

Prof. dr hab. inż. Krzysztof WALKOWIAK  
Wydział Elektroniki  
Politechnika Wrocławska

**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ  
DLA RADY WYDZIAŁU TELEKOMUNIKACJI, INFORMATYKI I ELEKTROTECHNIKI  
UNIwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy**

**Tytuł rozprawy: „Effective solutions for high performance communication in the cloud”**

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

**Promotor rozprawy: dr hab. inż. Michał Choraś, prof. uczelni**

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

Głównym celem recenzowanej rozprawy było zaproponowanie nowych rozwiązań dla usprawnienia działania systemów informatycznych uruchamianych w chmurze obliczeniowej, w szczególności rozwiązań umożliwiających zwiększenie przepustowości systemów uruchomionych w chmurze obliczeniowej. Teza pracy jest sformułowana w następujący sposób:

*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 mojej opinii teza pracy jest generalnie sformułowana w poprawny sposób. Mgr inż. Sebastian Łaskawiec na podstawie przeglądu literaturowego i własnej wiedzy prawidłowo określił zakres swojej pracy, koncentrując się na zadaniu opracowania nowych rozwiązań dla czterech rzeczywistych problemów istniejących obecnie w środowisku chmury obliczeniowej. Problemy wybrane do rozwiązania mają istotny aspekt praktyczny i dotyczą aktualnych zagadnień związanych z popularnymi obecnie rozwiązaniami technologicznymi stosowanymi w środowiskach chmury obliczeniowej. Do rozwiązania podstawionych problemów Doktorant użył właściwych metod uwzględniających dostępne na rynku rozwiązania sieciowe i chmurowe.

Pewien niedosyt budzi nie do końca wykazana teza rozprawy, gdyż rozwiązania przedstawione w kolejnych rozdziałach rozprawy nie są do końca spójne z tezą pracy, o czym piszę więcej poniżej w pkt. 6 mojej recenzji.

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

Recenzowana rozprawa dotyczy obszaru optymalizacji systemów informatycznych działających w chmurze obliczeniowej (ang. *cloud computing*). Zagadnienia związane z tym obszarem informatyki od wielu lat zyskują coraz większe znaczenie. Jest to związane przede wszystkim z rosnącą popularnością

systemów chmurowych oferowanych przez największe firmy informatyczne Amazon, Microsoft, Google. Praktycznie wszystkie sektory gospodarki, instytucje państwo, a nawet instytucje wojskowe (np. projektu Jedi (ang. *Joint Enterprise Defence Infrastructure*) armii USA) korzystają obecnie z chmur obliczeniowych. Według prognoz firmy Forrester światowy rynek usług chmurowych w 2020 roku powinien osiągnąć bardzo wysoką wartość 299,4 miliardów dolarów. Dlatego przydatność recenzowanej rozprawy z punktu widzenia nauk technicznych jest bardzo wysoka.

Założenia przyjęte przez Doktoranta są w pełni uzasadnione, gdyż są bardzo mocno powiązane z najnowszymi i popularnymi technologiami, systemami i standardami w obszarze chmur obliczeniowych.

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

Moim zdaniem mgr inż. Sebastian Łaskawiec rozwiązał postawiony problem naukowy stosując prawidłowe metody badawcze. Postawione cele zostały w pracy osiągnięte. Dla wykazania tezy pracy Doktorant posłużył się m.in. różnymi mechanizmami sieciowymi, mechanizmami bezpieczeństwa systemów informatycznych, algorytmami uczenia maszynowego, metodami statystycznymi, metodą *proof of concept* oraz przeprowadził eksperymenty symulacyjne, w których zaimplementował zaproponowane rozwiązania i algorytmy oraz następnie dla poprawnie stworzonych scenariuszy badawczych przeprowadził szereg badań symulacyjnych. Wyniki zawarte w pracy są opatrzone analizą i dyskusją.

### **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 przede wszystkim konstrukcyjny i doświadczalny oraz w mniejszym stopniu teoretyczny. W zakresie aspektu konstrukcyjnego i doświadczalnego, mgr inż. Sebastian Łaskawiec zaimplementował jako *proof of concept* oraz przetestował w rzeczywistych środowiskach informatycznych cztery nowe rozwiązania informatyczne, które są szerzej opisane w pkt. 5 mojej recenzji. Należy podkreślić, że w czasie swoich prac konstrukcyjnych i doświadczalnych Doktorant stosował bardzo aktualne rozwiązania z zakresu informatyki i systemów chmurowych. Spora część z zaproponowanych w rozprawie rozwiązań jest stosowana w otwartym oprogramowaniu typu *open source* udostępnianym w ramach projektu Infinispan. Natomiast w zakresie rozważań teoretycznych, mgr inż. Sebastian Łaskawiec przeprowadził analizę dostępnych technologii, protokołów i rozwiązań i na podstawie tej analizy opracował nowe rozwiązania dla podniesienia efektywności i bezpieczeństwa działania systemów informatycznych uruchamianych w chmurze obliczeniowej.

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

Jako najważniejsze oryginalne osiągnięcia rozprawy doktorskiej mgr inż. Sebastiana Łaskawca należy wymienić:

- Opracowanie rozwiązania umożliwiającego obniżenie zapotrzebowania na pamięć dla systemu typu Data Grid poprzez zastosowanie mechanizmów współdzielenia serwera pomiędzy wielu użytkowników. Zaproponowane rozwiązanie wykorzystuje pola "hostname" rozszerzenia SNI (ang. *Server Name Indication*) protokołu TLS (ang. *Transport Layer Security*)

oraz uwierzytelnianie zrealizowane za pomocą certyfikatu X.509. Przedstawione rozwiązanie zostało zastosowane w rzeczywistym projekcie Infinispan.

- Opracowanie metody dostępu do pojedynczej instancji aplikacji pracującej w klastrze chmury obliczeniowej pozwalającej na minimalizację opóźnień. Przepustowość transmisji została zwiększona wskutek zastosowaniu techniki *Client Side Load Balancing* oraz dzięki proponowanemu rozwiązaniu dostępu do aplikacji uruchomionej w chmurze. Opracowane rozwiązanie zostało w praktyce zastosowane w implementacji złożonych funkcjonalności systemu typu *Data Grid*, np. w replikacji danych pomiędzy klastrami.
- Opracowanie rozwiązania przełączania protokołów umożliwiającego wynegocjowanie lub przełączenie na protokół binarny dla aplikacji uruchomionej w chmurze. Opracowane rozwiązanie współpracuje z mechanizmem *Reverse Proxy*, którego użycie jest bezpłatne w większości chmur obliczeniowych opartych o konteneryzację. Przepustowość połączenia pomiędzy aplikacją i serwerem została zwiększona dzięki zastosowaniu techniki zmiany protokołów z wykorzystaniem rozszerzenia ALPN (ang. *Application-Layer Protocol Negotiation*) protokołu TLS oraz procedury HTTP/1.1 Upgrade i wykorzystanie binarnych protokołów komunikacyjnych. Rozwiązanie zostało przetestowane z wykorzystaniem dedykowanego środowiska testowego i znalazło praktyczne zastosowanie i jest obecnie dostępne w projekcie w wersji 10 projektu Infinispan pod nazwą "Single Port".
- Opracowanie systemu eksperckiego wykorzystującego techniki uczenia maszynowego i służącego do wykrywania błędów w konfiguracji aplikacji uruchomionych w chmurze obliczeniowej. Należy podkreślić, że opracowany system został pozytywnie oceniony przez środowisko związane z projektami *Open Source* oraz przez firmę Red Hat. Opracowane rozwiązanie zostało zgłoszone do Biura Patentowego USA.

Oryginalność rozprawy wynika również z faktu powiązania rozważanych zagadnień naukowych z aktualnymi i rzeczywistymi problemami obserwowanymi w chmurach obliczeniowych. Doktorant posiada bardzo dużą wiedzę praktyczną związaną z systemami chmurowymi, bardzo sprawnie posługuje się różnymi dostępnymi narzędziami informatycznymi. Spora część z zaproponowanych w rozprawie rozwiązań znalazła praktyczne zastosowanie w otwartym oprogramowaniu typu *Open Source* udostępnianym w ramach projektu Infinispan.

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

### Uwagi natury ogólnej:

- Wyniki symulacji/eksperymentów w niektórych miejscach nie są precyzyjnie przedstawione. Np. tytuł tabeli 4.8 brzmi „Total memory usage (RSS) compared with the number of tenants”, co sugeruje że wyniki dotyczą całkowitego zużycia pamięci w systemie. Ale wartości umieszczone w tabeli wskazują, że chodzi o zużycie pamięci dla jednego użytkownika (tenant).
- Materiał przedstawiony w rozprawie nie zawsze jest opisany w klarowny sposób, szczególnie dotyczy to prezentacji wyników:
  - W rozdziale 5, nie jest dla mnie jednoznacznie jasne, które z pięciu przypadków przedstawionych w wynikach (L3 + Kubernetes internal, L3 + Kubernetes internal + LB, L1 + Kubernetes internal + LB, L3 + Kubernetes external + LB, L1 + Kubernetes external + LB) dotyczą autorskich osiągnięć Doktoranta, a które przypadki są

- referencyjne. Wynika to częściowo z faktu, że Doktorant nie stosuje spójnego systemu nazewnictwa w kolejnych podrozdziałach. W szczególności w opisie wyników Doktorant stosuje oznaczenia L1 i L3, które nie pojawiają się w rozdziale 5.2, który opisuje zaproponowane rozwiązanie. Niewątpliwie w lepszym zrozumieniu przedstawionego materiału pomocny byłoby dokładniejszy opis i rysunki, które jednoznacznie pokazywałyby różnice między rozważanymi pięcioma przypadkami.
- W rozdziale 6, w tabelach 6.3-6.5 są stosowane częściowo inne oznaczenia niż w późniejszych rys. 6.5-6.7 oraz tabelach 6.6-6.12. Utrudnia to analizę wyników.
  - Niektóre zaproponowane rozwiązania nie są do końca spójne z tezą pracy, nie jest to w odpowiedni sposób opisane i wyjaśnione w rozprawie:
    - Dla rozwiązania zaproponowanego w rozdziale 5 w przedstawionych wynikach nie widzę korzyści zapowiadanych w tezie pracy (*„Istnieje możliwość poprawienia szybkości komunikacji, zdefiniowanej jako przepustowość lub opóźnienie, oraz obniżenie zapotrzebowania na pamięć (...).”*). Ale być może wynika to z faktu mało precyzyjnego przedstawienia wyników w rozdziale 5, o czym pisałem powyżej.
    - W rozdziale 6, zaproponowane rozwiązanie (czyli scenariusze, dla których *“Negotiation mechanism”* jest różne od *“None”*) dają wyniki w wielu przypadkach gorsze od wyników referencyjnych (czyli scenariuszy, dla których *“Negotiation mechanism”* jest ustawione na *“None”*).
    - Osiągnięcia zaprezentowane w rozdziale 7 nie odnoszą się do informacji zawartych w tezie. Zaproponowane rozwiązanie jest wartościowe, ale nie podano w jaki sposób to rozwiązanie wpływa na metryki podane w tezie pracy, czyli *„szybkości komunikacji, zdefiniowanej jako przepustowość lub opóźnienie, oraz obniżenie zapotrzebowania na pamięć”*.

#### **Uwagi polemiczne:**

- Jak pisałem powyżej, zaproponowane rozwiązanie mają duże znacznie praktyczne. Jednak mój pewien niedosyt budzi stosunkowo mało obszerne zastosowanie bardziej zaawansowanych metod naukowych w rozwiązywaniu problemów postawionych w pracy. Doktorant bardzo sprawnie posługuje się gotowymi rozwiązaniami dostępnymi obecnie na rynku i na ich podstawie proponuje autorskie rozwiązania, które w dużym stopniu mają charakter *„proof of concept”*. Jednak w niewielkim stopniu w rozprawie przedstawiono w jaki sposób Doktorant doszedł do przedstawianych rozwiązań, jakie ewentualnie inne koncepcje i pomysły było rozważane, dlaczego inne koncepcje zostały odrzucone, itd.

#### **Uwagi szczegółowe:**

- Wiele skrótów używanych w rozprawie nie zostało wprowadzonych (rozwinętych) przy okazji pierwszego pojawienia się w rozprawie, np. WSDL, CaaS, DNS, RSS, OCP.
- Skrót RSS jest użyty w dwóch różnych znaczeniach.
- W tytułach Tabeli 5.4 oraz rysunku 5.7 jest mowa o *„1.000 Put and Get operations”*, a w tekście Doktorant pisze *„Each test consists of sending 10 000 Put Operations (which means inserting 10 000 random strings into the data grid) and 10 000 Put and Get Operations (where the Get Operation represents getting a value previously inserted by a Put Operation).”* Więc nie jest jasne ile operacji Put i Get było wykonanych.

- W rozdziale 6.4 Autor używa pojęcia 'OCP Router', które nie zostało nigdzie wcześniej wprowadzone/zdefiniowane. Należałoby dokładniej opisać skąd takie określenie.
- W rozdziale 6.4 występują błędy interpunkcyjne w odwołaniach do tabel (brak spacji przed numerem tabeli, stosowanie myślnika przed numerem tabeli).
- Drobne błędy językowe, np. str. 59 „to a standard web applications”.

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

Rozprawa doktorska mgra inż. Sebastiana Łaskawca dotyczy aktualnych obecnie zagadnień związanych z chmurami obliczeniowymi. Doktorant przeprowadził dokładny przegląd bibliograficzny, lista literatury umieszczona w rozprawie zawiera 126 pozycji. Wśród nich znajdują się najważniejsze prace związane z:

- systemami chmur obliczeniowych,
- zagadnieniami sieciowymi w chmurach obliczeniowych,
- zagadnieniami bezpieczeństwa w chmurach obliczeniowych,
- algorytmami uczenia maszynowego.

Mogę jednoznacznie stwierdzić, że Doktorant posiada dostateczną wiedzę i znajomość współczesnej literatury z zakresu różnorodnych aspektów związanych z chmurami obliczeniowymi.

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

W mojej ocenie Doktorant wykazał w przedstawionej rozprawie doktorskiej umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników. Generalnie, rozprawa jest napisana poprawnie pod kątem językowym i od strony redakcyjnej. Pewien niedosyt budzi nie do końca precyzyjne przedstawienia niektórych wyników. W szczególności, w niektórych przypadkach używane oznaczenia poszczególnych przypadków i serii danych nie zostały dokładnie i precyzyjnie wprowadzone, co utrudnia analizę uzyskanych wyników i skojarzenie wyników z wcześniej omawianymi zagadnieniami i rozwiązaniami (pisałem o tym więcej powyżej w pkt 6 mojej recenzji).

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

Należy podkreślić, że opracowane koncepcje oraz uzyskane wyniki mają duże znaczenia praktyczne. Doktorant zdefiniował i następnie rozwiązał realne i aktualne problemy badawcze związane z użytkowaniem systemów informatycznych w środowisku chmur obliczeniowych. Rozważane problemy dotyczą bardzo aktualnych zagadnień związanych z rozwojem chmur obliczeniowych obejmujących wirtualizację i konteneryzację systemów informatycznych, bezpieczeństwo systemów chmurowych oraz zastosowanie technik uczenia maszynowego do podniesienia efektywności działania systemów chmurowych. Ponieważ popularność systemów chmurowych nieustannie rośnie w praktycznie każdym sektorze gospodarki oraz administracji publicznej, mogę jednoznacznie stwierdzić, że przydatność rozprawy dla gospodarki narodowej jest bardzo duża. Co więcej, opracowane rozwiązanie mogą być zastosowane w skali światowej.

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

Recenzowana rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie jednoznacznie sformułowanego zagadnienia naukowego. Mgr inż. Sebastian Łaskawiec wykazał w tej rozprawie umiejętność samodzielnego prowadzenia badań naukowych, a także ich prawidłowej i wnikliwej interpretacji. Wymienione powyżej uwagi krytyczne nie mają znaczącego wpływu na ogólną pozytywną ocenę pracy. W związku z powyższym uważam, iż przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Sebastiana Łaskawca spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy zawarte 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.

wałkowicz