

Warszawa, dn. 26 maja 2014r

dr hab. inż. Andrzej Krawiecki
Wydział Fizyki Politechniki Warszawskiej
Koszykowa 75
00-662 Warszawa

**Recenzja rozprawy habilitacyjnej dr inż. Agaty Fronczak
pt. "Koncepcje zespołów statystycznych i przestrzeni stanów w badaniach układów
złożonych"**

Przedłożona do oceny rozprawa habilitacyjna dr inż. Agaty Fronczak dotyczy fizyki układów złożonych, która od ponad dwudziestu lat stanowi ważny i szybko rozwijający się dział fizyki statystycznej. Pojęcie układu złożonego w fizyce wciąż nie jest ściśle zdefiniowane, jednak dominuje jego intuicyjne pojmowanie jako układu, którego własności nie można w prosty sposób wydedukować z własności części składowych. W swej rozprawie habilitacyjnej dr inż. A. Fronczak rozumie układy złożone w taki właśnie sposób, zaliczając do nich zarówno sieci złożone, stanowiące przybliżone modele układów rzeczywistych o skomplikowanej topologii oddziaływań, jak i powszechnie znane modele fizyki statystycznej, tj. model Isinga i gaz sieciowy, w których przejawem złożoności jest występowanie zjawisk kolektywnych w postaci przemian fazowych.

Rozprawa habilitacyjna dr inż. Agaty Fronczak składa się z 9 prac w języku angielskim, opublikowanych w czasopismach z listy JCR, do których dołączony jest przewodnik w języku polskim, zawierający autoreferat dotyczący ww. prac oraz podsumowanie całości dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego Habilitantki. Artykuły naukowe, wchodzące w skład rozprawy, opublikowano w czasopismach o wysokiej randze (7 prac w *Physical Review E*, 1 w *European Physical Journal B* i 1 w *Reports on Mathematical Physics*) w latach 2006-2013, a więc po uzyskaniu przez dr inż. A. Fronczak stopnia naukowego doktora, co nastąpiło w 2004r. Dr inż. A. Fronczak jest jedyną autorką dwóch spośród ww. artykułów. Pozostałe prace są wieloautorskie: w pięciu z nich dr inż. A. Fronczak jest pierwszym, a w dwóch pozostałych – drugim autorem; w pierwszej grupie tych prac wkład Habilitantki był decydujący, w drugiej – bardzo istotny.

Publikacje, wchodzące w skład rozprawy, można podzielić na trzy grupy, różniące się tematyką i metodami badawczymi. Prace [1,2,3,5,8] (numeracja zgodna z numeracją w ww. przewodniku) dotyczą sieci złożonych, w szczególności równowagowych modeli sieci przypadkowych z ukrytymi zmiennymi, wykładniczych grafów przypadkowych oraz ich zastosowań do badania rzeczywistej sieci handlu światowego. Prace [6,7,9] dotyczą kombinatorycznego podejścia do badania funkcji gęstości stanów, opartego o wykorzystanie znanej z kombinatoryki obliczeniowej tzw. formuły wykładniczej. Praca [4] dotyczy mikroskopowego wyjaśnienia, na gruncie równowagowej fizyki statystycznej, pochodzenia praw potęgowych skalowania fluktuacji w układach złożonych, tzw. praw Taylora; wyjaśnienie to również oparte jest o formułę wykładniczą i podkreśla rolę gęstości stanów. Tym niemniej istnieje wspólny mianownik całego dorobku, który stanowi wykorzystanie metod równowagowej fizyki statystycznej, w szczególności koncepcji przestrzeni stanów, gęstości stanów oraz twierdzenia fluktuacyjno-dyssypacyjnego, do badania układów o różnym stopniu złożoności, od sieci złożonych po model gazu sieciowego. Każda z ww. części dorobku Habilitantki stanowi istotny wkład w odpowiednią dziedzinę fizyki, o czym świadczy ranga prac, wchodzących w skład rozprawy habilitacyjnej (sumaryczny współczynnik Impact Factor wynosi dla nich 18.592, a liczba cytowań 47/ 36 bez autocytowań).

Warto podkreślić, że część rozprawy, dotycząca fizyki sieci złożonych, stanowi świadectwo znacznego rozwoju naukowego Habilitantki w okresie po uzyskaniu stopnia doktora. Dr inż.

A. Fronczak zainteresowała się tematyką sieci złożonych w okresie, gdy dopiero zaczynała ona odgrywać istotną rolę w fizyce statystycznej, i jest współautorką pierwszej i wielokrotnie cytowanej pracy o układach oddziałujących o strukturze sieci bezskalowych, dotyczącej symulacji numerycznych przejścia ferromagnetycznego w modelu Isinga na sieci Barabasi'ego-Albert [A. Aleksiejuk, J.A. Hołyst, D. Stauffer, *Physica A* **310**, 260 (2002)]; próby wyjaśnienia uzyskanych w tej publikacji wyników w przybliżeniu pola średniego stały się inspiracją dla szeregu prac teoretycznych. Prace [1-3,5,8], stanowiące część recenzowanej rozprawy, są przykładem zupełnie innego podejścia do problematyki sieci złożonych, korzystającego z aparatu równowagowej fizyki statystycznej, w którym poszczególne realizacje sieci traktuje się jako elementy zespołu statystycznego sieci o własnościach, określonych hamiltonianem strukturalnym. Natomiast prace [4,6,7,9], inspirowane w pewnym stopniu – jak sama Habilitantka stwierdza w publikacji [6] - pracami J. Mayera z lat trzydziestych ubiegłego stulecia, dotyczącymi przejść od fazy gazowej do ciekłej, oraz ideami kombinatoryki obliczeniowej, stanowią oryginalne osiągnięcie Habilitantki, wynikające z jej zainteresowania podstawami fizyki statystycznej i teorią przejść fazowych.

Obecnie przejdę do omówienia najważniejszych wyników prac, składających się na przedstawioną rozprawę habilitacyjną.

Publikacje [1,2,3,5,8] tworzą grupę prac, dotyczących teorii i zastosowań sieci złożonych.

W pracy [1] przedmiotem rozważań są sieci złożone ze zmiennymi ukrytymi, które determinują własności strukturalne połączeń (rozkład stopni wierzchołków, korelacje międzywęzłowe). Najważniejszym osiągnięciem pracy jest rozwiązanie problemu odtworzenia rozkładu zmiennych ukrytych, przypisanych do każdego węzła, na podstawie znajomości rozkładu stopni wierzchołków lub rozkładu prawdopodobieństw połączeń pomiędzy węzłami o określonych stopniach, który określa istniejące w sieci korelacje dwupunktowe między stopniami wierzchołków. Otrzymane wzory mają postać odwrotnych transformat Poissona, które sprowadzają się do jedno- i dwuwymiarowych odwrotnych transformat Fouriera z funkcji tworzącej dla rozkładu stopni wierzchołków lub rozkładu połączeń pomiędzy węzłami. Dla sieci nieskorelowanych podano wyrażenia analityczne i wyniki symulacji numerycznych rozkładu zmiennych ukrytych dla kilku zadanych rozkładów stopni wierzchołków. Analogiczne rozwiązanie dla sieci z określonymi korelacjami międzywęzłowymi (asortatywnych lub dysasortatywnych) pozwoliło stwierdzić, że sieci nieskorelowane na poziomie stopni wierzchołków nie wykazują również korelacji na poziomie zmiennych ukrytych. Wyniki pracy umożliwiły opracowanie algorytmów numerycznych do generowania sieci o określonych rozkładach stopni wierzchołków i korelacjach międzywęzłowych jako grafów przypadkowych, w których prawdopodobieństwo połączenia wierzchołków określają przypisane im zmienne ukryte.

W pracy [2] przedmiotem rozważań stały się wykładnicze grafy przypadkowe o zadanym hamiltonianie strukturalnym, w tym grafy przypadkowe Erdosa-Rényi, sieci o określonej sekwencji stopni wierzchołków lub korelacji dwupunktowych. Podstawowym osiągnięciem pracy jest sformułowanie relacji fluktuacyjno-dyssypacyjnych dla obserwabli, charakteryzujących wymienione sieci, np. stopni wierzchołków. W oparciu o podstawowe zasady fizyki statystycznej istnienie relacji fluktuacyjno-dyssypacyjnych w zespołach statystycznych sieci złożonych można uznać za spodziewane, tym niemniej pozwalają one na wyciągnięcie wielu interesujących wniosków. Na przykład w przypadku sieci bezskalowych o potęgowym rozkładzie stopni wierzchołków twierdzenie fluktuacyjno-dyssypacyjne pokazuje, że ogólna podatność stopni węzłów na zaburzenia pola zewnętrznego (determinującego ich rozkład) jest mała, jednak sieć jest wrażliwa na zachowanie znacznej liczby wysoko usieciowionych węzłów, co może mieć znaczenie np. dla odporności sieci rzeczywistych na przypadkowe ataki. W pracy została również wykazana równoważność zespołów sieci z ukrytymi zmiennymi, rozważanych w pracy [1], i zespołów sieci o określonych hamiltonianach strukturalnych (w

istocie pewna forma hamiltonianu strukturalnego dla sieci o określonym rozkładzie połączeń pojawia się jawnie dopiero w pracy [8]).

W pracy [3], posługując się formalizmem wykładniczych grafów przypadkowych, zbadano przejścia fazowe w sieci złożonej, stanowiącej model współpracy w ramach projektów naukowych. Hamiltonian strukturalny sieci uwzględnia zarówno produktywność węzłów, którą przyjęto jako wykładniczą funkcję stopni, jak i ich klasteryzację, której wzrost odpowiada wzrostowi współpracy między uczestnikami projektów naukowych (co jest często jednym z założonych celów projektu). Przy założonym silnym nacisku na klasteryzację zbadano strukturalne przejścia fazowe (wyraźne zmiany konfiguracji połączeń) w funkcji pola sprzężonego z produktywnością. Wyniki tej pracy, choć niewątpliwie interesujące, trudno uznać za konkluzywne: zaobserwowano różne, nieraz bardzo skomplikowane zmiany preferowanych konfiguracji w badanym zespole sieci oraz różne rodzaje histerezy, nie poddające się jakiegóż bardziej ogólnej klasyfikacji. Co więcej, w pracy znalazło się stwierdzenie, że wiele spośród zaobserwowanych przejść fazowych jest efektem skończonych rozmiarów sieci i znika w granicy termodynamicznej.

Celem pracy [5] jest zastosowanie osiągnięć teorii wykładniczych grafów przypadkowych do zbadania sieci handlu światowego, w której państwa odpowiadają węzłom, a wagi połączeń są proporcjonalne do wielkości wymiany handlowej. W omawianej pracy wykazano, że w każdym roku sieć handlu światowego można traktować jako typowego reprezentanta zespołu sieci, opisywanego hamiltonianem strukturalnym, którego parametry zależą jedynie od iloczynu PKB handlujących państw; w ten sposób częściowo odtworzono znane w ekonomii tzw. grawitacyjne prawo handlu światowego. Ponadto, jako prostą konsekwencję twierdzenia fluktuacyjno-dyssypacyjnego (jak wspomniano, dla zespołów sieci złożonych sformułowanego w pracy [2]), wyprowadzono równanie, pozwalające oszacować zmiany wymiany handlowej na podstawie zmian PKB handlujących państw w poszczególnych latach. Należy podkreślić, że w omawianej pracy wykorzystano model wykładniczych grafów przypadkowych do uzyskania wyników ilościowych dla sieci rzeczywistej, wykazujących dobrą zgodność z danymi empirycznymi.

W pracy [8] zastosowano po raz pierwszy teorię wykładniczych grafów przypadkowych do modelowania sieci o strukturze modularnej (blokowej). W szczególności, poprzez odpowiednią modyfikację hamiltonianu strukturalnego, wprowadzono model blokowy z korektą na stopnie wierzchołków, który umożliwia uzyskanie - jako typowych reprezentantów zespołu grafów przypadkowych - sieci, różniących się rozkładem stopni wierzchołków oraz rozmiarem modułów. W modelu tym wyznaczono m.in. średnie wartości tzw. wewnętrznych i zewnętrznych stopni wierzchołków, tj. średnie liczby najbliższych sąsiadów węzła, należących do tego samego i do innych modułów, odpowiednio. Pokazano, że pomiędzy tymi średnimi zachodzi zależność liniowa, przypominająca relacje skalowania, zaobserwowane w samopodobnych rzeczywistych sieciach złożonych; zależność ta nie wynika z jakiegokolwiek procedury konstrukcji sieci modularnej. Warto jednak zauważyć, że relacja wyłącznie dla średnich ww. wielkości nie wystarcza do wytworzenia samopodobnej struktury sieci. Ponadto sieci fraktalne powinny posiadać co najmniej kilka szczebli hierarchii, podczas gdy rozpatrywane w pracy [8] „sieci sieci” mają tylko dwa szczeble hierarchii.

Praca [4] stanowi osobną całość, jednak jej włączenie w skład rozprawy jest uzasadnione dążeniem do powiązania różnych wątków, obecnych w dorobku Habilitantki. W pracy tej przedmiotem zainteresowania są prawa Taylora skalowania fluktuacji w układach złożonych, czyli potęgowe relacje pomiędzy wariancją i średnią wartością empirycznie obserwowanych rozkładów. W przedłożonej pracy wykazano, że tego typu relacje występują nie tylko, co było wcześniej wiadome, w układach równowagowych, w których rozkłady są stacjonarne i najczęściej dotyczą rozkładów przestrzennych w szerokim zakresie skali (np. rozkład liczby owadów na poletkach o określonym obszarze), lecz również w układach nierównowagowych, w których bada się przebiegi czasowe pewnych wielkości (np. obroty na giełdzie, natężenie

ruchu samochodowego). Na szczególne uznanie zasługuje zakres i staranność przeprowadzonych badań empirycznych, dotyczących różnorodnych zjawisk, których metodykę omówiono w Dodatku A i B.4. Ważnym wnioskiem z badań empirycznych jest stwierdzenie, że uzyskane parametry zależności potęgowych w prawach Taylora w układach nierównowagowych mogą być wynikiem nałożenia i uśrednienia wielu zależności potęgowych o rozmaitych parametrach, co pokazano na przykładzie różnych tras przelotów ptaków oraz natężenia ruchu samochodowego o różnych porach.

Najważniejszym wynikiem teoretycznym pracy [4] jest wykazanie, że przy ustalonej średniej wartości rozkładu prawa Taylora są konsekwencją odpowiednio dobranej funkcji gęstości stanów. Podstawową rolę gęstości stanów potwierdza również pogłębiona analiza rozkładów empirycznych analizowanych wielkości. Pozwala to na uzasadnienie praw Taylora na gruncie tradycyjnej fizyki statystycznej stanów równowagowych w ujęciu Gibbsa. Jest to bardzo ważny wynik, szczególnie w odniesieniu do układów nierównowagowych, do których opisu używa się często np. uogólnionej (nieekstensywnej) mechaniki statystycznej w ujęciu Tsallis-a; Habilitantka zdaje sobie z tego sprawę (por. przewodnik, str. 7), chociaż nie wspomina o tym w bezpośrednio w pracy [4]. Gęstość stanów wyraża się poprzez kompletne wielomiany Bella, podające liczbę podziałów zbioru o zadanej liczbie elementów, z parametrami, stanowiącymi współczynniki rozwinięcia energii swobodnej w szereg Taylora; z kolei wyrażenie na energię swobodną układu można otrzymać z obowiązującego w nim prawa Taylora, posługując się twierdzeniem fluktuacyjno-dyssypacyjnym. W ten sposób praca [4] stanowi zwornik pomiędzy pracami [2,5], w których relacje fluktuacyjno-dyssypacyjne stosowano w zespołach grafów przypadkowych, i pracami [6,7,9], w których rozkład potencjałów termodynamicznych na formalne szeregi wielomianów Bella stanowi punkt wyjścia do badania klasycznych modeli fizyki statystycznej.

Publikacje [6,7,9] tworzą grupę prac, poświęconych kombinatorycznemu podejściu do badania funkcji gęstości stanów.

W pracy [6] przedmiotem badań był model idealnego gazu klasterów. Przyjęto, że układ wielu cząstek rozpada się na rozłączne, niezależne klaster, słabo oddziałujące jedynie przez wymianę cząstek. W takim układzie, korzystając z tzw. formuły wykładniczej kombinatoryki obliczeniowej, udało się Autorce rozłożyć wielką sumę statystyczną na szereg niekompletnych wielomianów Bella, wyznaczających liczbę możliwych podziałów zbioru o zadanej liczbie elementów na określoną liczbę niepustych podzbiorów. Na tej podstawie został wyprowadzony wzór całkowity, podający przy zadanej gęstości stanów prawdopodobieństwo, że w zadanej temperaturze układ wielu cząstek składa się z pewnej liczby słabo oddziałujących klasterów, niezależnie od energii. Habilitantka wykazała również, że wielki potencjał termodynamiczny jest wykładniczą funkcją tworzącą dla prawdopodobieństw (liczby stanów wewnętrznych) klasterów złożonych z określonej liczby cząstek. W konsekwencji można w naturalny sposób interpretować wspomniane wyżej prawdopodobieństwo, że układ składa się z zadanej liczby klasterów, jako liczbę sposobów podziału wszystkich cząstek pomiędzy zadaną liczbę niepustych podzbiorów (klasterów), przy czym prawdopodobieństwo wystąpienia klastera złożonego z pewnej liczby cząstek jest proporcjonalne do odpowiedniej pochodnej cząstkowej wielkiego potencjału termodynamicznego. Taka mikroskopowa interpretacja wielkiego potencjału termodynamicznego stanowi nowy, oryginalny wkład Habilitantki do fizyki statystycznej; podejście, prowadzące do tej interpretacji, określane jest w dalszych pracach mianem „podejścia kombinatorycznego”.

W pracy [7] zastosowano wyniki pracy [6] do badania jednowymiarowego gazu sieciowego, równoważnego dobrze znanemu jednowymiarowemu modelowi Isinga. Taki układ można traktować jako idealny gaz klasterów jedynie w granicy małych gęstości. Jednak uzyskane w pracach [6,7] rozwinięcie funkcji tworzącej na szereg niekompletnych wielomianów Bella, umożliwiające jej interpretację w języku podziału cząstek pomiędzy klaster, jest prawdziwe również w wypadku, gdy nie są spełnione warunki, pozwalające na opis układu jako gazu

słabo oddziałujących klastrów. Dzięki temu możliwe było stwierdzenie, że w jednowymiarowym gazie sieciowym liczba klastrów rośnie, a ich średni rozmiar maleje ze wzrostem temperatury, co potwierdza prawidłowość kombinatorycznej interpretacji ogólnych wyników pracy [6]. Ponadto Autorce udało się wykazać, że w zerowej temperaturze wielki potencjał termodynamiczny, odtworzony na podstawie rozkładu sumy statystycznej na szereg niekompletnych wielomianów Bella, zachowuje się nieanalitycznie, co potwierdza znany wynik, że w jednowymiarowym gazie sieciowym i modelu Isinga temperatura krytyczna przejścia fazowego jest zerowa.

W pracy [6] Habilitantka podkreśla, że przedstawia wyniki ścisłego podejścia do układów oddziałujących cząstek w zespole wielkim kanonicznym, co pozwala np. uniknąć problemów z przejściem do granicy termodynamicznej (nieskończonej objętości, przy założeniu małej gęstości) układu. W pracy [7] wskazuje, że podejście kombinatoryczne może umożliwić obejście problemów ze zbieżnością w okolicy punktu krytycznego (np., w omawianej pracy, problemu ze zbieżnością szeregu, którego sumą jest wielki potencjał termodynamiczny), często spotykanych w teorii przejść fazowych. W związku z tym w zakończeniu publikacji [6] Habilitantka sugeruje, że rozwijany przez nią formalizm może stać się dobrym punktem wyjścia dla przyszłych teorii przejść fazowych wyższych rzędów. Jest to cel ambitny, aczkolwiek wniosek ten wydaje się nieco przedwczesny, zważywszy, że dotychczas udało się w tym formalizmie jedynie odtworzyć znane wyniki dla jednowymiarowego gazu sieciowego.

W pracy [6] po raz pierwszy przedstawiono sposób wyznaczenia gęstości stanów na podstawie znajomości wielkiej sumy statystycznej i wielkiego potencjału termodynamicznego: przy założeniu, że prawdopodobieństwo, iż układ rozpada się na określoną liczbę słabo oddziałujących klastrów o jednakowej energii, dane jest rozkładem Poissona, i korzystając z własności transformaty Poissona, wykazano, że gęstość stanów wyraża się przez niekompletne wielomiany Bella, występujące w rozwinięciu wielkiej sumy statystycznej. W pracy [9] wykazano, że w dowolnych modelach sieciowych liczba stanów o określonej energii wyraża się przez kompletne wielomiany Bella, występujące w rozwinięciu znanej (zwykłej) sumy statystycznej. Uzyskany wynik zastosowano do odtworzenia gęstości stanów w układach, których rozkład energii jest dany np. rozkładem Poissona, oraz w jednowymiarowym modelu Isinga. W duchu podejścia kombinatorycznego pokazano również, że współczynniki wielomianów Bella, występujących we wzorze na gęstość stanów, mogą posiadać interpretację mikroskopową, tj. określają prawdopodobieństwa termodynamiczne klastrów o określonej energii (w modelach sieciowych są to klustery o określonej liczbie cząstek). W pracy [9] zabrakło moim zdaniem szerszej dyskusji, jaki jest związek uzyskanych w niej wyników z wcześniejszymi rezultatami z pracy [6], która to publikacja jest tylko zacytowana.

Prace, przedstawione jako rozprawa habilitacyjna, stanowią jedynie część dorobku naukowego dr inż. A. Fronczak, który należy uznać za obszerny i bardzo znaczący. Dr inż. A. Fronczak jest autorką bądź współautorką 28 artykułów, opublikowanych w czasopismach z listy JCR, w tym 19 po uzyskaniu stopnia doktora. Tematyka tych prac dotyczy głównie sieci złożonych; ukazały się one w czasopismach o wysokiej randze (*Physical Review E, Journal of Physics A, European Physical Journal B, Physica A, International Journal of Modern Physics C*), ich sumaryczny Impact Factor wynosi 52,580, liczba cytowań bez uwzględnienia autocytoowań - 440 według bazy Web of Science, a indeks Hirscha 12. Znaczącym i stosunkowo rzadkim przed uzyskaniem stopnia doktora habilitowanego osiągnięciem jest opublikowanie przez dr inż. A. Fronczak wraz z mężem, dr inż. Piotrem Fronczakiem, monografii „Świat sieci złożonych: od fizyki do internetu” (PWN, Warszawa, 2009), stanowiącej pierwsze w języku polskim, obszerne kompendium wiedzy na temat tej dynamicznie rozwijającej się dziedziny fizyki. Ponadto wyniki, uzyskane przez dr inż. A. Fronczak, były przez nią lub osoby z nią współpracujące przedstawiane na wielu konferencjach naukowych, w tym w formie referatów na najbardziej znaczących periodycznych konferencjach środowiskowych, poświę-

conych fizyce statystycznej i fizyce układów złożonych, jak European Conference on Complex Systems ECCS, International School and Conference on Network Science NetSci, International Conference on Statistical Physics SigmaPhi i in. Wyrazem uznania dla osiągnięć naukowych dr inż. A. Fronczak jest przyznanie jej dwukrotnie stypendium Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej dla wyróżniających się młodych naukowców i stypendium Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego dla wybitnych młodych naukowców oraz zaproszenie jej do udziału w pracach komitetów naukowych periodycznej konferencji Summer Solstice International Conference on Discrete Models of Complex Systems (Turku, Finlandia, 2011; Warszawa, 2013).

Chociaż przy ubieganiu się o stopień doktora habilitowanego ocenie podlegają osiągnięcia naukowe, warto wspomnieć również o osiągnięciach naukowych i organizacyjnych Habilitantki. Działalność dydaktyczna dr inż. A. Fronczak obejmuje m.in. prowadzenie zaawansowanych, autorskich wykładów monograficznych z fizyki sieci złożonych i sieci ewoluujących na studiach II stopnia na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej oraz wykładów kursowych z fizyki ogólnej dla studentów innych wydziałów. Ponadto dr inż. A. Fronczak pełni rolę promotora bądź opiekuna pomocniczego w trzech przewodach doktorskich na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej, jest promotorem prac magisterskich i inżynierskich.

W zakresie działalności organizacyjnej dr inż. A. Fronczak odnosiła sukcesy w pozyskiwaniu środków na badania naukowe: jest kierownikiem projektu współfinansowanego przez Fundację na Rzecz Nauki Polskiej i Program Operacyjny Innowacyjna Gospodarka w ramach programu POMOST, była bądź jest głównym wykonawcą w grantach Komitetu Badań Naukowych i wykonawcą w projektach europejskich w ramach 6. Programu Ramowego UE, akcji COST i współfinansowanych przez Europejską Fundację Nauki oraz w projektach krajowych z ramienia Narodowego Centrum Nauki. Ponadto dr inż. A. Fronczak pełniła pewne funkcje organizacyjne na macierzystym Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej.

Podsumowując, stwierdzam, że przedłożona rozprawa habilitacyjna oraz dorobek naukowy dr inż. Agaty Fronczak spełniają kryteria, określone w art. 16 i 17 ustawy z dn. 14 marca 2003r O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. Habilitantka już od wielu lat prowadzi działalność badawczą, charakteryzującą samodzielnego pracownika naukowego, w tym w sposób samodzielny i oryginalny formułuje tematykę i cele badawcze, sprawuje faktyczną opiekę nad doktorantami i aktywnie pozyskuje środki na badania naukowe. W związku z powyższym popieram wniosek o nadanie dr inż. Agacie Fronczak stopnia doktora habilitowanego oraz wnoszę o dopuszczenie jej do dalszych etapów postępowania w przewodzie habilitacyjnym.



A. Krawiecki