

Dr hab. inż. Grzegorz Dudek, prof. PCz
Katedra Automatyki, Elektrotechniki i Optoelektroniki
Wydział Elektryczny
Politechnika Częstochowska
Al. Armii Krajowej 17
42-200 Częstochowa

Częstochowa, dn. 9 września 2021 r.

PW WEiTI Kancelaria
wpłynęło dnia 15.09.21 r.
numer

RECENZJA

dorobku habilitacyjnego dr inż. Mariusza Kalety

Tytuł osiągnięcia naukowego: *Modele i metody wspomagające projektowanie mechanizmów rynkowych w oparciu o architekturę referencyjną*

Dyscyplina: *Informatyka Techniczna i Telekomunikacja*

Formalną podstawą opracowania recenzji jest pismo Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Wydziału Elektroniki i Technik Informatycznych Politechniki Warszawskiej dr hab. inż. Jarosława Arabasa, prof. uczelni z dn. 19 lipca 2021 r., znak ITT/34/2021. Recenzja została opracowana na podstawie przesłanej dokumentacji przygotowanej przez Habilitanta. Oceny dorobku habilitacyjnego dokonano według kryteriów określonych w ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce*.

1. Ocena osiągnięcia naukowego

Jako osiągnięcia naukowe w rozumieniu ustawy jw. Habilitant przedkłada cykl artykułów naukowych zatytułowany *Modele i metody wspomagające projektowanie mechanizmów rynkowych w oparciu o architekturę referencyjną*. Cykl obejmuje czternaści publikacji naukowych, w tym dwanaście opublikowanych w czasopismach (sześć spośród nich ma *impact factor*), jedna w materiałach z konferencji międzynarodowej notowanej w bazie *Web of Science* i jedna w postaci rozdziału w monografii wydanej w wydawnictwie Springer. Wszystkie publikacje znajdują się w wydawnictwach punktowanych przez MNiSW według ogłaszanych wykazów czasopism i konferencji punktowanych. Osiem z publikacji zamieszczonych jest w czasopismach tematycznie związanych z dyscypliną Informatyka Techniczna i Telekomunikacja według obowiązującego aktualnie wykazu MNiSW. Publikacje pochodzą z lat 2007-2020. Trzy spośród nich napisano w języku polskim, pozostałe w języku angielskim. Połowa publikacji to samodzielne prace Habilitanta a pozostałe to prace wieloautorskie z dwoma (cztery prace), trzema, pięcioma lub sześcioma autorami. Procentowy udział Habilitanta w przygotowaniu publikacji wieloautorskich zmienia się w przedziale od 20% do 60%.

Tematyka prac badawczych Habilitanta związana jest z projektowaniem mechanizmów rynkowych i ma charakter interdyscyplinarny. Łączy informatykę, badania operacyjne oraz ekonomię. W szczególności obejmuje projektowanie systemów informacyjnych rynkowej dystrybucji dóbr i usług przy ograniczeniach zasobowych. System rynkowej dystrybucji dóbr i usług zdefiniowany jest jako rozproszone środowisko wielu agentów wchodzących w interakcje, mające na celu wymianę towarów i usług z wykorzystaniem pewnej infrastruktury. Centralną rolę w tym środowisku pełni mechanizm rynkowy definiujący reguły gry rynkowej pomiędzy agentami. Wyróżniony agent pełni funkcje operatora systemu, który nadzoruje funkcjonowanie mechanizmu. Mechanizm rynkowy dokonuje

alokacji towarów i usług oraz wyznacza cenę rynkową na podstawie przesłanych przez agentów sygnałów opisujących bieżący stan rynku. Projektowanie mechanizmów rynkowych polega na opracowaniu reguł w postaci funkcji odwzorowującej zbiór stanów rynkowych na zbiór możliwych wyników mechanizmu. Zadaniem projektanta mechanizmu rynkowego jest zaprojektowanie takiej funkcji, która dla każdego stanu rynkowego wyznacza pożądany wynik gry rynkowej (punkt równowagi). Zadanie utrudniają działania agentów, mających własne preferencje i dążących do realizacji własnych celów, często sprzecznych z rozwiązaniem pożądanym z globalnego punktu widzenia. Projekt systemu rynkowego obejmuje również środowisko, w którym działa mechanizm rynkowy, w tym strukturę podmiotów, ofert i procesów, które muszą być uwzględnione w systemach informatycznych.

W pracy [O.12] Habilitant wprowadza nową podklasę systemów informatycznych, MBIS – *Market-based Information Systems*, wspierającą funkcjonowanie systemów rynkowych, na których grupa autonomicznych podmiotów dąży do realizacji indywidualnych celów. MBIS jest systemem zarządzania danymi, zasobami i procesami, który wspiera pracę operacyjną systemu rynkowego. Jawi się jako kolejny etap rozwoju informatycznych systemów zarządzania zorientowany na współpracę i synchronizację sieci podmiotów w środowisku rynkowym. Projektowanie systemów MBIS wymaga odmiennego podejścia niż podejście tradycyjnie stosowane w projektowaniu zintegrowanych systemów zarządzania. Metodykę MBIS wyróżnia m.in. rozproszona architektura, duży stopień niepewności w odniesieniu do decyzji projektowych, ściśle powiązanie z sektorem gospodarki, dla którego jest projektowana, duża złożoność i brak spójnej metodyki projektowania. Habilitant, wzorując się na architekturach referencyjnych przedsiębiorstw w systemach klasy ERP (*Enterprise Resource Planning*), proponuje architekturę referencyjną ARMS (*Architecture for Market Systems*) dla systemów rynkowych. ARMS nadaje procesowi projektowania systemów rynkowych dobrze zdefiniowaną strukturę na pewnym poziomie abstrakcji, zależnym od stopnia zaawansowania projektu. Pozwala na dekompozycję tego procesu na działania w obszarze poszczególnych perspektyw: perspektywy organizacji, danych, funkcji, wyników i procesów. Klasyczny podział na poziomy abstrakcji, obejmujący definicję wymagań, specyfikację projektu i implementację, Habilitant wzbogaca o poziom koncepcji rynku (*Market Design Concept Level*), na którym definiuje się ogólny model mechanizmu rynkowego. Zaproponowany przez Habilitanta model referencyjny ARMS ma wiele zalet. Przede wszystkim jest meta-modelem, który może wykorzystywać różne metody parametryzacji. Stanowi warstwę porządkującą obszary decyzyjne odpowiadające perspektywom, co zapewnia lepszą organizację procesu projektowania, umożliwia jego dekompozycję i zrównoleglenie. Na tle innych rozwiązań znanych z literatury (w autoreferacie Habilitant wylicza czternaście alternatywnych rozwiązań), ARMS wyróżnia się uniwersalizmem dziedzinowym, szerokim zakresem modelowania, wsparciem dla implementacji, rozszerzalnością i wsparciem dla aukcji przy ograniczeniach.

Pozostałe publikacje Habilitanta zgłoszone jako osiągnięcie naukowe dotyczą elementów składowych modelu ARMS – perspektyw funkcji, danych i procesów. W perspektywie funkcji oryginalne wyniki prac badawczych Habilitanta skupiają się na zagadnieniach wyznaczania zwycięzcy mechanizmu rynkowego, mechanizmów cenotwórstwa, przepływów finansowych oraz alokacji kosztów. W [O.4] Habilitant definiuje i rozwiązuje sieciowy problem wyboru zwycięzców, uwzględniający sieciowe modele infrastruktury, wielotowarowość oraz warunki bezpieczeństwa. Definiuje dwa warianty problemu: zorientowany wierzchołkowo oraz łukowo. Wybór zwycięzców uwzględnia ograniczenia sieci przesyłowej modelowanej przez graf. Rozważa się także wpływ dodatkowych ograniczeń związanych z bezpieczeństwem pracy systemu. Przeprowadzona analiza złożoności obliczeniowej wariantów problemu pozwala zaklasyfikować je do odpowiednich klas złożoności (P lub NP). Wyniki tej analizy są

bardzo cenne z praktycznego punktu widzenia projektowania mechanizmów rynkowych. Informują projektanta o kosztach związanych z „włączeniem” poszczególnych elementów modelu. W [O.5] Habilitant rozważał szczególny przypadek problemu wyboru zwycięzcy – problem doboru jednostek wytwórczych na rynku energii elektrycznej na podstawie ofert wytwórców. Postawiony problem optymalizacyjny należy do klasy NP-trudnych. Aby go rozwiązać zaproponowano nową metaheurystykę, dekomponując problem na nadrzędny i podrzędny. Problem nadrzędny rozwiązuje się w przestrzeni zredukowanej za pomocą stochastycznych metod przeszukiwania. Rozważa się różne metody redukcji przestrzeni: restrykcje horyzontu czasowego, restrykcje liczby jednostek wytwórczych, restrykcje grafiku pracy i restrykcje ceny rynkowej. Badania symulacyjne dla polskiego rynku bilansującego energii elektrycznej wykazały efektywność tej metody. Uzyskano kilkuprocentową poprawę wyników w stosunku do rozwiązania stosowanego w praktyce przez operatora systemu.

Praca [O.3] dotyczy mechanizmów cenotwórstwa. Habilitant opisał w niej szereg mechanizmów cenotwórstwa dla aukcji sieciowych i zdefiniował problem wyboru najlepszego mechanizmu. Jest to problem optymalizacji wielokryterialnej z ograniczeniami dotyczącymi wielkości przepływów sieciowych. Do oceny rozwiązań Habilitant definiuje tzw. koszt sprawiedliwości rozwiązania wielotowarowej aukcji sieciowej (*Price of Fairness*), który uwzględnia koszty ofert wymuszonych i koszty utraconych korzyści. Mechanizm cenowy wyznacza ceny w węzłach sieci, cenę węzła wirtualnego a także wartości związane z wymuszonym zakupem i sprzedażą oraz z utraconymi korzyściami po stronie zakupu i sprzedaży. Chociaż te pojęcia, jak i pojęcie sprawiedliwości względnej i bezwzględnej, znane są z literatury (prace prof. Toczyłowskiego), to zaproponowana w [O.3] koncepcja przestrzeni mechanizmów, pozwalająca na formalną analizę, jest oryginalna. Wprowadza możliwość definicji nowych mechanizmów cenowych. Autor wykazuje, że koszt sprawiedliwości rozwiązania jest funkcją wypukłą i podaje warunki, przy których można osiągnąć jej minimum. Cenna jest jego obserwacja, że powszechnie stosowany mechanizm zlokalizowanych cen marginalnych nie gwarantuje minimum funkcji kosztu sprawiedliwości rozwiązania.

Na podstawie rezultatów pracy [O.3], w [O.1] Habilitant zaproponował nową klasę mechanizmów cenowych dla rynków energii, która jest uogólnieniem mechanizmów zlokalizowanych cen marginalnych i ceny jednolitej. Wprowadził spójny system pojęciowy dla tej klasy i na jego podstawie zdefiniował równania bilansowe w postaci równań przychodów i rozchodów oraz podziału korzyści ekonomicznych wypracowanych na rynku. Równania te stanowią cenne źródło informacji dla projektantów mechanizmów rynkowych, umożliwiając analizę zależności pomiędzy elementami składowymi mechanizmu oraz badanie skutków ich zmian na efekty rynkowe. Wyniki uzyskane w [O.1] Autor poparł kilkoma twierdzeniami wraz z dowodami. Wśród nich szczególnie wartościowe jest twierdzenie o bilansie kosztów ograniczeń, wymuszonych ofert i korzyści utraconych w sytuacji, gdy do rozliczeń wykorzystuje się cenę uzyskaną z rozwiązania bez ograniczeń systemowych. Mechanizm wybierający tę cenę jest zbilansowany i zapewnia spełnienie kryteriów sprawiedliwości bezwzględnej i względnej. Na uwagę zasługuje propozycja nowego mechanizmu cenotwórstwa, którego główną ideą jest podział węzłów sieci przesyłowej na konkurencyjne i wymuszone. Mechanizm ten jest kompromisem pomiędzy mechanizmem krańcowych cen węzłowych a jednolitą ceną rynkową. Zapewnia spełnienie kryteriów sprawiedliwości przy najniższych możliwych kosztach systemowych.

Tematykę dotyczącą perspektywy funkcji uzupełniają w zakresie zagadnienia alokacji kosztów w mechanizmie rynkowym prace [O.8] i [O.9]. Rozważają one problem alokacji kosztów ograniczonych zasobów jako grę kooperatywną, w której zwycięzcy realizują zadanie wymiany towarów zgodnie z rozstrzygnięciem mechanizmu. W [O.9] Autorzy sformułowali uogólnioną grę programowania liniowego, która rozszerza dotychczasowe podejścia o przypadek częściowego udziału agenta w grze.

W odróżnieniu od znanych algorytmów alokacji kosztów, uwzględniających jedynie dyskretny zbiór potencjalnych koalicji agentów, zaproponowany algorytm analizuje całe spektrum scenariuszy udziału agentów, także udziałów częściowych. Algorytm w sposób iteracyjny dokonuje analizy kosztowej na ścieżce łączącej punkt braku zapotrzebowań z punktem pełnych zapotrzebowań zasobowych. Kierunek przeszukiwania w przestrzeni zapotrzebowań wynika z przyjętej strategii przeszukiwania. Zaproponowany podział przestrzeni na komórki ułatwia przeszukiwanie. Autorzy udowodnili zbieżność algorytmu, co stanowi dodatkowy atut tej publikacji. Proponowana strategia alokacji kosztów może jednak prowadzić do niepożądanego subsydiowania kosztów przez wybranych agentów. Aby tego uniknąć, w [O.8] Habilitant zaproponował metodę alokacji wykorzystującą model wielokryterialnej minimalizacji kosztów z przyrostowym testem kosztów. Wprowadził warunki ograniczające: warunek globalnej racjonalności oraz warunek racjonalności grupowej. Do efektywnego rozwiązania postawionego problemu Habilitant proponuje relaksację warunku globalnej racjonalności, która prowadzi do alokacji bez subsydiowania, chociaż zwiększa ryzyko poniesienia większych kosztów łącznych. Zadanie optymalizacyjne jest wielokryterialne z dużą liczbą warunków ograniczających. Do jego rozwiązania Habilitant zaproponował metodę generacji kolumn prowadzącą do dekompozycji zadania na problem nadrzędny i podrzędny. Metoda wykazuje przewagę nad innymi metodami alokacji kosztów, które naruszają warunek braku subsydiowania i mają większą złożoność obliczeniową.

W obszarze perspektywy danych Habilitant podejmuje tematykę języków ofertowych oraz modelu danych M^3 (*Multicommodity Market Model*). Praca [O.6] dotyczy języków ofertowych dla aukcji ciągłych. Rozwiązanie problemu jest znane dla aukcji kombinatorycznych lecz brakuje rozwiązań dla dóbr podzielnych, szczególnie przydatnych w kontekście aukcji sieciowych. Habilitant definiuje ciągły problem wyboru zwycięzcy oraz pojęcie asymptotycznej pełnej wyrażalności języka ofertowego. Jego istotnym wkładem jest uogólnienie na przypadek dóbr podzielnych definicji pojęć komplementarności i substytucyjności zdefiniowanych dotychczas dla aukcji kombinatorycznych oraz wprowadzenie trzech nowych rodzin języków ofertowych dla aukcji ciągłych.

W pracy [O.11] Autorzy przedstawiają model danych M^3 , który obejmuje wszystkie aspekty bilansowania rynku. M^3 jest modelem elastycznym, może służyć do zapisu i przetwarzania ofert wyrażonych w dowolnym języku logicznym należącym do rodzin zaproponowanych w [O.6] i innych. Stanowi kompletny system obrotu wielotowarowego z dekompozycją procesów rynkowych na elementarne zadania bilansowania. Architektura M^3 jest warstwowa, obejmuje warstwy mechanizmu rynkowego, modelu danych oraz modelu komunikacji. Model danych opisuje wszystkie zbiory danych wykorzystywane w procesie bilansowania. Pełny koncepcyjny model danych jest zapisany za pomocą diagramów UML. Postać implementacyjna M3-XML ma formę dokumentów niezależnego od platformy uniwersalnego języka znaczników XML. Warstwa komunikacji, odpowiedzialna za interakcje agentów, opisana jest także za pomocą diagramów UML. W pracy [O.11] przedstawiono system pojęć i modeli formalnych konceptualnego modelu M^3 i dialektu M3-XML. Opracowanie ogólnego modelu danych, który służy do modelowania, wymiany danych i symulacji różnych mechanizmów rynkowych, jest niewątpliwie znaczącym osiągnięciem Autorów (Habilitant w tym osiągnięciu deklaruje 40% wkładu). Na uwagę zasługuje duży potencjał aplikacyjny modelu zweryfikowany pozytywnie w publikacjach [O.7] i [O.13]. Ta pierwsza praca dotyczy rynku energii. Wskazuje model M^3 jako model bazowy dla rozwiązania szkieletowego odpornego na ewolucję rynku, w ramach którego funkcjonowałyby komponenty oprogramowania wszystkich uczestników rynku. W [O.13] opisano aplikację modelu M^3 na rynku telekomunikacyjnym. Rozważa się problem handlu przepustowościami telekomunikacyjnymi, gdzie oferty dotyczą nie tylko pojedynczych łączy, ale także dowolnej ścieżki łączącej dwa wierzchołki sieci. W pracy przedstawiono przykłady zapisu danych w dialekcie M3-XML.

Perspektywa procesów łączy i organizuje w procesy elementy perspektywy funkcji i perspektywy danych. W [O.11] Habilitant definiuje podstawowe zadanie bilansowania w tym obszarze wraz z danymi wejściowymi i wyjściowymi. Procesy tworzy poprzez łączenie elementarnych zadań bilansowania w struktury sieciowe. Korzysta przy tym ze znanych rozwiązań opracowanych dla zagadnień modelowania procesów biznesowych. W [O.2] Habilitant wykazuje na przykładzie projektowania mechanizmów rynkowych dla klastrów energii, że modele z perspektywy funkcji i danych mogą być zastosowane w podejściu procesowym do organizacji złożonego mechanizmu rynkowego. W [O.14] rozważa się problem projektowania struktur czasowych dla procesów decyzyjnych na rynku energii elektrycznej jako skomplikowane, wielokryterialne i często nieprecyzyjnie zdefiniowane zagadnienie harmonogramowania. Zaproponowano metodykę wspomagania projektanta procesów rynkowych, wykorzystującą narzędzia z dziedziny informatyki, optymalizacji, teorii decyzji i symulacji procesów rynkowych. W szczególności sformułowano dyskretno-ciągły problem optymalizacyjny z ograniczeniami związanymi z relacją poprzedzania oraz komplementarnością, ciągłością i długością procesów. Zmienne decyzyjne odpowiadają czasem rozpoczęcia i zakończenia horyzontów trwania oraz planowania wszystkich procesów, które zachodzą na rynku. Do znalezienia Pareto-optimalnego rozwiązania tego problemu Autorzy proponują metodę punktu idealnego. Przy czym pokazują, że wobec niedokładnych, a często sprzecznych kryteriów oceny, rozwiązanie problemu nie jest jednoznaczne, a cały proces optymalizacyjny musi być rekurencyjny. Konieczne jest wielokrotne powtarzanie procesów decyzyjnych połączone z dostrajaniem kryteriów, wymagań oraz parametrów problemu. Dodatkowe trudności wynikają z zależności parametrów jakościowych procesów rynkowych od mechanizmów bilansowania, rozmiarów rynku, struktury sieci przesyłowej, charakteru uczestników itp. Do szczególnie wartościowych elementów tej pracy należy zaliczyć sformułowanie ogólnej metodyki projektowania struktur procesów rynkowych dla systemów rozproszonych, takich jak rynki energii elektrycznej, która obejmuje modelowanie problemu, optymalizację, odkrywanie preferencji, strojenie parametrów, symulacje, analizę i ocenę rozwiązań, a także jednoznaczny zapis problemu projektowania struktury czasowej rynków oraz wygodną reprezentację harmonogramów procesów rynkowych.

W [O.10] rozważana jest metodyka modelowania rynkowych problemów decyzyjnych związanych z bilansowaniem na rynku energii elektrycznej. Ujęcie problemu w postaci perspektyw zagadnienia ARMS umożliwiło opracowanie symulatora rynku energii elektrycznej w postaci środowiska badawczego mechanizmów bilansowania. W środowisku tym przestrzeń rynkowych procesów decyzyjnych (RPD) jest sparametryzowana. Wariant RPD tworzony jest przez wybór modeli dla elementów składowych związanych z modelowaniem rezerw, modelem ograniczeń sieciowych, modelem strat przesyłowych, doborem jednostek do pracy oraz modelem ramp. Symulator umożliwia wybór mechanizmu bilansowania i wybór strategii graczy. Wykorzystuje m.in. techniki symulacji wieloagentowej oraz analizy punktów równowagi. Mechanizm rynkowy reprezentowany jest przez instancje elementarnych zadań bilansowania, które przyjmują postać zadań optymalizacji i rozwiązywane są przez pakiet optymalizacyjny. Warstwa implementacji opiera się na transformatach XLS, które są narzędziem do przetwarzania dokumentów M3-XML. Elementarne zadania bilansowania zapisuje się symbolicznie w języku GMPL. Wyróżnienie wariantów składowych modeli RPD pozwoliło uzyskać elastyczny i konfigurowalny symulator, który Autorzy stosowali w pracach projektowych związanych z polskim rynkiem energii elektrycznej.

Publikację [O.2] można traktować jako podsumowanie prac badawczych Habilitanta w obszarze projektowania mechanizmów rynkowych. Autor przedstawia kompleksowe zastosowanie metodyki ARMS na przykładzie projektowania mechanizmów rynkowych dla klastrów energii elektrycznej.

Przedstawia koncepcję systemu wspomagania podejmowania decyzji projektowych i opisuje elementy składowe tego systemu. Część z tych elementów została zaimplementowana i wykorzystana w badaniach symulacyjnych. W perspektywie procesów Habilitant wizualizuje proces za pomocą notacji BPMN (*Business Process Model and Notation*) oraz diagramu czasowego. Przykład aplikacyjny pokazuje zalety metodyki ARMS. Projektant może łatwo sformułować projektu rynku i zweryfikować go za pomocą symulacji opartej na agentach, używając różnych miar jakości. Habilitant dostrzega także ograniczenia tego podejścia związane z ograniczonym do pewnego podzbioru zestawem parametrów i brakiem implementacji pewnych kluczowych komponentów. Stawia pytania na temat przydatności różnych narzędzi z dziedziny teorii gier w systemach wspomagania decyzji, lepszych sposobów wizualizacji procesów i systemów decyzyjnych, poprawnych i dokładnych symulacji modelujących rzeczywiste zachowania agentów, ograniczeń modelowania struktur obiektów za pomocą grafów skierowanych a także możliwości zautomatyzowania procesu projektowania.

Oceniając tematykę prac badawczych Habilitanta przedstawioną jako osiągnięcie naukowe, nie mam wątpliwości, że jest ona ważna i aktualna z punktu widzenia projektowania mechanizmów rynkowych i, szerzej, systemów gospodarczych. Tematyka ta odpowiada zapotrzebowaniu na nowe mechanizmy rynkowe i metody ich optymalizacji, szczególnie w kontekście nowych wyzwań, jak np. tworzenie rynku energii elektrycznej. Należy dostrzec analogie pomiędzy projektowaniem systemów rynkowych a projektowaniem systemów informacyjnych. Projektowaniu mechanizmów ekonomicznych odpowiada projektowanie algorytmów, protokołów i systemów w dziedzinie informatyki. Aspekty przetwarzania informacji i danych, komunikacji i implementacji systemów informacyjnych stanowią kluczowy element projektowania mechanizmów rynkowych. Złożoność problemu projektowania mechanizmów rynkowych skłania do poszukiwań systematycznego podejścia do zagadnienia projektowego. Opracowane na przestrzeni lat metody projektowania systemowego, strukturalnego i parametrycznego wymagają wspomagania komputerowego i automatyzacji. Habilitant łączy dwa odrębne nurty prac badawczych: teorię aukcji oraz teorię projektowania systemów informatycznych, zwracając szczególną uwagę na rynki złożone z ograniczeniami zasobowymi i podzielnymi towarami. Uwzględnia również zasoby w postaci sieci przesyłowej potrzebnej do wymiany towarów i usług. Odniesienie architektury referencyjnej do elementów algorytmicznych i procesowych systemu rynkowego umożliwia ujęcie problematyki w kategoriach informatycznych.

Habilitant dostrzega wiele wyzwań stojących przed projektantem mechanizmów rynkowych, którym próbuje stawić czoła w swojej pracy badawczej. Przede wszystkim problem projektowy jest trudnym wieloaspektowym problemem optymalizacji wielokryterialnej z ograniczeniami. Złożoność problemu wynika z rozmiarów przestrzeni projektowej, niepewności wpływu parametrów, modelu rynku oraz preferencji agentów na rozwiązanie, a także z potrzeby alokacji zasobów w mechanizmach sieciowych. Dotychczasowe osiągnięcia teorii mechanizmów nie wspierają dostatecznie praktycznego projektowania tych mechanizmów, koncentrując się na modelach formalnych bez odniesienia do systemu informacyjnego. Brak ogólnych metody projektowania mechanizmów rynkowych i rozwiązań szkieletowych wspomagających projektowanie. Brak również narzędzi do projektowania wspomaganych komputerowo jak i wsparcia dla projektowania aukcji przy ograniczeniach. Odpowiadając na powyższe wyzwania Habilitant opracował modele i metody wspomagające projektowanie mechanizmów rynkowych w oparciu o architekturę referencyjną, ze szczególnym uwzględnieniem mechanizmów sieciowych. W przedstawionych jako osiągnięcie publikacjach opisuje architekturę referencyjną o pożądanых cechach oraz metody, modele i techniki opracowane dla elementów strukturalnych architektury. Daje odpowiedź na pytania w jaki sposób należy projektować kompletne i implementowalne systemy rynkowe, jakie aspekty należy uwzględnić w procesie

projektowym oraz w jaki sposób definiować poszczególne elementy systemu. Bazuje na podejściu strukturalnym, organizującym proces projektowy architektury referencyjnej w systematyczną strukturę. Wprowadza również podejście parametryczne, dając możliwość elastycznego rozwiązania systemu. Jednocześnie proponuje rozwiązania cząstkowe, wspomagające projektowanie, definiujące elementy składowe modelu ARMS w perspektywie funkcji, danych i procesów. Architektura referencyjna ARMS, która jest głównym osiągnięciem Habilitanta, stanowi ramy umożliwiające projektantowi przeszukiwanie przestrzeni projektowej i ocenę rozwiązań. Trzeba mieć jednak świadomość, że nie daje odpowiedzi na wszystkie pytania, np. czy możliwe jest rozwiązanie wielokryterialnego problemu projektowego i znalezienie rozwiązania optymalnego. Stawia dodatkowe wyzwania związane z projektowaniem języków ofertowych, doбором metod wyboru zwycięzców, czy projektowaniem mechanizmów cenotwórstwa.

Należy zauważyć, że prace Habilitanta dotyczą głównie rynku energii elektrycznej. Niewątpliwie stanowi to pewne ograniczenie, które rodzi pytanie, na ile osiągnięcia Habilitanta są uniwersalne i mogą być zastosowane do projektowania mechanizmów dla innych typów rynków. Ale z drugiej strony, to skoncentrowanie na rynku energii elektrycznej odbieram pozytywnie. Restrukturyzacja polskiej energetyki, czyli przejście od modelu scentralizowanego do rynkowego, którą śledzę od wielu lat, jest ogromnym wyzwaniem, wymagającym definicji nowych modeli rynkowych. Prace badawcze Habilitanta odpowiadają zapotrzebowaniu na narzędzia projektowe w tym obszarze. Pozytywnie należy ocenić aspekt użyteczny jego badań. Jak Habilitant nadmienia w autoreferacie, opisany w [O.10] symulator rynku energii elektrycznej był wykorzystywany w pracach projektowych realizowanych na zlecenie Polskich Sieci Elektroenergetycznych. Ponadto elementy metodyki ARMS były narzędziem wspierającym w opracowaniu przez Habilitanta symulatora rynku giełdowego GPWtr@der, wykorzystywanego przez Giełdę Papierów Wartościowych. Te aplikacje efektów pracy badawczej Habilitanta pozytywnie weryfikują jego dorobek habilitacyjny i zasługują na duże uznanie.

Po analizie osiągnięć naukowych Habilitanta w postaci przedłożonych publikacji stwierdzam, że stanowią one cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych, o którym mowa w art. 219 ust. 1 pkt 2b ustawy jw. i uważam, że wnoszą one znaczny wkład w rozwój dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja w zakresie projektowania systemów informacyjnych wykorzystywanych w inżynierii mechanizmów rynkowych.

2. Ocena aktywności naukowej

Oprócz prac zgłoszonych jako osiągnięcie naukowe Habilitant opublikował jeszcze:

- Dwadzieścia dwa artykuły w czasopismach naukowych, w tym dwadzieścia po doktoracie. Wszystkie z wyjątkiem czterech to artykuły wieloautorskie. Niestety niewiele z tych prac opublikowano w renomowanych czasopismach o światowym zasięgu – tylko dwie (w *Annals of Operations Research* i *Energy Policy Journal*). Pozostałe to artykuły w czasopismach o zasięgu lokalnym, np. Rynek Energii (dziewięć prac), Automatyka, *Studia Informatica*, Archiwum Energetyki.
- Dziewiętnaście rozdziałów w monografiach naukowych, w tym osiemnaście po doktoracie. Trzy spośród tych monografii zostało wydanych przez wydawnictwo Springer, pozostałe przez wydawnictwa krajowe.
- Dwadzieścia pięć artykułów w materiałach konferencyjnych, w tym jedenaście przed doktoratem. Jedenaście spośród tych konferencji to konferencje międzynarodowe.

Habilitant był również jednym z dwóch redaktorów monografii wydanej przez wydawnictwo Springer-Verlag. Tematyka publikacji Habilitanta jest spójna, koncentruje się na zagadnieniach związanych z projektowaniem mechanizmów rynkowych, w szczególności dla rynków energii elektrycznej.

Według zestawienia, które Habilitant dołącza do dokumentacji, dziewięć spośród jego artykułów zostało opublikowanych w czasopismach z bazy JCR, a 18 w materiałach ujętych w bazie WoS. Łączna liczba punktów za publikacje wynosi 749 (684 po doktoracie). Sumaryczny *impact factor* czasopism, w których publikował wynosi 13,978 (13,647 po doktoracie). Liczba cytowań według WoS wynosi 78, a indeks Hirscha jest równy 5. Uważam, że wartości tych wskaźników bibliometrycznych są na wystarczających poziomach, aby ubiegać się o stopień doktora habilitowanego.

Na uznanie zasługują częste wystąpienia Habilitanta na konferencjach naukowych. W latach 2000-2019 Habilitant występował w trzydziestu dziewięciu konferencjach naukowych, w tym w jedenastu przed doktoratem. Siedemnaście spośród nich to konferencje międzynarodowe. Zakres tematyczny konferencji obejmuje m.in. badania operacyjne, informatykę i energetykę. Habilitant był członkiem komitetów programowych konferencji: Zarządzanie Energią i Teleinformatyka (od 2012 r.), *Workshop on Agent based Computing, Agent Day* (2015 r.) oraz *Workshop of Modeling Multi-commodity Trade* (2011-2013 r.).

Habilitant uczestniczył lub uczestniczył jako wykonawca w pracach zespołów badawczych realizujących projekty finansowane w drodze konkursów krajowych lub zagranicznych. W tym w trzech projektach finansowanych przez NCBiR, dwóch projektach finansowanych przez MNiSW, dwóch projektach finansowanych z Funduszy Europejskich. Brał udział w kilku pracach zleconych i projektach finansowanych przez podmioty gospodarcze, m.in. przez Polskie Sieci Elektroenergetyczne, Ikea Industry i Asseco Poland.

Habilitant jest członkiem dwóch międzynarodowych (*EURO Working Group on Practice of OR, EURO Working Groups on Operational Research and Development*) oraz dwóch krajowych (Fundacja Młodej Nauki, *Top500 Innovators*) organizacji lub towarzystw naukowych. Odbił pięć staży w zagranicznych instytucjach naukowych (USA, Chiny, Wielka Brytania, Liban). Jest koordynatorem i uczestnikiem z ramienia Politechniki Warszawskiej w międzynarodowej sieci akademickiej *Sugar*. Jest autorem jednego zgłoszenia patentowego. Był recenzentem kilkunastu artykułów w czasopismach o zasięgu międzynarodowym. Za aktywność naukową Habilitant został wyróżniony trzykrotnie nagrodami zespołowymi I-stopnia Rektora Politechniki Warszawskiej.

Biorąc pod uwagę powyższe dokonania, uznaję aktywność naukową Habilitanta za istotną i oceniam ją bardzo wysoko.

3. Ocena osiągnięć dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę

Habilitant był opiekunem 24 prac inżynierskich i 23 magisterskich. Jest współautorem dwóch skryptów. Bierze czynny udział jako nauczyciel akademicki w kształceniu studentów kierunku Informatyka na Politechnice Warszawskiej, w Wyższej Szkole Informatyki Stosowanej i Zarządzania pod auspicjami PAN, a także na uczelni zagranicznej (Chiny). Jest autorem wielu kursów na studiach dziennych i podyplomowych, m.in. *Programming Fundamentals*, Harmonogramowanie czynności, Modelowanie procesów i danych oraz Elementy zarządzania produkcją. Pełni funkcję koordynatora, wykładowcy i mentora z ramienia Politechniki Warszawskiej w programie realizowanym w sieci akademickiej *Sugar*.

Angażuje się w projekty edukacyjne i zajęcia szkoleniowe dla kadry akademickiej Politechniki Warszawskiej. Współorganizował międzynarodowy *hackaton Rat Relay for Global Good*.

Do osiągnięć organizacyjnych Habilitanta można zaliczyć członkostwo w *EURO Working Group on Practice of OR*, *EURO Working Groups on Operational Research and Development*, *Top500 Innovators* oraz zespole rektorskim ds. Innowacyjnych Form Kształcenia. Ponadto Habilitant był członkiem Rady Wydziału Elektroniki i Technik Informatycznych na Politechnice Warszawskiej oraz wydziałowych komisji rekrutacyjnych. Pełnił funkcje kierownika dwóch specjalności na kierunku Informatyka. Współorganizował przestrzeń kreatywną xLab oraz targi zespołowych projektów studenckich na Politechnice Warszawskiej. Był inicjatorem i koordynatorem włączenia Politechniki Warszawskiej do sieci akademickiej *Sugar*. Za osiągnięcia organizacyjne Habilitant został wyróżniony nagrodą zespołową II-stopnia Rektora Politechniki Warszawskiej.

Osiągnięcia popularyzujące naukę Habilitanta obejmują warsztaty *Design Thinking* na *TedEx Warsaw*, współorganizację warszawskiej edycji festiwalu *Design Thinking Week* (trzy edycje), mentorstwo w programie *MIT Enterprise Forum* oraz współorganizację ekspozycji na targach *Sugar Expo* (San Francisco).

Osiągnięcia Habilitanta na polu dydaktycznym, organizacyjnym oraz popularyzującym naukę są bardzo bogate, oceniam je pozytywnie.

4. Wniosek końcowy

Biorąc pod uwagę pozytywną ocenę osiągnięcia naukowego Habilitanta jakim jest cykl publikacji zatytułowany *Modele i metody wspomagające projektowanie mechanizmów rynkowych w oparciu o architekturę referencyjną*, a także pozytywne oceny jego aktywności naukowej oraz osiągnięć dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę, stwierdzam, że w rozumieniu ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce*, dr inż. Mariusz Kaleta spełnia wymagania stawiane kandydatom do stopnia naukowego doktora habilitowanego w dyscyplinie Informatyka Techniczna i Telekomunikacja. W związku z tym popieram wniosek o dopuszczenie dr inż. Mariusza Kalety do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego.



