

Warszawa, 11 sierpnia 2019 r.

Prof. dr hab. inż. Ewa Niewiadomska-Szynkiewicz
Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych
Politechnika Warszawska
ens@ia.pw.edu.pl

**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ DLA RADY
WYDZIAŁU CYBERNETYKI
WOJSKOWEJ AKADEMII TECHNICZNEJ**

Tytuł rozprawy: The method for knowledge acquisition from sensor networks and the Internet of Things using model of augmented perception.

Autor rozprawy: mgr inż. Michał Dyk

1. Ogólna charakterystyka rozprawy. Cel badań.

Przedmiotem badań udokumentowanych w dysertacji są metody akwizycji wiedzy pozyskiwanej z złożonych systemów tworzonych przez rozproszone urządzenia wyposażone w czujniki pomiarowe. Uwaga koncentruje się na zagadnieniach modelowania, analizy i projektowania nowoczesnych systemów Internetu Rzeczy (ang. *Internet of Things* – IoT), w tym ich podgrupy, tj. bezprzewodowych sieci sensorowych (ang. *Wireless Sensor Networks* – WSN) oraz na wykorzystaniu zbieranych przez nie danych do rozszerzenia naturalnej percepcji i budowania świadomości sytuacyjnej.

Tematyka tworzenia i eksploatacji skutecznych i skalowalnych systemów do zbierania, przetwarzania i transmisji masowych danych z różnych, często odległych lokalizacji stanowi obecnie jeden z najciekawszych i najbardziej perspektywicznych kierunków rozwoju w zakresie nowoczesnych systemów informacyjno-decyzyjnych. Przyczyniła się do tego wszechobecna komputeryzacja (ang. *pervasive computing*) oraz istotny postęp w zakresie technologii obejmujący m.in. miniaturyzację urządzeń oraz rozwój technik obliczeniowych i komunikacyjnych będący efektem interdyscyplinarnych badań z zakresu informatyki, telekomunikacji, elektroniki i automatyki (nowe standardy komunikacyjne, przetwarzanie w klastrach, gridach, chmurach, mgłach obliczeniowych itd.). Zagadnieniom projektowania bezprzewodowych sieci sensorowych, budowania bazy wiedzy na podstawie danych pozyskiwanych z tych sieci oraz efektywnego wydobywania informacji poświęconych jest wiele pozycji literatury naukowej. Prezentowane są również liczne zastosowania sieci WSN oraz innych systemów IoT do modelowania i badań poznawczych procesów i zjawisk zachodzących w fizycznych systemach, w systemach monitorowania (ochrona środowiska, medycyna, akcje ratunkowe, wojskowość, marketing itp.), czy w układach sterowania (inteligentne rolnictwo, energetyka itd.).

Niezależnie od obszaru zastosowań, efektywne wykorzystanie rozproszonych systemów pomiarowych wymaga opracowania metod skutecznego pozyskiwania i gromadzenia danych,

ich filtracji, szybkiego przetworzenia do postaci wartościowej informacji i przekazania do docelowego odbiorcy. Należy podkreślić, że zazwyczaj sieci sensorowe są tworzone przez znaczną liczbę, ale stosunkowo tanich i prostych, zasilanych bateryjnie urządzeń bezprzewodowych o ograniczonych mocach obliczeniowych i zasięgach komunikacyjnych. Urządzenia dostępne na rynku mogą pracować pod różnymi systemami operacyjnymi (Linux, TinyOS, Contiki, RIOT itp.), stosować różne standardy i protokoły komunikacyjne (Zigbee, Bluetooth, WiFi itp.). Dodatkowo, topologia sieci jest dynamiczna – urządzenia mogą się przemieszczać, co utrudnia zachowanie spójności sieci, a tym samym zagwarantowanie stałej komunikacji z odbiorcą lub odbiorcami danych pomiarowych. W tej sytuacji zasadne wydaje się opracowanie uniwersalnego, niezależnego od technologii w jakiej jest wykonany system pomiarowy, modelu pozyskiwania wiedzy przez rozszerzenie naturalnej percepcji o informacje udostępniane przez ten system.

Pomimo prowadzonych w ostatnich latach badań wykorzystujących metody analityczne, techniki symulacji oraz eksperymenty w laboratoriach stale poszukuje się nowych rozwiązań, które pozwolą na efektywniejsze działanie sieci WSN, w tym zwiększą ich skuteczność pomiarową, niezawodność i skalowalność. Podejmowane są również liczne próby tworzenia modeli matematycznych tego typu systemów. Dość powszechnie jest wykorzystywanie do tego celu aparatu matematycznego opracowanego dla grafów i sieci. Niemniej, większość rozważań formalnych, których wyniki są prezentowane w literaturze naukowej jest poświęcona wybranym typom systemów i technologiom w jakich zostały one wytworzone.

Mgr. inż. Michał Dyk podjął trud zbudowania uniwersalnego modelu integrującego bezprzewodowe sieci sensorowe z innymi systemami Internetu Rzeczy oraz opracowania modelu percepcji i obserwacji otoczenia przez czujniki, wykorzystując właściwość samoorganizacji sieci i zakładając świadomych swoich potrzeb odbiorców danych (kognitywnych agentów). Zaproponowane rozwiązanie realizuje popularny w ostatnich latach paradygmat mgły obliczeniowej (ang. *fog computing*) – zakłada się, że dane pomiarowe są przetwarzane do postaci użytecznej informacji przez urządzenia końcowe, czyli w tym przypadku inteligentne urządzenia tworzące sieć WSN. W tym kontekście, recenzowana rozprawa doktorska jest pozycją ambitną i aktualną.

Podsumowując, rozprawa ma charakter teoretyczny, jak i doświadczalny oraz konstrukcyjny. Dominują rozważania teoretyczne, które obejmują sformułowanie ogólnego matematycznego modelu bezprzewodowej sieci urządzeń pomiarowych integrującej autonomiczne czujniki bezprzewodowe oraz inne urządzenia instalowane w systemach IoT komunikujące się za pomocą radia. Opracowany model obejmuje zarówno zjawiska zachodzące w systemie pomiarowym (obliczenia, transmisja danych, ruch urządzenia itd.), jak i proces pozyskiwania danych i wydobywania wiedzy z tych danych. Do opisu zapytań o informacje kierowanych do urządzeń sieci proponowana jest odpowiednia notacja i algorytm pozwalające na łatwe przekształcanie prostych zdań z języka naturalnego do języka zrozumiałego przez urządzenia. Część konstrukcyjna pracy obejmuje wykonanie symulatora bezprzewodowej sieci sensorowej stanowiącego realizację komputerową opracowanych modeli matematycznych. Część doświadczalna pracy zawiera wyniki eksperymentów symulacyjnych potwierdzających na przykładzie symulowanej misji wojskowej możliwość wykorzystania zaproponowanych rozwiązań do budowania świadomości sytuacyjnej w czasie rzeczywistym.

2. Syntetyczna analiza treści rozprawy. Charakter rozprawy

Zasadniczą część pracy podzielono na osiem rozdziałów. Rozdział 1 zawiera wprowadzenie w tematykę rozprawy, przedstawienie kontekstu rozważanego zagadnienia, genezę podjętego problemu badawczego i jej usytuowanie na tle aktualnego stanu badań.

Zawarty w nim materiał stanowi punkt wyjścia dla treści prezentowanych w dalszej części pracy.

Kolejne cztery rozdziały obejmują rozważania formalne i prezentują opracowane przez Autora modele matematyczne i metody ich realizacji w środowisku symulacyjnym. Przedstawione modele są omawiane na tle aktualnego stanu badań obejmujących budowę i działanie obserwatorów, teorię informacji, teorię grafów oraz modelowanie systemów Internetu Rzeczy. Rozdziały te zawierają zasadnicze fragmenty rozprawy, wnoszące oryginalne treści związane z realizowanym celem badawczym. Rozdział 2 przedstawia podstawy teorii percepcji rozumianej jako proces wnioskowania. Formułowane na podstawie literatury definicje obserwatora, scenariuszy i otoczenia są wykorzystywane w kolejnych rozdziałach. Autor, prezentując stosowne przykłady, pokazuje złożoność zagadnienia percepcji otoczenia na podstawie zbieranych obserwacji. Wskazuje w ten sposób na problemy jakie mogą występować w systemach tworzonych przez inteligentne urządzenia, których zadaniem jest nie tylko zbieranie pomiarów, ale również interpretowanie danych i przetwarzanie ich do postaci użytecznej informacji.

Rozdział 3 poświęcony jest modelom informacji. Rozpoczyna go wprowadzenie do teorii informacji C.E. Shannona oraz jej rozszerzenie zaproponowane przez F. Dretske. Zadaniem, które postawił przed sobą Autor rozprawy jest próba opracowania uniwersalnego, formalnego opisu informacji przekazywanej między urządzeniami tworzącymi system IoT. Do tego celu proponuje wykorzystać zdefiniowaną przez K. Devlin podstawową jednostkę informacji (tzw. *infor*). Zastosowanie tego formalizmu pozwala budować zapotrzebowanie na informację zgłaszane przez użytkownika sieci oraz tworzące ją urządzenia. W prezentowanym podejściu przyjmuje się, że zapotrzebowanie na informację jest zgłaszane przez urządzenia świadome swoich potrzeb – urządzenia są więc kognitywnymi agentami.

Następnie uwaga koncentruje się na rozproszonych systemach pomiarowych tworzonych przez bezprzewodowe czujniki. Rozdział 4 obejmuje zagadnienia modelowania tego typu systemów. Uwaga koncentruje się na sieciach WSN, ale zakłada się możliwość współpracy autonomicznych sensorów z innymi urządzeniami tworzącymi systemy IoT. Autor na podstawie literatury zagadnienia omawia problemy związane z modelowaniem i projektowaniem sieci sensorowych. Odwołując się do wcześniejszych prac proponuje wykorzystanie aparatu matematycznego opracowanego dla grafów i sieci do budowy ogólnego modelu mobilnej, bezprzewodowej WSN. Formułowane są modele: urządzenia oraz modele jego komponentów, model całej sieci WSN oraz model integrujący sieć WSN z innymi systemami IoT. Szczególna uwaga jest zwrócona na komunikację między urządzeniami oraz modelowanie zjawisk obserwowanych przez urządzenia.

W Rozdziale 5 Autor podsumowując dotychczasowe rozważania i wykorzystując zdefiniowane wcześniej pojęcia proponuje nową metodę pozyskiwania wiedzy przez rozszerzenie naturalnej percepcji o informacje zgromadzone przez urządzenia tworzące system pomiarowy. Celem jest budowanie świadomości sytuacyjnej na podstawie poczynionych obserwacji. Metoda zakłada, że uczestnikami systemu zbierającego dane są inteligentne urządzenia (kognitywne agenty), które są świadome rodzaju informacji i danych jakie oczekują. Zapytania są zapisywane w odpowiednio zdefiniowanym języku, który jest następnie przekształcany do postaci programu zrozumiałego przez urządzenie. Po otrzymaniu zapytania sieć organizuje się w celu przygotowania odpowiedzi. Proponowana metoda jest uniwersalna – nie wymaga szczegółowych informacji o technologiach w jakich została wykonana sieć.

Rozdział 6 jest poświęcony prezentacji zaprojektowanego i wykonanego przez Autora środowiska SenseSim do symulacji bezprzewodowych sieci sensorowych.

Możliwość zastosowania opracowanych przez Autora modeli i metod do rozwiązania praktycznych zadań jest dyskutowana w Rozdziale 7. Przedstawiono w nim wyniki licznych eksperymentów symulacyjnych zastosowania sieci WSN do tworzenia świadomości sytuacyjnej, a konkretnie badania stanu zdrowia uczestników misji wojskowej. Rozważane były 22 scenariusze o różnym stopniu skomplikowania. Uwzględniono ograniczenia wynikające z zastosowania urządzeń o niewielkich mocach obliczeniowych i zasobach energetycznych oraz ograniczenia związane z komunikacją radiową. Jako wskaźniki do oceny testowanych rozwiązań przyjęto czas dostarczenia odpowiedzi do odbiorcy oraz ilość danych przetwarzanych przez sieć w celu wygenerowania odpowiedzi. Dyskusję osiągniętych rezultatów i wynikające z nich wnioski oraz podsumowanie pracy zawiera Rozdział 8.

3. Ocena analizy źródeł i sposobu sformułowania wniosków wynikających z analizy źródeł.

Ogółem Autor w całej rozprawie odwołuje się do 96 pozycji literatury związanych z tematyką pracy. Doktorant analizuje literaturę w rozdziałach 2, 3, 4 i 6. W rozdziałach 2 i 3 Autor podaje, na podstawie literatury, definicje podstawowych pojęć, które wykorzystał w pracach badawczych prezentowanych w dysertacji oraz szczegółowo omawia zagadnienia percepcji i informacji. Odwołuje się do klasyków tych dziedzin wiedzy. Większość cytowanych prac pochodzi z końca XX wieku, brakuje nieco odniesienia się do aktualnych pozycji literatury. Rozdział 4 jest poświęcony zagadnieniom modelowania systemów IoT, a w szczególności sieciom WSN. Autor cytuje liczne prace, ale w większości są to materiały konferencyjne, specyfikacje protokołów i strony domowe produktów. Wyraźnie brakuje odwołania do licznych monografii i publikacji w uznanych czasopismach naukowych z ostatnich lat, m.in. klasyków sieci WSN i MANET, takich jak: I.F. Akyildiz, A. Conti, R. Verdone, L. Mottola, R.Santi. Podobnie jest w rozdziale 6 poświęconym omówieniu autorskiego symulatora SenseSim. Wykonane środowisko do symulacji jest prezentowane na tle innych popularnych rozwiązań stosowanych w szczególności do badania technologii sieci WSN. W ostatnich latach opracowano bardzo wiele mniej lub bardziej uniwersalnych narzędzi tego typu. Przedstawiona w pracy klasyfikacja jest wykonana na podstawie jednej publikacji, pominięto w niej część dość popularnych rozwiązań, w szczególności symulatory mobilnych sieci sensorowych.

Podsumowując, uważam, że mimo pewnych braków przedstawiona w rozprawie analiza źródeł oraz postawione na podstawie przeglądu wnioski świadczą o niewątpliwiej wiedzy Autora w przedmiocie rozprawy. Doktorant wnikliwie analizuje przedstawione w literaturze podejścia i rozwiązania do modelowania systemów IoT, formułuje zagadnienia badawcze i proponuje autorskie metody rozszerzające propozycje innych badaczy. Należy podkreślić, że problematyka bezprzewodowych sieci sensorowych i ogólnie systemów Internetu Rzeczy stanowi tak obszerny i dynamicznie rozwijający się nurt badań, że jakkolwiek przegląd literatury jest z góry skazany na bycie niekompletnym i stosunkowo szybko nieaktualnym.

4. Analiza poprawności rozwiązania przedstawionego zadania, poprawność przyjętych założeń i wybranych metod.

Doktorant rozwiązał postawione w pracy zagadnienia. Opracował nowy model percepcji oraz obserwacji zjawisk, zakładający rozszerzenie naturalnej percepcji o informacje przekazywane przez inteligentne urządzenia pomiarowe. Zaproponował formalizm pozwalający na zwarty zapis przesyłanych komunikatów w sieci, niezależny od zastosowanych technologii sprzętowych i programowych. Przedstawił również ogólny model matematyczny rozproszonego systemu pomiarowego integrującego autonomiczne sensory i inne urządzenia IoT. Na bazie prowadzonych rozważań formalnych opracował i wykonał środowisko oprogramowania do symulacji sieci WSN, które wykorzystał do weryfikacji

autorskiej metody budowania świadomości sytuacyjnej. Eksperymentalnie wykazał skuteczność zaproponowanej metody. Na podstawie wyników licznych eksperymentów obejmujących przykładowe zadania z zakresu misji wojskowych ocenił jej efektywność i skalowalność. Rezultaty badań potwierdziły użyteczność rozwiązania i możliwość zastosowania proponowanego podejścia w trybie pracy operacyjnej.

Zdaniem recenzenta przyjęta metoda badawcza obejmująca rozważania teoretyczne oraz ich weryfikację przez eksperyment symulacyjny jest właściwa dla badanego zagadnienia, a uzyskane wyniki potwierdzają poprawność rozwiązania. Autor w rozprawie doktorskiej uzasadnia, że zastosowanie paradygmatu mgły obliczeniowej, zakładającego rozpraszane przetwarzanie danych w urządzeniach końcowych sieci (np. sensorach w sieci WSN) i umiejętne wykorzystanie wyników pomiarów zbieranych i przetwarzanych przez inteligentne urządzenia pozwala na efektywne budowanie świadomości sytuacyjnej, co umożliwia skuteczne i szybkie podejmowanie decyzji, co jest szczególnie ważne w sytuacjach kryzysowych lub akcjach wojskowych.

5. Oryginalność rozprawy, samodzielny dorobek autora, pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy prezentowanego w literaturze światowej.

Rozprawa zawiera znaczną liczbę nowych oryginalnych rezultatów. Do szczególnie ważnych należy zaliczyć:

- Opracowanie ogólnego modelu matematycznego rozproszonych, mobilnych systemów pomiarowych tworzonych przez różnego typu sensory oraz inne urządzenia Internetu Rzeczy.
- Opracowanie modelu pozyskiwania wiedzy i budowania świadomości sytuacyjnej zakładającego rozszerzenie naturalnej percepcji o informacje gromadzone przez inteligentne urządzenia tworzące systemy Internetu Rzeczy, a w szczególności bezprzewodowe czujniki.
- Zaproponowanie architektury sieci sensorowych z wykorzystaniem koncepcji chmury obliczeniowej i sformalizowanie postaci zapytań przesyłanych w sieci. Opracowanie uniwersalnego języka do zapisu zapotrzebowania na informacje wykorzystującego notację *infonów*, niezależnego od stosowanych technologii sprzętowych i programowych oraz zrozumiałego przez urządzenia.
- Opracowanie i realizacja środowiska do symulacji sieci sensorowej implementującego zaproponowane modele percepcji i sieci.
- Wykazanie poprawności i skuteczności zaproponowanej metody budowania świadomości sytuacyjnej za pomocą eksperymentów wykonanych w symulatorze.

Przedstawione wyniki mają istotne znaczenie dla rozwoju metod modelowania systemów IoT i reprezentują dobry poziom na tle najnowszych prac z tej dziedziny dostępnych w literaturze światowej.

6. Analiza poprawności prezentacji wyników pracy

Recenzowana rozprawa doktorska jest napisana w języku angielskim i liczy 223 strony, zawiera 85 rysunków, 49 tabel oraz bibliografię obejmującą 96 publikacji. Zasadnicza treść obejmuje 210 stron, pozostałe zawierają spis treści, wykaz definicji oraz bibliografię. Pewnym utrudnieniem dla systematycznego czytelnika jest brak w opracowaniu indeksu oraz spisu oznaczeń używanych w formułach matematycznych.

Recenzent nie ma większych zastrzeżeń co do warstwy redakcyjnej pracy. Jest ona zredagowana starannie, zarówno pod względem językowym, jak i graficznym. Występują pewne błędy językowe, gramatyczne i redakcyjne, ale nie wpływają one w sposób istotny na jakość tekstu. Większe zastrzeżenia można zgłosić do opracowania bibliografii – wskazana byłaby większa staranność – w przypadku niektórych pozycji brakuje numerów stron, a nawet nazwisk autorów publikacji. Układ oraz zawartość większości rozdziałów są prawidłowe. Autor w jasny sposób przedstawił koncepcję i konstrukcję zarówno modelu percepcji, jak i modelu rozproszonego systemu pomiarowego integrującego sensory oraz inne urządzenia IoT. Drobną uwagę – w związku z tym, że w pracy nie podano tezy badawczej, należało we wprowadzeniu bardziej podkreślić cel pracy (np. wyróżnić w tekście). Ponadto pewnym mankamentem jest brak w niektórych podrozdziałach wyraźnego zaznaczenia, które propozycje rozwiązań zostały sformułowane przez Autora, a które stanowią dorobek innych badaczy. Pewien niedosyt budzi opis wykonanego oprogramowania. Rozdział 6 jest nieco chaotyczny i zbyt pobieżny. Brakuje wyraźnego podziału na podrozdziały obejmujące wymagania funkcjonalne i niefunkcjonalne, projekt i architekturę, sposób działania oraz możliwości zastosowania symulatora SenseSim. Z przedstawionego opisu nie wynika jasno jak są definiowane urządzenia sieciowe, w jaki sposób jest realizowana symulacja transmisji radiowej, ruch urządzenia itd. Wyniki przedstawione w tabeli 6.1 są nieco zaskakujące i wymagają bardziej wnikliwego komentarza.

Uwagi szczegółowe to wspomniane drobne błędy gramatyczne, językowe i edytorskie oraz braki w przedstawieniu bibliografii. Niektóre rysunki nie są wystarczająco czytelne (np. rys. 6.2, str. 122). Pewne niespójności i błędy występują w formułach matematycznych, brakuje objaśnienia niektórych zmiennych (np. B str. 25, m_r str 98, DEV_{dn} str 99), notacja nie jest do końca ujednolicona (np. x oznacza różne zmienne w różnych rozdziałach, t oznacza zazwyczaj czas, a na str. 133 temperaturę, I funkcję – str. 86 i zbiór – str. 98, urządzenie jest oznaczane przez dev – str. 99, $Device$ str. 131, zapotrzebowanie na informację n_{ask} – str. 95, IN – str. 107). Autor nie zawsze poprawnie interpretuje pojęcie stanu systemu – wektor stanu opisuje stan systemu, a nie jego parametry, są zmienne stanu, a nie atrybuty stanu (str. 122), stwierdzenie „...each state is in fact a subgraph of a dn network” jest niepoprawne.

7. Słabe strony rozprawy i jej główne wady

Recenzent nie dostrzega w rozprawie istotnych wad. Jako całość stwarza ona bardzo korzystne wrażenie. Praca jest obszerna, ale generalnie napisana starannie i klarownie. Wywody są jasne i przekonujące. Wymienione powyżej uwagi nie wpływają istotnie na jej wartość. Praca jest również poparta znacznym dorobkiem publikacyjnym Autora, którego z nieznanых powodów Autor nie cytuje (w bazie Google Scholar dostępne są 22 prace autorskie lub współautorskie, $IH=6$). Jedyne drobne wady to, poza wspomnianym powyżej niedostatecznym opisem symulatora SenseSim, ograniczenie się do oceny efektywności i skalowalności zaproponowanej w pracy metody budowania świadomości sytuacyjnej na przykładzie stosunkowo niewielkiej i prostej sieci. Autor wykonał szereg eksperymentów, ale rozważył sieć tylko o 26 węzłach, zlokalizowanych w niewielkich odległościach od siebie (wymagana mała liczba węzłów pośredniczących w transmisji). Ponadto Autor nie zawsze dostatecznie precyzyjnie wskazuje na to, co stanowi jego oryginalne osiągnięcie.

8. Przydatność rozprawy dla nauk technicznych

Przedstawione w rozprawie wyniki mają istotne znaczenie dla rozwoju badań w zakresie rozproszonych systemów do zbierania i przetwarzania danych pomiarowych. Proponowana metoda pozyskiwania wiedzy jest uniwersalna, może być stosowana w systemach tworzonych na bazie różnych platform sprzętowych i programowych. Opracowany formalizm do opisu przekazywanych informacji wspiera interoperacyjność urządzeń tworzących systemy IoT. Podsumowując, zaproponowane w pracy rozwiązania mogą być z powodzeniem wykorzystane w różnych systemach pozyskiwania wiedzy oraz systemach zarządzania lub wspomagania decyzji, zarówno dla celów militarnych, jak i cywilnych.

Autorski system oprogramowania SenseSim znalazł już zastosowanie w pracach badawczych prowadzonych przez NATO Science and Technology Research Group IST-147 *Military Applications of Internet of Things*.

Należy podkreślić, iż prowadzenie badań, których celem jest modelowanie i analiza złożonych systemów wymaga współpracy z ekspertami różnych dziedzin. Autor dysponuje takim doświadczeniem, uczestniczył w projektach realizowanych przez interdyscyplinarne zespoły krajowych i międzynarodowych jednostek badawczych.

Podsumowując, przydatność uzyskanych wyników dla nauk technicznych jest wyraźna; rozprawa wnosi znaczący wkład w dyscyplinę informatyka. Należy podkreślić, że tematyka rozprawy cieszy się od kilku lat niesłabnącym zainteresowaniem.

9. Podsumowanie i wniosek końcowy

Uważam, że rozprawa mgr inż. Michała Dyka spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez przepisy ustawy o tytułach i stopniach naukowych. Stawiam wniosek o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie do obrony doktorskiej.

Biorąc pod uwagę wartość uzyskanych wyników, ich konstruktywność, a przez to także ich wartość praktyczną kwalifikuje rozprawę jako zasługującą na wyróżnienie.



podpis