

prof. dr hab. inż. Zdzisław Kowalczyk
profesor zwyczajny
Katedra Systemów Decyzyjnych i Robotyki
Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki
Politechnika Gdańska
ul. Narutowicza 11/12
80-233 Gdańsk

26 grudnia 2023

S E K R E T A R I A T
Rady Dyscypliny AEEITK

Wpłynęło dnia 15. 01. 2024

Zarejestrowano pod nr

Podpis 

**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ
DLA RADY DISCYPLINY AUTOMATYKA, ELEKTRONIKA,
ELEKTROTECHNIKA I TECHNOLOGIE KOSMICZNE
AKADEMII GÓRNICZO-HUTNICZEJ
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE**

Tytuł rozprawy: „Zwiększenie efektywności systemu chłodzenia w serwerowni w klimacie przejściowym z wykorzystaniem układów sterowania i analizy danych”
Autor rozprawy: **mgr inż. Mateusz Borkowski**
Promotor: **dr hab. inż. Adam Krzysztof Piłat**

-
- 1. Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrywane w pracy (teza rozprawy) i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora? Jaki charakter ma rozprawa (teoretyczny, doświadczalny, inny)?**

Przedmiotem przedstawionej do recenzji rozprawy doktorskiej Pana Mateusza Borkowskiego jest system chłodzenia zainstalowany w określonym centrum informatycznym (POLCOM, Skawina) w umiarkowanym klimacie przejściowym z wykorzystaniem analizy danych oraz metod automatycznego sterowania.

Zagadnienie jest istotne praktyczne, bowiem wraz z postępowaniem technicznym, a w szczególności technologii informatycznych, ciągle wrasta zapotrzebowanie oraz zakres wymagań na usługę udostępniania mocy obliczeniowej oraz zasobów pamięciowych (przestrzeni dyskowej). Dostarczycielami takiej usługi są *serwerownie*, które z kolei są uzależnione od nieprzerwanego procesu chłodzenia przestrzeni roboczej, w której znajduje się podstawowa, wydzielona przestrzennie część eksploatowanych sieci komputerowych.

W ramach prezentowanej pracy jest to zagadnienie badawcze o określonej specyfice, ale wiadomo też, że metodologia chłodzenia ma bardzo szerokie zastosowanie, na przykład w (inteligentnym) zarządzaniu wszelkiego rodzaju obiektów użyteczności prywatnej lub publicznej oraz przemysłowej i biznesowej. Tematyka ta obejmuje też wiele aspektów wiążących się projektowaniem zaawansowanych systemów automatyki oraz ich wdrażaniem. Oznacza to, że praca ma charakter praktyczny, przemysłowy oraz doświadczalno-eksperymentalny, choć przedmiot rozprawy obejmuje również fundamentalne zagadnienia teoretyczno-matematyczne.



Ponieważ prawie połowę udziału w zużyciu energii elektrycznej w takich centrach mają systemy chłodnicze, zwiększenie efektywności ich działania stanowi też istotny czynnik ekonomiczno-społeczny. Z takim ambitnym zamiarem, mocno posadowionym w ramach dysertacji, Pan Mateusz Borkowski przystąpił do opracowania i wdrożenia odpowiedniej sprzętowo-programowej modernizacji istniejącego systemu chłodzenia w serwerowni POLCOM.

W wyniku analizy historycznych danych udało się określić zadania zamierzonej modernizacji oraz przewidywany jej skutek. Najpierw dokonano oczywistej obserwacji (w długim horyzoncie), że oszczędności energetycznej należy przede wszystkim poszukać w wydłużeniu okresów czasu pracy w energooszczędnym trybie swobodnego chłodzenia (ang. *freecooling*), który oryginalnie nie podlegał decyzjom operatorskim, ani zarządczym, a był jedynie wynikowym skutkiem niskopoziomowego sterowania automatycznego w poszczególnych podukładach i wg ustalonych firmowo algorytmów. W związku z tym odkryciem podjęto decyzję o przeprojektowaniu układu chłodniczego tak, aby moment przełączenia trybu pracy mógł podlegać sterowaniu poprzez odpowiedni system zarządzania.

Problem zwiększenia efektywności systemu chłodzenia serwerowni w klimacie przejściowym z wykorzystaniem układów sterowania i analizy danych wymaga szerokiego spojrzenia na zagadnienie. Potrzebna tu była analiza warunków klimatycznych charakterystycznych dla geograficznej lokalizacji serwerowni, zastosowanych komponentów systemowych i komputerowych, oraz konfiguracji całości systemu chłodniczego, sposobu działania podzespołów systemu chłodniczego oraz zasad nadrzędnego sterowania. Było bardzo złożone zadanie, co też oznacza, że na efekt końcowy złożyło się wiele czynników.

Doktorant Mateusz Borkowski w swojej rozprawie stawia wystarczająco jasno i precyzyjnie oraz niekontrowersyjnie następującą tezę: *modernizacja konfiguracji sprzętowej i programowej systemu chłodniczego do systemu o otwartej architekturze wraz ze znajomością zmiennych warunków pracy pozwala na opracowanie dedykowanego algorytmu sterowania i w konsekwencji uzyskanie synergii wskaźników jakościowych wykazujących korzystne zmiany w zakresie zużycia energii i efektywności.*

Poza technicznym aspektem, badania miały też wyświetlić problem rentowności przedsięwzięcia modernizacji, z uwzględnieniem identyfikacji warunków klimatycznych, modernizacji instalacji chłodniczej i jej komponentów (agregatów, chłodnic, pomp, elektrozaworów), architektury sterowania, systemu akwizycji i monitorowania, poprzez analizę działania podzespołów oraz dostępnych danych.

Biorąc pod uwagę duże znaczenie techniczne i technologiczne rozpatrywanego zagadnienia zwiększenia sprawności układu chłodzenia, tematykę rozprawy doktorskiej Pana Mateusza Borkowskiego należy zaliczyć do ważnych obszarów zastosowań automatyki przemysłowej w ujęciu naukowym i społeczno-ekonomicznym.

2. Czy w rozprawie przeprowadzono analizę źródeł we właściwy sposób (w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle), świadczący o dostatecznej wiedzy autora? Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?

Poza obszernym wstępem objaśniającym motywację i pokazującym kierunki działania, Autor dysertacji w rozdziale 2 opisał serwerownię POLCOM jako naukowy obiekt swojego inżynierskiego zainteresowania oraz w rozdziale 3 scharakteryzował sam system chłodzenia z zewnętrznym sterowaniem agregatami chłodniczymi.

Podstawowy materiał badawczy związany z modernizacją systemu chłodzenia przedstawiono w rozdziałach 4-7, w których zaproponowano sposób przeprowadzenia modernizacji wymiennika ciepła Drycooler oraz proces jego identyfikacji, scharakteryzowano pracę regulatora PID (w trybach FC i CP) i przedstawiono docelowy hybrydowy regulator temperatury wyjściowej wymiennika.

Aby osiągnąć zamierzony cel, w rozdziałach 1-3 doktorant poprawnie uwzględnił analizę światowych źródeł literaturowych z przedmiotowej dziedziny oraz dokonał rekolekcji wyników dotyczących układów chłodzenia i wymienników ciepła oraz metod sterowania nimi.

Rozprawa dotycząca ambitnego zadania modernizacji architektury systemu sterowania układem chłodzącym ma wyraźnie charakter wdrożeniowy, ze znaczącym wkładem własnym w zakresie automatyki przemysłowej, uzyskanym z wykorzystaniem odpowiednich narzędzi matematycznych oraz metod sztucznej inteligencji (w zakresie decyzyjnych systemów rozmytych). Poza drobnymi szczegółami wnioski wyciągnięte ze źródeł bibliograficznych nie budzą zastrzeżeń. Sposób wykorzystania cytowanej literatury w rozprawie jest również prawidłowy i nie ma wątpliwości, gdzie zaczyna się wkład własny.

Ogółem praca liczy 128 stron. Część ściśle merytoryczna rozprawy została przedstawiona na 80 stronach (w rozdziałach 3-7), ważny jest także materiał wprowadzający (2) oraz rozdziały 8 i 9, które podsumowują pracę pod kątem wskaźników efektywnościowych i ekonomicznych. Spis bibliograficzny obejmuje 95 pozycji oraz jedną udokumentowaną pracę współautorską (wydaną w *Energies/PDPI*).

3. Czy autor rozwiązał postawione zadania, czy użył właściwej do tego metody, oraz czy przyjęte założenia są uzasadnione?

Postęp w rozwoju nowych technologii IT niesie za sobą nowe wymagania w zakresie zapotrzebowania na moc obliczeniową i przestrzeń pamięciową oraz usługi chmurowe i kolokacyjne (sprzętowe), które fizycznie realizowane są w centrach informatycznych. W kategoriach fizycznych dokonuje się tu konwersja energii elektrycznej w pożądaną moc obliczeniową i przestrzeń pamięciową oraz głównie w energię cieplną. Zaś za pomocą odpowiedniego systemu chłodniczego, energię cieplną transportuje się na zewnątrz w celu rozproszenia w powietrzu.

1. Obiekty tego rodzaju mogą pobierać nawet do 100 razy więcej energii elektrycznej niż standardowe budynki biurowe. System chłodniczy serwerowni jest najbardziej energochłonnym komponentem w grupie urządzeń utrzymania ruchu, a zużywana w nim energia elektryczna może stanowić nawet połowę całkowitej energii pochłanianej przez serwerownię. Dlatego wskazano, że w systemie chłodniczym istnieje duże pole do ekonomicznej optymalizacji, zwłaszcza jeśli można skorzystać z taniego chłodzenia swobodnego (ang. freecooling).

2. Systemy chłodzenia serwerowni, podobnie jak inne złożone procesy przemysłowe, budowane są najczęściej na gotowych, fabrycznych rozwiązaniach, dopasowanych do danych warunków pracy. Zazwyczaj w wyniku integracji w jeden system wielu sterowanych lokalnie urządzeń uzyskuje się efekt zdecentralizowanego sterowania (bez jednostki centralnej), gdzie typowe elementy systemu chłodniczego charakteryzują się zamkniętą architekturą, bez dostępu do zmiennych monitorujących (i tylko czasami możliwa jest obsługa wybranych parametrów – lokalnie lub zdalnie).

3. Występuje tu typowy konflikt pomiędzy optymalizacją lokalną i globalną. Choć w opinii producentów poszczególnych podzespołów niedostępność architektury oraz algorytmu i zmiennych sterujących służy ich niezawodnemu działaniu, to z punktu widzenia użytkownika i integratora całego obiektu stanowi to dysfunkcję ograniczającą zakres działania nadrzędnego systemu sterowania.

4. W zakresie zwiększania postępu technologicznego i poprawy jakości życia automatyzacja odgrywa zupełnie wyjątkową rolę (systemową i jakościową), co potwierdzają liczne raporty naukowe i przemysłowe. W układach chłodniczych powszechnie stosuje się prostą zasadę PI lub PID, która przy dobrej parametryzacji może zapewnić ogólną funkcjonalność, a także niezawodność i odporność systemu.

5. W ostatnich dekadach panuje duża konkurencja ze strony regulatorów opartych na systemach rozmytych i ekspertowych, w których można wykorzystać wieloletnie doświadczenie technologów.

6. Ogólnie wiadomo, że w praktyce optymalizacja produkcji następuje w wyniku kompromisu pomiędzy nakładami finansowymi, energooszczędnością, niezawodnością i prostotą obsługi. Do tego dochodzi kondycja finansowa przedsiębiorstwa oraz specyfika produkcji i jej lokalizacja. Zużycie energii elektrycznej jest tu czynnikiem kluczowym.

Wobec powyższego, doktorant zastosował wewnętrzne agregaty chłodnicze połączone z zewnętrznymi wymiennikami ciepła. Takie rozdzielnie funkcjonalności, w połączeniu z wyposażeniem systemu sterowania pozwoliło na realizację celu pracy.

W wyniku działań projektowych powstał hierarchiczny system chłodniczy z autorskim nadrzędnym modułem zarządzania. Dzięki odzyskanemu wpływowi na punkt przełączania trybu pracy oraz zastosowaniu wydajnych wymienników zewnętrznych, zwiększono okresy pracy w trybie energooszczędnym.

Specjalną uwagę doktorant poświęcił identyfikacji charakterystyki pracy wymiennika zewnętrznego. Zdefiniowano obszary niezadowolającej jakości regulacji temperatury wyjściowej cieczy i zastąpiono standardowy regulator typu PID autorskim regulatorem hybrydowym, rozmyto-korekcyjnym (opartym na zidentyfikowanej nieliniowej charakterystyce wydajności wymiennika).

Przeprowadził również porównawcze studium badawcze, pokazując wzrost współczynnika efektywności systemu chłodzenia, porównując wskaźniki jakości sterowania oraz dokonując analizy ekonomicznej skutków modernizacji (ponad 1GWh) oraz określając czas zwrotu inwestycji (7 miesięcy) i redukcję emisji gazów cieplarnianych (674 ton CO₂ rocznie).

Na podstawie szczegółowej lektury rozprawy można uznać, iż jej autor rozwiązał postawione zadanie – wykazując się umiejętnością skupienia się na skutecznym rozwiązaniu postawionego zadania dotyczącego systemu automatyki, udokumentowanym opanowaniem wiedzy dziedzinowej, znajomością potrzeb w zakresie modernizacji obiektu przemysłowego, opanowaniem materiału teoretycznego i technicznego, z uwzględnieniem wiedzy technologicznej, definiowania kierunków badań, dobrze rozwiniętym warsztatem naukowo-technicznym i umiejętnością doboru założeń badawczych. Autor wykazał się też umiejętnością projektowania i wdrażania systemów technicznych, formułowania wniosków i rozwiązywania postawionych zadań, umiejętnością weryfikacji uzyskanych wyników oraz profesjonalizmem w realizacji działań projektowych i testowaniu systemów przemysłowych.

4. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy czy poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?

Można stwierdzić, że zgodnie z postawioną tezą i zamierzonymi celami badawczymi rozprawy doktorskiej, jej autor oraz osiągnął oczekiwany oryginalny wynik w zakresie modernizacji, która objęła modyfikację sprzętu i oprogramowania oraz zmianę strategii sterowania, z wykorzystaniem wiedzy eksperckiej zawartej w bazie danych.

W swoich działaniach doktorant rozpoczął drogę projektową od analizy wieloletnich danych, na podstawie której zaproponował swoje rozwiązanie sprzętowo-programowe. Wstępnie opracował i wdrożył dedykowany system rezerwowego agregatu chłodniczego. Następnie, przeprojektował rurarz chłodniczy serwerowni, w celu podłączenia go do wysokowydajnego Drycoolera i energooszczędnego agregatu chłodniczego typu Turbocor. Do przełączania pomiędzy trybami pracy (wymuszonym/CP i swobodnym/FC) wykorzystał autorską strategię i program sterowania oparty na typowej konfiguracji układu czujników i członów wykonawczych.

Implementacja tego systemu w środowisku produkcyjnym stanowi indywidualne osiągnięcie doktoranta, w którym aktywnie realizuje się przełączanie pomiędzy trybami pracy, tak aby wydłużyć okresy działania w energooszczędnym trybie FC.

Niepożądane oscylacje, które były skutkiem źle dobranego regulatora PID temperatury cieczy wyjściowej w wymienniku ciepła Drycooler (woda-powietrze) typu PID, wymagały identyfikacji modelu obiektu (Drycoolera). Dzięki temu, doktorant mógł opracować i wdrożyć hybrydowy rozmyty regulator odpowiedni dla zidentyfikowanej nieliniowej charakterystyki wydajności Drycoolera.

Dzięki analizie rzeczywistych danych zdjętych z instalacji, doktorant ocenił jakość jej działania w kategoriach wybranych obiektywnych wskaźników, dowodząc w ten sposób, że postawione cele zostały osiągnięte i przyniosły wymierne korzyści i oszczędności. Dotyczą one zwiększenia średniorocznego współczynnika efektywności systemu chłodniczego z 8 do 23 (182%), a w konsekwencji – wygenerowania rocznych oszczędności w energii elektrycznej (170 000 €) oraz redukcji emisji CO₂ o 674 ton rocznie i skrócenia (3 letniego) czasu zwrotu inwestycji o 7 miesięcy.

Osiągnięcie założonego celu poprzedziły wieloletnie prace badawczo-rozwojowe w firmie POLCOM przy realizacji innowacyjnych prac projektowych i modernizacyjnych, które obejmowały szereg autorskich rozwiązań, takich jak:

- projekt algorytmu sterującego rezerwowym agregatem chłodniczym BREF,
- uruchomienie systemu sterowania w środowisku produkcyjnym,
- projekt modernizacji systemu chłodzenia (rurarz, jednostki Turbocor i Drycooler),
- projekt automatyki przełączania pomiędzy trybami FC i CP z wizualizacją,
- uruchomienie systemu automatyki realizującego przełączanie układu chłodniczego,
- przeprowadzenie analizy danych od roku 2014, w celu identyfikacji charakterystyk,
- opracowanie i wdrożenie hybrydowego regulatora temperatury Drycoolera.

Doktorant wykazał się kwalifikacjami naukowo-technicznymi, pozwalającymi na pracę w zespołach naukowych wdrażających systemy automatyki przemysłowej i prowadzących badania eksperymentalne na instalacjach przemysłowych.

Biorąc pod uwagę powyższe uważam, że mgr inż. inż. Mateusz Borkowski udowodnił tezę i osiągnął cel rozprawy oraz wykazał się wiedzą i umiejętnością rozwiązywania zagadnień naukowo-technicznych z zakresu projektowania i uruchamiania zaawansowanych systemów automatyki przemysłowej.

5. Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników (zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy)?

Na podstawie lektury rozprawy można stwierdzić, że doktorant posiada umiejętność korzystania z teorii i technik zaczerpniętych z literatury oraz wiedzy wydobytej od ekspertów i z baz danych pomiarowych, a także wnoszenia własnych pomysłów i wdrażania ich w celu rozwiązania postawionego zadania. Wykazał się także umiejętnością przedstawienia uzyskanych wyników w ciekawy i przystępny sposób.

Przegląd literatury i lista referencyjna były dobrze przygotowane. Cały raport bardzo dobrze dokumentuje wkład naukowy doktoranta i osiągnięte przez niego wyniki. Ogólnie praca prezentuje się bardzo wiarygodnie. Struktura pracy jest poprawna, w dużym stopniu zrównoważona i w pewnym sensie nowatorska (w zakresie rozwiniętego trójwarstwowego podsumowania). Zazwyczaj autor daje przegląd niezbędnych podstaw i przejrzystość przedstawia własną konstrukcję lub modyfikację.

Całość sprawia wrażenie dobrze skomponowanego dzieła. Porządek rzeczy w obrębie poszczególnych rozdziałów ma odpowiednią strukturę. Rozprawa została napisana w ogólnie poprawnej polszczyźnie. Od strony technicznej praca jest ogólnie zrozumiała i dość przejrzysta (autor uniknął natrętnych zwrotów slangowych, które często rażą w pracach wdrożeniowych).

Ogólnie rzecz biorąc, omawiana rozprawa doktorska (o charakterze wdrożeniowym, z elementami innowacji teoretycznej), dotycząca modernizacji systemu automatyki układu chłodniczego, prezentuje się dobrze pod względem merytorycznym. Uwzględnia także sugestie dotyczące kierunków dalszych badań.

6. Jaka jest charakterystyka rozprawy, jej słabe strony i główne wady?

Zastosowana metodologia jest z jednej strony filozoficznie klasyczna, z drugiej zaś wiąże się z rozległą wiedzą i doświadczeniem, jaką należało wykorzystać, aby w zadowalający sposób rozwiązać postawiony problem praktyczny. Praca charakteryzuje się zatem imponującą zawartością merytoryczną w zakresie inżynierskich systemów automatyki przemysłowej, z wykorzystaniem elementów i narzędzi matematycznych. W tym sensie praca ta całkowicie spełnia kryteria rozprawy doktorskiej.

Cały raport prezentuje się wyjątkowo efektownie pod względem struktury, przystępnego przekazu, estetyki i grafiki oraz obszernego materiału ilustracyjnego.

W rozprawie występują tylko drobne błędy edytorskie w postaci niedokończonego spisu/listy (str. 11) lub niedokończonego akapitu (str. 114), nielicznych przykrótkich linijek-sierot kończących akapit oraz niestety licznych osieroconych wzorów (1.2, 1.11, 5.3, 5.6, 7.1, 7.5, 7.8, 9.1, 9.2), bez wprowadzającego zdania, albo przykrótkiego (jednolinijkowego) akapitu lub przydługich akapitów (typowo zajmujących 1/3 strony).

Poza tym, to obszerne sprawozdanie z badań naukowo-wdrożeniowych można byłoby jeszcze lepiej przedstawić, poprawiając jego kompletność, spójność oraz zrozumiałość przekazu. Autor często stosuje rozwlekły styl oraz natrętne powtórzenia argumentów w prowadzonej dyskusji.

Przy nadmiernym swobodnym stylu łatwiej o wyrażenia niezgrabne lub slangowe, pojęcia słabo albo później zdefiniowane, błędy interpunkcyjne i ortograficzne oraz niezgrabności gramatyczne lub terminologiczne („opiera się o analizy” → „opiera się

na analizie”; „oparty o sprężarkę śrubową” → „oparty na sprężarce śrubowej”, ...”zapad napięcia” → „spadek napięcia”, ang. *voltage drop*, etc.).

Spis akronimów (obejmujący też symbole!) powinien być lepiej przygotowany, uporządkowany, aby był bardziej spójny i kompletny (np. brak wielu ważnych pozycji, jak BREF, wydajność chłodnicza,...etc.).

Standardowo rysunki (np. 3.13) i tabele (np. 2.1, 3.5, ... 7.1) stanowią osobny element raportu, który powinien być odrębnie omówiony, i nie powinien być traktowany jako część paragrafu, albo pominięty w opisie. Procedury i (pseudo)kody zaleca się też prezentować z użyciem innego fontu (na przykład *arial* lub *courier*).

Również dyskusja nad wynikami przedstawionymi graficznie lub tabelarycznie powinna być precyzyjna i przejrzysta oraz pogłębiać wiedzę czytelnika i przekonywać o wiarygodności badań i ich przesłaniu w oparciu o intuicyjnie odpowiednie ilustracje. Na przykład p. 3.5 i rys.3.14 należałoby przepracować. Zwykle wyniki traktujemy jako odwzorowania matematyczne (dziedzina – przeciwdziedzina), pokazując też, co od czego zależy: np. na rys. 3.14 raczej widać wydajność chłodniczą w funkcji wydajności energetycznej i temperatury zewnętrznej...

Autor wprowadzając w temat swojej rozprawy, podkreśla, że ze względu na istniejące ograniczenia technologiczne, co do pracy w reżimie ciągłym, analizie poddano historyczne dane procesowe. Należałoby to lepiej lub inaczej umotywić: Dlaczego nie korzystać danych aktualnych – przecież to nie jest fizyka kwantowa, gdzie pomiar lub odczyt danych może zaburzać obserwowany proces.

Sugerowane powyżej dopracowanie listy akronimów i wykazu oznaczeń (funkcji, zmiennych, parametrów, etc.) pomogłoby autorowi usystematyzować obszerny materiał przeglądowy a czytelnikowi łatwiejszy i szybszy odbiór prezentowanych treści. Jest to dużo ważniejsze niż nieużyteczny spis tabel i rysunków (łatwo uzyskiwany w LaTeXu).

Na koniec można podyskutować, czy zamiast zastosowanego tytułu rozprawy:

„*Zwiększenie efektywności systemu chłodzenia w serwerowni w klimacie przejściowym z wykorzystaniem układów sterowania i analizy danych*”

nie lepiej byłoby użyć formuły → „*Zwiększenie efektywności systemu chłodzenia w centrum IT w klimacie umiarkowanym przejściowym z wykorzystaniem analizy danych i automatycznego sterowania*”

Powyższe szczegółowe uwagi przekazuję, przewidując dalszy rozwój naukowy doktoranta i mając nadzieję, że posłużą mu one w uzyskiwaniu jeszcze wyższej jakości raportów naukowych i publikacji podoktorskich, którą można osiągnąć poprzez m.in. formalną i merytoryczną zwięzłość raportowania, kompletność informacji i definicji, spójność i przejrzystość wypowiedzi oraz stosowanie uznanych dobrych praktyk.

7. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

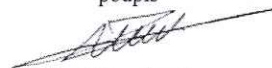
Konkludując, rozprawa dotyczy teorii sterowania, nowoczesnych systemów automatyki przemysłowej, modelowania, identyfikacji, analizy i przetwarzania danych oraz metod sztucznej inteligencji, których integracja pozwala na budowę obiektów przemysłowych inteligentnie sterowanych. Wielka jest aplikacyjna przydatność prac badawczych, związanych z poprawieniem energetycznej efektywności procesów przemysłowych dla nauki i gospodarki oraz w społecznym kontekście zastosowań wytworów techniki, w tym technologii informacyjnych. Poprzez przeprowadzone testy zmodernizowanego stanowiska przemysłowego systemu chłodzenia serwerowni autor dostarczył dowodów użyteczności i skuteczności swoich opracowań.

Wyniki prac w postaci zweryfikowanego rozwiązania inżynierskiego z zakresu automatyki przemysłowej mają duże znaczenie dla nauk technicznych. Drobne uwagi redakcyjne nie wpływają na ogólnie bardzo wysoką ocenę zakresu i oryginalnego merytorycznego dorobku naukowo-badawczego doktoranta zawartego w recenzowanej rozprawie, a także na wysoką ocenę pracy, która spełnia wymagania wdrożeniowej rozprawy doktorskiej z nadmiarem, a nawet zasługuje na wyróżnienie.

8. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:

- (a) nie spełniająca wymagań stawianych rozprawom doktorskim,
- (b) wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania,
- (c) spełniająca całkowicie wymagania,
- (d) spełniająca wymagania z wyraźnym nadmiarem,
- (e) wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie.

podpis



ZKowalczyk

