



**POLITECHNIKA  
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ ELEKTRONIKI,  
TELEKOMUNIKACJI I INFORMATYKI

Gdańsk, 16.08.2017 r.

Dr hab. inż. Jacek Rak, prof. PG  
Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki  
Politechnika Gdańska

## **Recenzja rozprawy doktorskiej**

**Tytuł: Methods for Dependability Provisioning in Flow-Oriented Telecommunication Networks**

**Autor: Mgr inż. Andrzej Kamisiński**

Praca doktorska mgr. inż. Andrzeja Kamisińskiego jest napisana w języku angielskim i obejmuje siedem rozdziałów głównych oraz kilka sekcji nienumerowanych. Dotyczy ona problemu zapewniania niezawodności transmisji w sieciach telekomunikacyjnych zorientowanych na przepływy. Wobec rosnącej częstości występowania awarii elementów sieci telekomunikacyjnych (w tym również w następstwie działań sił natury czy umyślnych działań niszczących skutkujących jednoczesną awarią wielu węzłów/łączy), rozpatrywany problem jest w kontekście sieci zorientowanych na przepływy bez wątpienia ważny i aktualny.

Jego aktualność jest również uzasadniona ewolucją architektur sieci telekomunikacyjnych implikującą konieczność opracowania dedykowanych rozwiązań także z zakresu niezawodności transmisji, jak i zapewniania szeroko pojętej jakości usług. W szczególności, przedstawione w rozprawie rozwiązania w kontekście realizacji przepływów bardzo dobrze wpisują się w zakres prac dotyczących architektury Internetu Przyszłości prowadzonych na całym świecie równolegle przez szereg zespołów badawczych.

## **1. Jaki jest problem naukowy (teza) rozprawy i czy został on trafnie i jasno sformułowany?**

W pracy doktorskiej, kandydat poprawnie zidentyfikował szereg otwartych problemów dotyczących niezawodności transmisji w sieciach telekomunikacyjnych zorientowanych na przepływy dotyczących możliwych scenariuszy awarii elementów sieci, tzw. zapętlenia w przekazywaniu datagramów (ang. forwarding loop) oraz przeciążenia łączy sieci istotnie utrudniających realizację transmisji w zgodności z warunkami kontraktu SLA. W szczególności zasadne są stwierdzenia autora (zawarte w rozdziale pierwszym rozprawy) dotyczące potrzeby wypracowania rozwiązań dla sieci zorientowanych na przepływy świadczące o tym, że w przypadku wykorzystania w tym celu konwencjonalnych mechanizmów znanych z klasycznych sieci pakietowych, mogą one nie być w stanie zapewnić niezawodności transmisji w przypadku wspomnianych awarii, zapętleń transmisji, jak i przeciążenia łączy.

W kontekście powyższych aspektów i badań przeprowadzonych w początkowym etapie realizacji przewodu doktorskiego, kandydat sformułował tezę rozprawy (zawartą na stronie 6 rozprawy) świadczącą o tym, że możliwe jest podniesienie poziomu niezawodności transmisji w sieciach telekomunikacyjnych zorientowanych na przepływy poprzez zastosowanie autorskich technik dotyczących realizacji tejże transmisji ukierunkowanych na obsługę scenariuszy awarii elementów sieci, zapętleń w przekazywaniu datagramów oraz przeciążenia łączy sieci, jak i przy użyciu autorskiej techniki oceny ryzyka niewypełnienia zobowiązań zawartych w SLA.

Teza rozprawy jest w ogólności zdefiniowana trafnie i w jasny sposób oraz obejmuje szereg istotnych zagadnień o stopniu złożoności adekwatnym dla prac doktorskich. W szczególności trzy zidentyfikowane przez kandydata podproblemy badawcze zawarte w tezie rozprawy dotyczące scenariuszy awarii, zapętleń i przeciążeń również w mojej ocenie są ważne.

Samo sformułowanie tezy rozprawy typu *"uzyskanie rozwiązania złożonego problemu Z jest możliwe poprzez wypracowanie rozwiązań dla podproblemów A, B, C"* wydaje się nieco zbyt ostrożne, jeśli nie zawiera choćby ogólnej informacji dotyczącej planowanych technik rozwiązania tychże podproblemów.

## **2. Na czym polega oryginalny dorobek autora i jakie jest znaczenie poznawcze lub przydatność praktyczna dla nauki bądź techniki?**

W celu wykazania tezy rozprawy, autor zaproponował szereg oryginalnych rozwiązań popartych publikacjami w uznanych czasopismach i materiałach konferencji o renomie międzynarodowej. W szczególności, w skład oryginalnego dorobku kandydata o dużej przydatności dla nauki i techniki zaliczam opracowanie szeregu metod, których celem jest podniesienie poziomu niezawodności transmisji w sieciach telekomunikacyjnych zorientowanych na przepływy, w tym:

- a) metodę zapobiegania zapętleniu w przekazywaniu datagramów opisaną w rozdziale 2. W szczególności, metoda ta została zaproponowana w kontekście wad szeregu rozwiązań znanych z literatury (opisanych w rozdziałach 2.1 i 2.2 rozprawy) dotyczących



np. niewystarczającej ochrony przeciwko zapętleniu poprzez mechanizm TTL czy też w obliczu celowych zmian wartości TTL poprzez osoby trzecie (np. w kontekście znanej z literatury techniki FATMAR),

- b) metodę realizacji transmisji w obliczu awarii elementów sieci przedstawioną w rozdziale 3 ukierunkowaną na zapewnienie ciągłości realizacji przepływów w obliczu awarii wielokrotnych. Na podstawie szczegółowego opisu założeń metody zawartego w rozdziale 3 popartego analizą charakterystyk uzyskanych w rzeczywistym środowisku obejmującym autorskie realizacje prototypów routerów, należy uznać, iż w kontekście rozwiązań znanych z literatury, proponowana metoda umożliwia dokonanie istotnego postępu w kierunku ograniczenia strat pakietów podczas rekonfiguracji tras obsługi żądań w następstwie wystąpienia awarii wielokrotnej. Jest to wyraźnie widoczne na rys. 3.8 i 3.10 przedstawiających dystrybuanty liczby utraconych pakietów. Dodatkową zaletą metody opisaną w rozdziale 3 rozprawy jest jej przezroczystość w odniesieniu do protokołów doboru tras (metoda nie modyfikuje zawartości pakietów, jak i nie bazuje na sygnalizacji zewnętrznej) co sprawia, że może ona być zastosowana jako rozszerzenie praktycznie dowolnego dynamicznego protokołu doboru tras, a więc ma szansę na implementację w praktyce,
- c) dwie metody ograniczenia problemu przeciążenia łączy sieci opisane w rozdziale 4 bazujące na idei realokacji zasobów sieci (przepustowości łączy) przydzielonych dla obsługiwanych przepływów przy wykorzystaniu tras alternatywnych. W kontekście architektury zorientowanej na przepływy, rozwiązania te należy uznać za nowatorskie i istotne zwłaszcza w kontekście ich charakterystyk zebranych w wyniku badań symulacyjnych przeprowadzonych przy wykorzystaniu autorskiego symulatora sieci zaimplementowanego w języku C++ ukazujących istotną przewagę rozwiązań autorskich nad rozwiązaniami referencyjnymi w odniesieniu do liczby łączy przeciążonych, średniego stopnia obciążenia łączy przeciążonych oraz liczby łączy w pełni obciążonych. Jest to widoczne zarówno w przypadku sieci o topologii względnie regularnej (za jaką należy uznać sieć z rys. 4.2), jak i sieci reprezentowanej przez graf o małej liczbie krawędzi i cykli (z rys. 4.3), w przypadku której trudniej jest o realokację przepływu z uwagi na ograniczoną topologicznie liczbę tras alternatywnych. Z tego powodu zrozumiałe i akceptowalne jest, że w drugim z analizowanych wariantów redukcja średniego stopnia obciążenia łączy przeciążonych oraz liczby łączy w pełni obciążonych w porównaniu z wynikami uzyskanymi dla rozwiązań referencyjnych musiała się odbyć się kosztem nieznacznego wzrostu liczby łączy, które można uznać za przeciążone (zgodnie z założeniami rozprawy o obciążeniu przekraczającym 70%),
- d) metodologię oceny niezawodności realizacji przepływów wraz z metodą oceny ryzyka niespełnienia warunków SLA opisane w rozdziale 5 rozprawy. W szczególności należy podkreślić znaczący wkład kandydata w obszarze identyfikacji głównych czynników

wpływających na niezawodność transmisji w sieciach zorientowanych na przepływy, definicji poziomu degradacji usług oraz propozycji nowatorskiej metody oceny ryzyka niewypełnienia zobowiązań SLA w kontekście obsługi przepływów w sieciach SDN.

Ponadto, praca doktorska jest napisana bardzo dobrze pod względem językowym i jest nieomalże pozbawiona jakichkolwiek błędów z tego zakresu.

### **3. Czy autor rozwiązał postawiony problem i czy użył do tego celu właściwych metod?**

Metody zastosowane przez autora rozprawy w celu wykazania tezy pracy są w mojej opinii właściwe. Aby dokonać weryfikacji właściwości metod proponowanych w rozprawie, kandydat zrealizował zarówno ich implementację w sieci laboratoryjnej zawierającej prototypy routerów sieciowych stworzonych przez kandydata, jak i wykorzystał własny symulator napisany w języku C++. Wyniki uzyskane przez kandydata dla autorskich rozwiązań świadczą o zdecydowanej poprawie wartości analizowanych parametrów. Tym samym zasadne jest przekonanie o wykazaniu tezy rozprawy.

Ponadto, zawartość rozprawy (będąca po części pochodną publikacji autora, jak i współrealizacji projektów naukowych) świadczy o istotnej wiedzy kandydata oraz cennej umiejętności prowadzenia badań naukowych w środowisku międzynarodowym.

### **4. Jakie są słabsze strony rozprawy?**

- a) W odniesieniu do metody przeciwdziałania zapętleniom opisanej w rozdziale 2 brakuje w rozdziale 2 sekcji analizującej efektywność tejże metody (np. w kontekście złożoności obliczeniowej), jak i prezentującej wyniki pomiarów jej charakterystyk. Brakuje również informacji czy i w jakim stopniu założenia metody opisanej w rozdziale 2 są brane pod uwagę w konstrukcji algorytmów opisanych w dalszych rozdziałach pracy (aspekt zapętlenia jest bowiem poruszany co najmniej w rozdziale 3 pracy),
- b) w rozdziale 3 kandydat przedstawił weryfikację właściwości proponowanej metody doboru tras dla arbitralnie przyjętej pojedynczej konfiguracji żądań transmisji (w tym przypadku pomiędzy każdą parą węzłów) oraz liczby i rozmiaru pakietów (odpowiednio 8000 pakietów i 1470 bajtów). Dla tak przyjętej konfiguracji sieci przedstawił szczegółowe charakterystyki dotyczące poziomu strat pakietów, jak i współczynnika *path stretch* dla trzech przypadków awarii: pojedynczego łącza, dwóch łączy oraz trzech łączy. Jednakże dla kompletności analizy zasadne byłoby rozszerzenie analizy o dokonanie oceny wpływu stopnia obciążenia sieci na uzyskane rezultaty poprzez przeanalizowanie kilku scenariuszy (a nie jednego) dotyczących obciążenia sieci,



- c) wykresy przedstawione na rys. 3.9 i 3.11 (prezentujące dystrybuanty dla parametru path stretch) charakteryzuje dość ograniczona czytelność utrudniająca porównanie charakterystyk proponowanej metody z analizowanymi rozwiązaniami referencyjnymi,
- d) w rozdziale 3 brakuje uzasadnienia dlaczego wyniki zebrano dla scenariusza zakładającego wystąpienie wyłącznie ośmiu awarii obejmujących odpowiednio pojedyncze łącze, dwa łącza i trzy łącza (str. 36 rozprawy). O ile bowiem dla rozpatrywanych sieci kilkunastowęzłowych (rys. 3.5, 3.6) zawierających kolejno 16 oraz 19 łączy, analiza awarii losowo wybranych ośmiu z nich jest akceptowalna, to w przypadku jednoczesnej awarii dwóch łączy sieci, liczby możliwych scenariuszy awarii dwóch i trzech łączy wynoszą już odpowiednio  $\binom{16}{2} = 120$  oraz  $\binom{16}{3} = 560$  dla sieci z rys. 3.5 oraz  $\binom{19}{2} = 171$  oraz  $\binom{19}{3} = 969$ ,
- e) Metody przeciwdziałania przeciążeniu łączy w sieci zaproponowane w rozdziale 4 są metodami heurystycznymi i bazują na idei realokacji przepływów łącze po łączu. Jednakże realokacja przepływów mająca na celu obniżenie obciążenia łącza rozpatrywanego w danym momencie poprzez przeniesienie realizacji wybranych przepływów na trasy alternatywne prowadzi do zwiększenia obciążenia innych łączy w sieci, co z kolei z dużym prawdopodobieństwem może powodować uzyskanie wyników dalekich od optymalnych. Autor zauważa ten problem (np. w podsumowaniu rozdziału) sugerując że jeden z kierunków dalszych badań mógłby dotyczyć przeanalizowania różnych sekwencji łączy sieci, dla których algorytmy przeprowadzałyby operację redukcji obciążenia łącza, jak i finalny wybór najlepszego z wariantów. Mogłoby to niewątpliwie przyczynić się do podniesienia jakości rozwiązania, lecz w pełni miarodajne rezultaty można by osiągnąć dopiero po dodatkowym zdefiniowaniu odpowiedniego zadania optymalizacji, w którym obciążenie wszystkich łączy sieci byłoby rozpatrywane jednocześnie. W przeciwnym razie, ograniczenie się jedynie do wyboru najlepszej sekwencji analizowanych łączy sieci mogłoby (z uwagi na wspomniany wpływ operacji redukcji obciążenia danego łącza na zmianę obciążenia innych łączy) prowadzić do wyników suboptymalnych,
- f) rozdział 5 rozprawy przedstawia rozwiązania zawarte w artykule zgłoszonym na konferencję NFV-SDN 2017 będącym w chwili złożenia rozprawy w recenzji, a więc aktualnie niedostępnym szerszemu gronu odbiorców. Przy opisywaniu w rozdziale 5 rozprawy treści zawartych w tymże artykule konferencyjnym, większy nacisk powinien być położony na eliminację z rozdziału 5 rozprawy sformułowań typu "*...which we consider in this paper...*" (str. 65 rozprawy), które mogą sugerować podobieństwo zdań zawartych w rozdziale rozprawy do treści artykułu konferencyjnego. Generalnie wskazane jest unikać w rozprawie wszelkich zwrotów angielskich typu "we" sugerujących opis wyników pracy zespołowej, jak i "*this paper*" znanych z publikacji konferencyjnych,

- g) streszczenie polskie jest w mojej opinii zbyt krótkie, co m.in. sprawia, że kluczowe dla niniejszej rozprawy pojęcia nie mają w nim adekwatnych polskich odpowiedników - np. angielskie "*dependability*" występujące zarówno w tytule rozprawy, jak i używane wielokrotnie w dalszej części pracy.

Wobec nowatorskiego charakteru oraz rangi uzyskanych rezultatów, uwagi przedstawione powyżej nie rzutują istotnie na pozytywną ocenę końcową.

**5. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:**

- a/ nie spełniająca wymagań,
- b/ wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania,
- c/ zadowalająco spełniająca wymagania,
- d/ wyraźnie wykraczająca poza poziom przeciętny (spełniająca wymagania z nadmiarem),
- e/ wybitna?

Z powodu znaczenia rezultatów opisanych w rozprawie, niniejszą rozprawę zaliczam do kategorii **d/ wyraźnie wykraczająca poza poziom przeciętny (spełniająca wymagania z nadmiarem)**.

W mojej ocenie kandydat spełnił wymogi Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie nauki. Z tego powodu wnoszę o dopuszczenie analizowanej rozprawy doktorskiej do publicznej obrony.

Ponadto, z uwagi na wysoki poziom merytoryczny pracy podsumowującej osiągnięcia kandydata opublikowane również w latach 2015-2016 w ośmiu pracach w tym:

- a) trzech artykułach opublikowanych w czasopismach z listy JCR:
  - *ACM Computing Surveys* o współczynniku Impact Factor z 2015 r. wynoszącym 5.243 (50 pkt. MNiSW), której kandydat jest pierwszym autorem,
  - *IEEE Communications Letters* o współczynniku Impact Factor z 2016 r. wynoszącym 1.988 (25 pkt. MNiSW), której kandydat jest również pierwszym autorem,
  - *Computer Networks, Elsevier* o współczynniku Impact Factor z 2016 r. wynoszącym 2.516 (30 pkt. MNiSW),
- b) czterech pracach w materiałach uznanych w skali światowej konferencji/workshopów,
- c) jednym patencie

(oraz jednej pracy konferencyjnej będącej w recenzji) w istotnej części również jako rezultaty międzynarodowej współpracy naukowej kandydata, **wnoszę o wyróżnienie rozprawy.**

*Janek Zale*