

Warszawa, 16.02.2016.

Prof. dr hab. Janusz Hołyst
Wydział Fizyki
Politechnika Warszawska
Koszykowa 75, 00-662 Warszawa
e-mail: jholyst@if.pw.edu.pl

Ocena osiągnięcia naukowego

„Struktura i symetrie sieci złożonych”

oraz istotnej aktywności naukowej **dr inż. Małgorzaty J. Krawczyk** w związku z
wnioskiem o nadanie jej stopnia doktora habilitowanego

1. Wstęp

Poniżej oceniam dorobek naukowy oraz rozprawę habilitacyjną przedstawioną w postaci osiągnięcia naukowego „**Struktura i symetrie sieci złożonych**” oraz pozostały dorobek naukowy **dr inż. Małgorzaty J. Krawczyk**, w związku z toczącym się postępowaniem przed Radą Wydziału Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie o nadanie jej stopnia naukowego doktora habilitowanego. Wyrażam opinię, iż dr inż. Małgorzata Krawczyk jest naukowcem posiadającym istotne osiągnięcia w pracy badawczej i **w pełni zasługuje na nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego.**

Rozprawa habilitacyjna dr inż. Małgorzata Krawczyk składa się z cyklu 8 prac, które zostały opublikowane w czasopiśmie o zasięgu światowym, m.in. *Physical Review E*, *Computer Physics Communications* i *Physics Letters A*. Sumaryczny impact factor czasopism, w których były opublikowane te prace wynosi 14.18. We wszystkich tych pracach dr Krawczyk jest jedyną autorką, co bardzo rzadko zdarza się przy dorobku habilitantów. Prace te były cytowane łącznie 34 razy (razem z autocytowaniami).

2. Sylwetka Habilitantki

Dr Małgorzata Krawczyk ukończyła studia na Wydziale Fizyki i Techniki Jądrowej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie w 1999 r. roku uzyskując tytuł magistra inżyniera fizyki technicznej (specjalność fizyka medyczna). Rozprawę doktorską pt. „Dynamika łańcuchów DNA w żelu agarozowym” obroniła w 2003 roku. Rozprawa dotyczyła pomiarów predkości i współczynnika dyfuzji łańcuchów DNA. Badania obejmowały zarówno prace eksperymentalne jak i symulacje numeryczne oraz modelowanie elektroforezy żelowej (wprowadzono m.in koncepcję średniej drogi swobodnej łańcucha polimerowego pomiędzy kolejnymi zahaczeniami na włóknach żelu).

Po uzyskaniu doktoratu prace Habilitantki obejmowały m.in. zagadnienia biofizyczne (np praca dotycząca reakcji łańcuchowej polimerazy (PCR)), symulacje procesów społecznych (m.in dynamika tłumu, dynamika opinii, sieci społeczne), oraz problemy sieci złożonych. Ta ostatnia tematyka zaowocowała serią prac przedstwoną jako recenzowana rozprawa habilitacyjna.

Całkowity dorobek naukowy Habilitantki to 36 prac w czasopismach z bazy JCR (łącznie impact factor 49.61), które były cytowane 96 razy w tym 53 razy przez innych autorów. Habilitantka ocenia swój udział w pracach nie zawierających się w cyklu habilitacyjnym na 10% - 100%. Indeks Hirscha dorobku Habilitantki wynosi $H=6$. W roku 2014 prace habilitantki były cytowane 10, a w 2015 roku 25 razy.

Habilitantka odbyła dwa krótkie (1 tydzień) staże naukowe na Uniwersytetach w Austrii i w Niemczech.

3. Ocena osiągnięcia naukowego

W dorobku przedstawionym jako osiągnięcie naukowe jako podstawa do wniosku o habilitację da się wyróżnić dwa wątki:

A. Znajdowanie społeczności w sieciach poprzez deterministyczną metodę opartą na równaniach różniczkowych (prace (a) i (b) wg oznaczeń w punkcie E.2 autoreferatu),

B. Redukcja sieci dzięki wykorzystaniu jej symetrii, poprzez pogrupowanie węzłów sieci w klasy (prace (c-h) wg oznaczeń w punkcie E.2 autoreferatu).

Wątki te, chociaż merytorycznie rozłączne, znajdują wspólne zastosowanie w niektórych problemach rozważanych przez Autorkę.

Ad. A

Za społeczności w sieci uważa się takie jej części, wewnątrz których gęstość wiązań jest większa niż gęstość wiązań między tymi częściami. Zagadnienie znajdowania społeczności polega w najprostszym przypadku na znalezieniu takiego podziału sieci, który najwierniej odzwierciedla istniejące różnice w gęstości wiązań. Należy się spodziewać, że możliwe jest istnienie wielu podziałów sieci. Dlatego wiele metod znanych z literatury, wykorzystujących generatory liczb pseudolosowych, może prowadzić do przypadkowych podziałów sieci. Metoda znajdowania społeczności opisana w pracach (a - b) jest oryginalną metodą zaproponowaną przez Autorkę. W odróżnieniu od wielu metod literaturowych jest to metoda czysto deterministyczna, oparta na numerycznym rozwiązywaniu układu równań różniczkowych. Metoda została wprowadzona i przetestowana dla sieci w pełni połączonych w pracy (a), oraz przetestowana dla sieci rzadkich w pracy (b). Wyniki wskazują, że metoda to pracuje nawet dla bardzo dużych poziomów szumu zaburzającego strukturę modułarną i daje znacząco lepsze wyniki od metod literaturowych (algorytmy Newmana-Girvan i Duchas-Arenas) zwłaszcza w przypadkach, gdy podział prowadzi do części o wyraźnie różnych rozmiarach. Inspiracją dla tego algorytmu były badania dochodzenia do równowagi Heidera w modelach sieci społecznych. Moim zdaniem podstawowe równanie tej metody opisujące zmiany elementów A_{ij} macierzy połączeń można również powiązać z problemem niehomogenicznego rozkładu współczynnika gronowania w sieci modułarnej. Równanie ma bowiem formę następującą

$$\frac{dA_{ij}}{dt} = G(A_{ij}) \sum_{k \neq i, j} (A_{ik}A_{kj} - \beta)$$

Występujący tutaj iloczyn macierzy połączeń jest macierzą opisującą liczbę dróg o długości 2 między węzłami i oraz j . Brak takich dróg prowadzi do obniżenia współczynnika gronowania węzłów i oraz j . Taka sytuacja pojawia się gdy węzły i oraz j są bezpośrednio połączone ale należą do różnych modułów. Zgodnie z powyższym równaniem siła takiego połączenia będzie wtedy zanikać co rozseparuje podsieci i zwiększy

współczynnik modularności. Z drugiej strony pary węzłów należące do tych samych modułów mają szansę być połączone drogą o długości dwa więc siła takiego połączenia będzie rosła co również zwiększa modularność sieci. Optymalny parametr beta używany w algorytmie habilitantki może więc zależeć od stopni węzłów oraz od współczynnika gronowania. Hipotezę tą częściowo potwierdzają wyniki dotychczasowych prac numerycznych Habilitantki. Zastanawiam się również czy zmiana funkcji Teta na funkcję liniową (funkcja G byłaby wtedy funkcją logistyczną) nie poprawiłoby skuteczności działania algorytmu.

Ad. B.

Metoda redukcji sieci opisana i zastosowana w pracach (c-h)) jest również oryginalną metodą zaproponowaną przez Autorkę. Metoda jest skuteczna w przypadkach gdy węzły sieci wykazują pewną symetrię topologiczną, wynikającą ze stopni węzłów oraz ze stopni ich kolejnych sąsiadów. Węzły są tu dzielone na klasy zgodnie z warunkiem, że węzły należą do tej samej klasy, jeżeli ich sąsiedzi również należą do tych samych klas. Tak więc na przykład jeżeli sąsiedztwa dwóch węzłów zawierają po jednym węźle należącym do klas A i B i żadnych innych, to te węzły należą do tej samej klasy C. Autorka zastosowała metodę redukcji sieci do kilku układów, w których sieć wyjściowa jest siecią stanów dyskretnych (mogą być to również stany kolektywne). Przykładami takich układów są pierścień atomów w jednopasmowym modelu Hubbarda, molekula w modelu reptonowym w obecności pola elektrycznego, skrzyżowanie dróg z pewną ilością pojazdów na drogach dojazdowych i wyjazdowych oraz fragmenty sieci spinów o wybranych strukturach topologicznych z oddziaływaniem Isinga lub Potts'a. W przypadkach dotyczących sieci spinów rozpatrywane były stany podstawowe. Definicja połączenia między stanami zakładała istnienie elementarnego procesu przeprowadzającego jeden stan w drugi (np. zmiana jednego spinu w jednym węźle układu)

Autorka zademonstrowała, że metoda redukcji sieci pozwala na znaczące uproszczenie badania rozkładów równowagowych w przestrzeni stanów układu. Zachodzi mianowicie związek między rozkładem prawdopodobieństwa na sieci stanów wyjściowych i na sieci klas stanów: stany należące do tej samej klasy są równoprawdopodobne. Ten związek pozwala na odtworzenie rozkładu prawdopodobieństwa stanów z rozkładu prawdopodobieństwa klas, którego otrzymanie jest obliczeniowo łatwiejsze. Dodajmy, że stopień redukcji sieci, czyli ilość stanów podzielona przez ilość klas, może sięgać wartości kilku tysięcy – przykładem jest sieć stanów komórki struktury Lavesa w modelu Potts'a.

W ramach wymienionych dwóch wątków Autorka otrzymała szereg interesujących wyników szczegółowych. Można tu wymienić uogólnienie w pracy (e) metody *exact enumeration* na przypadek sieci ważonej, co pozwoliło na zastosowanie redukcji sieci do procesów nierównowagowych; w tym przypadku otrzymuje się przybliżone zależności prawdopodobieństw poszczególnych stanów od czasu. Innym osiągnięciem jest rozszerzenie metody znajdowania społeczności sieci na przypadek, gdy część węzłów należy jednocześnie do dwóch społeczności (są to tzw. *overlapping nodes*). Rozszerzenie polega na dodanie do rozpatrywanej macierzy połączeń niewielkiego zaburzenia stochastycznego. Status węzłów typu *overlapping* jest wtedy określany przez statystykę jego przynależności do różnych społeczności. W pracy (h) zastosowano to rozszerzenie do sieci fraktalnych, w których wysoka symetria sprawia, że redukcja rozmiaru sieci jest szczególnie efektywna.

4. Ocena pozostałych osiągnięć naukowo-dydaktycznych

Dr Małgorzata Krawczyk jest ponadto autorem lub współautorem 28 prac opublikowanych w czasopiśmie z bazy Journal Citation Reports, które nie zostały włączone do ocenianego osiągnięcia naukowego oraz 2 prac spoza bazy JCR. Prace te dotyczą wielu modeli fizyki statystycznej i narzędzi fizyki układów złożonych i obejmują również dane rzeczywiste, np.

- symulacje tworzenia się sieci DNA,
- badanie i symulacje ruchu ulicznego (dane z Hiszpanii z projektu SOCIONICAL)
- symulacje dynamiki tłumy,
- badanie równowagi Heidera w sieciach rzeczywistych
- badania efektu Simmela na przykładzie statystyki nadawania imion w poszczególnych stanach USA.

Wyniki swoich prace Habilitantka przedstawiła w trakcie 8 referatów na międzynarodowych konferencjach, o ile się orientuję przynajmniej dwie prezentacje były t.zw referatami zaproszonymi Jest również autorką lub współautorka kilkudziesięciu plakatów.

Habilitantka jest recenzentem w renomowanych czasopiśmie takich jak *Physica A*, *Physics Letters A*, *European Journal of Physics B* oraz *Modern Physics Letters B*.

Dr Krawczyk prowadzi rozległą działalność dydaktyczną. Była oficjalnym promotorem 6. prac magisterskich zrealizowanych na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Prowadziła wykłady, ćwiczenia i laboratoria z fizyki oraz informatyki.

Działalność organizatorska dr Krawczyk obejmuje m.in. prace w Komitetach organizacyjnych 3 międzynarodowych konferencji naukowych. Brała również udział w jednym projekcie krajowym finansowanym przez MNiSW oraz w jednym projekcie EU z 7. Programu Ramowego.

5. Główne zalety oraz słabsze strony rozprawy i dorobku naukowego Habilitantki

Uważam, że **główną zaletą** rozprawy i dorobku naukowego Habilitantki jest opracowanie dwóch oryginalnych metod analizy sieci złożonych:

- znajdowanie społeczności w sieciach poprzez deterministyczną metodę opartą na równaniach różniczkowych
- redukcja sieci dzięki wykorzystaniu jej symetrii, poprzez pogrupowanie węzłów sieci w klasy

Obie metody mają uniwersalny charakter, a ich użyteczność zastała zademonstrowana przez Habilitantkę na szeregu przykładów. Jestem przekonany, że metody te stanowią ważne narzędzia dla badania sieci złożonych i znajdą w przyszłości szerokie zastosowanie.

Na szczególne podkreślenie zasługuje fakt, że Habilitantka jest jedynym autorem we wszystkich pracach tworzących osiągnięcie naukowe i stanowiących podstawę do przyznania jej stopnia dra habilitowanego.

Za **słabsze strony** rozprawy i dorobku naukowego Habilitantki uważam stosunkowo małą liczbę cytowań na jej prace oraz brak odbycia dłuższych staży międzynarodowych. Muszę jednak dodać, że Ustawa o stopniach naukowych i tytułach oraz o stopniach i tytułach w zakresie sztuki nie nakłada obowiązku spełnienia w/w wymagań przez habilitantów.

6. Podsumowanie

Prace wchodzące w skład osiągnięcia naukowego stanowią spójną, monotematyczną całość. Prezentowane wyniki naukowe bardzo dobrze wkomponują się w najnowsze trendy współczesnej nauki i są istotnie nowatorskie a Habilitantka jest jedyną autorką publikacji

prezentujących te wyniki. Prace opublikowane są w periodykach naukowych o światowym zasięgu. Także pozostały dorobek Habilitantki jest bardzo wartościowy i obejmuje szerokie spektrum tematyki. Dorobek dydaktyczny dr Małgorzaty Krawczyk zasługuje również uznanie i wskazuje, że może ona być bardzo wartościowym nauczycielem akademickim i atrakcyjnym partnerem do współpracy naukowej dla młodszego pokolenia.

Uważam, że dr Małgorzata Krawczyk w pełni spełnia wszelkie wymagania ustawowe i zwyczajowe konieczne do uzyskania stopnia doktora habilitowanego i z pełnym przekonaniem **popieram wniosek** o nadanie jej tego stopnia.



Prof. dr hab. Janusz Hołyst

