej części recenzji chciałem odnieść się tutaj do części związanej z zarządzaniem procesem eksploatacji sieci wodociągowych. Opracowane przez Doktoranta narzędzia stanowią istotne uzupełnienie tzw. Zintegrowanych Systemów Zarządzania Przedsiębiorstw Wodociągowych, stosowanych już z powodzeniem w licznych przedsiębiorstwach (np. Warszawa, Puławy, Żywiec, Legnica). Punktem centralnym tych systemów są bazy GIS zawierające informacje dotyczące tzw. majątku trwałego (przewody, armatura), czynności i stanów eksploatacyjnych związanych z tym majątkiem, jak również informacje na temat dostępności i pracy ekip naprawczych. Drugim powszechnie wykorzystywanym narzędziem jest model numeryczny odwzorowujący warunki hydrauliczne pracy sieci wodociągowej. W obu przypadkach Doktorantowi udało się zintegrować opracowane przez siebie narzędzia z tymi elementami. Wykorzystał przy tym standard ArcGIS firmy ESRI oraz program EPANET powszechnie stosowane w istniejących systemach zarządzania. Dobrym uzupełnieniem powyższych narzędzi jest wykorzystanie biblioteki WNTR.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że opracowane przez Doktoranta narzędzia spełniają wymogi współpracy z już funkcjonującymi oraz projektowanymi aktualnie Systemami Zarządzania Przedsiębiorstw Wodociągowych. Utylitarność zastosowanych narzędzi stanowi wartość dodana ocenianej rozprawy.

3.8. Modelowanie pracy sieci wodociągowej

Do modelowania warunków hydraulicznych panujących w sieci wodociągowej Doktorant wykorzystał program EPANET oraz bibliotekę WNTR wykorzystującą silnik obliczeniowy EPANET. O ile program EPANET wykorzystywany jest powszechnie zarówno przez badaczy, jak i praktyków sieci wodociągowych o tyle biblioteka WNTR wykorzystywana jest sporadycznie. Doktorant musiał opanować oba te narzędzia. Przy ich wykorzystaniu modelował nie tylko przepływy i ciśnienie w sieciach wodociągowych w warunkach normalnej

pracy, ale również w założonych stanach awaryjnych. Zarówno parametryzacja obiektu badań, założenia obliczeniowe jak i realizacja obliczeń są prawidłowe. W pierwszej części pracy, związanej z modelowaniem, Doktorant samodzielnie zbudował przykładowy model sieci wodociągowej. W drugiej wykorzystał udostępniony mu model sieci rzeczywistej. W obu przypadkach nie przeprowadził procesu walidacji, weryfikacji oraz kalibracji modeli. Z punktu widzenia celu pracy nie było to jednak konieczne.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że Doktorant opanował w wystarczającym stopniu metodę modelowania pracy sieci wodociągowych.

3.9. Jakość przeprowadzonej dyskusji wyników

Przeprowadzona w Rozprawie dyskusja wyników jest klarowna. Jej podstawę stanowią obliczenia symulacyjne. Doktorant konsekwentnie prezentuje wyniki wszystkich etapów obliczeń, poddaje je dyskusji oraz możliwej weryfikacji. Częściowo do weryfikacji wykorzystywał wiedzę ekspercką przedstawiciela współpracującego z nim przedsiębiorstwa wodociągowego. Wykorzystywał też dane archiwalne z tego przedsiębiorstwa oraz dane literaturowe. Weryfikację uzyskanych wyników obliczeń realizowanych dla rzeczywistej sieci wodociągowej utrudniał brak możliwości wykorzystania danych wrażliwych, takich jak lokalizacja i wyposażenie magazynów. W tej sytuacji przyjęcie danych losowych uznaję za uzasadnione. Możliwość realizacji symulacji z wykorzystaniem danych losowych podkreśla uniwersalność zaproponowanych przez Doktoranta algorytmów i narzędzi.

Jakość przeprowadzonej dyskusji wyników oceniam jako właściwą dla celów realizacji pracy.

3.10. Wnioskowanie

Wszystkie zawarte w pracy wnioski znajdują swoje uzasadnienie we wcześniejszych częściach pracy. Założony cel pracy został osiągnięty. Przyjęta teza została udowodniona.

4. Uwagi krytyczne i pytania do Doktoranta

Uwagi krytyczne podzieliłem na 3 grupy, ogólnie związane z nazewnictwem, opisem sieci wodociągowej oraz procesem modelowania. Chciałbym podkreślić, że zauważone niedoskonałości nie wpływają na prawidłowość procesu naukowego zastosowanego przez Doktoranta. Przywołuję je przez pryzmat publikacji wyników pracy w czasopiśmie branżowych, do czego bardzo go zachęcam.

Nazewnictwo,

- nadużywanie określenia system, powoduje, że w jednym systemie funkcjonuje inny i jeszcze inny, co utrudnia zrozumienie tekstu. Warto używać określeń uzupełniających jak podsystem, moduł obliczeniowy etc.,
- nieprecyzyjne określenie „jakość wody”, W swojej pracy Doktorant pod tym pojęciem rozumie warunki hydrauliczne przepływu (natężenie i ciśnienie), natomiast inżynier środowiska rozumie stężenie różnego typu zanieczyszczeń,
- w pracy pojawiają się skróty myślowe prowadzące do mieszania pojęć model matematyczny, numeryczny, komputerowy,

- zastosowanie określenia badania empiryczne w odniesieniu do realizowanych badań symulacyjnych jest moim zdaniem niewłaściwe.

Opis systemów wodociągowych

- z punktu widzenia celu pracy nie było moim zdaniem konieczności dokładnego opisywania systemu wodociągowego. Rozumiem, że opis ten pojawił się ze względów dydaktycznych. Przy jego opracowaniu Doktorant musiał zdobyć podstawową wiedzę o tych systemach. Wystarczyłoby jedynie wymienić podstawowe elementy tego systemu, wykorzystywane w dalszej części pracy. Pozwoliłoby to na uniknięcie szeregu nieścisłości,
- brak klasycznej definicji systemu wodociągowego. W swojej pracy Doktorant zajmuje się siecią wodociągową a nie całym systemem wodociągowym,
- brak wyodrębnienia podsystemów gromadzenia i podnoszenia wody w opisywanym przez Doktoranta definicyjnym systemie wodociągowym,
- zawarty w pracy opis systemu wodociągowego odpowiada raczej konkretnemu przedsiębiorstwu, a nie jest ogólny, choć proponowane przez Doktoranta algorytmy i narzędzia spełniają wymóg uniwersalności,
- ograniczenie opisu podsystemu ujmowania wody do wód podziemnych. Wiele systemów korzysta z wód powierzchniowych i infiltracyjnych,
- nieprecyzyjny opis własności mechanicznych materiałów wykorzystanych do budowy rur,
- stosowanie skrótów myślowych np. połączenia rur z węzłem, zamiast z armaturą lub innymi przewodami,
- mieszanie typów pomp pod względem funkcji i konstrukcji,
- skrót myślowy o podatności sieci na awarie. Każda sieć jest podatna na awarie, natomiast różne mogą być ich skutki, co zostało przez Doktoranta udowodnione w dalszej części pracy,
- opis materiału rurociągów został zrealizowany przez pryzmat jednego przedsiębiorstwa (brak rur GRP, z żeliwa szarego i sferoidalnego, AC). Wydaje mi się, że biorąc pod uwagę cel pracy opis ten jest zbędny,
- problem wykrywania awarii. Doktorant założył, że ich wykrycie jest możliwe niemal natychmiast po zaistnieniu zdarzenia. Niestety zależy to od wielu czynników. Czasami awarie wykrywane są z wielodniowym opóźnieniem.
- nawet zastosowanie sztucznej inteligencji nie pozwoli na wykrycie awarii o ile nie będzie właściwie zaprojektowanego i funkcjonującego monitoringu sieciowego.

Modelowanie

- do symulacji pracy sieci wodociągowych Doktorant wykorzystuje tzw. rozszerzony model statyczny (EPS), a nie dynamiczny,
- zaskakuje wykorzystanie jednostek amerykańskich oraz stosowanego w tym kraju wzoru Hazena-Wiliamsa do liczenia oporów przepływu, zamiast układu SI oraz obowiązującego w naszym kraju wzoru Darcy-Weisbacha, w budowanym modelu przykładowej sieci wodociągowej,
- modelowe określenie Valves to w programie EPANET ogólnie zawory umożliwiające zamknięcie przepływu i redukcję ciśnienia, a nie jedynie zasuwy,
- zawory typu PSV to z definicji zawory stabilizujące ciśnienie a nie zasuwy,
- pompy w programie EPANET nie posiadają długości, są obiektami punktowymi,

- zawory zwrotne umożliwiają przepływ wody tylko w jedną stronę, a nie jak wskazał Doktorant (str. 88) całkowite zamknięcie przepływu.

Celem uzupełnienia wyводу zawartego w rozprawie chciałem prosić Doktoranta o odpowiedzi na następujące pytania:

- jakie są ogólnie stosowane metody podnoszenia niezawodności funkcjonowania systemów wodociagowych, ze szczególnym uwzględnieniem nadmiarów?
- czy budowa nowej wersji modelu po rozdzielaniu rur (symulacja awarii), nie powoduje zmiany identyfikatorów tych rur – niezbędnych do prawidłowej współpracy z bazą GIS?
- jaki był czas realizowania kompleksowych obliczeń z wykorzystaniem proponowanych przez Doktoranta algorytmów i narzędzi – od tego zależy rzeczywista możliwość wykorzystania tych narzędzi?
- czy można zastosować zaproponowane narzędzia do określania optymalnej liczby ekip naprawczych, lokalizacji i wyposażenia magazynów?
- w sytuacji krytycznej nie zawsze możliwy będzie dojazd wszystkimi drogami, czy opracowane algorytmy to uwzględniają?

5. Podsumowanie i wniosek końcowy

Biorąc pod uwagę przedstawioną powyżej charakterystykę pracy, wraz wskazanymi uwagami krytycznymi uznaję, że Autor udowodnił przyjętą tezę badawczą. Zrealizował także wszystkie postawione cele badawcze. Oryginalnym osiągnięciem Autora jest opracowanie metodyki wspomaganie decyzji dyspozytora sieci wodociagowych w sytuacjach występowania wielu awarii jednocześnie. Nowością jest nie tylko rozszerzenie dotychczas stosowanych algorytmów o dodatkowe funkcjonalności ale także uwzględnienie niepewności dotyczących dostępności oraz stanu sił i środków znajdujących się w dyspozycji osób zarządzających pracą sieci. Opracowane przez Doktoranta algorytmy i wykorzystujące je narzędzia informatyczne rozszerzają zarówno możliwości badawcze dotyczące wieloaspektowego procesu zarządzania funkcjonowaniem sieci wodociagowych, jak również stanowią łatwe, do integracji z istniejącymi w przedsiębiorstwach systemami zarządzania, narzędzia dla praktyków. Praca posiada zatem zarówno aspekt naukowy jak i użytkowy.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska **mgr inż. Ariela Antonowicza** pt. „*Algorytmy wspomaganie decyzji w zakresie działań naprawczych na przykładzie systemu dystrybucji wody*” jest oryginalnym, naukowym osiągnięciem Autora i spełnia warunki i wymagania stawiane pracom doktorskim, określone w *Ustawie z dn. 20.07.2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym (Dz.U. z 2018 r. poz. 1668 ze zm.* W związku z tym, wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony. Dodatkowo, ze względu na interdyscyplinarność i zakres pracy wnoszę do Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Poznańskiej o wyróżnienie pracy.

