

Wrocław, 6 września 2024

Prof. dr hab. inż. Krzysztof Walkowiak  
Wydział Informatyki i Telekomunikacji  
Politechnika Wrocławska

**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ  
DLA RADY DYSCYPLINY INFORMATYKA TECHNICZNA I TELEKOMUNIKACJA  
POLITECHNIKI POZNAŃSKIEJ**

**Autor rozprawy doktorskiej: mgr inż. Michał Weissenberg**

**Tytuł rozprawy doktorskiej: „*Modelowanie złożonych systemów niepełnodostępnych*”**

**Promotor: dr hab. inż. Sławomir Hanczewski**

**1. Zakres i charakter rozprawy**

Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Michała Weissenberga dotyczy aktualnych i ważnych zagadnień związanych z sieciami teleinformatycznymi. W rozprawie poruszane są zagadnienia dotyczące modelowania złożonych wielousługowych systemów teleinformatycznych. Jako przykład złożonych wielousługowych systemów teleinformatycznych analizowane są systemy chmurowe (ang. *cloud computing*) działające w modelu infrastruktura jako usługa IaaS (ang. *Infrastructure as a Service*). Systemy telekomunikacyjne używane w przeszłości zapewniały dostęp do jednego rodzaju zasobów, np. łącza telefonicznego lub przepływności łącza sieciowego. Współczesne systemy teleinformatyczne – takie jak systemy chmurowe typu IaaS – zapewniają dostęp do wielu rodzajów zasobów, w tym: zasobów obliczeniowych (procesory), pamięci typu RAM, pamięci dyskowej, łączy sieciowych. Ponadto, takie systemy zapewniają różnorodne usługi odzwierciedlające rosnące potrzeby użytkowników indywidualnych i biznesowych. Główny cel rozprawy polega na opracowaniu analitycznych i symulacyjnych modeli wielousługowych złożonych systemów teleinformatycznych. Ponadto, dodatkowe cele obejmują opracowanie metod umożliwiających analizę wykorzystania poszczególnych zasobów w złożonym systemie teleinformatycznym, który jest w stanie obsługiwać jednocześnie strumienie do różnych typów zasobów oraz analiza systemów z ruchem Erlanga, Engseta oraz Pascala typu elastycznego i adaptacyjnego. Tematykę rozprawy oceniam jako aktualną i ważną dla sektora ICT.

Rozprawa doktorska jest przedstawiona w formie zbioru opublikowanych i powiązanych tematycznie 8 artykułów naukowych poprzedzonych obszernym wprowadzeniem przedstawiającym opis osiągnięć doktoranta. Rozprawa ma charakter zarówno poznawczy

jak i utylitarny. W zakresie rozważań teoretycznych, mgr inż. Michał Weissenberg opracował modele analityczne oraz symulacyjne złożonych wielousługowych systemów chmurowych IaaS. Natomiast aspekt utylitarny rozprawy jest związany z przeprowadzeniem szerokich badań symulacyjnych i analitycznych prezentujące wyniki dla przykładowych scenariuszy wykorzystując rzeczywiste parametry usług chmurowych typu IaaS. W szczególności, przeprowadzone badania symulacyjne wykazały dokładność zaproponowanych metod modelowania.

## 2. Zawartość rozprawy

Rozprawa doktorska składa się z wprowadzenia zawierającego 2 rozdziały oraz 8 opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych. Pierwszy rozdział wprowadzenia omawia osiągnięcia naukowe będące podstawą do nadania stopnia doktora. Omówienie zawiera wstęp do rozważanej problematyki badawczej, cel i zakres badań oraz dokładny opis głównych osiągnięć doktoranta. Drugi rozdział wprowadzenia omawia pozostałe osiągnięcia doktoranta, w tym spis pozostałych osiągnięć doktoranta oraz wykaz różnych aktywności doktoranta takich jak udział w projektach naukowych, staże naukowe, współpracę z otoczeniem społeczno-gospodarczym, zaangażowanie w organizację konferencji.

W dalszej części rozprawy znajdują się publikacje wchodzące w skład zbioru opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych:

- Sławomir Hanczewski, Maciej Stasiak, Michał Weissenberg. High-accuracy analytical model for heterogeneous cloud systems with limited availability of physical machine resources based on Markov Chain. *Electronics*.13:11:2161. <https://doi.org/10.3390/electronics131121612024>.
- Sławomir Hanczewski, Maciej Stasiak, Michał Weissenberg. An analytical model of IaaS architecture for determining resource utilization. *Sensors*, 9:2758, 2024. <https://doi.org/10.3390/s24092758>.
- Joanna Weissenberg, Michał Weissenberg. Model of a queuing system with BPP elastic and adaptive traffic. *IEEE Access*. wolumen 10, strony 130771-130783, 2022. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3229234>.
- Sławomir Hanczewski, Maciej Stasiak, Michał Weissenberg. A multiparameter analytical model of the physical infrastructure of a cloud-based system. *IEEE Access*. wolumen 9, strony 100981-100990, 2021. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3097157>.
- Sławomir Hanczewski, Maciej Stasiak, Michał Weissenberg. Modeling of complex non-full-availability systems. *Journal of Telecommunications and Information*

Technology (JTIT). numer 2, strony 70–77, Styczeń 2020. <https://doi.org/10.26636/jtit.2020.143320>.

- Sławomir Hanczewski, Michał Weissenberg. A Study on the properties of complex non-full-availability systems. 39th International Business Information Management Association Conference IBIMA. 30-31 May 2022, Granada, Spain.
- Sławomir Hanczewski, Maciej Stasiak, Michał Weissenberg. The analytical model of complex non-full-availability system. Choraś, M., Choraś, R. (eds) Image Processing and Communications. IP&C 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing. wolumen 1062, 2019. Springer, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-31254-1>.
- Sławomir Hanczewski, Michał Weissenberg. Concept of an analytical model for cloud computing infrastructure. 2018 11th International Symposium on Communication Systems, Networks & Digital Signal Processing (CSNDSP). strony 1-4, Budapeszt, Węgry, 2018. <https://doi.org/10.1109/CSNDSP.2018.8471814>.

Na końcu rozprawy umieszczone są oświadczenie współautorów artykułów naukowych wchodzących w skład rozprawy. Należy podkreślić, że udział Doktorant w każdej z publikacji wynosi co najmniej 50%. Średnio, udział wynosi 69%. Doktorant nie jest podany jako pierwszy autor publikacji wchodzących w skład rozprawy doktorskiej, ponieważ w zespole naukowym, w którym pracuje stosowana jest alfabetyczna kolejność autorów publikacji.

W mojej ocenie struktura rozprawy doktorskiej jest prawidłowa. Doktorant w przejrzysty sposób przedstawił kolejne zagadnienia, co ułatwia lekturę i analizę zawartości rozprawy. Ponadto, pragnę podkreślić wysoką jakość rozprawy pod kątem językowym, stylistycznym i edycyjnym.

### **3. Poprawność i oryginalność postawionej tezy**

Teza rozprawy jest sformułowana w następujący sposób:

*Możliwe jest opracowanie na poziomie zgłoszeń modeli analitycznych o wysokiej dokładności dla wielousługowych złożonych systemów teleinformatycznych.*

W mojej opinii teza rozprawy jest sformułowana generalnie w poprawny sposób. Mgr inż. Michał Weissenberg na podstawie przeglądu literaturowego i własnej wiedzy prawidłowo określił zakres swojej rozprawy, koncentrując się na aktualnych i ważnych aspektach związanych ze współczesnymi sieci teleinformatycznymi. Pewien niedosyt budzi fakt, że Doktorant w tezie nie odnosi się do systemów chmurowych IaaS, które są przykładem złożonego systemu teleinformatycznego rozważanym w rozprawie w eksperymentach obliczeniowych. Ponadto, Doktorant w tezie nie odnosi się do systemów niepełnodostępnych, o których jest mowa w tytule rozprawy.

Teza została wykazana w rozprawie doktorskiej poprzez:

- Opracowanie modeli analitycznych dla wielousługowych złożonych systemów teleinformatycznych z uwzględnieniem dodatkowych założeń i ograniczeń.
- Opracowanie symulatora umożliwiającego zbadanie opracowanych metod.
- Przeprowadzenie obszernych symulacji i analiz umożliwiających porównanie wyników obliczeń analitycznych z wynikami eksperymentów symulacyjnych.

Według mojej opinii mgr inż. Michał Weissenberg rozwiązał postawiony problem naukowy stosując prawidłowe metody badawcze. Wyniki przedstawione w rozprawie zostały opatrzone dokładną analizą i dyskusją.

#### **4. Analiza źródeł (w tym literatury światowej i stanu techniki) świadcząca o dostatecznej wiedzy autora w danej dyscyplinie naukowej**

Doktorant przeprowadził przegląd literaturowy. Lista pozycji bibliograficznych umieszczona w rozprawie we wprowadzeniu zawiera 55 publikacji naukowych. Wśród nich znajdują się najważniejsze prace związane z tematyką poruszaną w rozprawie, w szczególności z tematyką teorii ruchu oraz inżynierii ruchu, systemami wielousługowymi, jakością usług w sieciach teleinformatycznych, systemami chmurowymi, aktualnymi trendami w sieciach teleinformatycznych. Przedstawiony przegląd literaturowy stanowi dobre wprowadzenie do dalszej części rozprawy prezentującej oryginalne koncepcje Doktoranta. Ponadto, każdy z 8 artykułów wchodzących w skład rozprawy zawiera dokładny przegląd literatury dotyczącej tematyki danego artykułu. Moim zdaniem, Doktorant posiada odpowiednią wiedzę i znajomość współczesnej literatury z zakresu związanego z tematyką rozprawy.

#### **5. Pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy i stanu techniki reprezentowanych przez literaturę światową**

Tematyka rozprawy doktorskiej jest związana z aktualnie rozwijanymi kierunkami badań w zakresie sieci teleinformatycznych. Zagadnienia dotyczące modelowania złożonych systemów teleinformatycznych z uwzględnieniem usług chmurowych są obecnie ważnym tematem badawczym uwzględniając nieustannie rosnący wolumen ruchu w sieciach teleinformatycznych, rosnącą popularność usług chmurowych oferowanych klientom indywidualnym i instytucjonalnym oraz zwiększające się potrzeby usprawniania działania sieci teleinformatycznych.

Doktorant w przedstawionej rozprawie doktorskiej kontynuuje prace badawcze prowadzone od wielu lat w Instytucie Sieci Teleinformatycznych Politechniki Poznańskiej. W rozprawie poruszane są różne zagadnienia związane z modelowaniem systemów teleinformatycznych uwzględniające najnowsze trendy w tym obszarze takie jak usługi chmurowe IaaS oraz systemy niepełnodostępne. Na szczególne wyróżnienie zasługuje fakt, że Doktorant w

przeprowadzonych badaniach uwzględnia parametry rzeczywistych systemów chmurowych oferowanych przez firmę Microsoft w ramach usługi Azure.

Opracowane metody można wykorzystać na etapie wymiarowania zasobów sieci teleinformatycznych, w tym dla systemów chmurowych, polegającym na określaniu wielkości niezbędnych zasobów do obsługi określonego natężenia ruchu na założonym poziomie jakości obsługi.

## **6. Znaczenie uzyskanych wyników dla danej dyscypliny naukowej**

Badania naukowe dotyczące złożonych wielousługowych systemów teleinformatycznych są związane z rozwojem sieci teleinformatycznych, szczególnie w obszarze chmur obliczeniowych, które obecnie są najbardziej popularnym sposobem udostępniania różnorodnych usług informatycznych. Wcześniej realizowane badania naukowe dotyczące prostych systemów telekomunikacyjnych uwzględniały scenariusze, w których analizowane były systemy zapewniające dostęp do jednego rodzaju zasobów, np. łącza telefonicznego lub przepływności łącza sieciowego. Obecnie systemy teleinformatyczne, w tym systemy chmurowe, wymagają zarządzania wieloma rodzajami zasobów, np. zasoby obliczeniowe (procesory), pamięci typu RAM, pamięci dyskowe, łącza sieciowe.

Jako najważniejsze oryginalne osiągnięcia rozprawy doktorskiej mgr inż. Michała Weissenberga w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja pragnę wymienić:

- Opracowanie i zbadanie trzech modeli analitycznych jednoparametrycznego złożonego systemu teleinformatycznego z ruchem Erlanga typu strumieniowego charakteryzujących się różną dokładnością. Opracowane model uwzględniają systemy niepełnodostępne.
- Opracowanie i zbadanie modelu analitycznego wieloparametrycznego złożonego systemu teleinformatycznego z ruchem Erlanga typu strumieniowego.
- Opracowanie i zbadanie modelu analitycznego wieloparametrycznego złożonego systemu teleinformatycznego z ruchem Erlanga typu strumieniowego, umożliwiającego wyznaczenie stopnia wykorzystania poszczególnych zasobów systemu.
- Opracowanie i zbadanie modelu analitycznego jednoparametrycznego kolejkowego systemu teleinformatycznego z ruchem Erlanga, Engseta i Pascala (BPP) typu elastycznego i adaptacyjnego.
- Opracowanie i implementacja autorskiego symulatora, umożliwiającego analizę złożonych systemów teleinformatycznych z ruchem Erlanga, Engseta, Pascala typu strumieniowego, elastycznego oraz adaptacyjnego z uwzględnieniem niepełnodostępnej struktury wewnętrznej podsystemu.

Należy podkreślić, że opracowane koncepcje oraz uzyskane wyniki mają duże znaczenia praktyczne. Doktorant zdefiniował i następnie rozwiązał realny i aktualny problem badawczy

związany z modelowaniem wielousługowych złożonych systemów teleinformatycznych, których reprezentatywnym przykładem są systemy chmurowe o architekturze typu IaaS.

## 7. Główne wady rozprawy, słabe stron wraz z krytycznymi uwagami szczegółowymi

### Uwagi natury ogólnej:

- Tytuł rozprawy doktorskiej „*Modelowanie złożonych systemów niepełnodostępnych*” jest krótki i dość ogólny. Także teza rozprawy nie wskazuje jakiego rodzaju systemy są rozważane w rozprawie. Moim zdaniem w tytule rozprawy oraz w tezie powinny się znaleźć bardziej szczegółowe informacje wskazujące na obszar, którego dotyczy rozprawa, tj. systemy teleinformatyczne.
- Teza rozprawy odnosi się do dokładności modeli („*Możliwe jest opracowanie na poziomie zgłoszeń modeli analitycznych o wysokiej dokładności dla wielousługowych złożonych systemów*”). Jednak w rozprawie nie przedstawiono miary mierzenia dokładności modeli. Porównanie modeli analitycznych do wyników uzyskanych za pomocą symulatora jest przedstawione jedynie w postaci wykresów pokazujących wyniki dla obu metod mających na osi x natężenie oferowanego ruchu. W mojej opinii zdefiniowanie miary różnicy między wynikami modeli analitycznych oraz wynikami badań symulacyjnych ułatwiłoby ocenę jakości opracowanych modeli analitycznych.
- W rozdziale 1.6.1 przedstawione są informacje za pomocą jakich zasobów definiowane są maszyny wirtualne (MW), w tym wymagana prędkość łącza sieciowego. Następnie w Tabeli 1.1 podane są przykładowe parametry maszyn wirtualnych oferowanych przez Microsoft. Jednak informacje podane w Tabeli 1.1 nie zawierają danych o wymaganej prędkości łącza sieciowego.
- Ruch rozważany w przykładach obliczeniowych był generowany losowo. Pewien niedosyt budzi fakt, że doktorant nie zastosował ruchu rzeczywistego lub ruchu semi-syntetycznego (wygenerowanego losowo, ale na podstawie wartości parametrów obserwowanych w rzeczywistych systemach). Moim zdaniem, zastosowanie ruchu rzeczywistego lub ruchu semi-syntetycznego podniosłoby wartość wyników przedstawionych w rozprawie. Zdaję sobie sprawę, że uzyskanie danych o rzeczywistym ruchu od dostawców usług chmurowych takich jak Microsoft lub Amazon jest bardzo trudne. Ale być może byłaby możliwość uzyskania danych o ruchu dla centrów danych działających na uczelniach wyższych w ramach centrów obliczeniowych.

### Uwagi polemiczne:

- Tytuł rozprawy odnosi się do systemów niepełnodostępnych. Jednak w tezie rozprawy zabrakło odniesienia do systemów niepełnodostępnych, co moim zdaniem jest pewną niekonsekwencją.

- Przykłady obliczeniowe rozważane w rozprawie odnoszą się do systemów chmurowych o modelu IaaS. Jednak teza rozprawy nie zawiera informacji o systemach chmurowych.
- Na poszczególnych wykresach pokazujących wyniki stosowany jest różny zakres oferowanego ruchu, np. Rys. 1.8 vs. Rys. 1.10 (różnice występują także dla kolejnych wykresów). W rozprawie nie ma informacji wyjaśniających dlaczego stosowane są różne zakresy oferowanego ruchu.
- W rozprawie rozważane są systemy niepełnodostępne (co jest m.in. ujęte w tytule rozprawy). Jednak w mojej opinii w rozprawie zabrakło szerszego omówienia koncepcji niepełnodostępności w kontekście rozważanego przykład dotyczącego systemów chmurowych typu IaaS.

#### **Uwagi szczegółowe:**

- We wzorze (1.2) jest użyte oznaczenie  $c_i$ , które nie zostało wcześniej zdefiniowane.
- Rysunek 1.21 byłby moim zdaniem bardziej czytelny jeżeli zawierałby mniej serii danych, obecnie trudno analizować poszczególne wyniki.
- Drobne błędy językowe, np.:
  - Tabela 1.2 ostatnia kolumna "Dyks".
  - Str. 36 "Analiza wartości żądań w tabeli 1.7 wsakzuje".
  - Str 54 "Dzięki uwzględnieniu przyjętych aproksymacji".

#### **8. Konkluzja**

Recenzowana rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie jednoznacznie sformułowanego zagadnienia naukowego. Mgr inż. Michał Weissenberg wykazał w tej rozprawie w przekonujący sposób umiejętność samodzielnego prowadzenia badań naukowych, a także ich prawidłowej i wnikliwej interpretacji. Wymienione powyżej uwagi ogólne, polemiczne oraz szczegółowe nie mają znaczącego wpływu na pozytywną ocenę rozprawy. W związku z powyższym uważam, iż przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Michała Weissenberga spełnia wymogi zawarte w Ustawie dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r, nr 1669 z późniejszymi zmianami) oraz w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym z dnia 14 marca 2003 roku (Dz. U. z 2003 r., nr 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami) i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.