

Politechnika Poznańska
Wydział Informatyki i Telekomunikacji,
Instytut Sieci Teleinformatycznych

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

przygotowana dla Rady Wydziału Telekomunikacji, Informatyki i Elektrotechniki
Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy

Tytuł rozprawy: **Effective solutions for high performance communication in the cloud**
Efektywne rozwiązania dla wysokowydajnej komunikacji w chmurach obliczeniowych

Autor rozprawy: **mgr inż. Sebastian Łaskawiec**

Promotorzy: dr hab. inż. Michał Choraś, prof. UTP
dr inż. Tomasz Andrysiak

Dziedzina: nauki inżyniersko-techniczne

Dyscyplina: informatyka techniczna i telekomunikacja

1. Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrzone w pracy (teza rozprawy) i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora?

Podstawowym celem, który postawił przed sobą Kandydat jest „wykazanie, że istnieje możliwość zwiększenia szybkości działania systemu uruchomionego w chmurze obliczeniowej. Podjęty przez Doktoranta problem jest problemem aktualnym i ważnym, zarówno pod względem teoretycznym, jak i praktycznym. Mgr inż. Sebastian Łaskawiec przyjął w rozprawie następującą tezę: „Istnieje możliwość poprawienia szybkości komunikacji, zdefiniowanej jako przepustowość lub opóźnienie, oraz obniżenie zapotrzebowania na pamięć przez serwer systemu typu „Data Grid” poprzez wykorzystanie nowych rozwiązań i algorytmów negocjacji protokołów oraz rozwiązań wykorzystujących technikę „Client Side Load Balancing” dla aplikacji uruchomionych w chmurze.”

W celu wykazania tezy rozprawy Kandydat sformułował szereg logicznie uporządkowanych zadań, które kolejno omówił w odpowiednich rozdziałach rozprawy doktorskiej. Zadania dotyczyły opracowania nowych metod izolowania danych pomiędzy użytkownikami systemu i zmniejszenia zapotrzebowania na pamięć serwera systemu typu „Data Grid”, propozycji nowych metod

udostępniania aplikacji uruchomionej w chmurze dla zewnętrznych aplikacji klienckich, zaprojektowania nowego rozwiązania do zmiany protokołów komunikacji dla aplikacji uruchomionych w chmurze oraz propozycji nowych rozwiązań do zarządzania konfiguracją aplikacji i odnajdywaniem błędów konfiguracyjnych.

W mojej opinii teza rozprawy została przez Autora dostatecznie jasno i precyzyjnie sformułowana.

2. Jaka jest przydatność rozprawy z punktu widzenia nauk technicznych, czy założenia przyjęte przez autora są uzasadnione?

Chmury obliczeniowe są coraz częściej wykorzystywane w codziennej działalności wielu firm i organizacji na świecie. Sposób korzystania ze środowisk chmurowych w dużej mierze zależy od obszaru działalności firmy. Każda z nich ma określone wymagania i ograniczenia, które znajdują swój wyraz w sposobie wdrożenia i wykorzystania chmury obliczeniowej. Problemy podejmowane przez Doktoranta bardzo dobrze wpisują w te obszary, ponieważ dotyczą ważnych aspektów implementacyjnych i utrzymaniowych środowisk chmurowych.

Aktualnie w wielu ośrodkach naukowo-badawczych i akademickich prowadzone są intensywne badania, których celem jest zwiększenie szybkości, niezawodności i skalowalności środowisk chmurowych. Badania te obejmują zarówno aspekty implementacyjne, jak i teoretyczne.

Można zatem stwierdzić, że tematyka badań podejmowanych w rozprawie bardzo dobrze wpisuje w międzynarodowy nurt badań teoretycznych i aplikacyjnych prowadzonych w dziedzinie uprawianej przez Autora.

3. Czy autor rozwiązał postawione zagadnienie i czy użył właściwej do tego metody?

Kandydat wykazał w rozprawie przy użyciu jakich metod i technik można poprawić szybkość komunikacji pomiędzy aplikacjami klienckimi, a aplikacjami uruchomionymi w chmurze oraz obniżyć zapotrzebowanie na pamięć przez serwer systemu typu „Data Grid”.

Cel rozprawy został osiągnięty w wyniku przeprowadzenia następujących działań:

- Zaproponowanie nowych metod izolowania danych pomiędzy użytkownikami systemu i zmniejszenie zapotrzebowania na pamięć serwera systemu typu „Data Grid”. Pomocniczym zadaniem było zaprojektowanie nowej metody wykorzystującej właściwości połączeń TCP do zidentyfikowania poszczególnych aplikacji klienckich oraz zaprojektowanie nowej metody dostępu z zewnątrz do usługi uruchomionej w chmurze.

- Zaproponowanie nowych metod udostępniania aplikacji uruchomionej w chmurze zewnętrznym aplikacjom klienckim w oparciu o technikę "Client Side Load Balancing".
- Zaprojektowanie nowego rozwiązania do zmiany protokołów komunikacyjnych dla aplikacji uruchomionych w chmurze. Zadanie to wymagało wykorzystania nowych metod przełączania komunikacji na protokoły binarne wykorzystujące to samo połączenie TCP.
- Zaproponowanie nowych rozwiązań do zarządzania konfiguracją aplikacji i wykrywaniem błędów konfiguracyjnych. Rozwiązanie to umożliwiło osiągnięcie lepszej wydajności, a także zmniejszenie ilości niezbędnej pamięci systemu.

Przyjęte przez Autora metody wpisują się w szeroki nurt metod wykorzystywanych do zwiększenia wydajności środowisk i protokołów chmurowych. Zaproponowane przez Doktoranta metody znalazły również zastosowanie w praktyce m.in. w projekcie Infinispan. Zostały także pozytywnie zweryfikowane przez pracowników firmy Red Hat oraz stały się przedmiotem trzech patentów.

Potwierdzona praktyczność zaproponowanych metod, technik i algorytmów oraz numeryczna ocena ich jakości zawarta w rozprawie, pozwalają na stwierdzenie, że Doktorant rozwiązał postawione zagadnienie i użył do jego rozwiązania właściwej metody.

4. Jaki charakter ma rozprawa (teoretyczny, doświadczalny, konstrukcyjny), jaka jest jej pozycja w stosunku do stanu wiedzy czy poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?

Rozprawa ma charakter doświadczalny z elementami konstrukcyjnymi.

Rozdziały 1 i 2 recenzowanej rozprawy mają charakter opisowy. W rozdziałach tych Kandydat zawarł wprowadzenie do pracy, przedstawił cel, tezę i zakres pracy. W rozdziale 3 Doktorant zawarł przegląd stanu badań. W rozdziale tym Autor opisuje m.in. metody równoważenia obciążania w chmurze, metody dostępu do aplikacji klastrowych umieszczonych w chmurze i systemy ekspertskie.

Rozdział 4 zawiera propozycję rozwiązania problemu separacji danych różnych klientów kierowanych do serwerów w środowisku chmurowym. Na początku rozdziału Doktorant przyjął założenia, które proponowane rozwiązanie musi, lub powinno, spełniać. Autor założył, że propozycja musi zapewniać izolację danych przechowywanych w kontenerach oraz gwarantować autoryzację. Przyjął, że rozwiązanie powinno również zapewniać wsparcie dla komponentu „Reverse Proxy” i mieć jak najmniejszy wpływ na wydajność systemu (Tab.4.2). Do rozwiązania tego problemu Kandydat zaproponował wykorzystanie pola „hostname” z rozszerzenia SNI (*ang. Service Name Identyfikation*) protokołu TLS (*ang. Transport Layer Security*), które zapewnia rozróżnienie i szyfrowanie

przesyłanych danych. Zaproponowane przez Autora rozwiązanie umożliwia zapewnienie konfiguracji parametrów transportowych dla każdej aplikacji oddzielnie. Oznacza to możliwość dostosowania ilości pamięci przydzielanej do buforowania danych zawiązanych z daną aplikacją do potrzeb tej aplikacji. Takie rozwiązanie pozwala z kolei na zmniejszenie wykorzystania zasobów pamięć serwera typu „Data Grid”. Rozwiązanie to można również wykorzystać do zapewnienia odpowiedniej konfiguracji systemu na podstawie parametrów uwierzytelniania i autoryzacji danej aplikacji. W pracy zaproponowano rozwiązanie implementacyjne realizujące wspomniane funkcje o nazwie „Multi-tenant Router”. Autor przedstawił również pseudokod algorytmu wykorzystywanego w implementacji oraz ocenę jego złożoności. Wyniki eksperymentów przedstawionych w pracy potwierdzają możliwość ograniczenia ilości wymaganej pamięci na użytkownika w systemie typu „Data Grid”, ale odbywa się to kosztem opóźnienia. Z przedstawionych wyników wynika, że rozwiązanie jest efektywne w przypadku dużej liczby użytkowników spełnia więc założenia przyjęte przez Autora rozprawy w ograniczonym zakresie.

W rozdziale 5 przedstawiono rozwiązanie zapewniające dostęp aplikacjom klienckim do konkretnego serwera pracującego w klastrze. Zgodnie z przyjętymi przez Autora założeniami rozwiązanie to musi spełniać wymaganie dotyczące zapewnienia łączności (*ang. Connectivity*), znajomości topologii (*ang. Discoverability*) oraz powinno zapewniać możliwość automatyzacji i mieć ograniczony wpływ na obciążenie systemu (Tab.5.1). Kandydat początkowo podjął próbę realizacji tego celu stosując rozszerzenie SNI protokołu TLS, wykorzystujące do tego celu specjalny komponent, który podejmował decyzję o kierowaniu ruchu sieciowego. Na podstawie wyników przedstawionych przez Autora można stwierdzić, że próba ta spowodowała zmniejszenie wydajności systemu (Tab.5.2). Doktorant zrezygnował również z zaproponowania własnej implementacji komponentu Load Balancer, który jest stosowany w rozwiązaniach komercyjnych i może być wykorzystany do realizacji tych funkcji. *Uważam, że ta decyzja wymagałaby szerszego komentarza, ponieważ przesłanki implementacyjne nie są wystarczającym uzasadnieniem.* Ostatecznie Autor wykorzystał do tego celu technikę „client side load balancing”, która zapewnia dostęp do każdej instancji serwera poprzez odrębny adres IP. Początkowo rozwiązanie to korzystało z komponentu „binary proxy”, który umieszczono pomiędzy klientem, a serwerem w celu zagwarantowania dostarczenia wiadomości od klienta do działającej instancji serwera za pośrednictwem dostępnego dedykowanego serwerowi komponenta „Load Balancer”. W tym celu Doktorant zaproponował i zaimplementował nowy komponent systemu o nazwie „External IP Controller”, który zapewniał automatyzację procesu odkrywania nowych instancji serwera i tworzenia komponentów „binary proxy” oraz „Load Balancer” (dla wszystkich instancji serwera). Algorytm prezentujący działanie tego komponentu został zawarty w pracy. Badania przeprowadzone przez Autora wykazały jednak, że komponenty „binary proxy”

mają wyraźny negatywny wpływ na wydajność systemu (Tab. 5.3). Z tego powodu Kandydat zrezygnował z komponentów „binary proxy” w ostatecznej wersji rozwiązania. W dalszej części rozdziału Doktorant przedstawił implementację rozwiązania w oparciu o Kubernetes, która została wybrana ze względu na jej popularność i uniwersalność. A następnie opisał środowisko testowe i narzędzia wykorzystane do przeprowadzenia testów. Badania przeprowadzono w środowisku zasymulowanym na laptopie oraz środowisku chmurowym Google Compute Cloud. Uzyskane wyniki pozwoliły na stwierdzenie, że wykorzystanie komponentów „Load Balancer” zmniejsza przepustowość o 13% (Tab.5.4). Ogranicza to możliwości implementacji systemu w dużych klastrach. Można jednak stwierdzić, że zaproponowane rozwiązanie spełnia przyjęte przez Autora założenia.

Rozdział 6 zawiera metodę zmiany protokołów komunikacyjnych, w trakcie komunikacji klienta z serwerem umieszczonym w chmurze, na binarny protokół klienta. Doktorant założył, że zaproponowane rozwiązanie musi zapewniać możliwość przełączania na protokół klienta oraz musi zapewniać szyfrowanie danych. Przyjął również, że proponowana metoda powinna pozwalać na prostą implementację po stronie klienta oraz dawać możliwość zmiany protokołów w oparciu o pojedynczy port TCP (Tab.6.2). W tym celu Autor zaproponował wykorzystanie obu dostępnych rozwiązań, które można wykorzystać do negocjacji zmiany protokołu, czyli TLS z rozszerzeniem ALPN (*ang. Application-Layer Protocol Negotiation*) oraz procedurę HTTP/1.1. Upgrade. Przy czym tylko rozwiązanie TLS ALPN umożliwiało szyfrowanie danych, a więc drugi warunek konieczny proponowanego rozwiązania. W rozdziale tym do zmiany protokołów Kandydat zaproponował algorytm rozszerzający funkcjonalność wprowadzonego w rozdziale czwartym rozprawy komponentu „Multi-tenant Router”. Ocena złożoności algorytm została również przedstawiona w pracy. Zaproponowane rozwiązanie współpracuje z komponentem „Reverse Proxy”, którego użycie jest darmowe w większości chmur opartych o kontenery. W dalszej części rozdziału Doktorant przedstawił implementację rozwiązania w środowisku testowym. Badania przeprowadzono w środowisku zasymulowanym na laptopie oraz środowisku chmurowym Amazon Web Services. Uzyskane wyniki pozwoliły na stwierdzenie, że protokoły binarne oferują większą przepustowość i możliwości w porównaniu do protokołów HTTP/1.1 lub HTTP/2 (Tab.6.3-6.5). Rozwiązanie to pozwala na przełączanie pomiędzy protokołami szyfrowanymi i nieszyfrowanymi, a dzięki temu ogranicza koszty, gwarantując brak konieczności stosowania komponentu „Load Balancer”, lub konieczność szyfrowania całego ruchu. Warto podkreślić, że możliwość negocjacji protokołu zwiększa również elastyczność oprogramowania przechowującego dane (np. typu „Data Grid”). Proponowany przez Kandydata model spełnia przyjęte założenia.

W rozdziale 7 opisano rozwiązanie do automatycznego wykrywania błędów konfiguracyjnych. W rozdziale tym zaproponowano system do automatycznego wykrywania niepoprawnej konfiguracji aplikacji uruchomionej w chmurze, w oparciu o inspekcję plików konfiguracyjnych i metryk aplikacji. Na początku rozdziału Autor przyjął, że zaproponowane rozwiązanie musi wykrywać typowe błędy konfiguracyjne oraz być łatwe do wyjaśnienia, a także powinno nie sprawiać większych trudności podczas implementacji (Tab. 7.3). Do rozwiązania problemu Kandydat zaproponował system będący odmianą systemu ekspertskiego. Główna pętla sterująca systemem (nazwanego „Inteligentnym operatorem”) składa się z czterech kroków. W pierwszym kroku system zbiera metryki odpytując w tym celu bazę danych, a następnie buduje bazę wiedzy (łączy konfigurację z metrykami). W kolejnym kroku wykorzystuje klasyfikator oparty na drzewie decyzyjnym, a w ostatnim kroku wskazuje działanie które należy podjąć. Proponowany system nie modyfikuje żadnych danych użytkownika, a decyzje podejmowane przez model zaimplementowany w rozwiązaniu można przedstawić w postaci grafu, a to znacznie ułatwia wyjaśnienie podjętej decyzji. Proponowany przez Kandydata model realizuje przyjęte przez Autora założenia. Rozwiązanie zostało przetestowane z wykorzystaniem dedykowanego środowiska testowego i założone cele zostały pomyślnie zweryfikowane. Warto podkreślić, że przedstawione przez Doktoranta rozwiązanie ma charakter unikalny, ponieważ istniejące narzędzia umożliwiają automatyczne wykrywanie błędów infrastruktury chmury, ale nie w aplikacjach. Propozycje zawarte w tej części pracy zostały również zawarte w trzech patentach.

Prowadzone przez Kandydata badania mają charakter oryginalny i stanowią bardzo dobre uzupełnienie szerokiego nurtu badań nad systemami chmurowymi prowadzonymi w wielu międzynarodowych ośrodkach badawczo-rozwojowych i akademickich.

5. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora?

Za najbardziej istotne i oryginalne wyniki Autora uważam:

- Zastosowanie metody wykorzystującej pole „hostname” rozszerzenia SNI protokołu TLS do współdzielenia serwera pomiędzy wielu użytkowników. Pozwoliło to na obniżenie zapotrzebowania na pamięć systemu typu „Data Grid”. Rozwiązanie to znalazło praktyczne zastosowanie w projekcie *Infinispan*.
- Zastosowanie techniki „Client Side Load Balancing” do dostępu do aplikacji uruchomionej w chmurze. Również ten pomysł został wykorzystany w praktyce w implementacji złożonych funkcjonalności systemu *Data Grid*, takich, jak replikacja danych pomiędzy klastrami.

- Zaproponowanie i zastosowanie techniki zmiany protokołów z wykorzystaniem rozszerzenia ALPN protokołu TLS oraz procedury HTTP/1.1 Upgrade oraz wykorzystanie binarnych protokołów komunikacyjnych. Umożliwiło to zwiększenie przepustowości połączenia pomiędzy serwerem i aplikacją kliencką. *Rozwiązanie to znalazło zastosowanie w wersji 10 projektu Infinispan.*
- Zaproponowanie system eksperckiego umożliwiającego wykrywanie błędów w konfiguracji aplikacji uruchomionych w chmurze. *System został pozytywnie zweryfikowany przez osoby utrzymujące projekty OpenSource oraz przez obsługę techniczną firmy Red Hat.*

Prezentowane w rozprawie wyniki badań stanowią samodzielny i oryginalny dorobek Autora.

6. Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?

Bezpośrednio w odniesieniu do rozważanych w rozprawie rozwiązań oraz prezentowanych wyników badań trudno jest sformułować poważniejsze zastrzeżenia merytoryczne. Doktorant od kilku lat z powodzeniem zajmuje się problematyką środowisk chmurowych o czym świadczą m.in. trzy patenty przytoczone w pracy. Wiele wyników przedstawionych w rozprawie zostało również opublikowanych w publikacjach, w których podlegały analizie i ocenie.

W pracy zabrakło mi jednak pewnego uogólnienia. Moim zdaniem ciekawe byłoby przedyskutowanie łącznego wpływu na szybkość komunikacji poszczególnych propozycji Doktoranta i ich wzajemnej korelacji. Skłoniło mnie to, to sformułowania kilku pytań:

- Czy proponowane rozwiązania można zastosować łącznie? Jeśli tak, to jaki jest sumaryczny zysk? A jeśli nie wszystkie elementy można wykorzystać łącznie, to które można i jakie są warunki brzegowe dla takich rozwiązań.
- Dlaczego środowiska chmurowe w których porównywano wprowadzone modyfikacje były różne? Czy można je wprowadzić i przeprowadzić testy w jednolitym środowisku?
- Jak wpływa wielkość testowanego systemu na uzyskiwane charakterystyki? Czy można się spodziewać podobnych, lub takich samych, tendencji w większych systemach?
- Czy przedstawione rozwiązania warto i czy można zastosować w tradycyjnych środowiskach chmurowych?

- Gdyby pominąć aspekt kosztów (np. rozwiązań typu „Load Balancer” lub innych), to czy zaproponowane rozwiązania nadal można byłoby uznać za dające zysk w kategoriach przepustowości i pamięci?

Praca zawiera pewną liczbę błędów językowych, których można by uniknąć przy bardziej wnikliwej redakcji. Nie znalazłem natomiast w rozprawie błędów merytorycznych, a drobne zastrzeżenia lub wątpliwości, o których pisałem powyżej dotyczą raczej strony redakcyjnej pracy, lub mają charakter polemiczny i nie mogą mieć wpływu na ostateczną pozytywną ocenę pracy. Uważam, że recenzowana rozprawa zawiera wiele oryginalnych wyników i wnosi wartościowy wkład w rozwój informatyki technicznej i telekomunikacji.

7. Czy rozprawa świadczy o dostatecznej wiedzy autora i znajomości współczesnej literatury z zakresu dyscypliny naukowej, jakiej rozprawa dotyczy?

Obszerna literatura przytoczona w pracy (spis publikacji zawiera 126 pozycji) świadczy o rozległej wiedzy i orientacji Autora w dziedzinie, którą uprawia. Zamieszczone pozycje z ostatnich lat (ponad 80% cytowanych prac zostało opublikowane po 2015 roku) potwierdzają, że Kandydat nie zajmuje się tematyką wyczerpaną, lecz przeciwnie, jest ona aktualna i inspirująca badawczo. O kompetencji Kandydata świadczy przywołanie w rozprawie 3 prac, w tym dwóch artykułów w czasopismach, których jest współautorem. Prace zostały opublikowane w dwóch międzynarodowych czasopismach „*Journal of Cloud Computing Research*” oraz „*Cluster Computing*” (IF=1,851; 70 pkt.). Warto również podkreślić, że Doktorant jest współautorem 3 patentów dotyczących badań zawartych w pracy.

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

Cel, zakres, podstawy metodologiczne, rezultaty osiągnięte w rezultacie badań i sformułowane wnioski zostały przedstawione w rozprawie najczęściej jasno i precyzyjnie. Kandydat wykazał, że skutecznie opanował metodologię konstrukcji modeli i logikę komponentów stosowanych w środowisku chmurowym. Posiada również dużą wiedzę dotyczącą technicznych i implementacyjnych aspektów środowisk chmurowych. Autor jasno przedstawił swój wkład do dziedziny badań, w której mieści się rozprawa. Układ, strona redakcyjna i terminologiczna rozprawy nie budzą większych zastrzeżeń.

9. Czy i jaka jest przydatność rozprawy dla gospodarki narodowej?

Chmury obliczeniowe są coraz częściej wykorzystywane w codziennej aktywności wielu firm i organizacji na całym świecie. Sposób korzystania ze środowisk chmurowych w dużej mierze zależy od dziedziny aktywności danej firmy. Każda z nich ma określone wymagania i ograniczenia, które znajdują swój wyraz w sposobie wdrożenia i wykorzystania chmury obliczeniowej. Wśród nich znajdują się problemy, których propozycje rozwiązania zawarł Kandydat w rozprawie.

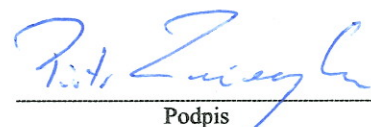
Recenzowana praca podejmuje problemy, które bardzo dobrze wpisują się w ten szeroki nurt aktualnie prowadzonych badań. O praktycznym znaczeniu osiągnięć Doktoranta może świadczyć wykorzystanie rozwiązań przedstawionych w pracy w projektach OpenSource takich, jak JGroups, czy Infinispan. Stanowi to potwierdzenie aktualności i praktyczności rozwiązań zaproponowanych w rozprawie dotyczących systemów typu „Data Grid” i chmur obliczeniowych opartych o kontenery. Świadczą o niej również trzy patenty, które bezpośrednio związane są z tematyką pracy.

Proponowane przez Kandydata rozwiązania mogą wpłynąć na ułatwienie procesów uruchomienia i zarządzania środowiskiem chmurowym opartym na kontenerach oraz zwiększać jego wydajność. Pozwala to na stwierdzenie, że rozprawa może mieć istotny wpływ na poprawę szybkości komunikacji dla aplikacji uruchomionych w chmurze, a tym samym przyczyni się do zwiększenia możliwości wykorzystania środowisk chmurowych, które są istotnym elementem wspomagającym pracę wielu obszarów gospodarki narodowej.

10. Czy rozprawa spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy?

Biorąc pod uwagę wnioski zaprezentowane w poprzednich punktach i wymagania podane w Artykule 13 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (z późniejszymi zmianami) uważam, że rozprawa doktorska mgr inż. Sebastiana Łaskawca pt. „Efektywne rozwiązania dla wysokowydajnej komunikacji w chmurach obliczeniowych” zawiera oryginalne rozwiązania problemu naukowego oraz dowodzi, że Kandydat posiada ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja i posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Wnoszę o dopuszczenie rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Sebastiana Łaskawca pt. „Efektywne rozwiązania dla wysokowydajnej komunikacji w chmurach obliczeniowych” do publicznej obrony.


Podpis