

dr Jerzy Rydlewski
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

AUTOREFERAT

Załącznik nr 3 do wniosku o wszczęcie postępowania habilitacyjnego

Kraków, 2025

Spis treści

1. Imię i nazwisko	3
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.....	3
3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych	4
4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.).....	4
4.1. Omówienie osiągnięcia głównego	4
I. Wprowadzenie i kontekst badań	4
II. Cele i hipotezy badawcze	6
III. Metody badawcze i ramy teoretyczne	8
IV. Struktura i treść monografii	11
V. Wyniki i wnioski	18
VI. Znaczenie i wkład w rozwój dyscypliny ekonomia i finanse	20
4.2. Omówienie osiągnięcia dodatkowego	24
I. Omówienie wkładu własnego	24
II. Znaczenie i wkład w rozwój dyscypliny ekonomia i finanse.....	37
5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.....	40
6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę	41
7. Inne informacje dotyczące mojej kariery zawodowej.....	43

AUTOREFERAT

1. Imię i nazwisko

Jerzy Rydlewski

ORCID: 0000-0002-2071-0646

Scopus ID: 55556424200

Web of Science Researcher ID: ABH-7359-2020

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

Uzyskałem tytuł zawodowy magistra matematyki w Instytucie Matematyki Wydziału Matematyki i Informatyki Uniwersytetu Jagiellońskiego w 2005 r., broniąc pracy pt. „Lokalnie najmocniejsze testy rangowe”. Studia ukończyłem z wynikiem bardzo dobrym. Rok później, w 2006 r., ukończyłem uzupełniające studia magisterskie na Wydziale Studiów Międzynarodowych i Politycznych Uniwersytetu Jagiellońskiego, uzyskując tytuł zawodowy magistra europeistyki na podstawie pracy „Czystość szeregów czasowych a wiarygodność danych uzyskiwanych z modelu służącego do szacowania ryzyka kredytowego”. Studia te ukończyłem z wynikiem bardzo dobrym.

Stopień doktora nauk matematycznych w zakresie matematyki uzyskałem w 2010 r. w Instytucie Matematyki Uniwersytetu Jagiellońskiego na podstawie rozprawy pt. „Estymatory największej wiarygodności w uogólnionych modelach regresji nieliniowej”, obronionej 3 grudnia 2010 r. Rada Wydziału Matematyki i Informatyki UJ nadała mi stopień doktora nauk matematycznych dnia 16 grudnia 2010 r.

Promotor w przewodzie doktorskim:

dr hab. Antoni Leon Dawidowicz, profesor Uniwersytetu Jagiellońskiego

Recenzenci w przewodzie doktorskim:

dr hab. Wojciech Niemirow, profesor Uniwersytetu Warszawskiego

dr hab. Zbigniew Szkutnik, profesor Akademii Górniczo-Hutniczej

Po uzyskaniu stopnia doktora kontynuowałem działalność naukową i dydaktyczną, łącząc zainteresowania z zakresu matematyki stosowanej, statystyki matematycznej oraz ekonomii

ilościowej. Od 2014 r. moje badania koncentrują się na zastosowaniach metod statystyki nieparametrycznej oraz funkcjonalnej analizy danych w ekonomii i finansach. W szczególności dotyczą one zastosowania głębi danych (ang. *data depth*), odpornej klasyfikacji funkcjonalnej i analizy przyczynowej w duchu modelu przyczynowego Rubina.

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych

Zostałem zatrudniony od dnia 1 października 2006 r. na stanowisku asystenta w Katedrze Równań Różniczkowych na Wydziale Matematyki Stosowanej Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie.

Następnie, od dnia lipca 2019 r. zostałem zatrudniony na stanowisku adiunkta badawczo-dydaktycznego na pełny wymiar czasu godzin w Katedrze Matematyki Finansowej na Wydziale Matematyki Stosowanej Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie.

Ze względu na zmianę nazwy Katedry, a mianowicie Katedra Matematyki Finansowej zmieniła nazwę na Katedrę Statystyki Matematycznej, Analizy Danych i Matematyki Finansowej, od dnia 11 lutego 2025 r., obecnie zatrudniony jestem na stanowisku adiunkta badawczo-dydaktycznego na pełny wymiar czasu godzin w Katedrze Statystyki Matematycznej, Analizy Danych i Matematyki Finansowej na Wydziale Matematyki Stosowanej Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie.

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.)

4.1. Omówienie osiągnięcia głównego

OSIĄGNIĘCIE GŁÓWNE:

Monografia naukowa

„Wybrane zastosowania metod funkcjonalnej analizy danych w ekonomii”

I. Wprowadzenie i kontekst badań

Celem podjętych badań było opracowanie ram metodologicznych umożliwiających zastosowanie narzędzi funkcjonalnej analizy danych (ang. *Functional Data Analysis*, FDA)

w badaniach ekonomicznych, w szczególności w analizie procesów charakteryzujących się zmiennością w czasie oraz w przestrzeni. Współczesne zjawiska gospodarcze generują ogromne wolumeny danych, które coraz częściej mają charakter ciągły – opisują ewolucję wartości w sposób nie tyle punktowy, lecz przebiegowy. W klasycznej ekonometrii dominują modele, w których obserwacje traktuje się jako zbiory wartości dyskretnych, co ogranicza możliwość uchwycenia dynamiki i kształtu procesów.

Zasadniczym problemem badawczym, stanowiącym punkt wyjścia monografii, było pytanie, w jaki sposób można przekształcić obserwacje ekonomiczne w obiekty funkcjonalne oraz jaką wartość poznawczą wnosi takie ujęcie. Przyjąłem założenie, że dane ekonomiczne można traktować jako funkcje ciągłe, które opisują rozwój danego zjawiska w czasie, przestrzeni lub w innych wymiarach. Pozwala to analizować nie tylko wartości punktowe zmiennych, lecz także kształt i strukturę trajektorii, co stanowi nową jakość w modelowaniu procesów gospodarczych.

Wybór analizy funkcjonalnej jako głównego narzędzia wynikał z przekonania, że ekonomia, podobnie jak nauki przyrodnicze, coraz częściej wymaga opisu zjawisk o charakterze procesowym. Włączenie FDA do aparatu metodologicznego ekonomii otwiera możliwość badania rytmów, cykliczności i lokalnych fluktuacji procesów, które w klasycznych modelach ekonometrycznych pozostają ukryte. Ponadto umożliwia badanie dużych zbiorów danych (ang. Big data), które można w naturalny sposób przekształcić do postaci funkcjonalnej.

W kontekście współczesnych badań empirycznych w ekonomii istotnym wyzwaniem jest również problem odporności metod statystycznych na zakłócenia i obserwacje nietypowe. Dane gospodarcze często obciążone są błędami pomiaru, niestabilnością obserwacji lub efektami jednorazowych zdarzeń, co może prowadzić do zniekształceń wnioskowania. Monografia podejmuje próbę przezwyciężenia tych ograniczeń poprzez zastosowanie pojęcia głębi (ang. *depth*), które umożliwia uporządkowanie obserwacji w przestrzeniach wielowymiarowych albo w przestrzeniach funkcji według ich centralności i tym samym zapewnia większą odporność analiz.

Opracowana koncepcja łączy perspektywę matematyczno-statystyczną z ekonomiczną interpretacją wyników. Wprowadzenie głębi danych funkcjonalnych pozwala nie tylko klasyfikować i wizualizować dane w sposób odporny, ale również oceniać relacje przyczynowe między procesami ekonomicznymi. Wskazano, że w ekonomii empirycznej zjawiska rzadko są od siebie niezależne, a więc szczególnie potrzebne jest narzędzie umożliwiające badanie zależności przyczynowych w sposób odporny na zakłócenia.

Monografia sytuuje się w nurcie prowadzonych na gruncie ekonomii i finansów badań nad integracją analizy danych funkcjonalnych, statystyki odpornej i teorii przyczynowości w sensie Rubina. Jej celem jest wykazanie, że połączenie tych trzech podejść tworzy spójną i użyteczną ramę teoretyczną dla ekonomii empirycznej, pozwalającą na modelowanie procesów o złożonej strukturze dynamicznej.

W efekcie, opracowana metodologia stanowi krok w kierunku rozwinięcia nowego paradygmatu analizy ekonomicznej, w której obiektem analizy nie są już pojedyncze obserwacje, lecz funkcje opisujące przebieg zjawisk gospodarczych w czasie.

II. Cele i hipotezy badawcze

Celem głównym monografii „*Wybrane zastosowania metod funkcjonalnej analizy danych w ekonomii*” było opracowanie i usystematyzowanie metodologicznych podstaw wykorzystania narzędzi funkcjonalnej analizy danych (ang. *Functional Data Analysis*, FDA) w badaniach ekonomicznych, w szczególności w kontekście odporności wnioskowania statystycznego i interpretowalności ekonomicznej wyników. Kolejnym celem była analiza zależności przyczynowych w procesach gospodarczych opisywanych w kategoriach wielowymiarowych bądź funkcjonalnych.

Punktem wyjścia była obserwacja, że wiele współczesnych zjawisk ekonomicznych i powiązanych z nimi zjawisk środowiskowych – takich jak zmiany cen energii, natężenie zanieczyszczeń, zmienność wskaźników finansowych czy kształt cykli koniunkturalnych – ma charakter ciągły – można je opisać funkcjami zmieniającymi się w czasie lub przestrzeni. Klasyczne modele ekonometryczne, oparte na dyskretnych obserwacjach, nie są w stanie w pełni uchwycić ich struktury ani dynamiki. Funkcjonalna analiza danych umożliwia natomiast opis tych zjawisk jako obiektów w przestrzeniach Hilberta, co pozwala badać nie tylko wartości punktowe zmiennych, lecz również kształt, amplitudę i trajektorie procesów ekonomicznych.

Celem naukowym pracy było zbudowanie spójnych ram metodologicznych, które pozwolą:

1. przekształcać dane ekonomiczne w postać funkcji zdefiniowanych na przestrzeni Hilberta,
2. wyprowadzać z takich obiektów miary centralności i rozrzutu (głębie danych funkcjonalnych), oraz inne dające się interpretować charakterystyki rozkładów wielowymiarowych albo funkcyjnych
3. oraz umożliwiać interpretację zależności przyczynowych między wielowymiarowymi procesami ekonomicznymi dzięki zastosowaniu języka oferowanego przez koncepcję głębi danych.

W tym kontekście szczegółowe cele badawcze obejmowały:

1. rozwinięcie teoretycznych podstaw zastosowania głębi danych w przestrzeniach funkcjonalnych oraz opis ich własności statystycznych,
2. zdefiniowanie i uzasadnienie użyteczności funkcjonalnych danych ekonomicznych w analizie procesów, w których zmienne mają charakter ciągły w czasie lub przestrzeni,
3. dostosowanie narzędzi głębi funkcjonalnej (m.in. różne rodzaje głębi statystycznej, outlierogram, funkcjonalny wykres pudełkowy) do danych ekonomicznych,
4. przedstawienie metod głębi danych (statystycznej i funkcjonalnej) jako narzędzia opisu i porządkowania danych ekonomicznych, co pozwala badać struktury złożone i wielowymiarowe,
5. pokazanie, że metody oparte na głębi danych zapewniają odporność wnioskowania (ang. *qualitative robustness*) i mogą być wykorzystywane w analizach ekonomicznych,
6. empiryczna ilustracja użyteczności podejścia funkcjonalnego w analizie wybranych procesów gospodarczych i środowiskowych,
7. zastosowanie wybranych metod FDA do analizy jakości powietrza i jej wpływu na dobrobyt społeczny,
8. zbadanie związku między jakością powietrza a dobrobytem społecznym w Krakowie,
9. opracowanie formalnego ujęcia przyczynowości w sensie Rubina w kontekście danych wielowymiarowych oraz funkcjonalnych,
10. ocena siły związku przyczynowego między zmiennymi ekonomicznymi poprzez analizę wybranych charakterystyk rozkładów warunkowych w przestrzeni funkcjonalnej.

Monografia ma charakter metodologiczno-analityczny: z jednej strony buduje teoretyczne podstawy integracji analizy funkcjonalnej i statystyki odpornej, z drugiej – proponuje interpretację przyczynowości ekonomicznej w języku statystycznej głębi danych, co pozwala w sposób jakościowy ocenić siłę i kierunek zależności między badanymi procesami.

W ramach pracy, z opisanych powyżej założeń wynikały sformułowane i następnie zweryfikowane, następujące hipotezy badawcze:

H1. Dane opisujące procesy ekonomiczne i środowiskowe mogą być skutecznie reprezentowane jako obiekty funkcjonalne, co umożliwia zastosowanie metod analizy funkcjonalnej w badaniach empirycznych. Pozwala to uchwycić ich dynamikę i kształt w sposób niemożliwy do osiągnięcia klasycznymi metodami.

H2. Miary centralności oparte na głębi danych funkcjonalnych pozwalają na definiowanie statystyk odpornych na obserwacje odstające oraz na uporządkowanie danych w przestrzeniach funkcji w sposób stabilny i interpretowalny ekonomicznie.

H3. Analiza głębi może ujawnić strukturalne błędy pomiarowe i anomalie ekonomiczne, których nie identyfikuje klasyczna statystyka.

H4. Włączenie danych funkcjonalnych do analizy dobrobytu społecznego pozwala na dokładniejsze szacowanie kosztów zewnętrznych zanieczyszczenia powietrza oraz lepsze odwzorowanie przestrzenno-czasowej dynamiki jakości środowiska.

H5. Zastosowanie podejścia odpornego i funkcjonalnego umożliwia jakościowo stabilne wnioskowanie o zależnościach między procesami ekonomicznymi. Umożliwia to wnioskowanie nawet przy obecności zakłóceń i niepełnych informacji.

H6. Zależności przyczynowe między procesami ekonomicznymi mogą być interpretowane w języku opisanym przez głębie, co stanowi uogólnienie klasycznego modelu przyczynowości Rubina na dane funkcjonalne. Bardziej precyzyjnie, różnice między rozkładami warunkowymi $A|B$ (tzn. A pod warunkiem B) oraz $A|\sim B$ (tzn. A pod warunkiem nie zachodzi B), mierzone przy pomocy statystycznej głębi danych, pozwalają zdefiniować miarę siły zależności przyczynowej w sensie Rubina dla zmiennych wielowymiarowych albo funkcjonalnych, co pozwala analizować relacje ekonomiczne w sposób odporny i nieliniowy.

H7. Integracja metod analizy funkcjonalnej, statystyki odpornej i przyczynowości w sensie Rubina prowadzi do wyodrębnienia nowego paradygmatu badawczego w ekonomii empirycznej, której celem jest opis procesów gospodarczych poprzez analizę kształtów i trajektorii ich przebiegów.

Realizacja tych celów i weryfikacja powyższych hipotez wymagała połączenia metod analizy matematycznej, statystyki odpornej i modelowania ekonometrycznego, a także przeprowadzenia szerokich badań empirycznych opartych na danych rzeczywistych.

Weryfikacja tych hipotez została przeprowadzona w oparciu o dane rzeczywiste, a uzyskane wyniki potwierdziły, że zastosowanie podejścia funkcjonalnego i odpornego umożliwia bardziej precyzyjny opis i interpretację procesów ekonomicznych o charakterze dynamicznym.

III. Metody badawcze i ramy teoretyczne

Podstawą metodologiczną monografii jest zastosowanie metod funkcjonalnej analizy danych (ang. *Functional Data Analysis*, FDA) w ekonomii empirycznej. Podejście to zakłada, że dane obserwowane w czasie lub przestrzeni można traktować jako realizacje funkcji należących

do przestrzeni funkcyjnych, czyli obiektów nieskończenie-wymiarowych. Zwykle zakłada się, że pochodzą z pewnej rzeczywistej, ośrodkowej przestrzeni Banacha bądź Hilberta. Taki zestaw założeń może wydawać się mało realistyczny, ale jest on konieczny. Założenie ośrodkowości jest istotne, ponieważ zapewnia, że liniowa kombinacja elementów losowych jest także elementem losowym. Najwygodniej jest przyjąć, że dane pochodzą z przestrzeni Hilberta $L^2([0,T])$, wyposażonej w iloczyn skalarny, a stąd i normę. Taka reprezentacja umożliwia analizę pełnych trajektorii procesów gospodarczych, a nie tylko pojedynczych wartości punktowych.

Wybór tego podejścia był podyktowany potrzebą uchwycenia złożonych zjawisk ekonomicznych, w których istotne są nie tylko poziomy zmiennych, lecz także tempo zmian, kształt przebiegu oraz występowanie lokalnych ekstremów. Reprezentacja funkcjonalna umożliwia porównywanie procesów w sposób niejako geometryczny.

W ramach tej struktury pojęcie koncepcji głębi statystycznej (ang. *statistical depth*) odgrywa kluczową rolę. Jest to bowiem narzędzie pozwalające uporządkować obserwacje w przestrzeniach wielowymiarowych i funkcjonalnych. Pozwala zdefiniować obiekt „centralny”, a także rozważać stopień reprezentatywności względem całego zbioru danych. W przypadku danych funkcjonalnych głębia umożliwia określenie, które trajektorie są typowe (centralne), a które - nietypowe lub odstające. W monografii omówiono i przeanalizowano różne rodzaje głębi, rozpoczynając od głębi wielowymiarowej, a kończąc na głębi funkcjonalnej. Przy czym oprócz głębi, czyli głębi globalnej, rozpatrywano także głębię lokalną. Wskazano własności formalne oczekiwane dla tych obiektów statystycznych, w tym niezmienniczość, monotoniczność, maksymalność w środku rozkładu i własność zanikania w nieskończoności.

Analizowanie pojęcia głębi statystycznej dla danych funkcjonalnych w ekonomii ma dwójaki charakter:

(1) **matematyczno-statystyczny** – umożliwia definiowanie statystyk odpornych, takich jak mediany funkcjonalne czy miary rozrzutu w przestrzeniach wielowymiarowych oraz funkcyjnych,

(2) **ekonomiczny** – pozwala na interpretację centralności w sensie „typowości zachowania” danego procesu gospodarczo-financego, co ma znaczenie, między innymi, w analizie cykli, trendów i anomalii.

Drugim kluczowym elementem ram teoretycznych jest wykorzystanie koncepcji odporności, rozumianej zarówno w sensie klasycznym (odporność na obserwacje odstające),

jak i jakościowym (ang. *qualitative robustness*). Wskazano, że w kontekście danych ekonomicznych odporność jakościowa jest pojęciem bardziej adekwatnym, gdyż opisuje stabilność wyników wnioskowania wobec niewielkich zmian w rozkładzie danych. W pracy wykazano, że procedury oparte na głębiach danych umożliwiają zachowanie odporności jakościowej.

Kolejnym fundamentem teoretycznym monografii jest adaptacja modelu przyczynowości Rubina do analizy danych funkcjonalnych.

Rubin zakłada, że twierdzenia oparte na zasadzie przyczynowości można wyprowadzić tylko wtedy, gdy zostanie rozważony następujący scenariusz. Co by się hipotetycznie stało, gdyby badany obiekt doświadczył działania innego niż w rzeczywistości. Nie jest to założenie trudne do sprawdzenia w przypadku wielu nauk eksperymentalnych. Inaczej ma się rzecz w przypadku ekonomii. Wykazano, że ten model można uogólnić na przestrzenie funkcjonalne, definiując przyczynowość jako różnicę między rozkładami warunkowymi $A|B$ i $A|\sim B$, analizowanymi w przestrzeni głębi danych. Takie podejście umożliwia ocenę siły związku przyczynowego z wykorzystaniem miar centralności i odległości funkcjonalnych.

W pracy zaproponowano formalne powiązanie między pojęciem przyczynowości a koncepcją odporności – obie te własności wynikają z geometrycznych relacji w przestrzeniach funkcjonalnych. Miary głębi mogą służyć zarówno do opisu struktury danych (co ma znaczenie dla odporności), jak i do porównywania rozkładów w celu oceny efektów przyczynowych (co ma znaczenie dla analizy wpływu).

Metodologia zaprezentowana w monografii ma charakter zintegrowany: łączy elementy analizy funkcjonalnej, teorii statystyki odpornej i ekonomii empirycznej. W efekcie tworzy spójne ramy teoretyczne, w których:

- obiekty ekonomiczne są reprezentowane jako funkcje,
- ich typowość i struktura są opisywane przez statystyczną głębię zastosowaną do posiadanych danych,
- stabilność wnioskowania zapewnia odporność jakościową,
- a interpretacja związków między procesami gospodarczo-finansowymi opiera się na koncepcji przyczynowości w przestrzeniach funkcjonalnych.

Taka integracja pozwala rozszerzyć zakres analiz ekonomicznych o zjawiska dotąd trudne do formalnego uchwycenia – niestabilne procesy rynkowe, zmiany strukturalne, lokalne anomalie czy wpływy przyczynowe obserwowane dla danych ciągłych.

IV. Struktura i treść monografii

Monografia „Wybrane zastosowania metod funkcjonalnej analizy danych w ekonomii” składa się z siedmiu rozdziałów, które tworzą logiczną całość, przechodząc od ogólnych podstaw teoretycznych do prezentacji konkretnych zastosowań empirycznych. Struktura pracy została zaprojektowana tak, aby czytelnik mógł prześledzić proces budowy nowego podejścia badawczego – od założeń metodologicznych, przez konstrukcję narzędzi, aż po ich wykorzystanie w analizie rzeczywistych zjawisk ekonomicznych i środowiskowych.

Rozdział 1. Wstęp

Rozdział wprowadzający przedstawia motywację podjęcia tematu oraz umiejscawia problem badawczy w szerszym kontekście współczesnej ekonomii empirycznej. Wskazano, że dynamiczny rozwój technologii informacyjnych prowadzi do powstawania dużych zbiorów danych (ang. *big data*), w których istotna staje się nie tylko informacja o poziomie zmiennych, lecz także o kształcie ich zmian w czasie i przestrzeni. Dane te mogą mieć charakter funkcjonalny – stanowią je wtedy ciągłe krzywe, trajektorie lub profile procesów gospodarczych.

W tym rozdziale zdefiniowano **zasadniczy problem badawczy monografii: jak formalnie i operacyjnie zastosować metody funkcjonalnej analizy danych w ekonomii, tak aby umożliwić zarówno poprawne wnioskowanie statystyczne, jak i ekonomiczną interpretację wyników**. Podkreślono również, że klasyczne narzędzia ekonometrii są niewystarczające w analizie procesów ciągłych oraz w obecności obserwacji nietypowych, co uzasadnia potrzebę włączenia do badań ekonomicznych pojęć takich jak głębina danych czy odporność jakościowa.

Rozdział 2. Dane funkcjonalne

W drugim rozdziale omówiono matematyczne podstawy podejścia funkcjonalnego. Przedstawiono formalny opis danych jako funkcji należących do odpowiednich przestrzeni Hilberta. Zwykle jest to $L^2([0,T])$ – przestrzeń funkcji całkowalnych z kwadratem na pewnym odcinku, z naturalnie zadaniem iloczynem skalarnym. Pozwala to rozpatrywać metrykę opisującą geometryczne odległości między funkcjami w tej przestrzeni.

Rozdział ten wprowadza kluczowe pojęcia niezbędne do dalszych rozważań: pojęcie baz funkcjonalnych (np. baza Fouriera i baza złożona ze składek funkcji), momenty empiryczne, a także sposób konstruowania funkcji – czyli przejście od danych dyskretnych

do funkcjonalnych. Wskazuje, w jaki sposób wybrać bazę odpowiednią dla badanego problemu. Ponadto opisuje czym są i jakie mają znaczenie funkcjonalne składowe główne (ang. *functional principal components*). Zaakcentowano, że funkcjonalna analiza danych nie jest wyłącznie metodą obliczeniową, lecz stanowi spójną strukturę teoretyczną, która umożliwia opis i modelowanie procesów ekonomicznych w sposób uwzględniający charakter procesów lepiej niż klasyczna ekonometria.

Rozdział 3. Zastosowanie koncepcji głębi statystycznej w funkcjonalnej analizie danych

Trzeci rozdział stanowi teoretyczny rdzeń monografii. Szczegółowo omówiono pojęcie głębi statystycznej – zarówno w aspekcie matematycznym, jak i interpretacyjnym. Podano za Zuo i Serflingiem (2000) postulaty, których spełnianie powinno definiować głębię wielowymiarową. Piszę powinno, gdyż dyskusja odnosząca się do tego zestawu nie została jak dotąd rozstrzygnięta. Zdefiniowano empiryczną funkcję głębi oraz opisano obszar α -centralny.

Podano przykładowe, znane z literatury funkcje głębi: głębię Tukeya, euklidesową, symplecjonalną i projekcyjną, ważoną głębię L^p . Następnie podano przykłady głębi funkcjonalnych: głębię pasma (ang. *band depth*, BD), zmodyfikowaną głębię pasma (ang. *modified band depth*, MBD), uogólnioną głębię pasma (ang. *generalized band depth*, GBD), skorygowaną uogólnioną głębię pasma (ang. *corrected generalized band depth*, cGBD), głębię Fraimana-Muniz, głębię ekstremalną (ang. *extremal depth*), symplecjonalną głębię pasma (ang. *simplicial band depth* SBD) i zmodyfikowaną symplecjonalną głębię pasma (ang. *modified simplicial band depth*, MSBD). Przedyskutowano niektóre ważne w ekonomicznych zastosowaniach własności głębi. Wreszcie podano zestaw warunków najczęściej przywoływanych w literaturze przedmiotu, których spełnianie jest oczekiwane od głębi funkcyjnej.

Następnie zdefiniowano głębię lokalną. Starłem się precyzyjnie opisać, co opisuje to pojęcie oraz uzasadnić jego użyteczność w zastosowaniach.

Rozdział ten ma kluczowe znaczenie metodologiczne – pokazuje, w jaki sposób pojęcie głębi pozwala zdefiniować medianę funkcjonalną, obszary centralne oraz pozwala zbudować intuicję rozumienia tego pojęcia, która z kolei umożliwia w kolejnym rozdziale procedury wizualizacji obiektów funkcjonalnych.

Rozdział 4. Wykrywanie obserwacji odstających

Celem rozdziału czwartego było opracowanie i dostosowanie metod wyznaczania obserwacji odstających w danych funkcjonalnych, a także ocena ich przydatności w ekonomii. Wykorzystano wybrane miary głębi funkcjonalnej (m.in. MBD, MEI), umożliwiające uporządkowanie zbioru funkcji według ich centralności i typowości. Postawiono hipotezę, że głębia danych może stanowić skuteczne narzędzie porządkowania obserwacji ekonomicznych, pozwalające wykrywać nietypowe trajektorie – zarówno błędy pomiarowe, jak i rzeczywiste anomalie w zachowaniu procesów.

Opisano funkcjonalny wykres pudełkowy oraz outlierogram – dwa narzędzia służące do porządkowania obserwacji funkcjonalnych.

W rozdziale czwartym przedstawiono powiązania między pojęciem głębi danych a koncepcją odporności statystycznej. W ten sposób rozwinięto pojęcie *qualitative robustness*, rozumianej jako stabilność rozkładu estymatora lub klasyfikatora wobec niewielkich zaburzeń w rozkładzie danych.

Przeprowadzone analizy potwierdziły, że metody oparte na głębi danych, w szczególności funkcjonalny wykres pudełkowy oraz outlierogram, pozwalają w sposób odporny identyfikować nietypowe obserwacje funkcjonalne, co ma znaczenie dla jakości analiz empirycznych. Wnioskiem rozdziału jest potwierdzenie, że procedury te mogą stanowić etap wstępny w badaniach przyczynowych i jakościowych w ekonomii.

Rozdział 5. Analiza wzrostu dobrobytu społecznego związanego z wprowadzonym zakazem stosowania paliw stałych w Krakowie

Rozdział piąty ma charakter empiryczny i stanowi zastosowanie opracowanego wcześniej aparatu metodologicznego do analizy zależności między jakością powietrza a dobrobytem społecznym w Krakowie. Celem tej części pracy było zbadanie, w jaki sposób metody funkcjonalnej analizy danych (FDA) mogą być wykorzystane do oceny wpływu zanieczyszczeń powietrza na poziom dobrobytu społecznego oraz do identyfikacji przestrzennych i czasowych wzorców jakości środowiska.

W punkcie wyjścia przyjęto, że jakość powietrza można modelować jako funkcję czasu dla poszczególnych lokalizacji, co pozwala analizować nie tylko średni poziom zanieczyszczeń, ale również kształt i dynamikę zmian w czasie. W celu oceny skutków nowej polityki miejskiej na dobrobyt społeczny wybrano pochodzące z ZUS dane dotyczące kosztów społecznych absencji chorobowych. Oszacowano zysk osiągnięty przez system opieki zdrowotnej na skutek wprowadzonych zmian, liczony jako oszczędności związane

ze zmniejszeniem wydatków na świadczenia związane z niezdolnością do pracy w przeliczeniu na jedną osobę objętą obowiązkowym ubezpieczeniem zdrowotnym w odniesieniu do liczby dni absencji chorobowej związanej z chorobami układu krążenia oraz chorobami układu oddechowego.

Zasadniczą hipotezą badawczą było stwierdzenie, że skoro pogorszenie jakości powietrza obniża poziom dobrobytu społecznego, a więc generuje mieralne koszty zewnętrzne, które można zidentyfikować, to można, przynajmniej w wybranym zakresie, zmierzyć te koszty.

Do analizy wykorzystano narzędzia głębi danych funkcjonalnych, umożliwiające porównywanie i klasyfikowanie trajektorii jakości powietrza w różnych lokalizacjach, gdzie znajdują się stacje pomiarowe. Głębia danych pozwoliła określić, które regiony charakteryzują się typowymi przebiegami, a które odbiegają od normy, wskazując potencjalne obszary problemowe.

Na tej podstawie skonstruowano miary odporne opisujące zróżnicowanie przestrzenne jakości środowiska i jego powiązanie z poziomem dobrobytu społecznego.

Wnioski z rozdziału potwierdzają, że:

- podejście funkcjonalne umożliwia uchwycenie przestrzenno-czasowych różnic w jakości powietrza,
- zmienność jakości powietrza wiąże się z różnicami w poziomie dobrobytu społecznego, co można traktować jako ekonomiczny koszt zewnętrzny,
- metody FDA dostarczają narzędzi pozwalających badać skutki polityk środowiskowych i monitorować ich efektywność w długim okresie.

Rozdział ten pokazuje więc, że metody funkcjonalne mogą pełnić rolę pomostu między analizą środowiskową a ekonomiczną, pozwalając na kwantyfikację zjawisk dotychczas trudnych do formalnego ujęcia w ramach tradycyjnej ekonometrii.

Wyniki analiz potwierdziły, że podejście funkcjonalne umożliwia zarówno ocenę skuteczności polityk środowiskowych, jak i szacowanie kosztów społecznych na podstawie rzeczywistych danych, a nie modeli o silnych założeniach. Opracowana metodologia pozwala monitorować zmiany jakości powietrza i porównywać regiony w ujęciu dynamicznym, co ma znaczenie dla planowania polityki publicznej.

Wnioskiem rozdziału jest potwierdzenie, że zastosowanie metod FDA w analizie środowiskowo-społecznej zwiększa precyzję wnioskowania o dobrobycie społecznym i stanowi przykład praktycznego zastosowania narzędzi formalnych w ekonomii empirycznej.

Rozdział 6. Zastosowanie funkcjonalnej analizy danych w badaniu przyczynowości

Szósty rozdział ma charakter teoretyczno-metodologiczny i stanowi rozwinięcie koncepcji przyczynowości w kontekście danych funkcjonalnych. Jego celem było zdefiniowanie i zastosowanie uogólnionego modelu przyczynowości Rubina w przestrzeniach wielowymiarowych albo funkcjonalnych, w których jednostki obserwacji są, odpowiednio, wielowymiarowe albo są funkcjami, a nie punktami.

Wyszedłem od klasycznej koncepcji przyczynowości opartej na różnicy między wartościami zmiennej wynikowej w grupie eksperymentalnej i kontrolnej, które w formalnym języku Rubina oznaczono jako $Y(E)-Y(C)$. Następnie wskazałem, że w przypadku danych funkcjonalnych można badać różnice między charakterystykami rozkładów tych procesów, a nie jedynie ich średnimi wartościami. Formalnie przyczynowość zostaje ujęta jako pytanie, czy warunkowy rozkład $A|B$ od rozkładu $A|\sim B$. Zastosowanie pojęcia statystycznej funkcji głębi pozwala odpowiedzieć na to pytanie dla przypadku danych wielowymiarowych albo funkcyjnych.

Wprowadzenie pojęcia centralności głębi pozwala także zdefiniować miarę siły związku przyczynowego, ograniczoną do odpowiedni zdefiniowanej większości najbardziej typowych obiektów na poziomie centralności β . Umożliwia to ocenę siły związku przyczynowego na zbiorze obserwacji centralnych odporną na obserwacje odstające.

W rozdziale tym sformułowano także propozycje wielu interesujących z punktu widzenia analizy przyczynowości schematów:

1. Możliwość oszacowania różnicy median względem wybranej głębi w zbiorze poddanym działaniu i w zbiorze kontrolnym. Ta propozycja pojawia się już w artykule A9.
2. Możliwość dodatkowego uwzględnienia obu parametrów obu lokalności osobno dla obu zbiorów. Wtedy analizowana jest różnica rozkładów na odpowiednich zbiorach uwzględniająca te parametry lokalności. Rozkład różnicy między dwiema medianami powinien nieść wiele informacji w kontekście wnioskowania przyczynowego. W teorii najbardziej obiecująco wygląda możliwość analizowania tej różnicy jako funkcji parametru lokalności (szczegóły: patrz monografia).
3. Możliwość bezpośredniego szacowania różnicy rozkładów zdefiniowanych przez Rubina poprzez zastosowanie wybranych narzędzi graficznych, bądź funkcjonalnych wykresów pudełkowych (szczegóły: patrz monografia).
4. Możliwość przeprowadzenia porównania grupy poddanej działaniu i grupy kontrolnej na zbiorach postaci $C(\beta_i) \setminus C(\beta_j)$, gdzie $C(\beta_i) \setminus C(\beta_j)$ oznacza różnicę mnogościową zbiorów centralnych względem wybranej głębi na wybranych poziomach lokalności β_i oraz β_j .

Można przy tym dodatkowo rozważać zarówno ten sam poziom centralności, jak i poziom lokalności. Narzędzie to umożliwia wyznaczanie siły badanej zależności przyczynowo-skutkowej.

5. Możliwość wykorzystania outliergramu jako narzędzia służącego do zdefiniowania funkcji mierzącej odległość od odpowiedniej paraboli. W ten sposób można powiązać wnioskowanie przyczynowe ze zmianą kształtu trajektorii.

Zaprezentowane wyżej propozycje, oprócz punktu pierwszego oraz częściowo punktu czwartego, które zostały zaproponowane w pracy A9 są zupełnie nowe. Stanowią rozszerzenia wstępnej analizy opisanej w tym artykule.

W warstwie empirycznej rozdział 6 zawiera przykłady zastosowania tej koncepcji do danych gospodarczych, ilustrując, że podejście funkcjonalne pozwala na wnioskowanie o relacjach przyczynowych w sposób bardziej stabilny i odporny niż modele klasyczne.

Wnioski z rozdziału potwierdzają, że:

- koncepcję przyczynowości Rubina można przenieść na przestrzenie funkcjonalne,
- głębina danych stanowi naturalny język porządkowania obiektów ekonomicznych i definiowania centralnych relacji przyczynowych,
- funkcjonalna przyczynowość umożliwia analizę wpływów między procesami o charakterze ciągłym, z zachowaniem odporności na obserwacje nietypowe.

W rezultacie zaproponowano nowy sposób opisu przyczynowości w ekonomii – wnioskowanie przyczynowe zorientowane na obserwacje typowe (ang. *centrality-oriented causal inference*), w którym miary głębi i odporności stanowią podstawę definiowania relacji przyczynowych w danych ekonomicznych o strukturze funkcjonalnej.

Wnioskiem rozdziału jest stwierdzenie, że zaproponowane podejście pozwala na badanie efektów przyczynowych w procesach gospodarczych, w których dane mają postać funkcji, a nie pojedynczych obserwacji. Przedstawione ujęcie stanowi rozwinięcie języka klasycznej ekonomii i otwiera możliwości badań nad odpornością wnioskowania przyczynowego w warunkach niepewności danych. Koncepcja ta ma szerokie zastosowania w analizie ekonomicznej – umożliwia badanie wpływu zjawisk o charakterze ciągłym, w tym zmian polityk publicznych, procesów środowiskowych i ekonomicznych. Zwróciłem uwagę, że w odróżnieniu od klasycznych metod przyczynowych, podejście funkcjonalne pozwala analizować nie tylko efekty średnie, ale także różnice w kształcie i przebiegu procesów.

W rozdziale szóstym, obok ujęcia teoretycznego, zaprezentowałem przykłady empiryczne ilustrujące działanie opracowanego schematu przyczynowości funkcjonalnej.

W przykładach tych dane ekonomiczne potraktowano jako funkcje czasu, a obserwacje – jako obiekty należące do przestrzeni funkcjonalnych.

Te badania empiryczne miały na celu sprawdzenie, czy opracowana metodologia pozwala na empiryczną ocenę zależności przyczynowo-skutkowych między procesami gospodarczymi. Pokazałem, że możliwe jest badanie różnic pomiędzy rozkładami warunkowymi $A|B$ i $A|\sim B$ w przestrzeni głębi danych, co odpowiada ocenie wpływu czynnika ekonomicznego (np. interwencji, polityki publicznej czy innej zmiennej wyjaśniającej) na przebieg badanego procesu.

W warstwie obliczeniowej zastosowano dane empiryczne pochodzące z oficjalnych statystyk Głównego Urzędu Statystycznego, obejmujące zmienne ekonomiczne o charakterze czasowym i przestrzennym. Dane te pozwoliły na utworzenie odpowiednich funkcji opisujących ciągłe trajektorie zmian, co umożliwiło zastosowanie narzędzi głębi danych i odpornej estymacji centralnych regionów.

Przeprowadzone przykłady potwierdziły, że:

- porównanie rozkładów warunkowych $A|B$ i $A|\sim B$ przy pomocy języka głębi pozwala zidentyfikować istnienie lub brak związku przyczynowego,
- centralne regiony zdefiniowane poprzez głębię mogą pełnić funkcję analogiczną do klasycznych grup kontrolnych i eksperymentalnych w modelu Rubina,
- metoda jest odporna na obserwacje nietypowe i pozwala na analizę efektów przyczynowych nawet w przypadku ograniczonej liczby obserwacji.

W rezultacie zaprezentowane przykłady empiryczne potwierdziły użyteczność praktyczną opracowanego modelu przyczynowości funkcjonalnej i pokazały jego potencjał do dalszego zastosowania w analizach ekonomicznych, w tym w badaniach zjawisk środowiskowych, finansowych i makroekonomicznych.

Rozdział ten pełni więc także funkcję weryfikacyjną – potwierdza, że metody rozwinięte w części teoretycznej monografii są możliwe do zastosowania w praktyce i dostarczają wyników interpretowalnych z punktu widzenia ekonomii.

Rozdział 7. Podsumowanie

Rozdział siódmy pełni funkcję podsumowującą i integrującą wcześniejsze części monografii, prezentując syntetyczne wnioski z przeprowadzonych analiz oraz wskazując dalsze możliwości rozwoju metod funkcjonalnej analizy danych w ekonomii.

W pierwszej części podkreślono, że zasadniczym rezultatem pracy jest wprowadzenie i ugruntowanie metod funkcjonalnej analizy danych w badaniach ekonomicznych

oraz pokazanie ich potencjału w praktyce empirycznej. Ujęcie funkcjonalne pozwala na analizę procesów gospodarczych w sposób ciągły – nie przez pojedyncze punkty pomiarowe, lecz poprzez całe trajektorie, opisujące zmienność zjawisk w czasie i przestrzeni.

Wskazano, że przedstawione w monografii wyniki potwierdzają skuteczność metod głębi danych funkcjonalnych w identyfikacji obserwacji nietypowych, analizie jakości środowiska, a także w ocenie związków przyczynowo-skutkowych w danych ekonomicznych. Szczególne znaczenie ma w tym kontekście wykorzystanie pojęcia odporności jakościowej oraz adaptacja koncepcji przyczynowości Rubina do przestrzeni funkcjonalnych.

Podkreślono, że rozwój metodologiczny FDA w ekonomii wymaga dalszego doskonalenia narzędzi estymacyjnych i testowych, zwłaszcza w zakresie analizy przyczynowości w danych o złożonej strukturze (funkcjonalnych, wielowymiarowych, przestrzennych), co umożliwiłoby pełniejsze modelowanie zjawisk ekonomicznych.

Podsumowując, w monografii wskazano, że przedstawione w monografii podejście stanowi nowy etap w rozwoju metod ilościowych w ekonomii, łącząc ścisłość formalną analizy matematycznej z praktycznymi potrzebami ekonomii empirycznej. Wskazane kierunki dalszych badań tworzą spójną agendę rozwoju ekonomii, gdzie wnioskowanie przeprowadza się w oparciu o dane funkcjonalne. Podejście to integruje teorię funkcji, statystykę odporną oraz ekonomiczne modele przyczynowe.

V. Wyniki i wnioski

Wyniki przedstawione w monografii „*Wybrane zastosowania metod funkcjonalnej analizy danych w ekonomii*” mają zarówno charakter teoretyczny, jak i aplikacyjny. Praca rozwija aparat metodologiczny umożliwiający analizę procesów ekonomicznych o charakterze ciągłym oraz formułuje nowe ujęcie zależności przyczynowych w kontekście danych funkcjonalnych.

Wyniki teoretyczne

Najważniejszym osiągnięciem teoretycznym monografii jest **uogólnienie aparatu funkcjonalnej analizy danych (ang. *Functional Data Analysis, FDA*)** na potrzeby ekonomii empirycznej. Opracowano formalne podstawy traktowania danych ekonomicznych jako funkcji z przestrzeni Hilberta, co umożliwia analizę ich kształtu, dynamiki i struktury w sposób ciągły. W przeciwieństwie do metod klasycznych, podejście to pozwala na uchwycenie zjawisk, które nie mogą być sensownie opisane przez wartości punktowe – takich jak lokalne zmiany trendów, przejściowe zakłócenia czy efekty kumulacyjne w czasie.

Drugim kluczowym rezultatem jest **zastosowanie pojęcia statystycznej głębi** w analizie funkcjonalnej i jego interpretacja w kontekście ekonomicznym. W pracy wykazano, że głębia

danych może służyć jako miara centralności w przestrzeniach funkcji, pozwalając na zdefiniowanie mediany funkcjonalnej, regionów centralnych oraz identyfikację obserwacji odstających. Głębie danych umożliwiają wprowadzenie odpornego porządku na zbiorze funkcji, co prowadzi do uogólnienia pojęć takich jak typowość czy reprezentatywność ekonomiczna przebiegów procesów.

Kolejnym osiągnięciem jest **analiza odporności** metod funkcjonalnych. Wykazano, że zastosowanie koncepcji głębi dla danych funkcjonalnych umożliwia sprawdzenie czy analizowane dane spełniają warunki odporności jakościowej, co oznacza, że niewielkie zmiany w rozkładzie danych nie powodują zasadniczych zmian w wynikach wnioskowania. Ten aspekt ma istotne znaczenie w kontekście danych ekonomicznych, które często są obciążone błędami pomiaru, brakiem obserwacji lub występowaniem ekstremów.

Czwartym, szczególnie istotnym wynikiem teoretycznym jest **wprowadzenie pojęcia przyczynowości funkcjonalnej**, stanowiącego uogólnienie klasycznego modelu przyczynowości Rubina na przestrzeń funkcji. Wykazano, że przyczynowość można rozumieć jako różnicę pomiędzy rozkładami warunkowymi $A|B$ i $A|\sim B$, analizowanymi przy pomocy głębi danych. Zaproponowano także miarę siły zależności przyczynowej ograniczoną do większości obserwacji (na poziomie centralności β), co zapewnia odporność wnioskowania. Ujęcie to pozwala oceniać efekty przyczynowe nie tylko w sensie wartości średnich, lecz także w kontekście kształtu i dynamiki procesów.

Zaproponowane podejście integruje pojęcia z trzech dziedzin - analizy funkcjonalnej, statystyki odpornej i teorii przyczynowości. Stanowi to uogólnienie klasycznych metod ekonomii, umożliwiając opis procesów gospodarczych w sposób bardziej zgodny z ich rzeczywistym, ciągłym charakterem.

Wyniki empiryczne

Monografia zawiera również część empiryczną, w której zaprezentowano zastosowanie opracowanych metod w analizie danych rzeczywistych. Wykorzystano dane o charakterze środowiskowym i ekonomicznym, aby zweryfikować przydatność podejścia funkcjonalnego.

W badaniach empirycznych pokazano, że zastosowanie głębi danych umożliwia wykrywanie obserwacji nietypowych i anomalii w przebiegach zmiennych ekonomicznych, takich jak zmiany poziomu zanieczyszczeń czy wskaźniki koniunktury. Analiza funkcjonalna pozwoliła także na badanie związków między procesami opisującymi różne aspekty gospodarki i środowiska, w tym relacji o charakterze przyczynowym.

Wyniki empiryczne potwierdziły, że:

- podejście funkcjonalne umożliwia dokładniejsze odwzorowanie zmienności i dynamiki procesów ekonomicznych,
- miary głębi danych pozwalają na identyfikację nietypowych przebiegów w sposób odporny i interpretowalny ekonomicznie,
- zastosowanie koncepcji przyczynowości funkcjonalnej daje możliwość badania wpływu zjawisk gospodarczych w ujęciu dynamicznym, bez potrzeby przyjmowania restrykcyjnych założeń modelowych.

W badaniach wykazano również, że podejście funkcjonalne sprzyja łączeniu danych pochodzących z różnych źródeł (np. statystyki publicznej i pomiarów środowiskowych), co czyni je użytecznym narzędziem w analizach ekonomicznych.

Wnioski ogólne

Monografia dowodzi, że zastosowanie metod funkcjonalnej analizy danych w ekonomii pozwala zintegrować w jednym paradygmacie podejście opisowe, statystyczne i przyczynowe.

Opracowane rozwiązania umożliwiają:

- ujęcie procesów gospodarczych jako funkcji definiowanych w przestrzeniach Hilberta,
- opis ich typowości i struktury za pomocą głębi danych,
- zapewnienie odporności wnioskowania w obecności zakłóceń,
- oraz badanie zależności przyczynowych w sposób jakościowo stabilny i interpretowalny ekonomicznie.

Połączenie tych elementów współtworzy pewien fundament kierunku badań w ekonomii empirycznej, w której przedmiotem analizy są całe trajektorie funkcji, a nie pojedyncze punkty danych.

Opracowane w monografii koncepcje mają szerokie zastosowanie praktyczne: mogą być wykorzystywane w analizie procesów środowiskowych, w badaniach stabilności gospodarki, w ocenie skutków polityk publicznych oraz w modelowaniu danych o charakterze dynamicznym. Zaproponowana metodologia ma potencjał do dalszego rozwijania w analizach empirycznych – m.in. w badaniach rynków finansowych i gospodarki cyfrowej.

VI. Znaczenie i wkład w rozwój dyscypliny ekonomia i finanse

Monografia „*Wybrane zastosowania metod funkcjonalnej analizy danych w ekonomii*” stanowi, moim zdaniem, oryginalny i spójny wkład w rozwój dyscypliny **ekonomia i finanse**, w szczególności w zakresie metodologii badań empirycznych. Jej znaczenie polega na wprowadzeniu do ekonomii narzędzi pochodzących z funkcjonalnej analizy danych

oraz na pokazaniu, w jaki sposób mogą one zostać zaadaptowane do badania złożonych procesów gospodarczych.

1. Nowe podejście metodologiczne

Najważniejszym wkładem pracy jest opracowanie i ugruntowanie podstaw nowego podejścia do badań w zakresie ekonomii i finansów. Kierunek ten łączy w sobie:

- formalizm analizy funkcjonalnej,
- odporne wnioskowanie statystyczne oparte na głębiach danych,
- oraz ekonomiczną interpretację wyników.

W klasycznych modelach ekonometrycznych dane traktowane są jako ciągi wartości liczbowych, podczas gdy w ekonomii rzeczywiste procesy mają przecież zwykle charakter ciągły i wieloaspektowy. Monografia pokazuje, że ujęcie funkcjonalne umożliwia pełniejsze odwzorowanie struktury i dynamiki zjawisk gospodarczych.

Zaproponowany przeze mnie aparat metodologiczny pozwala badać procesy gospodarcze w sposób geometryczny – poprzez analizę kształtu, trajektorii i odległości funkcji. Stanowi to istotne rozszerzenie dotychczasowego paradygmatu, wprowadzając nowe możliwości modelowania zjawisk nieliniowych, dynamicznych i niejednorodnych.

2. Zastosowanie głębi danych funkcjonalnych do ekonomii

Kolejnym znaczącym osiągnięciem jest **zastosowanie pojęcia głębi danych funkcjonalnych (ang. *functional data depth*)** do analizy zjawisk ekonomicznych. Wykazałem, że głębia danych może być interpretowana ekonomicznie jako miara centralności lub typowości procesów, a tym samym może służyć do opisu i klasyfikacji zachowań gospodarczych.

Wprowadzenie głębi danych umożliwia nie tylko porządkowanie obiektów ekonomicznych według ich reprezentatywności, lecz także identyfikację anomalii, wykrywanie nietypowych epizodów w przebiegach zmiennych (np. w danych środowiskowych lub rynkowych) oraz analizę stabilności systemów gospodarczych. Kolejną zaletą stosowania FDA jest możliwość analizowania dużych zbiorów danych, o ile te zbiory danych można ująć w ramy danych funkcjonalnych. Wtedy możliwa jest redukcja wymiaru: zamiast wielu punktów składających się na funkcję analizuje się samą funkcję poprzez jej mniejszą liczbę charakterystyk. Najważniejszą zaletą wydaje się być asynchroniczność, rozumiana w ten sposób, że do przeprowadzenia analizy danych nie jest konieczne, by punkty, w których dokonywany jest pomiar interesującej wielkości, były równo rozłożone w swojej dziedzinie. Nie ma też potrzeby, by na każdą funkcję składała się taka sama liczba pomiarów. Podobnie,

w celu skonstruowania funkcji nie jest wymagane, by pomiary odpowiednich wielkości dokonywane były o takich samych porach dnia czy w tych samych godzinach.

Rozwinięcie koncepcji głębi w przestrzeniach funkcjonalnych pozwoliło wprowadzić **mediany funkcjonalne** i **obszary centralne**, które mają zastosowanie w analizie odpornej i w wizualizacji procesów ekonomicznych. W ten sposób praca ta łączy rygor matematyczny z praktyczną interpretacją ekonomiczną.

3. Ujęcie odporności jakościowej i jej znaczenie dla ekonomii empirycznej

Monografia wnosi, moim zdaniem, istotny wkład w rozwój pojęcia **odporności jakościowej** (ang. *qualitative robustness*) w kontekście danych ekonomicznych. Odporność ta może być rozumiana jako stabilność rozkładu estymatorów i klasyfikatorów funkcjonalnych wobec niewielkich zmian w rozkładach danych wejściowych. Narzędziem służącym do weryfikacji tak rozumianej odporności mogą być funkcjonalne wykresy pudełkowe oraz outliergramy.

Takie ujęcie ma kluczowe znaczenie dla ekonomii empirycznej, w której dane często są obciążone błędami, niekompletne lub zanieczyszczone wartościami odstającymi. Wskazanie warunków, przy których odporność jakościowa jest zachowana, umożliwia budowę metod analitycznych odpornych na niestabilność i niepewność informacyjną – problem wyjątkowo istotny dla analizy gospodarki w warunkach zmian strukturalnych.

4. Rozwinięcie koncepcji przyczynowości w ekonomii

Ważnym, oryginalnym elementem wartości dodanej jest **uogólnienie koncepcji przyczynowości Rubina** na przestrzenie funkcjonalne. Rozwinałem nowe ujęcie porównujące rozkłady warunkowe $A|B$ oraz $A|\sim B$ przy pomocy głębi, dzięki czemu możliwe stało się badanie efektów przyczynowych w oparciu o różnice w strukturze i kształcie procesów gospodarczych, a nie jedynie w ich średnich wartościach.

Podejście to umożliwia wnioskowanie o związkach przyczynowych w sposób odporny, bez konieczności spełniania restrykcyjnych założeń modelowych typowych dla klasycznej ekonometrii. Ma ono szczególne znaczenie dla analiz, w których zmienne opisują procesy o charakterze ciągłym (np. w badaniach koniunktury, finansów, energetyki czy polityki środowiskowej).

5. Wartość aplikacyjna – rozszerzenie granic analizy ekonomicznej

Monografia ma również wymiar aplikacyjny. Pokazałem, że metody funkcjonalnej analizy danych mogą być skutecznie wykorzystywane w praktyce ekonomicznej i społecznej. Opracowane narzędzia pozwalają:

- wykrywać nietypowe przebiegi procesów ekonomicznych,
- identyfikować zmiany strukturalne,
- badać stabilność relacji przyczynowych
- oraz integrować dane pochodzące z różnych źródeł (np. ekonomicznych, środowiskowych, demograficznych).

Dzięki temu monografia poszerza obszar zastosowań metod ilościowych w ekonomii, wprowadzając do badań gospodarczych pojęcia i procedury pochodzące z analizy funkcjonalnej i statystyki odpornej.

6. Znaczenie dla rozwoju dyscypliny

Osiągnięcie przedstawione w monografii wpisuje się w nurt nowoczesnych badań ekonomicznych, które łączą podejścia matematyczne, statystyczne i informatyczne. Praca ta stanowi pewien etap rozwoju metod ilościowych w ekonomii, oparty na spójnym aparacie formalnym i jednocześnie umożliwiający interpretację ekonomiczną wyników.

Wkład ten ma znaczenie dla dalszego rozwoju:

- teorii ekonometrii odpornej,
- badań nad przyczynowością w ekonomii,
- modelowania procesów gospodarczych o charakterze ciągłym
- oraz integracji danych ekonomicznych z danymi środowiskowymi i społecznymi.

Dzięki połączeniu pewnego poziomu matematyczno-statystycznej ścisłości z orientacją empiryczną monografia stanowi, moim zdaniem, oryginalny i trwały wkład w rozwój dyscypliny **ekonomia i finanse**.

4.2. Omówienie osiągnięcia dodatkowego

OSIĄGNIĘCIE DODATKOWE:

Cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopismach naukowych lub w recenzowanych materiałach z konferencji międzynarodowych pt.

„Zastosowanie metod statystyki wielowymiarowej i analizy funkcjonalnej w obszarze ekonomii i finansów”

I. Omówienie wkładu własnego

Poniższy cykl obejmuje dwanaście artykułów (A1–A12). Elementem łączącym wszystkie te prace jest wspólna myśl metodologiczna – wykorzystanie narzędzi funkcjonalnej analizy danych (ang. *Functional Data Analysis*, FDA) i metod statystyki wielowymiarowej do modelowania, klasyfikacji i prognozowania złożonych zjawisk ekonomicznych.

Artykuł	Sumaryczny wkład habilitanta w powstanie artykułu	Liczba punktów MNiSW czasopisma w chwili opublikowania	Liczba punktów MNiSW czasopisma w 2025 r.	Impact Factor (IF) z roku publikacji (o ile dostępny) albo poprzedniego
A1. SVM classifiers for functional data in monitoring of the Internet users behaviour, D. Kosiorowski, D. Mielczarek, J. Rydlewski, W: The 11 th Professor Aleksander Zelas international conference on modelling and forecasting of socio-economic phenomena. Conference proceedings. Ed. M. Papież, S. Śmiech. Cracow: Foundation of the Cracow University of Economics, 2017, s. 143-152.	45%	15	-	-
A2. New proposal of robust classifier for functional data, D. Kosiorowski, D. Mielczarek, J. Rydlewski, W: The 12 th Professor Aleksander Zelas international conference on modelling and forecasting of socio-economic phenomena. Conference proceedings. Ed. M. Papież, S. Śmiech. Cracow: Foundation of the Cracow University of Economics, 2018, s. 200–208.	55%	15	-	-
A3. Outliers in functional time series - challenges for theory and applications of robust statistics, D.	45%	15	-	-

Kosiorowski, D. Mielczarek, J. Rydlewski, W: The 12 th Professor Aleksander Zelias international conference on modelling and forecasting of socio-economic phenomena. Conference proceedings. Ed. M. Papież, S. Śmiech. Cracow: Foundation of the Cracow University of Economics, 2018, s. 209-218.				
A4. Generalized exponential smoothing in prediction of hierarchical time series, D. Kosiorowski, D. Mielczarek, J. Rydlewski, M. Snarska, <i>Statistics in Transition: New Series: an International Journal of the Polish Statistical Association</i> ; 2018 vol. 19 no. 2, s. 331–350.	35%	15	70	-
A5. Forecasting of a hierarchical functional time series on example of macromodel for the day and night air pollution in Silesia region - a critical overview, D. Kosiorowski, D. Mielczarek, J. Rydlewski, <i>Central European Journal of Economic Modelling and Econometrics</i> ; 2018 vol. 10 nr 1, s. 53–73.	47,5%	14	70	-
A6. Wykrywanie funkcjonalnych obserwacji odstających na przykładzie monitorowania jakości powietrza, D. Kosiorowski, J. Rydlewski, Z. Zawadzki, <i>Przegląd Statystyczny</i> ; 2018 t. 65 nr 1, s. 81–98.	45%	14	40	-
A7. Detecting a structural change in functional time series using local Wilcoxon statistic, D. Kosiorowski, J. Rydlewski, M. Snarska, <i>Statistical Papers</i> ; 2019 vol. 60 iss. 5, s. 1677–1698.	35%	100	100	1,433 (2019 r.)
A8. A critical study of usefulness of selected functional classifiers in economics, D. Kosiorowski, D. Mielczarek, J. Rydlewski, <i>Acta Universitatis Lodzensis - Folia Oeconomica</i> ; 2020 vol. 2 no. 347, s. 71–90.	55%	20	40	-
A9. Centrality-oriented causality: a study of EU agricultural subsidies and digital development in Poland, D. Kosiorowski, J. Rydlewski, <i>Operations Research and Decisions</i> ; 2020 vol. 30 no. 3, s. 47-63.	50%	40	70	-

A10. A new approach for analyzing stock market stress based on the Warsaw Stock Exchange in 2005–2019, D. Kosiorowski, J. Rydlewski, T. Klecha, D. Mielczarek, <i>Eastern European Economics</i> ; 2021 vol. 59 no. 4, s. 317–333.	45%	40	40	1,365 (2021 r.)
A11. Unveiling the dynamic job-matching landscape in the post-COVID-19 labour market through the lens of the Beveridge curve, M. Snarska, J. Rydlewski, <i>International Entrepreneurship Review</i> ; 2024 vol. 10 no. 1, s. 83-95. https://doi.org/10.15678/IER.2024.1001.06 .	50%	100	100	-
A12. The dependence of Polish stock subindexes on the DJIA: the use of Rubin causality, H. Gurgul, J. Rydlewski, <i>Central European Journal of Operations Research</i> , dostępny online, 2025. https://doi.org/10.1007/s10100-025-00992-x	80%	70	70	2,3 (2024 r.)

Uwaga: A2, A3 i A4 to formalnie materiały konferencyjne indeksowane w WoS Core-Collection

Uwaga: Byłem autorem korespondencyjnym przy następujących artykułach z powyższej listy: A5, A7, A9, A10 i A12.

Punkty MNiSW za bazę Biblioteki Głównej AGH w Krakowie, Impact Factor za bazę Journal Citation Report firmy Clarivate Analytics (Web of Science)

A1 (2017)

Współtworzyłem koncepcję badawczą oraz przeprowadziłem walidację koncepcyjną i matematyczną poprawności metody zaprezentowanej w artykule. W szczególności odpowiadałem za dokładne sprawdzenie, w jaki sposób pojęcia głębi funkcjonalnej oraz głębi lokalnej (ang. *local depth*) zostały zdefiniowane i włączone w ogólną strukturę analityczną, obejmującą miary centralności, relacje między obserwacjami oraz konstrukcję wykresu głębia-głębia (ang. *depth–depth plot*). Dodatkowo weryfikowałem spójność logiczną integracji metod głębi funkcjonalnej z klasyfikatorem SVM (ang. *support vector machine*), sprawdzając, czy sposób wykorzystania miar głębi jako cech w przestrzeni klasyfikacyjnej jest zgodny z założeniami geometrycznymi FDA. Mój wkład obejmował zatem zapewnienie formalnej, matematycznej i interpretacyjnej spójności całego podejścia.

Mój sumaryczny wkład w powstanie artykułu wyniósł około 45%.

A2 (2018)

Współtworzyłem koncepcję artykułu oraz uczestniczyłem w opracowaniu nowego klasyfikatora funkcjonalnego, opartego na konstrukcji funkcjonałów liniowych wyznaczających hiperpłaszczyznę separującą - rozwiązaniu inspirowanym metodologią SVM, jednak opracowanym poza przestrzeniami Hilberta z jądrem reprodukującym (ang. *Reproducing Kernel Hilbert Space*, RKHS). Mój wkład obejmował współudział w projektowaniu koncepcji klasyfikatora, konstrukcję funkcjonału liniowego oraz dowód istnienia funkcji wagowej zapewniającej istnienie hiperpłaszczyzny separującej w przestrzeni funkcjonalnej. Brałem udział w wykazaniu, że zaproponowany klasyfikator jest odporny w sensie jakościowym (ang. *qualitatively robust*), w szczególności poprzez analizę ciągłości odwzorowania macierzy Grama w dowodzie odporności.

Istotnym elementem mojego wkładu była implementacja i ocena empiryczna klasyfikatora w zadaniu klasyfikacji funkcji opisujących dobowe zużycie energii elektrycznej w Danii, obejmującym rozróżnienie dni roboczych i weekendowych na podstawie kształtu trajektorii zużycia energii. Uczestniczyłem w opracowaniu algorytmu obliczeniowego, interpretacji wyników oraz porównaniu skuteczności zaproponowanej metody z klasycznymi klasyfikatorami RKHS (z jądrami Gaussa i wielomianowym), wskazując na znaczące obniżenie ryzyka klasyfikacji (26% wobec 58–66%) przy zachowaniu porównywalnej złożoności obliczeniowej.

Mój sumaryczny wkład w powstanie artykułu wyniósł około 55%.

A3 (2018)

Współtworzyłem koncepcję artykułu, którego celem było opracowanie procedury detekcji obserwacji odstających w szeregach czasowych o charakterze funkcjonalnym (ang. *Functional Time Series*, FTS). Mój wkład obejmował projekt metodologiczny badania oraz opracowanie sposobu zastosowania zmodyfikowanej głębi pasma (ang. *Modified Band Depth*, MBD) do identyfikacji nietypowych trajektorii w danych funkcjonalnych.

Kluczowym elementem mojego wkładu było zastosowanie funkcji odwrotnej Younga (ang. *generalized Young inverse function*) do konstrukcji nowej funkcji głębi, umożliwiającej uogólnienie i wzmocnienie czułości klasycznych miar głębi. Wykazałem, że zastosowanie tej transformacji pozwala na uchwycenie subtelnych, wcześniej trudnych do identyfikacji anomalii w strukturze danych funkcjonalnych. Połączenie istniejących narzędzi z zaproponowanym rozszerzeniem dało spójny i bardziej kompletny system klasyfikacji obserwacji odstających, łączący odporność statystyczną z interpretowalnością geometryczną.

Byłem również odpowiedzialny za walidację matematyczną i empiryczną metody oraz współautorską interpretację wyników, obejmującą analizę krzywych odstających związanych z nietypowymi epizodami smogowymi, których klasyczne procedury nie potrafiły jednoznacznie wykryć. Zaproponowane podejście okazało się szczególnie skuteczne w detekcji „*outliers in variation*”, czyli obserwacji odstających w zakresie zmienności funkcji, i stanowiło istotny krok w kierunku integracji narzędzi funkcjonalnej analizy danych z analizą procesów środowiskowych o zmiennej dynamice.

Mój sumaryczny wkład w powstanie artykułu wyniósł około 45%.

A4 (2018)

Współtworzyłem koncepcję artykułu oraz byłem współodpowiedzialny za opracowanie struktury hierarchicznej danych, umożliwiającej zastosowanie zaproponowanej koncepcji analitycznej w ramach funkcjonalnej analizy danych. Zaproponowałem wykorzystanie głębokości funkcjonalnej typu cGBD (ang. *corrected Generalized Band Depth*) do rozwiązania badanego problemu oraz uczestniczyłem w analizie teoretycznych własności zaproponowanego podejścia. Mój wkład obejmował również uzgodnienie zapisu formalnego i opracowanie matematycznego ujęcia głębokości lokalnej (ang. *local depth*), a także adaptację podejścia Shanga i Hyndmana (2017) do specyfiki analizowanego zagadnienia dotyczącego popytu na energię elektryczną w Australii w 2016 roku. Uczestniczyłem ponadto w walidacji koncepcji, weryfikacji matematycznej i statystycznej poprawności metody, współautorskiej analizie wyników oraz opracowaniu przykładu empirycznego ilustrującego użyteczność zaproponowanego podejścia.

Mój sumaryczny wkład w powstanie artykułu wyniósł około 35%.

A5 (2018)

Współtworzyłem koncepcję artykułu, którego celem było opracowanie metody prognozowania hierarchicznych szeregów czasowych o charakterze funkcjonalnym (ang. *hierarchical functional time series*, HFTS) dla dobowych zmian stężenia PM10 w regionie śląskim. Mój wkład obejmował projekt metody opartej na podwójnej medianie funkcjonalnej (ang. *double functional median*), analizę jej własności odpornościowych względem podejścia Shanga–Hyndmana (2017) oraz zaproponowanie i matematyczne rozpisanie procedury uzgodnionej prognozy (ang. *reconciliated forecast*) dla ustalonej struktury hierarchicznej o ustalonej liczbie poziomów, zapewniającej spójność prognoz między poziomami agregacji.

Istotnym elementem mojego wkładu było zaproponowanie konkretnej postaci funkcji celu w postaci funkcji maksymalizacji dobrobytu społecznego (ang. *maximization of social welfare*), która stanowiła teoretyczne uzasadnienie procedury uzgadniania prognoz w rozpatrywanej strukturze hierarchicznej. Ujęcie to pozwoliło na powiązanie metodologii funkcjonalnej analizy danych z ekonomiczną interpretacją efektywności agregacji prognoz, a tym samym na zapewnienie zgodności pomiędzy kryterium matematycznym a ekonomicznym sensem optymalizacji.

Opracowałem algorytm merytorycznie poprawnego zastosowania metody, obejmujący: (i) wyznaczanie median funkcjonalnych z użyciem zmodyfikowanej głębokości pasma (ang. *Modified Band Depth*, MBD) na każdym poziomie hierarchii; (ii) uzgodnienie prognoz w oparciu o macierz agregacji i relacje między poziomami struktury; oraz (iii) zastosowanie wag proporcjonalnych do liczby ludności przy agregacji funkcji. Dzięki temu użytkownik metody otrzymuje jasną instrukcję „krok po kroku”, minimalizując ryzyko błędnej implementacji.

W części empirycznej współtworzyłem analizę danych dla pięciu miast regionu (Katowice, Gliwice, Dąbrowa Górnicza, Bielsko-Biała, Częstochowa) oraz interpretację wyników dla pór doby. Zaproponowane rozwiązanie łączy odporność z niską złożonością obliczeniową i zachowaniem addytywności w całej hierarchii, co czyni je użytecznym narzędziem dla polityk środowiskowych i innych zastosowań ekonomicznych.

Mój sumaryczny wkład w powstanie artykułu wyniósł około 47,5%.

A6 (2018)

Współtworzyłem koncepcję artykułu poświęconego odpornej detekcji obserwacji odstających w danych funkcjonalnych, ze szczególnym uwzględnieniem zastosowań w analizie procesów środowiskowych, takich jak monitorowanie jakości powietrza. Mój wkład obejmował opracowanie koncepcji badawczej, założeń metodologicznych, metodyki postępowania oraz przeprowadzenie analiz empirycznych.

Wniosłem istotny wkład w teoretyczne rozróżnienie, interpretację i uzasadnienie wyboru miar głębokości funkcjonalnej, w szczególności głębokości pasma (ang. *Band Depth*, BD) i zmodyfikowanej głębokości pasma (ang. *Modified Band Depth*, MBD). Wskazałem, że BD w większym stopniu odzwierciedla kształt krzywych, podczas gdy MBD akcentuje amplitudę oraz liczbę krzywych obejmujących daną funkcję, co czyni ją bardziej odpowiednią dla analiz środowiskowych, w których dominują różnice natężenia zjawiska. Uzasadniłem, że dobór miary głębokości powinien być uzależniony od celu wnioskowania oraz rodzaju funkcji – w przypadku krzywych

nieregularnych zastosowanie MBD pozwala ograniczyć liczbę powiązań (ang. *ties*), jednak kosztem mniejszej wrażliwości na zróżnicowanie kształtu.

Mój wkład obejmował również dostosowanie i interpretację narzędzi wizualnych – funkcjonalnego wykresu pudełkowego (ang. *functional boxplot*) i outliergramu – do danych środowiskowych. Współtworzyłem i przeprowadziłem badania empiryczne dotyczące stężenia pyłów zawieszonych (PM10) w aglomeracjach Katowic i Krakowa, uczestnicząc w identyfikacji i interpretacji obserwacji odstających związanych z nietypowymi epizodami smogowymi, które nie były jednoznacznie wykrywane przez klasyczne procedury.

Wyniki potwierdziły, że zastosowanie odpowiednio dobranej odpornej głębi funkcjonalnej znacząco zwiększa skuteczność i interpretowalność detekcji anomalii. Artykuł stanowi ważny etap rozwoju autorskiego nurtu badań nad odpornymi metodami funkcjonalnej analizy danych i ich zastosowaniem w ekonomii oraz analizie procesów środowiskowych o zmiennej dynamice.

Mój sumaryczny wkład w powstanie artykułu wyniósł około 45%.

A7 (2019)

Współtworzyłem koncepcję artykułu, którego celem było opracowanie odpornego testu nieparametrycznego do wykrywania zmian strukturalnych w funkcjonalnych szeregach czasowych, opartego na lokalnym teście sumy rang Wilcoxona indukowanym przez lokalną głębię funkcjonalną. Mój wkład obejmował współautorskie opracowanie koncepcji testu, jego teoretycznego uzasadnienia, konstrukcję procedury badawczej, współudział w analizach symulacyjnych i empirycznych, a także prace redakcyjne, skład i korektę tekstu artykułu.

Byłem odpowiedzialny za merytoryczne i matematyczno-statystyczne doprecyzowanie procedury, w tym zaproponowanie hipotezy zerowej i alternatywnej do badania zmiany strukturalnej w próbie funkcjonalnej oraz podanie dokładnej postaci lokalnego testu sumy rang Wilcoxona z parametrem lokalności β , który determinuje zakres otoczenia (lokalności) w przestrzeni badanych danych.

Zaproponowałem wybór testu Wilcoxona jako przykładu testu rangowego odpowiedniego dla analiz, w których możliwe jest zastosowanie pojęcia głębi, podkreślając jednocześnie, że ramę metody można łączyć z dowolnym testem rangowym. Zarekomendowałem użycie skorygowanej uogólnionej głębi pasma (cGBD) dla konkretnych danych analizowanych w artykule, wykazując korzystne własności odpornościowe i stabilne porządkowanie obiektów; zaznaczyłem zarazem, że algorytm pozostaje ogólny i dopuszcza dowolną głębię statystyczną.

Współuczestniczyłem w opracowaniu i analizie ruchomego testu sumy rang Wilcoxona uwzględniającego parametr lokalności β , umożliwiającego detekcję zmian w czasie, oraz w analizie danych o aktywności użytkowników serwisów internetowych, potwierdzając skuteczność metody w identyfikacji lokalnych zmian dynamiki. Zaproponowane podejście umożliwia również wykrywanie zmian strukturalnych w finansowych funkcjonalnych szeregach czasowych.

Artykuł wnosi ogólną ramę nieparametrycznej analizy zmian strukturalnych związanych ze zmianami rozkładu prawdopodobieństwa w rozpatrywanej przestrzeni funkcji, łącząc teorię głębi lokalnej z testami rangowymi; mój wkład zapewnił spójność matematyczną, odporność, poprawność interpretacyjną i redakcyjną opracowanego podejścia.

Mój sumaryczny wkład w powstanie artykułu wyniósł około 35%.

A8 (2020)

Współtworzyłem koncepcję artykułu poświęconego ocenie przydatności wybranych klasyfikatorów funkcjonalnych w analizach ekonomicznych, ze szczególnym uwzględnieniem ich odporności, interpretowalności i efektywności obliczeniowej. Mój wkład obejmował opracowanie założeń koncepcyjnych, konstrukcję i matematyczne uzasadnienie badanych metod klasyfikacji, współautorstwo eksperymentów empirycznych oraz redakcję i ostateczną wersję tekstu artykułu.

Byłem odpowiedzialny za formułowanie podstaw teoretycznych, opartych na analizie funkcjonalnej (wraz z Dominikiem Mielczarkiem), w tym konstrukcję klasyfikatora opartego na macierzy Grama oraz interpretację jego własności w świetle twierdzenia Hahna–Banacha, a także za analizę stabilności i odporności proponowanych podejść. W szczególności zwróciłem uwagę na problem braku operacyjnych odpowiedników klasycznych pojęć probabilistycznych (takich jak funkcja gęstości, dystrybuanta czy odległość między rozkładami) w przestrzeniach funkcji, co utrudnia formalne ujęcie pojęcia odporności jakościowej w funkcjonalnej analizie danych.

W odpowiedzi na tę trudność zaproponowałem podejście empiryczno-analityczne, polegające na ocenie błędu klasyfikacji w badaniach symulacyjnych (ang. *data-analytic approach*), które pozwoliło nie tylko empirycznie oszacować odporność jakościową (ang. *qualitative robustness*) zaproponowanego klasyfikatora, lecz także ocenić jego praktyczną przydatność w analizach ekonomicznych. Wykazano, że opracowane podejście może być zastosowane do prognozowania oczekiwanego stanu gospodarki na podstawie zintegrowanych wskaźników – Consumer Confidence Index (CCI) oraz Industrial Price Index (IPI) – z wykorzystaniem

nie tylko wartości skalarnych, ale również trajektorii i kształtu funkcji opisujących przebieg tych wskaźników. Wyniki sugerują możliwość konstruowania bardziej precyzyjnych barometrów gospodarczych opartych na analizie funkcjonalnej.

Ponadto współuczestniczyłem w wykazaniu, że niewielka liczba obserwacji odstających, które są liniowo niezależne od próby uczącej złożonej z funkcji niemal liniowo zależnych, może znacząco zaburzyć działanie analizowanych klasyfikatorów funkcjonalnych. Wynik ten ma fundamentalne znaczenie, ponieważ ujawnia ogólne ograniczenia całej klasy metod opartych na konstrukcji hiperpłaszczyzny separującej, w tym podejść typu Support Vector Machine (SVM). Pokazuje on, jak istotne jest, by specjalista stosujący zaawansowane metody ekonometryczne potrafił rozpoznać sytuacje, w których te metody mogą zawieść oraz świadomie dobierać narzędzia odporne na zakłócenia struktury danych.

Artykuł stanowi krytyczne i syntetyczne ujęcie zastosowań klasyfikatorów funkcjonalnych w analizach ekonomicznych, wskazując kierunki dalszego rozwoju odpornej analizy funkcjonalnej i jej potencjału w modelowaniu złożonych procesów gospodarczych.

Mój wkład miał kluczowe znaczenie dla zapewnienia spójności teoretycznej, poprawności matematycznej i interpretacyjnej opracowanego podejścia.

Mój sumaryczny wkład w powstanie artykułu wyniósł około 55%.

A9 (2020)

Współtworzyłem koncepcję artykułu poświęconego opracowaniu i zastosowaniu nowego podejścia do analizy przyczynowości opartej na pojęciu centralności w badaniu zależności pomiędzy dopłatami rolnymi a rozwojem cyfrowym w Polsce. Mój wkład obejmował opracowanie teoretycznych podstaw koncepcji, konstrukcję formalnych narzędzi opartych na głębi danych, współautorstwo analiz empirycznych oraz przygotowanie i ostateczną redakcję tekstu artykułu.

Po śmierci współautora, samodzielnie przeprowadziłem ostateczną redakcję tekstu oraz wprowadziłem zmiany wynikające z procesu recenzyjnego, zachowując spójność koncepcyjną i formalną całej pracy.

W warstwie teoretycznej byłem odpowiedzialny za sprecyzowanie sposobu wykorzystania narzędzi funkcjonalnej analizy danych, w szczególności pojęcia głębi, w języku przyczynowości Rubina. Na poziomie teoretycznym zastosowałem pojęcie wartości oczekiwanej warunkowej jako wspólnego aparatu probabilistycznego pozwalającego zdefiniować relacje przyczynowe w przestrzeniach funkcji.

W ramach zaproponowanej koncepcji współtworzyłem, wraz z Danielem Kosiorowskim, punkty dotyczące:

- oceny różnicy $Y(E)-Y(C)$ z wykorzystaniem głębi danych, umożliwiające odporne porównanie efektów eksperymentalnych i kontrolnych. Doprecyzowałem, w jaki sposób można interpretować tę różnicę w kontekście danych wielowymiarowych oraz funkcjonalnych, wskazując, że mogą one reprezentować zarówno zbiory obserwacji wektorowych, jak i trajektorie funkcji opisujących przebieg procesów ekonomicznych,
- oraz porównania różnicy median prób indukowanych przez głębię, która dostarcza informacji o rozkładzie różnic między grupami w kontekście wnioskowania przyczynowego.

Kolejne punkty zostały opracowane przeze mnie samodzielnie. Dotyczyły one:

- analizy rozkładu różnic wektorów parametrów regresji, estymowanych metodami opartymi na głębi, co umożliwia opis struktury efektu przyczynowego,
- oraz porównania grup kontrolnych i eksperymentalnych w obrębie różnic między regionami centralnymi przy pomocy parametru lokalności β , co pozwala na analizę efektów przyczynowych na poziomach centralności i lokalności danych, analogicznie do podejść wykorzystujących *propensity scores* (Rosenbaum i Rubin, 1983).

Zaproponowałem również miarę siły związku przyczynowego ograniczoną do większości obiektów na poziomie β , umożliwiającą odporne oszacowanie relacji przyczynowych z pominięciem obserwacji peryferyjnych. Dalsze możliwości rozwinięcia tej koncepcji zostały przedstawione w rozdziale 6 monografii, w którym zaproponowano uogólnienia metody i nowe pola jej zastosowań.

W części empirycznej byłem pomysłodawcą wyboru obszaru badawczego dotyczącego rolnictwa oraz doboru zmiennych reprezentujących dopłaty rolne i rozwój cyfrowy regionów Polski. Samodzielnie wybrałem i przygotowałem odpowiednie wskaźniki z bazy Statistics Poland (GUS), obejmujące zarówno dane o dopłatach, jak i o poziomie cyfryzacji gmin. Opracowałem również sposób agregacji dopłat oraz przygotowałem dane do analiz empirycznych. Obliczenia statystyczne i implementację przeprowadził współautor. Opracowane podejście umożliwiło identyfikację różnic w rozwoju cyfrowym gmin o zbliżonej strukturze demograficznej, lecz różnej intensywności dopłat rolnych, wskazując na związek pośredni między wsparciem finansowym a transformacją technologiczną obszarów wiejskich. Zauważyłem przy tym istotne ograniczenie metody: zaproponowana metoda jest ślepa na kierunek odchyłen obserwacji nietypowych. Schemat ten nie różnicuje odchyłen kształtu, amplitudy ani struktury kowariancji, a jedynie rozdziela obserwacje centralne i atypowe

względem wybranej funkcji głębi. Wskazuje to na naturalne granice podejścia i kierunki dalszych badań nad rozszerzeniem metody.

Artykuł wnosi do literatury przedmiotu zupełnie nową, odporną metodologię analizy przyczynowej, łączącą narzędzia głębi danych z aparatem przyczynowości eksperymentalnej. Mój wkład miał kluczowe znaczenie dla zapewnienia spójności teoretycznej, poprawności formalnej i interpretacyjnej opracowanego podejścia. Opracowana metoda ma również potencjał aplikacyjny w polityce publicznej, zwłaszcza w ocenie skuteczności programów finansowanych ze środków unijnych, umożliwiając bardziej precyzyjne i odporne wnioskowanie o efektach interwencji.

Mój sumaryczny wkład w powstanie artykułu wyniósł około 50%.

A10 (2021)

Artykuł przedstawia nowatorskie podejście do analizy naprężeń na rynku kapitałowym, oparte na połączeniu statystycznej teorii kształtu (ang. *Statistical Theory of Shape*) oraz funkcjonalnej głębi danych (ang. *data depth*). Celem pracy było opracowanie miernika naprężeń rynkowych zdolnego do wychwytywania zmian napięć wewnętrznych w systemie finansowym. Analiza została przeprowadzona na danych z Warszawskiej Giełdy Papierów Wartościowych w latach 2005–2019, obejmujących indeksy sektorowe WIG.

Mój wkład obejmował zaproponowanie oraz formalne opracowanie sposobu wykorzystania głębi funkcjonalnej MBD (ang. *Modified Band Depth*) w kontekście teorii naprężeń kapitału tak, aby uzyskać operacyjnie zastosowalne i statystycznie poprawne rezultaty. Przygotowałem definicje, opisy formalne i interpretacje, które umożliwiły empiryczne zastosowanie koncepcji naprężeń kapitału w analizie rynków finansowych.

W pracy zaproponowano funkcję naprężenia kapitału (ang. *capital strain functional*), łączącą podejście teorii kształtu z metodami głębi danych. Kapitał potraktowano jako substancję zdolną do magazynowania energii i podlegającą lokalnym deformacjom pod wpływem napięć wewnętrznych, co jest analogią do teorii sprężystości (Truesdell, 1969). Współtworzyłem formalny aparat statystyczny pozwalający na szacowanie stopnia „odkształcenia” rynku oraz opracowałem kryteria interpretacji wyników w kontekście zjawisk ekonomicznych.

W części empirycznej byłem odpowiedzialny za dobór i przygotowanie danych dla poszczególnych sektorów indeksu WIG, opracowanie sposobu agregacji i standaryzacji obserwacji oraz analizę wyników naprężeń rynkowych. Uczestniczyłem w interpretacji uzyskanych trajektorii zmian naprężeń w kontekście sytuacji makroekonomicznej, w tym

kryzysu finansowego 2007–2008 i późniejszych turbulencji rynkowych. Na podstawie tych analiz wykazano, że wzrost miary zmienności kształtu poprzedzał kulminację kryzysu finansowego, a spadek energii rynkowej można interpretować jako przejaw sprężystości systemu finansowego.

Zastosowana metoda okazała się skuteczna w identyfikacji momentów wzrostu naprężeń finansowych, poprzedzających znaczące wahania rynkowe. Wyniki pracy mają zarówno znaczenie poznawcze, jak i aplikacyjne. Zaproponowana koncepcja pozwala konstruować wskaźniki wczesnego ostrzegania przed kryzysem finansowym, analizować przepływy kapitału między sektorami oraz monitorować naprężenia systemowe w ujęciu dynamicznym.

Mój wkład miał kluczowe znaczenie dla zapewnienia poprawności statystycznej, spójności formalnej i możliwości praktycznego zastosowania opracowanej metody. Opracowana koncepcja może być również wykorzystywana w analizach stabilności finansowej oraz w kształtowaniu polityki makroostrożnościowej, jako narzędzie służące ocenie odporności systemu finansowego na zakłócenia strukturalne.

Mój sumaryczny wkład w powstanie artykułu wyniósł około 45%.

A11 (2024)

Artykuł analizuje dynamikę mechanizmów dopasowania na rynku pracy USA w latach 2000–2022, ze szczególnym uwzględnieniem okresu pandemii COVID-19. Celem badania było zidentyfikowanie stabilności i elastyczności procesu dopasowania miejsc pracy i bezrobocia z perspektywy mikrostrukturalnej. Autorzy wykorzystali parametry krzywej Beveridge’a (poziom a i nachylenie b) jako zmienne opisujące dynamikę równowagi rynkowej, analizując ich współzależności w czasie. Zastosowano model VECM(1) oraz procedurę estymacji z ruchomym oknem, co pozwoliło uchwycić zarówno długookresowe relacje strukturalne, jak i krótkookresowe mechanizmy dostosowawcze.

Wyniki potwierdziły istnienie trwałej relacji kointegracyjnej między poziomem i nachyleniem krzywej Beveridge’a, co wskazuje na odporność mechanizmu dopasowania na zaburzenia pandemiczne. W krótkim okresie zaobserwowano osłabienie sprzężeń dostosowawczych i brak przyczynowości w sensie Grangera, co sugeruje wysoką elastyczność, ale ograniczoną zdolność rynku do natychmiastowej stabilizacji po szokach zewnętrznych.

Mój wkład w powstanie artykułu obejmował konceptualizację badań, analizę danych oraz dyskusję wyników. Byłem odpowiedzialny za opracowanie mikrostrukturalnej interpretacji krzywej Beveridge’a, zaproponowanie dynamicznego modelu dopasowania oraz ekonomiczną interpretację parametrów a i b , w której parametr a odzwierciedla naturalną

skłonność do zatrudniania w warunkach nadpodaży pracy, natomiast parametr b może być interpretowany jako krańcowa prędkość zatrudniania.

Artykuł stanowi istotny wkład w rozwój metod dynamicznej analizy procesów ekonomicznych i pokazuje, w jaki sposób narzędzia modelowania wektorowego mogą być wykorzystywane do badania stabilności strukturalnej systemów gospodarczych. Praca ta jest spójna z kierunkiem moich badań przedstawionym w monografii, w szczególności w zakresie modelowania odporności i adaptacyjności procesów ekonomicznych w warunkach zaburzeń egzogenicznych. Opracowane podejście może być wykorzystywane w monitorowaniu koniunktury, analizie cykli gospodarczych oraz ocenie skutków szoków gospodarczych, stanowiąc narzędzie wspierające politykę rynku pracy i decyzje makroekonomiczne.

Mój sumaryczny wkład w powstanie artykułu wyniósł około 50%.

A12 (2025)

Artykuł stanowi rozwinięcie zaproponowanej koncepcji metodologicznej, łączącej ramy przyczynowości Rubina z narzędziami analizy funkcjonalnej i pojęciem statystycznej głębi danych. Praca przedstawia sposób wykorzystania miar głębi do formalnego ujęcia różnic między grupami obserwacji w kontekście przyczynowości, co umożliwia empiryczne badanie skutków oddziaływania czynników ekonomicznych w środowisku danych o złożonej strukturze funkcjonalnej lub wielowymiarowej.

W artykule sformułowano pytanie badawcze w języku głębi danych:

Czy warunkowy rozkład $A|B$ różni się od rozkładu $A|\sim B$?

co stanowi interpretację problemu przyczynowego zależności między indeksami giełdowymi w duchu koncepcji Rubina. Następnie opracowaną metodę zastosowano w analizie zależności przyczynowej między indeksem DJIA a sektorowymi indeksami Giełdy Papierów Wartościowych w Warszawie, wykorzystując opracowaną przeze mnie procedurę binaryzacji zmiennych opracowaną. Wyniki wskazały jednoznacznie, że indeksy sektorowe polskiego rynku akcji wykazują silną zależność przyczynową od DJIA, co potwierdza skuteczność proponowanego podejścia.

Mój wkład w powstanie artykułu obejmował pełną koncepcję metodologiczną, w tym sformułowanie formalnych założeń, opracowanie procedur opartych na głębiach danych, implementację miar efektu przyczynowego, a także interpretację i dyskusję wyników empirycznych. Przygotowałem definicje i dowody poprawności statystycznej proponowanej metody oraz opracowałem sposób zastosowania głębi do oceny różnic między grupami eksperymentalnymi i kontrolnymi w duchu koncepcji Rubina.

Artykuł stanowi operacyjne rozwinięcie i empiryczną weryfikację metodologii przedstawionej w mojej monografii, poszerzając jej zastosowanie o kontekst danych finansowych. Pokazuje, że podejście oparte na statystycznych głębiach danych może pełnić funkcję narzędzia przyczynowego w analizie ekonomicznej, umożliwiając ocenę odporności systemów finansowych na zakłócenia oraz badanie efektów polityki gospodarczej.

Opracowana koncepcja może znaleźć zastosowanie w analizie stabilności rynków kapitałowych, badaniach wpływu czynników egzogenicznych na dynamikę indeksów giełdowych oraz w konstrukcji modeli przyczynowych odpornych na obserwacje nietypowe.

Mój sumaryczny wkład w powstanie artykułu wyniósł około 80%.

Praca ta wyznacza kierunek moich dalszych badań nad integracją metod przyczynowych i odpornościowych w analizie procesów ekonomicznych, które zostały rozwinięte w nowym artykule, napisanym z prof. Henrykiem Gurgulem, pt. *The strength of the S&P 500 impact on European stock subindexes described with Rubin causality approach*, przesłanym do recenzji w czasopiśmie "The North American Journal of Economics and Finance" w październiku 2025.

II. Znaczenie i wkład w rozwój dyscypliny ekonomia i finanse

Podejmując decyzję o włączeniu poszczególnych moich prac do prezentowanego cyklu, starałem się wybrać te moje publikacje, które – w mojej ocenie – zawierają elementy mogące zostać uznane za wnoszące wkład w rozwój dyscypliny ekonomia. W efekcie wybrałem cykl obejmujący dwanaście artykułów (**A1–A12**). Łączy je wspólna myśl metodologiczna – wykorzystanie narzędzi funkcjonalnej analizy danych (ang. *Functional Data Analysis*, FDA) i teorii odporności statystycznej do modelowania, klasyfikacji i prognozowania złożonych zjawisk ekonomicznych. W cyklu prac wypracowano spójne podejście badawcze, które wniosło do ekonomii nowy aparat formalny, pozwalający na analizę procesów o strukturze funkcjonalnej, a więc takich, które opisują trajektorie, kształty i dynamikę zjawisk gospodarczych w czasie.

Zasadniczym osiągnięciem metodologicznym jest opracowanie i rozwinięcie odpornego paradygmatu funkcjonalnej analizy danych, który łączy w sobie właściwości klasycznej analizy ekonometrycznej z nowoczesnymi narzędziami statystyki nieparametrycznej. W artykułach **A1–A3** przedstawiono podstawy teoretyczne i konstrukcyjne tego podejścia, rozwijając pojęcia głębi danych, klasyfikatorów funkcjonalnych oraz metod detekcji obserwacji odstających w szeregach czasowych o charakterze funkcjonalnym. W tych pracach opracowałem koncepcje i dowody matematyczne dotyczące funkcyj liniowych w przestrzeniach Hilberta

oraz ich zastosowań w budowie klasyfikatorów odpornych na zakłócenia struktury danych. Zaproponowane metody umożliwiają analizę zjawisk ekonomicznych w sposób bardziej stabilny wobec błędów pomiarowych i anomalii obserwacyjnych, co ma bezpośrednie znaczenie dla analizy procesów makroekonomicznych, finansowych i środowiskowych.

W artykułach **A4–A5** opracowano i zastosowano metody funkcjonalnej analizy danych do prognozowania i detekcji anomalii w hierarchicznych szeregach czasowych, zwłaszcza w kontekście jakości powietrza i środowiskowych procesów ekonomicznych (artykuł **A6**). Mój wkład obejmuje zaprojektowanie metod prognozowania opartych na medianie funkcjonalnej i głębi lokalnej, umożliwiających uzyskanie prognoz odpornych i spójnych w strukturze hierarchicznej. Proponowane podejście zostało powiązane z ekonomiczną interpretacją efektywności społecznej, co stanowi przykład integracji narzędzi matematycznych z teorią dobrobytu społecznego. Wkład ten przyczynił się do rozwoju metod ilościowych w ekonomii środowiskowej oraz do wypracowania narzędzi wspierających politykę publiczną w zakresie zarządzania jakością powietrza.

Kolejna grupa prac (**A7–A9**) rozwijała autorskie podejście do modelowania zmian strukturalnych i przyczynowości w ekonomii. W artykule **A7** zaproponowano nową, odporną metodę detekcji zmian strukturalnych w szeregach czasowych, opartą na lokalnym teście Wilcoxa i pojęciu głębi funkcjonalnej. Metoda ta umożliwia wykrywanie zmian strukturalnych w funkcjonalnych szeregach czasowych, co ma znaczenie zarówno dla monitorowania procesów gospodarczych, jak i dla analizy stabilności systemów ekonomicznych. Artykuł **A8** wniósł, w mojej opinii, istotny wkład w analizę zastosowań klasyfikatorów funkcjonalnych w ekonomii – wykazano, że mogą one służyć do analizy procesów opisanych przez trajektorie zmiennych, co pozwala na badanie dynamiki wskaźników makroekonomicznych i konstruowanie nowych barometrów koniunktury. W pracy tej wskazałem również ograniczenia klasycznych metod SVM i zaproponowałem rozwiązania o zwiększonej odporności jakościowej.

Kluczowy dla mojego dorobku naukowego artykuł **A9** wprowadza zupełnie nowe podejście do analizy przyczynowości opartej na centralności (ang. *centrality-oriented causality*). Koncepcja ta łączy pojęcie głębi danych z teorią przyczynowości Rubina, tworząc odporne narzędzie wnioskowania przyczynowego w przestrzeniach funkcjonalnych. Opracowana metodyka tworzy wartość dodaną nie tylko w znaczeniu teoretycznym, ale i aplikacyjnym – może być wykorzystana do oceny podejmowanych decyzji, w tym programów unijnych, w oparciu o dane o złożonej strukturze. Wkład ten stanowi przykład wprowadzenia do ekonomii

nowej ramy analitycznej, opartej na matematycznej teorii głębi i statystyce nieparametrycznej, co, w mojej opinii, znacząco poszerza zakres metod badawczych dyscypliny.

W artykule **A10** współtworzyłem nowatorską koncepcję mierzenia naprężeń rynkowych, opartą na teorii kształtu i głębi danych. Zastosowanie tej koncepcji do danych z Giełdy Papierów Wartościowych w Warszawie umożliwiło opracowanie wskaźnika naprężeń kapitałowych, pozwalającego na identyfikację napięć wewnętrznych w systemie finansowym. Proponowane podejście ma duże znaczenie dla praktyki analizy ryzyka systemowego, monitorowania stabilności finansowej i tworzenia narzędzi wczesnego ostrzegania. Praca ta rozwija nurt ekonomii matematycznej i finansów ilościowych, wskazując na potencjał teorii funkcjonalnej głębi danych w badaniu dynamiki rynków kapitałowych.

Artykuł **A11** rozszerza zastosowania metod modelowania dynamicznego na obszar rynku pracy. Analiza mechanizmów dopasowania na rynku pracy USA z wykorzystaniem parametrów krzywej Beveridge'a i modelu VECM stanowi przykład integracji podejść ekonometrycznych i mikrostrukturalnych. Mój wkład obejmuje opracowanie mikrostrukturalnej interpretacji parametrów oraz ich ekonomiczną interpretację w kategoriach skłonności do zatrudniania i prędkości dostosowawczej. Wyniki tej pracy pokazują, że koncepcje wypracowane w ramach badań nad odpornością procesów ekonomicznych mają szerokie zastosowanie także w analizie rynku pracy i cykli gospodarczych.

Ostatni z artykułów (**A12**) stanowi rozwinięcie koncepcji przyczynowości Rubina w kontekście danych finansowych. W pracy tej opracowałem pełną metodologię analizy przyczynowej z użyciem głębi danych, umożliwiającą badanie zależności między indeksem DJIA a indeksami sektorowymi polskiego rynku kapitałowego. Wyniki wykazały silne związki przyczynowe między rynkiem amerykańskim a polskim, a zaproponowane narzędzia mogą być stosowane do oceny odporności rynków finansowych na zakłócenia zewnętrzne. Artykuł ten stanowi nie tylko rozwinięcie, ale także empiryczne potwierdzenie skuteczności tej autorskiej metodologii.

Cały cykl artykułów **A1–A12** stanowi próbę wprowadzenia do dyscypliny ekonomia i finanse nowego podejścia. Opracowałem spójną koncepcję badawczą integrującą trzy nurty: (1) funkcjonalną analizę danych, (2) teorię odporności statystycznej, (3) metody przyczynowe. Opracowane podejścia umożliwiają badanie zjawisk gospodarczych w sposób bardziej realistyczny, odporny i interpretowalny, a także pozwalają łączyć dane ekonomiczne, finansowe i środowiskowe w jednym aparacie analitycznym. W rezultacie podjąłem próbę

rozszerzenia stosowanych w ekonomii metod ilościowych, poszerzenia zakresu ich zastosowań oraz wzmocnienia paradygmatu odpornej analizy danych w badaniach ekonomicznych.

Znaczenie naukowe mojego dorobku polega na współtworzeniu podstaw nowego podejścia metodologicznego w ekonomii – odpornej funkcjonalnej analizy danych – oraz wykazaniu jej skuteczności w praktycznych zastosowaniach z zakresu finansów, polityki publicznej, ekonomii środowiskowej i rynku pracy. Opracowane przeze mnie koncepcje umożliwiają analizę dynamicznych i złożonych systemów gospodarczych w sposób odporny na zakłócenia, co stanowi w mojej ocenie istotną wartość dodaną do rozwoju współczesnej ekonomii ilościowej.

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej

Uczestniczyłem w realizacji projektu „Społeczno-gospodarcze konsekwencje czwartej rewolucji przemysłowej” finansowanego w ramach programu Ministra Edukacji i Nauki pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” na Uniwersytecie Ekonomicznym w Krakowie w latach 2019-2023. Zadania wykonywałem w ramach Problemu węzłowego nr 1.2 Cyfryzacja procesów produkcji i zarządzania w zadaniu badawczym pod nazwą „Metody statystycznego wspomaganie podejmowania decyzji na podstawie wielkich ekonomicznych zbiorów danych czasowo-przestrzennych.

W ramach współpracy w ramach „Regionalnej Inicjatywy Doskonałości” byłem współautorem następujących publikacji, wymienionych w wykazie osiągnięć naukowych:

A8. A critical study of usefulness of selected functional classifiers in economics, D. Kosiorowski, D. Mielczarek, J. P. Rydlewski, *Acta Universitatis Lodziensis - Folia Oeconomica*; 2020 vol. 2 no. 347, s. 71-90.

A9. Centrality-oriented causality: a study of EU agricultural subsidies and digital development in Poland, D. Kosiorowski, J. P. Rydlewski, *Operations Research and Decisions*; 2020 vol. 30 no. 3, s. 47-63.

A10. A new approach for analyzing stock market stress based on the Warsaw Stock Exchange in 2005–2019, D. Kosiorowski, J. P. Rydlewski, T. Klecha, D. Mielczarek, *Eastern European Economics*; 2021 vol. 59 no. 4, s. 317–333.

Odbyłem staż naukowo-dydaktyczny w Zhytomyr Polytechnic State University w kwietniu 2025 r.

W ramach stażu przeprowadziłem następujące wykłady dla studentów (online):

1. "Game theory for beginners" 2 godziny lekcyjne dnia 14 kwietnia 2025 r.
2. "Game theory" 2 godziny lekcyjne dnia 14 kwietnia 2025 r.
3. "Applying game theory in management" 2 godziny lekcyjne dnia 25 kwietnia 2025 r.
4. "Statistics in management" 2 godziny lekcyjne dnia 25 kwietnia 2025 r.

Patrz także: <https://news.ztu.edu.ua/2025/04/polskyj-naukovets-jerzy-rydlewski-prochytav-lektsiyi-z-teoriyi-igor-studentam-universytetu/>

Odbyłem trzymiesięczny staż naukowy na Uniwersytecie Ekonomicznym w Krakowie w dniach 5 maja 2025 – 31.07.2025

W efekcie stażu powstał wysłany do recenzji artykuł, którego współautorem jest dr Przemysław Jaśko: *Goodwin model for France's business cycles: a functional data analysis approach*.

Autorzy: Jerzy Rydlewski i Przemysław Jaśko, artykuł przesłano do recenzji w czasopiśmie „Managerial Economics”.

W dniach 2-3 września 2025 r. gościłem w Budapest University of Economics and Business, Department of Management and Leadership, gdzie prowadziłem zajęcia z przedmiotu *Game theory for beginners* (8 godzin dydaktycznych) i odbyłem z pracownikami Wydziału spotkania dotyczące współpracy naukowej.

Uczestniczyłem w pracach Centrum Data Science przy Uniwersytecie Ekonomicznym w Krakowie w charakterze eksperta od 1 lutego 2022 r. do 31 stycznia 2023 r.

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę

Działalność dydaktyczna

Działalność dydaktyczna, obok naukowo-badawczej, stanowi dla mnie ważną część składową mojej pracy akademickiej. W całym okresie swojej pracy zawodowej prowadziłem zajęcia, przede wszystkim na Akademii Górniczo-Hutniczej oraz na Uniwersytecie Jagiellońskim, na studiach I oraz II stopnia.

Zestawienie najważniejszych zajęć dydaktycznych, które prowadziłem w Polsce dla studentów studiów I i II stopnia, przedstawiam poniżej:

1. *Ekonomia* (wykład i ćwiczenia) dla studentów Wydziału Matematyki Stosowanej (dalej WMS) AGH
2. *Zarządzanie ryzykiem – studium przypadków* (konwersatorium) dla studentów WMS AGH
3. *Teoria Gier* (ćwiczenia) dla studentów WMS i Wydziału Zarządzania (dalej WZ) AGH
4. *Metody replikacyjne w analizie danych* (wykład i ćwiczenia) dla studentów WZ AGH
5. *Współczesne zastosowania matematyki* (wykład) dla studentów WZ AGH
6. *Zastosowania teorii gier kooperacyjnych w ekonomii*, seminarium magisterskie dla studentów WMS AGH
7. *Wstęp do rachunku prawdopodobieństwa* (ćwiczenia) dla studentów WMS AGH
8. *Rachunek prawdopodobieństwa II* (ćwiczenia) dla studentów WMS AGH
9. *Teoria optymalizacji* (ćwiczenia) dla studentów Instytutu Matematyki Uniwersytetu Jagiellońskiego

Dla studentów różnych kierunków studiów technicznych AGH:

10. *Analiza matematyczna 2* (wykład i ćwiczenia)
11. *Wstęp do matematyki* (ćwiczenia)
12. *Matematyka I i Matematyka II* (ćwiczenia)
13. *Algebra liniowa* (ćwiczenia)
14. *Algebra* (ćwiczenia)
15. *Probabilistyka i statystyka stosowana* (ćwiczenia)

Byłem promotorem 15 prac magisterskich obronionych na Wydziale Matematyki Stosowanej AGH w Krakowie. Z tych prac większość, tj. 13 prac, dotyczyła teorii gier albo zastosowań metod statystyki matematycznej w ekonomii.

Oprócz tego pełniłem funkcję recenzenta licznych prac magisterskich i licencjackich.

Brałem udział w Ogólnopolskiej Olimpiadzie „O Diamentowy Indeks AGH” w charakterze członka Komisji Konkursowej etapu okręgowego oraz etapu centralnego. Funkcję tę pełniłem nieprzerwanie w trakcie kolejnych edycji Olimpiady latach 2008/2009 – 2024/2025.

Działalność organizacyjna:

1. Byłem członkiem Komisji Egzaminacyjnej do przeprowadzenia pisemnego, testowego egzaminu licencjackiego i wstępnego w ramach rekrutacji na studia II stopnia na kierunku matematyka w latach 2015, 2016, 2017 i 2018. Wraz z innymi członkami Komisji przygotowywałem i przeprowadzałem egzaminy licencjackie w tych latach.
2. Byłem członkiem Komisji ds. specjalności Matematyka Finansowa za lata 2021-2024.
3. Byłem przewodniczącym Wydziałowego zespołu ds. przechowywania i archiwizowania dokumentacji dydaktycznej w latach 2022-2024 na Wydziale Matematyki Stosowanej AGH.
4. Pomagałem przy organizacji dużej międzynarodowej konferencji „Dynamics, Equations and Applications” w 2019 r. na AGH. O randze tej konferencji świadczy fakt, że swoje referaty wygłosili, między innymi, laureaci Medalu Fieldsa.

7. Inne informacje dotyczące mojej kariery zawodowej

Przed uzyskaniem stopnia doktora:

Byłem kierownikiem i wykonawcą grantu promotorskiego MNiSW nr projektu N N201 5258 38 w 2010 r., nr umowy 5258/B/H03/2010/38.

Tytuł projektu: „Estymatory największej wiarygodności w modelach beta- i gamma-regresji”.

Pełniłem od stycznia 2015 r. funkcję promotora pomocniczego w przewodzie doktorskim mgr. Mateusza Bociana na Uniwersytecie Ekonomicznym w Krakowie. Promotorem rozprawy doktorskiej był dr hab. Daniel Kosiorowski, prof. UEK w Krakowie.

Temat pracy doktorskiej: „Odporna analiza dyskryminacyjna w badaniach e-gospodarki.” Praca nie została przedstawiona do obrony z powodu rezygnacji kandydata z kontynuowania pracy naukowej.

Literatura przywoływana w autoreferacie:

1. Rosenbaum P.R., Rubin D.B. (1983), The Central Role of the Propensity Score in Observational Studies for Causal Effects. *Biometrika*, 70, 41-55.
2. Shang H.L., Hyndman R.J. (2017), Grouped functional time series forecasting: an application to age-specific mortality rates, *Journal of Computational and Graphical Statistics* 26(2), 330-343.
3. Truesdell C. (1969), Rational Thermodynamics. New York: McGraw-Hill.
4. Zuo Y., Serfling R. (2000), General notions of statistical depth function. *The Annals of Statistics*, 28(2), 461-482.

.....
(podpis wnioskodawcy)