

# Platforma Badawcza Mechanizmów Aukcyjnych

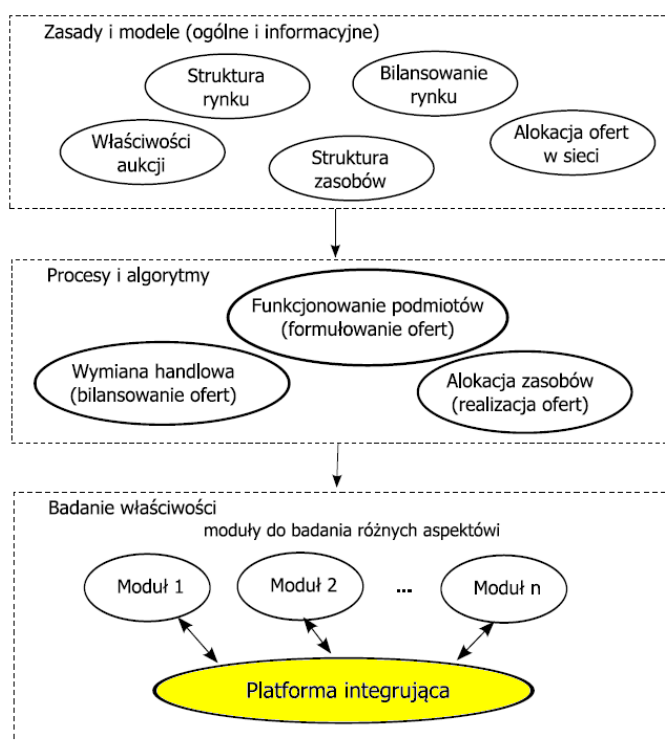
Mariusz Kamola, Ewa Niewiadomska-Szynkiewicz, Krzysztof Malinowski, Wojciech Stańczuk  
email: {Mariusz.Kamola, Ewa.Niewiadomska-Szynkiewicz, Krzysztof.Malinowski}@nask.pl,  
w.stanczuk@tele.pw.edu.pl

Naukowa i Akademicka Sieć Komputerowa, ul. Wąwozowa 18, 02-796 Warszawa  
Instytut Telekomunikacji, Politechnika Warszawska, ul. Nowowiejska 15/19, 00-665 Warszawa

Słowa kluczowe: aukcje, wymiana towarowa, symulacja komputerowa

**Abstrakt** – Platforma Badawcza Mechanizmów Aukcyjnych jest rozproszonym środowiskiem symulacyjnym umożliwiającym prowadzenie badań własności różnorodnych mechanizmów przydziału zasobów oraz modeli zachowań uczestników rynku – w obu przypadkach definiowanych przez użytkownika. Wnikliwa analiza komercyjnych środowisk przydziału zasobów oraz własne doświadczenie pozwoliły na skonstruowanie systemu otwartego, elastycznego prostego w użyciu, a jednocześnie oferującego rozbudowane mechanizmy bazodanowe przechowywania i wyszukiwania wyników eksperymentów symulacyjnych według zaawansowanych kryteriów.

## 1. Lokalizacja Platformy Badawczej Mechanizmów Aukcyjnych w kontekście projektu



Rys. 1. Położenie zadania skonstruowania Platformy Badawczej Mechanizmów Aukcyjnych wobec pozostałych zadań Grupy Tematycznej 10 Projektu Badawczego Zamawianego

Celem zadania realizowanego wspólnie przez Instytut Telekomunikacji, Instytut Automatyki i Informatyki Stosowanej Politechniki Warszawskiej (PW) oraz Naukowej i Akademickiej Sieci Komputerowej (NASK) w ramach projektu PBZ było opracowanie innowacyjnych mechanizmów towarowego na rynku zasobów transportowych sieci telekomunikacyjnych, w szczególności w formie aukcji i giełd zwiększających efektywność wykorzystywania zasobów komunikacyjnych sieci oraz jakość warunków konkurowania o nie. Założony cel wymaga opracowania szeregu powiązanych hierarchicznie zagadnień o różnym charakterze przedstawionych na rys. 1.

Platforma Badawcza Mechanizmów Aukcyjnych (PBMA) stanowi zwieńczenie prac badawczych projektu, umożliwiając badania porównawcze algorytmów oraz weryfikację symulacyjną ich własności teoretycznych, szczególnie w sytuacji niespełnionych bądź częściowo spełnionych założeń o sytuacji rynkowej.

## 2. Istniejące środowiska realizujące wymianę handlową

Poniżej omówiono architekturę informacyjną, funkcjonalną i fizyczną przykładowych systemów handlowych [1]. Przy doborze przykładów systemów handlowych skupiono się na systemach handlu wielostronnego, w których wielu uczestników rynku w tym samym czasie składa oferty handlowe (kupna lub/i sprzedaży). Przedstawione przykłady systemów pochodzą z różnych rynków, przeznaczone są do obrotu handlowego różnego typu towarów. Większość przykładów to systemy działające na rzeczywistych rynkach, omówiono także koncepcje systemów pojawiające się w pracach naukowych.

### 2.1. Zintegrowany system aukcji spektrum radiowego FCC

Pierwszym systemem informatycznym wspomagającym przeprowadzania aukcji FCC był Automated Auction System (AAS) wymagający od licytujących używania specjalnego dedykowanego oprogramowania i wykonywania połączeń typu dial-up do call center FCC. Z uwagi na popularność internetu jako powszechnego medium komunikacji zdecydowano się przekształcić system w webową aplikację działającą on-line.

Aktualny nowy system składania wniosków i licytacji FCC znany jako Integrated Spectrum Auction System (ISAS) zastąpił poprzednie systemy FCC Form 175 System (system formularza zgłoszeniowego) oraz właśnie wspomniany AAS (system obsługi aukcji). W porównaniu do poprzednich systemów, ISAS oferuje rozszerzoną funkcjonalność dotyczącą weryfikacji poprawności wprowadzanych danych, zaawansowanego wyszukiwania danych, integracji z innymi formularzami zgłoszeniowymi FCC, ergonomicznej nawigacji, usprawnionych funkcji składania ofert. System jest dostępny dla każdego użytkownika internetu.

System ISAS pozwala na obsługę jednoczesnych aukcji z wieloma rundami (z możliwością licytacji całego pakietu licencji).

### 2.2. WARSET - system giełdy papierów wartościowych w Warszawie

Notowania na warszawskiej Giełdzie Papierów Wartościowych prowadzone są w systemie transakcyjnym WARSET. System zapewnia pełną automatyzację przekazywania zleceń, zawierania transakcji, sprawny dostęp uczestników rynku do systemu obrotu papierami wartościowymi oraz szerokie możliwości korzystania z informacji o sytuacji na rynku. Ponadto WARSET umożliwia inwestorom szersze wykorzystanie możliwości przesyłania zleceń przez Internet - systemy biur maklerskich są na tyle zintegrowane z systemem giełdowym, że udział biur sprowadza się tylko do weryfikacji poprawności złożonych zleceń przez inwestorów.

Głównym wykonawcą systemu WARSET (WARsaw Stock Exchange Trading System) jest firma Euronext - jeden z wiodących producentów oprogramowania dla sektora finansowego. Konsorcjum odpowiedzialne za informatyzację dostarczyło sprzęt komputerowy i zainstalowało aplikację kliencką francuskiej firmy GL, umożliwiającą 37 lokalnym biurom maklerskim włączenie się do systemu. Oprogramowanie to zostało również wykorzystane do obsługi zdalnych biur maklerskich, które są połączone z giełdą przez sieć rozległą w całym kraju. Zostały wykonane także pomocnicze prace programistyczne, w tym moduł (interfejs) przyjmujący dane z Krajowego Depozytu Papierów Wartościowych.

### 2.3. Towarowa Giełda Energii

Towarowa Giełda Energii (TGE) powstała jako niezbędny element liberalizującego się w Polsce rynku energii elektrycznej. Od początku swojego istnienia TGE była pionierem wdrażania nowatorskich rozwiązań w zakresie handlu energią elektryczną. W ciągu pół roku od zarejestrowania spółki uruchomiony został rynek spot dla energii elektrycznej. Ceny na tym rynku stały się odniesieniem w kontraktach dwustronnych. W 2003 r. TGE uzyskała licencję od Komisji Nadzoru Finansowego na prowadzenie giełdy towarowej.

W roku 2008 TGE uruchomiła Rynek Terminowy Energii Elektrycznej. Kontrakty terminowe na dostawę energii elektrycznej, notowane na tym rynku, pozwalają wyznaczyć cenę energii elektrycznej w dłuższym horyzoncie czasowym, co pozwala sprzedawcom i dużym odbiorcom energii prognozować ceny i optymalizować swoje koszty sprzedaży/zakupu energii elektrycznej. TGE posiada nowoczesny system giełdowy dostarczony przez NASDAQ OMX - największą na świecie firmę projektującą systemy notująco-rozliczeniowe, stosowane przez wiele giełd na całym świecie (ponad 40 wdrożeń na różnych giełdach). TGE jest przygotowana technicznie do obsługi całego rynku energii w Polsce.

### 2.4. Merkato - aukcyjny system handlu przepustowością w sieci IP

Amerykańska giełda Merkato prowadzona przez firmę InvisibleHand Networks, Inc. nie ma istotnego znaczenia rynkowego, ale jest bardzo ciekawym przedsięwzięciem. Merkato ma charakter otwartej i skalowalnej platformy umożliwiającej zawieranie w czasie rzeczywistym kontraktów dotyczących przepustowości w sieciach IP. Wycena i alokacja przepustowości realizowana jest przez opatentowany mechanizm aukcyjny oparty na progresywnej aukcji drugiej ceny (PSP). Mechanizm aukcyjny Merkato jest rozproszony: dla każdego zasobu organizowany jest "mikro-rynek" w formie aukcji PSP. Oferty handlowe na poszczególne zasoby składane są oddzielnie.

Bilansowanie rynku odbywa się okresowo; co 5 min. oferty kupna są zbierane i na ich podstawie ustalana jest chwilowa cena równowagi, i wyliczane są alokacje przepustowości. Alokacje te są automatycznie konfigurowane w węzłach komutacyjnych sieci i udostępniane klientom. Dodatkowo Merkato prowadzi rynek rezerwacji przepustowości, który ma charakter rynku instrumentów pochodnych. Umożliwia on kupującym składanie ofert na ustaloną wielkość przepustowości na ustalony przedział czasu (w szerokim zakresie: od minut do miesięcy).

### 2.5. PeerMart - rozproszony system aukcyjny

System PeerMart jest technologią umożliwiającą organizowanie aukcyjnej wymiany handlowej w sieciach peer-to-peer (P2P). Sieci P2P rozwijają się w oparciu o rozproszone zarządzanie dostępem do zasobów: agenci/użytkownicy udostępniają innym użytkownikom własne zasoby i współdzielą zasoby innych, oraz przekazują komunikaty bez nadzoru centralnej infrastruktury. Użytkownicy bardzo często zachowują się egoistycznie, tzn. nie są skłonni udostępniać własnych zasobów lub nie współpracują w wymianie samych komunikatów systemu P2P.

System PeerMart został zaprojektowany jako próba rozwiązania powyższych problemów - problem zachęty do udostępniania własnych zasobów jest rozwiązywany przez wprowadzenie mechanizmu rynkowej wyceny tych zasobów, zaś problem braku współpracy ze strony niektórych agentów rozwiązywany jest przez wprowadzenia nadmiarowości (redundancji).

Każdy towar/usługa na rynku PeerMart jest sprzedawana/kupowana w oparciu o dwustronne aukcje prowadzone w rozproszonym zbiorze/klastrze pośredników (broker-peers).

### 2.6. Storage Exchange

System Storage Exchange (SX) jest platformą umożliwiającą wymianę handlową usług przechowywania danych w postaci elektronicznej. System jest skierowany do organizacji (firm, instytucji, itp) potrzebujących przestrzeni na przechowywanie danych, lub posiadające niewykorzystywane zasoby dyskowe – czyli potencjalnych uczestników rynku. Wymiana handlowa modelowana jest jako poufna aukcja podwójna (a sealed Double Auction).

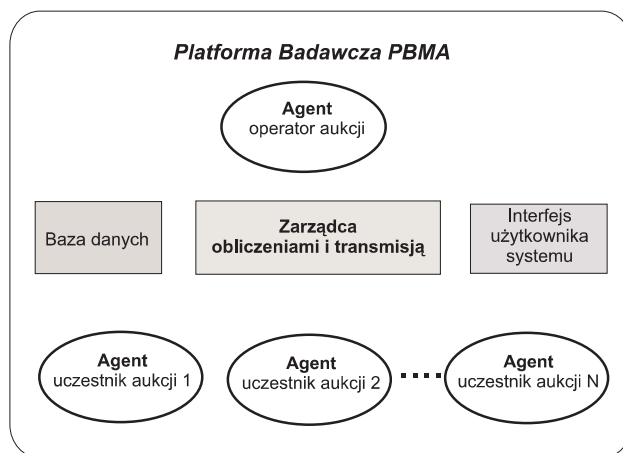
### 2.7. Architektura giełdy przepustowości w sieci IP – Band-X

System Band-X nie jest typowym systemem realizacji handlu - nie ma on zbudowanego systemu technicznego wspierającego proces handlowy. Odnosi się on jednak wprost to obrotu przepustowością w sieciach telekomunikacyjnych. Architektura giełdy przepustowości opracowana na wydziale informatyki Uniwersytetu Drexel umożliwia wielostronny obrót przepustowością o gwarantowanych parametrach jakościowych w internecie. Prace zostały skupione na aspektach organizacyjnych i instytucjonalnych.

Giełda jest projektowana dla usług DiffServ i IntServ. Technologie te są wykorzystywane jednocześnie w celu zapewnienia gwarancji jakości przepustowości. Proponowana jest architektura giełdy dla rynku natychmiastowego (spot market) i rynku terminowego.

## 3. Architektura i funkcjonalność Platformy Badawczej Mechanizmów Aukcyjnych

Platforma Badawcza Mechanizmów Aukcyjnych jest narzędziem wspomagającym badanie modeli i mechanizmów handlu zasobami sieciowymi, opracowywanych w ramach wykonywanego projektu badawczego. Podstawowym zadaniem środowiska badawczego jest umożliwienie weryfikacji, testowania i wykonania analizy porównawczej proponowanych rozwiązań aukcyjnych i giełdowych, ich ocena i wybór najlepszych metod i mechanizmów dla wybranych typów aukcji/giełd.



Rys. 2. Główne moduły PBMA

Platforma badawcza umożliwia, między innymi, poszukiwanie punktów równowagi Nasha gier indukowanych przez opracowane mechanizmy rynkowe i analizę ich własności oraz badanie wrażliwości punktów równowagi na zmianę różnego rodzaju ograniczeń rynkowych, a w rezultacie, porównanie opracowanych mechanizmów bilansowania rynku i wnioskowanie o ich praktycznej skuteczności. Szczególnie istotnym zastosowaniem PBMA jest badanie odporności mechanizmów na nietypowe zachowania uczestników aukcji, działania spekulacyjne oraz zbadanie, dla jakich dysproporcji w sile rynkowej graczy rozpatrywana strategia pozostaje efektywna.

Głównym założeniem przyświecającym twórcom PBMA jest ergonomia testowania i porównywania mechanizmów, oraz możliwość łatwej rozbudowy biblioteki mechanizmów, poprzez dodawanie modułów implementujących nowe mechanizmy przydziału i wyceny zasobów w sieciach i nowe zachowania uczestników rynku.

System PBMA charakteryzuje się budową modułową, por. rys. 2. Dane przekazywane między modułami są zgodne ze standardem wymiany informacji handlowych opartym na modelu informacyjnym M3, opracowanym przez wykonawców projektu [2]. Najważniejsze moduły PBMA to agenty programowe implementujące modele zachowań uczestników handlu oraz moduły realizujące opracowane w ramach projektu mechanizmy handlu. Moduły te mogą być wymieniane przez użytkowników, w zależności od potrzeb. Moduł zarządzający PBMA steruje procesem obliczeniowym i komunikacją pomiędzy agentami systemu. Pozostałe elementy systemu to: baza danych, interfejsy programistyczne transformujące dane wejściowe i wyjściowe uczestników i operatora aukcji do postaci zgodnej z ustalonym standardem oraz interfejs użytkownika systemu do prezentacji i raportowania przebiegu aukcji/giełdy i jej wyników końcowych. Niezwykle ważnymi, pomocniczymi elementami architektury PBMA są również solwery optymalizacyjne, wspomagające logikę mechanizmów handlu.

### 3.1. Wymagania funkcjonalne

Przyjęta koncepcja docelowej funkcjonalności systemu wynika z dwóch podstawowych założeń:

- system na służyć celom badawczym, z ukierunkowaniem na symulacyjną weryfikację cech różnorodnych mechanizmów wymiany handlowej,
- używane modele i standardy komunikowania się modułów powinny stanowić dobry punkt wyjścia do ewentualnej komercjalizacji PBMA.

### 3.2. Aktorzy systemu i zasoby podlegające wymianie handlowej

Zakłada się, że użytkownikiem platformy jest twórca lub badacz właściwości mechanizmów wymiany handlowej, tj. algorytmów rozdziału zasobów oferowanych przez sprzedających, pomiędzy kupujących, wraz z ustaleniem ich ceny. W środowisku symulacyjnym badana jest interakcja mechanizmu z podmiotami rynkowymi, reprezentowanymi przez agentów programowych. Symulacje mają na celu weryfikację wyników teoretycznych oraz zbadanie zjawisk trudnych lub niepoddających się analizie teoretycznej. W szczególności jednym z możliwych wariantów użycia platformy jest oddelegowanie zadania ofertowania ludziom, a nie — agentom programowym.

Towarem podlegającym wymianie handlowej jest zasób: przepustowość w sieci. Platforma definiuje wzorzec projektowy dla środowiska aplikacyjnego symulującego zachowanie rynku. Platforma jednocześnie implementuje zrab każdej takiej aplikacji: jej części niewymienne (moduł zarządcy i interfejsu użytkownika, bazę danych) oraz przykładowe części wymienne (moduły alokacji zasobów i agentów użytkowników). Platforma umożliwia użytkownikowi realizację własnego modelu obrotu przepustowością. Zaimplementowane zostały dwa moduły przykładowe: BCBT (Balancing Communication Bandwidth Trade) [3] oraz EBAM (Effective Bandwidth Auction Mechanizm) [4]. Będą stanowić one punkt wyjścia dla dalszych badań.

Część definicji zadania alokacji zasobów, tj. topologia sieci i ograniczenia przechowywane są formie trwałej w formacie XML, w standardzie M3. Topologia sieci i ograniczenia są przechowywane w bazie danych. Stam-tąd, są pobierane przez moduł zarządzający, stanowiąc niezmienny i ogólnodostępny fragment konfiguracji za-dania.

### 3.3. Architektura PBMA

Platforma badawcza jest zrealizowana zgodnie z koncepcją systemu otwartego, tj. umożliwiającą łatwe prototy-powanie mechanizmów alokacji i strategii agentów. Struktura obliczeniowa jest tutaj wieloziarnista, złożona z federacji symulatorów, w naszym przypadku implementujących modele i mechanizmy handlu zasobami, po-wiązanych poprzez moduł zarządzający komunikacją i obliczeniami i postrzeganych przez ten moduł jako "czar-ne skrzynki". Podstawowa część systemu PBMA — wspólna dla wszystkich członków federacji platforma do wymiany, prezentacji i przechowywania danych – została zbudowana z pięciu elementów [1]:

1. Modułu zarządzającego obliczeniami i komunikacją pomiędzy poszczególnymi modułami systemu.
2. Bazy danych.

3. Prostej interfejsu użytkownika (GUI).
4. Interfejsu programistycznego odwzorowującego elementy modelu danych po stronie operatora aukcji (API operatora aukcji).
5. Interfejsu programistycznego odwzorowującego elementy modelu danych po stronie indywidualnych podmiotów rynkowych (API uczestnika aukcji).

Federacje symulatorów tworzą moduły wymienne:

- Moduły implementujące mechanizmy handlu zasobami (agent operatora aukcji).
- Moduły implementujące zachowania uczestników aukcji (agenci uczestników aukcji).

Poniżej opisano funkcjonalność pięciu typów modułów, składających się na działającą Platformę:

### 3.3.1. Agent operatora aukcji

Jest to moduł funkcjonalny realizujący procesy bilansowania w segmentach rynkowych, w tym optymalizację procesów ofertowych z wykorzystaniem solverów optymalizacyjnych gotowych (CPLEX, LPSolve) lub własnych. Moduł operatora aukcji musi implementować następujące operacje:

- *Rozpoczęcie aukcji.* Operacja wykonywana jednorazowo. Operację wywołuje zarządca informując organizatora aukcji o rozpoczęciu symulacji. Zarządca przekazuje organizatorowi informacje definiujące system, tj. schemat sieci, listę uczestników oraz listę zdefiniowanych przez nich zasobów, będących przedmiotem handlu. Dane te są zapisane w formacie XML. Jednym z proponowanych rozwiązań jest założenie, że struktura definicji systemu jest zgodna ze standardem M3 (części Networks, Entities i Commodities).
- *Alokacja zasobów.* Operacja wykonywana jednorazowo bądź wielorazowo, zależnie od typu mechanizmu aukcyjnego. Operację wywołuje zarządca, w celu przekazania operatorowi aukcji aktualnych ofert, a następnie otrzymania przydziału zasobów. Dane te są zapisane w formacie XML. Definiowanie oferty odbywa się w standardzie M3 (część Offers).
- *Zakończenie pracy.* Operacja wykonywana jednorazowo. Operację wywołuje zarządca informując operatora aukcji o zamiarze zakończeniu działania systemu.

### 3.3.2. Agent uczestnika aukcji

Jest to moduł implementujący zachowania uczestników aukcji. Podczas pojedynczej aukcji różne typy zachowań uczestników mogą być jednocześnie reprezentowane przez dołączone do zarządcy rozmaite agenty uczestników. Wynikiem działania modułu jest sformułowana i przekazana do zarządcy PBMA oferta indywidualnego uczestnika handlu. Może to być oferta kupna jak i sprzedaży.

Moduł-agent użytkownika implementuje następujące operacje:

- *Rozpoczęcie aukcji.* Operacja wykonywana jednorazowo. Operację wywołuje zarządca informując uczestnika o rozpoczęciu symulacji. Zarządca przekazuje uczestnikowi definicję systemu, analogicznie, jak w przypadku interakcji z modułem operatora aukcji. W zależności od rodzaju implementowanej strategii, agent może lub nie wykorzystywać informacje o ofertach innych niż swoja własna.
- *Przygotowanie oferty.* Operacja wykonywana co najmniej dwa razy przez zarządcę systemu. Zarządca przekazuje agentowi informację o aktualnym przydziale zasobów, jednocześnie żądając przygotowania kolejnej oferty na oferowane lub poszukiwane przez agenta zasoby. Dane te są zapisane w formacie XML.
- *Zakończenie pracy.* Operacja wykonywana jednorazowo. Operację wywołuje zarządca informując agenta o zamiarze zakończenia działania systemu.

### 3.3.3. Moduł zarządzający

Decentralizacja systemu wynika z podziału realizowanych przez niego zadań. Konsekwencją podziału jest konieczność zarządzania wieloma modułami w sposób spójny, gwarantujący synchronizację składania ofert. Moduł zarządzający zapewnia odpowiednie relacje i właściwe współdziałanie poszczególnych części systemu. W skład tego modułu wchodzi elementy zajmujące się:

- zarządzaniem procesami obliczeniowymi i synchronizacją zadań,
- zarządzaniem transferem danych między agentami,
- zarządzaniem wspólnymi zasobami i bieżącym wspomaganie procesu interakcji z użytkownikiem,

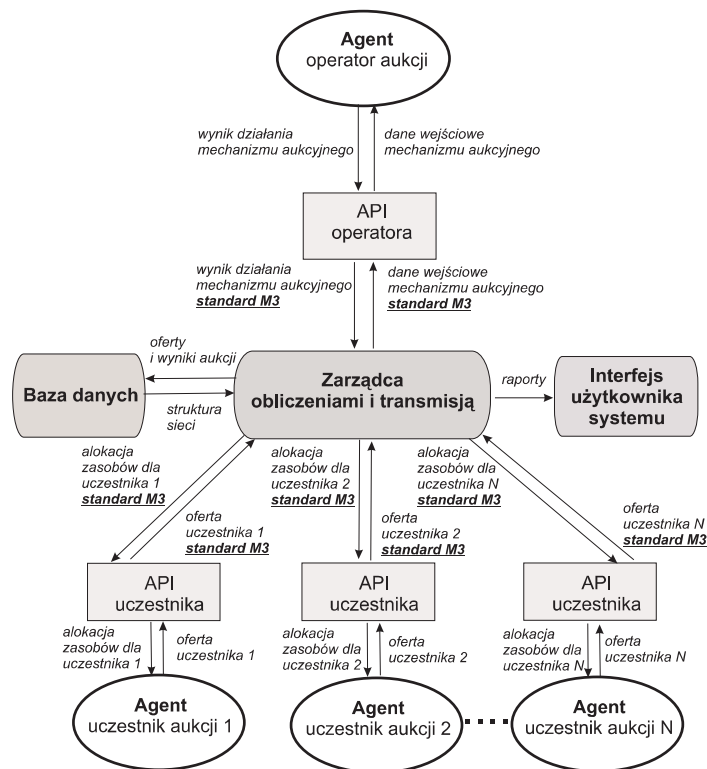
- pośredniczeniem w interakcji pozostałych modułów z bazą danych.

Centralna i pośrednicząca rola zarządcy oraz postulat otwartości systemu i możliwości przetwarzania rozproszonego implikują określony sposób wykonania poszczególnych modułów, a w szczególności modułu zarządcy. Rozproszenie systemu wymaga stosowania mechanizmów wywołań zdalnych, z zarządcą występującym w roli klienta dla wszystkich modułów peryferyjnych, z wyjątkiem interfejsu użytkownika. Z kolei taka jednoczesna interakcja wymusza konstrukcję modułu zarządcy intensywnie wykorzystującą wielowątkowość— nie dla osiągnięcia wydajności, lecz odpowiedniego poziomu niezawodności i elastyczności systemu.

### 3.3.4. Baza danych

Baza danych stanowi centralną składnicę danych konfiguracyjnych oraz wyników poszczególnych symulacji, służących późniejszej analizie. W obrębie systemu tylko moduł zarządcy ma bezpośredni dostęp do bazy danych, co nie wyklucza możliwości interakcji z bazą przez inne programy spoza systemu. W bazie danych są przechowywane:

- topologia sieci,
- definicja ról poszczególnych agentów-użytkowników systemu aukcyjnego,
- definicja zasobów będących w posiadaniu przez agentów,
- historia ofert składanych przez uczestników aukcji,
- scenariusze testów,
- wyniki obliczeń wybranego mechanizmu handlu (pośrednie i końcowe).



Rys. 3. Przepływy danych między modułami PBMA

### 3.3.5. Interfejs użytkownika systemu

Interfejs graficzny użytkownika umożliwia użytkownikowi zdefiniowanie scenariuszy testów, śledzenie (również krokowe) oraz prezentację wyników aukcji. Formuła prezentacji wyników (tabele, diagramy lub wykresy) w sposób możliwie najbardziej komunikatywny przedstawia wyniki aukcji:

- w ujęciu bieżącym – umożliwiający porównanie aktualnych ofert agentów i przydziałów zasobów,
- w ujęciu historycznym – umożliwiający porównanie ofert i przydziałów wybranego użytkownika w okresie czasu,

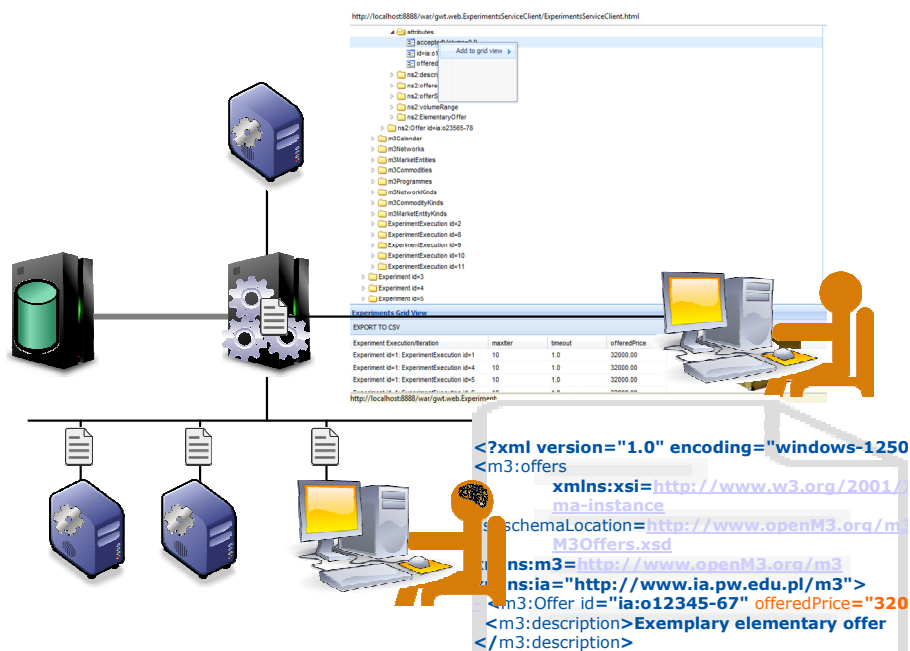
- w ujęciu syntetycznym – umożliwiający zestawienie najważniejszych wskaźników wyznaczonych dla wybranych scenariuszy symulacyjnych.

#### 3.4. Przepływ danych między modułami PBMA

Rysunek 3 ilustruje przepływ danych pomiędzy poszczególnymi modułami. Należy zauważyć, że centralna rola zarządcy nakłada nań szczególne obowiązki podczas inicjowania scenariusza symulacyjnego. Symulacja odbywa według następującego, zgrubnego schematu:

1. Zarządca nawiązuje komunikację z bazą danych, skąd odczytuje bieżącą konfigurację: topologię sieci, definicje użytkowników oraz oferowanych przez nich produktów, a ponadto scenariusz, według którego ma przebiegać symulacja.
2. Zarządca oczekuje na połączenie z pozostałymi modułami. Liczba i role agentów użytkowników są ściśle określone, choć każdy z nich może implementować różne strategie licytacji.
3. Zarządca informuje wszystkie moduły o rozpoczęciu aukcji.
4. Zarządca w sposób cykliczny wykonuje sekwencję wywołań operacji przygotowania ofert oraz alokacji zasobów, pośrednicząc w przekazywaniu ofert oraz wyników alokacji pomiędzy uczestnikami systemu a mechanizmem alokacji. Wyniki pośrednie są rejestrowane w bazie danych.
5. Na żądanie operatora aukcji, zarządca przerywa iteracje, informując strony o zakończeniu pracy.

Na każdym etapie działania zarządca udostępnia użytkownikowi interfejsu graficznego bieżące dane, w których wymianie pośredniczy. Użytkownik może ponadto zażądać wejścia w krokowy tryb pracy, aby móc w czasie rzeczywistym monitorować zachowanie użytkowników i systemu aukcyjnego.



Rys. 4. Przepływ komunikatów podczas wykonywania eksperymentu

System PBMA jest stworzony w technologii Java. Do obsługi przesyłania komunikatów między uczestnikami rynku wybrano mechanizm kolejek komunikatów opartych na JMS. Model komunikacji przedstawiono na rys. 4. Platforma przechowuje wszystkie dane dotyczące testów w formacie zgodnym z M3. Dane te udostępniane na zewnątrz (tj. modułom agentów i modułowi mechanizmu alokacji) w formacie XML. Pozostałe dane przekazywane są w obiektach będących parametrami wywołania odpowiednich procedur. W celu dalszej obróbki, struktury zawarte w plikach XML przetwarzane są w modułach przez DAO lub POJO. Do trwałego skojarzenia wybranych obiektów z relacyjną bazą danych wykorzystywana jest natomiast technologia Hibernate.

Moduł interfejsu użytkownika pełni funkcję centralnej konsoli, umożliwiającej koordynację przebiegu eksperymentów oraz analizę ich wyników. Moduł interfejsu użytkownika jest, podobnie jak pozostałe moduły, odseparowany od modułu zarządzającego. W architekturze założono możliwość korzystania z interfejsu za pomocą przeglądarki, zatem moduł interfejsu działa jako web service, dynamicznie generujący strony www. Ponadto, użytkownik korzysta z lokalnie uruchamianego, istniejącego oprogramowania narzędziowego oraz zwykłych

edytorów w celu stworzenia zestawów plików definiujących problem. Pliki te są transmitowane pomiędzy modulem interfejsu a maszyną lokalną.

Moduł zarządzający jest jednostką centralną w systemie i obowiązkowym pośrednikiem w wymianie na dwóch głównych kierunkach: pomiędzy agentami-użytkownikami i solwerem oraz pomiędzy modulem interfejsu użytkownika a bazą danych. Istnieją również inne kierunki przepływu informacji, związane m.in. z archiwizacją danych bieżących, monitorowaniem aktualnego stanu systemu, zarządzaniem konfiguracją systemu. Z punktu widzenia użytkownika istotne są w zasadzie interfejsy programistyczne wykorzystywane przez solwer i przez moduły agentów-użytkowników. Są one zdefiniowane w języku Java i działają jako namiastki przekazujące dane przez JMS do i z modułu zarządzającego.

#### 4. Kryteria porównawcze mechanizmów handlu zasobami transportowymi sieci

Teoria mechanizmów dostarcza nam pewnych zdefiniowanych własności mechanizmów. Są to własności pożądane – do ich spełnienia dąży każdy, poprawnie zaprojektowany mechanizm rynkowy. Można użyć tych własności jako pewnych kryteriów, które dostarczą nam informacji o „jakości” danego mechanizmu [1]. Projektant mechanizmu, posiadający wiedzę na temat danego rynku, czyli m.in. struktury podmiotowej, zasobów sieciowych oraz zasobów wytwórczych, w ramach której odbywa się handel, może określić najbardziej pożądane własności mechanizmu rynkowego. W systemie opartym o mechanizmy rynkowe ścierają się interesy indywidualne poszczególnych graczy oraz interesy globalne. Kryteria jakości rozwiązania definiujemy więc w takich dwóch kategoriach. Trzecią kategorią jest ocena mechanizmów z punktu widzenia ich sprawności technicznej.

##### 4.1. Kryteria globalne

###### 4.1.1. Efektywność ekonomiczna

Głównym miernikiem efektywności jest wielkość uzyskiwanego dobrobytu ekonomicznego zdefiniowana jako sumaryczne rzeczywiste korzyści ekonomiczne uzyskiwane z rynkowej wymiany dóbr. Jeżeli mechanizm rynkowy skłania uczestników do składania ofert zgodnych z profilem preferencji uczestnika, czyli odzwierciedlających rzeczywiste koszty lub użyteczność z zakupu towarów, to dobrobyt ekonomiczny może zostać wyznaczony dokładnie z wykorzystaniem cen ofertowych. Jeżeli oferty nie są zgodne z profilem preferencji uczestnika, to może zostać zastosowana miara niedokładna, tzw. korzyści ekonomiczne, będące różnicą sumarycznej wartości dóbr kupowanych i sumarycznej wartości dóbr sprzedawanych na rynku.

###### 4.1.2. Zgodność motywacji

Mechanizm jest zgodny motywacyjnie, jeśli najlepszą strategią dla każdego uczestnika jest zgłaszanie swojego profilu preferencji. Innymi słowy mechanizm jest zgodny motywacyjnie, jeśli dla żadnego uczestnika nie istnieją zachęty do oszukiwania. Mechanizm rynkowy jest zgodny motywacyjnie, jeżeli strategię uczestników polegającą na szczerym przekazywaniu prawdziwych danych o ich rzeczywistych preferencjach, są ich najlepszymi strategiami działania w zbiorze wszystkich strategii, czyli są punktami równowagi gry. Zgodny motywacyjnie mechanizm przeciwdziała działaniom strategicznym uczestników. Miarą dość dobrze oceniającą skuteczność mechanizmu w przeciwdziałaniu działaniom strategicznym uczestników może być tzw. nieefektywność alokacji.

###### 4.1.3. Bilans budżetowy

Bilans budżetowy jest zachowany, jeśli suma wpłat od nabywców jest równa sumie wypłat dla sprzedawców. Innymi słowy budżet jest zbilansowany, jeśli nie trzeba dopłacać do mechanizmu, ani gdy w wyniku działania mechanizmu nie pozostaje żadna nadwyżka.

###### 4.1.4. Występowanie siły rynkowej

Jeżeli część z podmiotów działających na rynku posiada siłę rynkową, to ma to znaczący wpływ na jakość rozliczenia, a co za tym idzie, na właściwości stosowanego mechanizmu. Podstawowym miernikiem siły rynkowej (koncentracji rynku) jest indeks HHI, który jest sumą kwadratów procentowych udziałów poszczególnych uczestników rynku.

###### 4.1.5. Pareto-efektywność

Efektywność Parety dla rezultatów mechanizmu, oznacza taki stan rynku, w którym nie można poprawić korzyści ekonomicznych dla pojedynczego uczestnika bez pogorszenia korzyści pozostałych uczestników. Innymi słowami, rezultaty nie są zdominowane w sensie Parety przez inne rezultaty. Omawiając pojęcie efektywności Parety bardzo przydatnym jest wyjaśnienie zjawiska alokacji zasobów. W gospodarce rynkowej przez alokację zasobów rozumiemy wykaz lub wyczerpujący opis tego, co kto robi oraz co kto dostaje. Zakres możliwości alokacyjnych zależy od stanu techniki i wielkości zasobów w gospodarce. Ostateczna wartość każdej alokacji zależy od gustów konsumenta, które decydują o tym, co ludzie otrzymują. Tak, więc dla danego zbioru gustów konsumentów, zasobów produkcyjnych i techniki alokacja jest efektywna w sensie Parety, jeśli niemożliwe jest przejście do innej alokacji, która polepszyłaby położenie niektórych ludzi bez szkody dla innych.



## 4.2. Kryteria indywidualne

### 4.2.1. Maksymalizacja indywidualnych korzyści ekonomicznych

Z punktu widzenia pojedynczego gracza, mechanizm rynkowy powinien umożliwiać uzyskiwanie jak najwyższych oczekiwanych wartości wyników wartościowych. Zapewnienie warunku zgodności motywacyjnej zapewnia jednocześnie maksymalizację indywidualnych korzyści ekonomicznych. Ze względu na uwarunkowania społeczne, często pojawia się oczekiwanie minimalizacji rynkowych cen towarów dla odbiorców towarów. Zwróćmy uwagę, że przy takim postawieniu problemu mechanizm rynkowy może ciągle zapewniać wytwórcom warunki, w których będą oni uzyskiwać maksymalne możliwe korzyści ekonomiczne w danych warunkach. Pomimo że, przy innej implementacji mechanizmu (np. dążącej do maksymalizacji rynkowych cen towarów) mogliby uzyskiwać większe korzyści. Użyteczne miary ilościowe powinny więc być definiowane przy założeniu pewnych poziomów lub hierarchii pozostałych kryteriów jakościowych, np. wyrażonych poprzez ograniczenia na otrzymywane wartości parametrów rynkowych.

### 4.2.2. Sprawiedliwość w sensie bezwzględny – indywidualna racjonalność

Mechanizm jest sprawiedliwy w sensie względnym bezwzględny, gdy żaden z graczy nie będzie ponosił strat indywidualnych rozumianych jako ujemne wartości indywidualnych korzyści ekonomicznych w wyniku działania mechanizmu.

### 4.2.3. Sprawiedliwość indywidualna w sensie względnym

Mechanizm jest sprawiedliwy w sensie względnym, gdy z perspektywy każdego uczestnika składającego ofertę kupna lub sprzedaży, żadna z ofert konkurentów nie jest faworyzowana w stosunku do jego oferty. W ramach tego pojęcia mieszczą się bardziej szczegółowe kryteria:

- Kryterium anonimowości: Gracze pozostają anonimowi, jeżeli przenieście graczy nie wpływa na uzyskiwane rozwiązanie.
- Kryterium symetrii: Dwaj gracze o takich samych parametrach liczbowych, znajdujący się w takiej samej sytuacji rynkowej (takie same funkcje użyteczności) i fizycznej (takie same lub symetryczne fizyczne możliwości wyprowadzenia mocy i dostawy w inne miejsca sieci) powinni uzyskiwać takie same wyniki indywidualne;
- Kryterium równości cen: Mechanizm jest sprawiedliwy w sensie równości cen, gdy każdy z uczestników płaci/otrzymuje za ten sam towar taką samą cenę jednostkową.

## 4.3. Kryteria techniczne i niezawodnościowe

Bardzo ważnym kryterium oceny jakości mechanizmu handlowego jest możliwość jego praktycznej technicznej implementacji. Implementacja modelu rynkowego jest uzależniona od złożoności obliczeniowej modelu, oraz od jego niezawodności z punktu widzenia systemowego. Przykładowe miary w tym zakresie są następujące:

- czas pojedynczego bilansowania rynku;
- czas całkowitego bilansowania rynku (dla mechanizmów iteracyjnych);
- liczba wymienionych komunikatów (sumarycznie, średnio na uczestnika handlu);
- liczba utraconych komunikatów (nie uwzględnionych w bilansowaniu rynku).

## 5. Podsumowanie

Platforma Badawcza Mechanizmów Aukcyjnych w swoim obecnym kształcie powinna być traktowana jako narzędzie pracy grupowej wspierające projektowanie i symulacyjną weryfikację własności mechanizmów przydziału zasobów. Elastyczność kryteriów selekcji i porównywania bardzo różnych eksperymentów uzyskano kosztem ergonomii interfejsu graficznego i prostoty zapisu problemów. Dalszy rozwój PBMA w sposób naturalny obejmuje implementację agentów obsługiwanych bezpośrednio przez użytkowników rynku. W scenariuszu badawczym użytkownicy ci (np. grupa studentów) rozgrywaliby pewną grę społeczną, konfrontując swoje strategie.

W dalszej perspektywie można rozważać komercjalizację PBMA – uczynienie z niej systemu odpowiedzialnego za rzeczywistą wymianę towarową. Taki scenariusz wymagałby wprowadzenia szeregu nowych cech PBMA: ochrony poufności danych, skalowalności, bezpiecznego repozytorium wyników, działania w ścisłych rygorach czasowych. Należy zauważyć, że obecna architektura i rozmyślnie przyjęte w PBMA rozwiązania technologiczne stanowią dobry fundament do takiego właśnie jej rozwoju.

## Bibliografia

- [1] Lubacz J., Toczyłowski E., Malinowski K.: *Projekt „Usługi i sieci teleinformatyczne następnej generacji – aspekty techniczne, aplikacyjne i rynkowe”*, Grupa Tematyczna GT-10, Raport z realizacji zadań w 200 r., Warszawa, 2009.
- [2] [www.openm3.org](http://www.openm3.org)
- [3] Pałka P., Kołtyś K., Toczyłowski E., Żółtowska I.: *Model for Balancing Aggregated Communication and-width Resources*. J. Telecommunications and Information Technology, 2009, 3:43-49.
- [4] Karpowicz M., Malinowski K.: *Network Flow Optimization with Rational Agents*. Raport wewnętrzny NASK, 2009.

## Życiorysy autorów

Dr inż. Mariusz Kamola – Absolwent Wydziału Elektroniki i Technik Informatycznych PW. W r. 2004 uzyskał stopień doktora w specjalności automatyka, na tymże wydziale. Obecnie zatrudniony w NASK oraz w Instytucie Automatyki i Informatyki Stosowanej PW na stanowisku adiunkta. Od r. 2008 jest członkiem Rady Naukowej NASK i zastępcą kierownika pracowni Sterowania Siecią. Uczestniczył w 4 zewnętrznych projektach badawczych, obecnie kieruje ze strony NASK projektem ECONET (7FP). Jest autorem ponad 20 publikacji. Zainteresowania naukowe dotyczą: energooszczędnych sieci komputerowych, sieci społecznych, inżynierii ruchu i zapewnienia jakości w sieciach teletransmisyjnych.

Dr hab. inż. Ewa Niewiadomska-Szynkiewicz jest absolwentką Wydziału Elektroniki PW. Od 1988 r. pracuje w Instytucie Automatyki i Informatyki Stosowanej (IAiIS, dawniej Instytut Automatyki) PW, gdzie kolejno uzyskała stopnie doktora (1995) i doktora habilitowanego (2005). Kierowała i była wykonawcą licznych krajowych i międzynarodowych projektów naukowo-badawczych. Obecnie pracuje na stanowisku profesora nadzwyczajnego w IAiIS PW i kieruje zespołem Złożonych Systemów. Od 2001 roku pracuje w NASK; w latach 2006–2009 kierowała zespołem Metod Inżynierii Ruchu i Badań Symulacyjnych Sieci, od 2009 roku kieruje pracownią Sterowania Siecią. Od 2002 roku była członkiem Rady Naukowej NASK, w latach 2008–2009 jej wiceprzewodniczącą. Od 1 września 2009 pełni funkcję Zastępcy Dyrektora NASK – Dyrektora ds. Naukowych NASK. Zainteresowania zawodowe: zagadnienia modelowania, optymalizacji i sterowania złożonymi systemami, w tym systemami sieci teleinformatycznych i sieciami ad hoc, środowiska oprogramowania do analizy i wspomagania procesów decyzyjnych oraz obliczeń równoległych i rozproszonych. Jest współautorką dwóch monografii, podredaktorką multimedialnego oraz ponad 120 artykułów i opublikowanych referatów na konferencje.

Prof. dr hab. inż. Krzysztof Malinowski jest absolwentem Wydziału Elektroniki PW. Od 1974 r. pracuje w IAiIS PW, gdzie kolejno uzyskał stopnie doktora (1974) i doktora habilitowanego (1978) oraz tytuł naukowy profesora nadzwyczajnego (1989). W 1994 roku został mianowany na stanowisko profesora zwyczajnego. W latach 1980–1984 pełnił funkcję zastępcy dyrektora Instytutu ds. Nauczania, a następnie zastępcy dyrektora ds. Nauki Instytutu Automatyki PW. W latach 1984–1996 był dyrektorem IAiIS. Obecnie kieruje Zakładem Sterowania Systemów. Był członkiem Senatu PW (1993–1996, 1999–2001) oraz przewodniczącym Senackiej Komisji ds. Kadr. Był dziekanem Wydziału Elektroniki i Technik Informatycznych oraz przewodniczącym Senackiej Komisji ds. Nauki (1996–1999). W latach 1999–2001 był dyrektorem Centrum Naukowego Automatyki i Techniki Informatyczno-Decyzyjnych Politechniki Warszawskiej (CATID). Od 2001 roku pracuje w NASK i Akademickiej Sieci Komputerowej (NASK), obecnie na stanowisku profesora. Jest członkiem Rady Naukowej NASK. W latach 2001–2009 był Dyrektorem ds. Naukowych NASK. Jest członkiem korespondentem Polskiej Akademii Nauk (od 1998 roku) i przewodniczącym Komitetu Automatyki i Robotyki PAN, członkiem Rady Naukowej Instytutu Badań Systemowych PAN oraz Rady Naukowej Przemysłowego Instytutu Automatyki i Pomiarów. W latach 1982–2000 był stałym konsultantem Decision Technologies Group w University of Manchester Institute of Science and Technology (Wielka Brytania). Kierował i był wykonawcą licznych krajowych i międzynarodowych projektów naukowo-badawczych. Zainteresowania badawcze: sterowanie systemami i podejmowanie decyzji w warunkach niepewności, teoria i metody optymalizacji, zwłaszcza metody hierarchiczne z dekompozycją i koordynacją, a także obliczenia równoległych. Zastosowania tych metod obejmują sterowanie i zarządzanie złożonymi obiektami oraz systemami technicznymi, teleinformatycznymi i środowiskowymi, a także wspomaganie decyzji dotyczących ustalania wielkości cen i innych czynników w działaniach marketingowych. Jest autorem lub współautorem 3 monografii, 1 monografii multimedialnej oraz ponad 150 artykułów i opublikowanych referatów na konferencje.

Mgr inż. Wojciech Stańczuk otrzymał tytuł magistra inżyniera w dziedzinie telekomunikacji na PW w 2001 roku. Obecnie jest doktorantem i pracownikiem naukowym w Instytucie Telekomunikacji PW. Jego zainteresowania naukowe skupiają się na modelowaniu techniczno-ekonomicznych aspektów funkcjonowania sieci telekomunikacyjnych, m.in. alokacji i wyceny współdzielonych zasobów oraz inwestycji infrastrukturalnych.