

Załącznik III do wniosku o wszczęcie postępowania habilitacyjnego

Autoreferat

*Modelowanie ryzyka systemowego
w obliczu kryzysów finansowych:
wzajemne powiązania i podobieństwo
w sektorze ubezpieczeń*

dr Anna Denkowska

Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie

Kraków, 22 marca 2025

Autoreferat

Anna Denkowska

22 marca 2025

Spis treści

1	Dane podstawowe	3
2	Posiadane dyplomy, stopnie naukowe	3
2.1	Stopień i tytuł	3
2.2	Inne dyplomy i certyfikaty	3
3	Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych	5
3.1	Jednostka naukowa	5
3.2	Stáže i pobyty naukowe	5
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.)	7
4.1	Główne osiągnięcie naukowe	7
4.1.1	Tytuł osiągnięcia naukowego	7
4.1.2	Lista publikacji składających się na osiągnięcie naukowe	7
4.1.3	Dotychczasowe badania w obszarze podjętego problemu badawczego na podstawie literatury przedmiotu wraz z uzasadnieniem wyboru tematu cyklu publikacji	11
4.1.3.1	Definicja ryzyka systemowego	11
4.1.3.2	Pomiar ryzyka systemowego	12
4.1.3.3	Ryzyko systemowe w sektorze ubezpieczeń	14
4.1.3.4	Modelowanie ryzyka systemowego i kanały zarażania	15
4.1.3.5	Uzasadnienie wyboru tematu cyklu publikacji	17
4.1.4	Cele główne i cele szczegółowe	19
4.1.5	Prezentacja prac składających się na cykl publikacji wraz ze wskazaniem zrealizowanych celów	21
4.1.5.1	Prezentacja syntetyczna publikacji	21
4.1.5.2	Prezentacja cyklu prac	22
4.1.5.3	Prezentacja realizacji celów głównych i szczegółowych	34
4.2	Wkład w rozwój dyscypliny ekonomia i finanse	38

5	Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej	41
5.1	Aktywność naukowa realizowana w Uniwersytecie Ekonomicznym w Krakowie	41
5.1.1	Syntetyczne zestawienie dorobku publikacyjnego	41
5.1.2	Zestawienie realizowanych projektów	42
5.1.3	Nagrody za działalność naukową i organizacyjną	43
5.2	Współpraca naukowa z ośrodkami naukowymi w kraju i za granicą	44
6	Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę	47
6.1	Zajęcia ze studentami w języku angielskim	47
6.2	Zajęcia ze studentami w języku polskim, UEK	47
6.3	Opracowanie kart przedmiotu	47
6.4	Organizacja konferencji o zasięgu krajowym oraz międzynarodowym	48
6.5	Organizacja współpracy z otoczeniem gospodarczym	48
6.5.1	Współpraca z firmą Numlabs	48
6.5.2	Rada Interesariuszy Instytutu Metod Ilościowych w Naukach Społecznych	48
6.6	Promotor pomocniczy w przewodzie doktorskim	49
6.7	Udział w konferencjach krajowych i międzynarodowych	49
6.8	Recenzowane artykuły i monografie	52
6.9	Członkostwo w organizacjach	52
7	Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1-6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej	53
7.1	Dodatkowy drobek publikacyjny	53
7.1.1	Prezentacja wybranych artykułów w pozostałym dorobku	56
8	Podsumowanie autoreferatu	59
9	Literatura cytowana w autoreferacie	60

1. Dane podstawowe

Imię i Nazwisko:

Anna Denkowska

Adres korespondencyjny:

Katedra Matematyki
Kolegium Ekonomii i Finansów
Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie
ul. Rakowicka 27
31-510 Kraków

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe

2.1 Stopień i tytuł

- 2008, doktor nauk matematycznych w dyscyplinie matematyka, Katedra Teorii Aproksymacji, Instytut Matematyki, Wydział Matematyki i Informatyki, Uniwersytet Jagielloński. Rozprawa doktorska pt. *"Charakterystyka podprzestrzeni jeden-upełniających ciągłych przestrzeni Musielaka-Orlicza"*, przygotowana pod opieką naukową promotora prof. dr. hab. Grzegorza Lewickiego. Dysertacja przygotowana w trakcie studiów doktoranckich w IM UJ w latach 2002-2008 z przerwą ze względu na urlop macierzyński w latach 2005-2006.
- 2002, magister matematyki, Katedra Teorii Aproksymacji, Instytut Matematyki, Wydział Matematyki i Informatyki, Uniwersytet Jagielloński. Praca magisterska pt. *"Uogólnienia twierdzenia Weierstrassa"*, przygotowana pod opieką naukową promotora prof. dr. hab. Grzegorza Lewickiego.

2.2 Inne dyplomy i certyfikaty

- 2024, certyfikat szkolenia "Statistical Methods for Unsupervised and Supervised Learning with Dimensionality Reduction" organizowanego przez Sapienza University of Rome, Italy (30h).
- 2024, certyfikat szkolenia "Big Data – analiza danych i modelowanie z pakietem obliczeniowym R" organizowanego przez fundację Tygiel (12h).
- 2023, certyfikat Spring School "Structured Population Models" organizowanego na Uniwersytecie Warszawskim przez ICM-MIM initiative under the IDUB programme entitled PDEs in Mathematical Biology (30h).
- 2014, certyfikat awansu zawodowego nauczyciela matematyki: Nauczyciel Dyplomowany, nr SEPZ-I.5861.1212.2014.MO.

- 2012, dyplom ukończenia dwuletniego kursu pedagogicznego w Studium Doskonalenia Pedagogicznego Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie, nr 329.
- 2012, certyfikat Egzaminatora Maturalnego z Matematyki nr ew. 332006358.
- 2011, certyfikat ukończenia warsztatów organizowanych przez WEUMK z zakresu E-learningowego wspierania procesu nauczania (15h).332006358.
- 2011, certyfikat ukończenia warsztatów organizowanych przez WEUMK z zakresu E-learningowego wspierania procesu nauczania (15h).
- 2009, certyfikat ukończenia warsztatów organizowanych przez WEUMK, doskonalących umiejętność komputerowego wspomagania procesu kształcenia Cabri 2D i 3D, WINGEOM, GEOGEBRA, MATLAB (30h).
- 2007, certyfikat Centrum Oprogramowania i Szkoleń GAMBIT ukończenia szkolenia z zakresu wykorzystywania programu Derive 6 (6h).

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych

3.1 Jednostka naukowa

- Od 10.2013, Katedra Matematyki, Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, adiunkt
- 10.2011 - 09.2013, Katedra Matematyki, Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie
- 2002 - 2005, umowa zlecenie, Instytut Matematyki, Uniwersytet Jagielloński
(Urlopy macierzyńskie i wychowawcze z tytułu urodzenia trójki dzieci:
2006-2007, 2009-2010, 2015-2016.)

3.2 Staże i pobyty naukowe

W ostatnich latach odbyłam kilka staży, które realizowałam zawsze w formie pobytu naukowego. W trakcie pobytów naukowych najczęściej łączyłam pracę nad artykułem z prezentacją wyników swoich badań dla pracowników naukowych danego ośrodka oraz studentów.

- **Polytechnic Institute of Viana do Castelo in Valença, Portugalia**
06-13.06.2024 - pobyt naukowy i współpraca naukowa z Prof. João Paulo Vieito. W trakcie pobytu dokończyliśmy pracę nad **wspólnym artykułem**: Denkowska, A., Wanat, S., Vieito, J.P. (2024). *Assessing the Influence of Digitalization on Systemic Risk in the Insurance Sectors of EU Countries*, który jest w recenzji w Entrepreneurial Business and Economics Review.
- **Sapienza University of Rome, Włochy**
18-25.02.2024 - pobyt naukowy połączony ze szkoleniem: "Statistical Methods for Unsupervised and Supervised Learning with Dimensionality Reduction". W trakcie tego pobytu naukowego nawiązałam współpracę naukową z prof. Valentiną Lorenzoni z Scuola Superiore Sant'Anna w Pizie. Nasza współpraca zaowocowała **wspólnym artykułem**: Denkowska, A., Wanat, S., Lorenzoni, V. (2024) *When climate risk affects the systemic risk of the insurance sector: applying the new Copula-DCC-GARCH-DeltaCoVaR model*, który jest w recenzji w czasopiśmie International Journal of Forecasting. Współpraca jest kontynuowana w ramach realizowanego projektu NCN Opus 27, którego jestem kierownikiem. W trakcie szkolenia poszerzałam również swoje umiejętności w wykorzystywaniu programów R, Python, Matlab. W części konferencyjnej prezentowałam dotychczasowe moje badania: "New tools for analyzing systemic risk in the insurance sector".
- **Stralsund University of Applied Sciences, Niemcy**
30.05-06.06.2023 - pobyt naukowy i warsztaty - "Int. Workshop Data Science in Finance and meeting with R-users", w trakcie którego z Prof. Gero Szepannkiem pracowaliśmy nad **kodem w programie R**, który zostanie wykorzystany w opracowywanym aktualnie artykule. W trakcie warsztatów przedstawiałam dwa razy wyniki moich badań: A. Denkowska, G. Korbela "Application of R in the analysis of the influence of macroeconomic policy on life expectancy", oraz A. Denkowska, S. Wanat: "Systemic Risk Modelling in the Insurance Sector based on the Copula-DCC-GARCH-MST-DTW model".

- **Wydział Matematyki, Informatyki i Mechaniki, Uniwersytet warszawski**
15-19.05.2023 - pobyt naukowy połączony ze Szkołą: "Structured Population Models", na którym również zaprezentowałam wyniki **wspólnego artykułu**: Denkowska, A., Gwiazda, P., Kalita, P. (2021), *On Renormalized Solutions to Elliptic Inclusions with Nonstandard Growth*, Calculus of Variations and Partial Differential Equations, 60(1), 1-52. DOI: 10.1007/s00526-020-01893-4.
- **Polytechnic Institute of Viana do Castelo in Valença, Portugalia**
26.10-02.11.2023 - pobyt naukowy ze współpracą naukową z Prof. João Paulo Vieito. W trakcie pobytu rozpoczęliśmy pracę nad **artykułem**, który został dokończony w trakcie kolejnego pobytu naukowego w 2024 r.: Denkowska, A., Wanat, S., Vieito, J.P. (2024) *Assessing the Influence of Digitalization on Systemic Risk in the Insurance Sectors of EU Countries*. Artykuł został złożony do recenzji.
- **Polytechnic Institute of Viana do Castelo in Valença, Portugalia**
15-29.10.2021 - staż naukowy i współpraca naukowa z Prof. João Paulo Vieito. W trakcie stażu opracowaliśmy **artykuł, który jest już opublikowany**: Denkowska, A., Wanat, S., Vieito, J.P. (2024), *The Effect of the 2004 EU Enlargement on the Development and Similarity of the Insurance Sectors in the EU*, European Review, 32(2):111-134. DOI: 10.1017/S1062798723000236.

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 Główne osiągnięcie naukowe

4.1.1 Tytuł osiągnięcia naukowego

Jako osiągnięcie naukowe, 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.) zgłaszam cykl publikacji powiązanych tematycznie zatytułowany: ***Modelowanie ryzyka systemowego w obliczu kryzysów finansowych: wzajemne powiązania i podobieństwo w sektorze ubezpieczeń.***

4.1.2 Lista publikacji składających się na osiągnięcie naukowe

Pod wymienianymi artykułami podaję liczbę punktów z listy MNiSW oraz IF czasopisma z roku, w którym artykuł był opublikowany (jeśli był ustalony) oraz bieżący IF wraz z liczbą cytowań w bazie Scopus, liczbą cytowań w bazie WoS oraz liczbą cytowań według statystyki całościowej wraz z cytowaniami poza bazy Scopus i WoS. Dodatkowo zamieszczam informację o moim wkładzie w badania oraz opracowanie publikacji:

- [A1] Denkowska, A., Wanat, S. (2020), Dependencies and Systemic Risk in the European Insurance Sector. Some New Evidence-Based on Copula-DCC-GARCH Model and Selected Clustering Methods, *Entrepreneurial Business and Economics Review*, 8(4), 7-27, DOI: 10.15678/EBER.2020.080401

MNiSW: 100 pkt., IF₂₅: 2.6

Liczba cytowań: (Scopus: 7, WoS: 8, Google Scholar: 10)

Mój wkład w przygotowanie publikacji wynosi 50% i obejmuje: konceptualizację badań, opracowanie przeglądu literatury, przygotowanie zbioru danych, wizualizację danych, opracowanie metodyki badań, dobór metod ilościowych, opracowanie kodów oraz wykonanie obliczeń, opracowanie wyników, sprawdzenie wyników i ich interpretację, opracowanie wniosków i przygotowanie podsumowania. Redakcja pierwszej wersji maszynopisu, praca nad poprawkami do maszynopisu (po recenzji i redakcji tekstu). Autor korespondencyjny.

- [A2] Denkowska, A., Wanat, S. (2022), Linkages and Systemic Risk in the European Insurance Sector. New Evidence-Based on Minimum Spanning Trees, *Risk Management*, 24(2), 123-136, DOI: 10.1057/s41283-021-00087-2

MNiSW: 70 pkt., IF₂₂: 2.1

Liczba cytowań: (Scopus: 3, WoS: 3, Google Scholar: 4)

Mój wkład w przygotowanie publikacji wynosi 50% i obejmuje: konceptualizację badań, opracowanie przeglądu literatury, przygotowanie zbioru danych, wizualizację danych, opracowanie metodyki badań, dobór metod ilościowych, opracowanie kodów oraz wykonanie obliczeń, opracowanie wyników, sprawdzenie wyników i ich interpretację, opracowanie wniosków i przygotowanie podsumowania. Redakcja pierwszej

wersji maszynopisu, praca nad poprawkami do maszynopisu (po recenzji i redakcji tekstu). Autor korespondencyjny.

- [A3] Denkowska, A., Wanat, S. (2021), A Dynamic MST-deltaCoVaR Model of Systemic Risk in the European Insurance Sector, *Statistics in Transition* (new series), 22(2), 173-188. DOI: 10.21307/stattrans-2021-022

MNiSW: 70 pkt.

liczba cytowań: (Scopus: 3, Google Scholar: 6)

Mój wkład w przygotowanie publikacji wynosi 50% i obejmuje: konceptualizację badań, opracowanie przeglądu literatury, przygotowanie zbioru danych, wizualizację danych, opracowanie metodyki badań, dobór metod ilościowych, opracowanie kodów oraz wykonanie obliczeń, opracowanie wyników, sprawdzenie wyników i ich interpretację, opracowanie wniosków i przygotowanie podsumowania. Redakcja pierwszej wersji maszynopisu, praca nad poprawkami do maszynopisu (po recenzji i redakcji tekstu). Autor korespondencyjny.

- [A4] Denkowska, A., Wanat, S. (2020), A Tail Dependence-Based MST and Their Topological Indicators in Modelling Systemic Risk in the European Insurance Sector, *Risks*, 8(2), 1-22. DOI: 10.3390/risks8020039

MNiSW: 70 pkt., IF₂₅: 2.0

Liczba cytowań: Scopus: 7, liczba cytowań WoS: 5, Google Scholar: 17)

Mój wkład w przygotowanie publikacji wynosi 50% i obejmuje: konceptualizację badań, opracowanie przeglądu literatury, przygotowanie zbioru danych, wizualizację danych, opracowanie metodyki badań, dobór metod ilościowych, opracowanie kodów oraz wykonanie obliczeń, opracowanie wyników, sprawdzenie wyników i ich interpretację, opracowanie wniosków i przygotowanie podsumowania. Redakcja pierwszej wersji maszynopisu, praca nad poprawkami do maszynopisu (po recenzji i redakcji tekstu). Autor korespondencyjny.

- [A5] Denkowska, A., Wanat, S. (2021), Dynamic Time Warping Algorithm in Modeling Systemic Risk in the European Insurance Sector, *Entropy*, 23(8), 1022, DOI: 10.3390/e23081022

MNiSW: 100 pkt., IF₂₁: 2.738

Liczba cytowań: (Scopus: 8, WoS: 7, Google Scholar: 13)

Mój wkład w przygotowanie publikacji wynosi 50% i obejmuje: konceptualizację badań, opracowanie przeglądu literatury, przygotowanie zbioru danych, wizualizację danych, opracowanie metodyki badań, dobór metod ilościowych, opracowanie kodów oraz wykonanie obliczeń, opracowanie wyników, sprawdzenie wyników i ich interpretację, opracowanie wniosków i przygotowanie podsumowania. Redakcja pierwszej wersji maszynopisu, praca nad poprawkami do maszynopisu (po recenzji i redakcji tekstu). Autor korespondencyjny.

- [A6] Denkowska, A., Wanat, S., Vieito, J.P. (2023), The Effect of the 2004 EU Enlargement on the Development and Similarity of the Insurance Sectors in the EU, *European Review*, 2023, 1-24. DOI: 10.1017/S1062798723000236

MEiN: 70 pkt., IF₂₃: 0.8

Mój wkład w przygotowanie publikacji wynosi 33.3% i obejmuje: konceptualizację badań, opracowanie przeglądu literatury, przygotowanie zbioru danych, wizualizację

danych, opracowanie metodyki badań, dobór metod ilościowych, opracowanie kodów oraz wykonanie obliczeń, opracowanie wyników, sprawdzenie wyników i ich interpretację, opracowanie wniosków i przygotowanie podsumowania. Redakcja pierwszej wersji maszynopisu, praca nad poprawkami do maszynopisu (po recenzji i redakcji tekstu). Autor korespondencyjny.

- [A7] Denkowska, A. (2020), *Convergence of Conflict Sets and Applications*, In: B. Ciałowicz (ed) *Quantitative methods in the contemporary issues of economics*. Kraków: Wydawnictwo edu-Libri s.c., 21-29. ISBN: 978-83-66395-01-5
MNiSW: 20 pkt., rozdział w monografii

- [A8] Białożyty, A., Denkowska, A., Denkowski, M., (2024), The Kuratowski convergence of medial axes and conflict sets, *Annali della Scuola Normale Superiore di Pisa - Classe di Scienze*. DOI:10.2422/2036-2145.202310_002, arXiv:1602.05422
MNiSW: 140 pkt., IF_{24} : 1.2
 Liczba cytowań: (WoS: 1, Google Scholar: 5)

Mój wkład w przygotowanie publikacji wynosi 33,3% i obejmuje: konceptualizację badań, opracowanie przeglądu literatury, opracowanie metodyki badań, opracowanie dowodów. Redakcja pierwszej wersji maszynopisu, praca nad poprawkami do maszynopisu (po recenzji i redakcji tekstu).

- [A9] Denkowska, A., Gwiazda, P., Kalita, P. (2021), On Renormalized Solutions to Elliptic Inclusions with Nonstandard Growth, *Calculus of Variations and Partial Differential Equations*, 60(1), 1-52. DOI: 10.1007/s00526-020-01893-4
MNiSW: 200 pkt., IF_{21} : 2.079
 Liczba cytowań: (Scopus: 10, WoS: 8, Google Scholar: 14)

Mój wkład w przygotowanie publikacji wynosi 33,3% i obejmuje: konceptualizację badań, opracowanie przeglądu literatury, opracowanie metodyki badań, opracowanie dowodów. Redakcja pierwszej wersji maszynopisu, praca nad poprawkami do maszynopisu (po recenzji i redakcji tekstu).

Przedstawiane przeze mnie artykuły, składające się na moje osiągnięcie naukowe, zostały opublikowane w specjalistycznych czasopismach o zasięgu międzynarodowym. Są to czasopisma, które można podzielić na grupy ze względu na tematykę czasopisma oraz możliwość prezentacji wykorzystywanych narzędzi.

Pierwszą grupę stanowią czasopisma *Risks*, *Risk Management* oraz *Entropy*, które są ściśle związane z analizą ryzyka, zarządzaniem ryzykiem oraz rozwijaną przez nas metodologią z teorii sieci. Artykuł opublikowany w czasopiśmie *Risks* ukazał się w numerze specjalnym, zatytułowanym "Systemic Risk and Reinsurance". W czasopiśmie *Entropy* artykuł jest opublikowany w numerze specjalnym, zatytułowanym "Fractal and Multifractal Analysis of Complex Networks".

Drugą grupę stanowią czasopisma *Calculus of Variations and Partial Differential Equations* oraz *Annali della Scuola Normale Superiore di Pisa - Classe di Scienze*, w których możliwa jest prezentacja opisu zaawansowanych narzędzi wykorzystywanych w modelowaniu i predykcji ryzyka systemowego.

Trzecia grupa czasopism to *Entrepreneurial Business and Economics Review*, *European Review*, *Statistics in Transition new series*. Czasopisma te oferują możliwość przedstawienia zastosowań opracowanej metodologii oraz empirycznych wyników badań, co pozwala na ukazanie ich wpływu na zarządzanie i politykę makroostrożnościową.

Quantitative methods in the contemporary issues of economics jest monografią, w której opublikowany jest rozdział mojego autorstwa, poświęcony zastosowaniom w ekonomii i finansach opracowywanych nowych narzędzi, które wykorzystane będą do analizy ryzyka w sektorze ubezpieczeń, a które szczegółowo prezentowane są w dwóch innych artykułach.

Współautorzy prezentowanych w cyklu prac to, zgodnie z alfabetem, dr Adam Białożyty (IMUJ), dr hab. Maciej Denkowski, prof. UJ (IMUJ), prof. dr hab. Piotr Gwiazda (IMPAN), dr hab. Piotr Kalita, prof. UJ (IMUJ), prof. João Paulo Vieito (IPVC, Portugalia), dr hab. Stanisław Wanat, prof. UEK (UEK). Ponadto w zaprezentowanym dodatkowym dorobku publikacyjnym współautorami są dr Marta Kornafel (UEK), dr hab. Agnieszka Lipieta, prof. UEK (UEK), prof. Valentina Lorenzoni (Scuola Universitaria Superiore Sant'Anna, Pisa), mgr Krystian Szczęsny (UEK).

Oświadczenia o moim wkładzie oraz każdego współautora znajdują się w załączniku V.

Podjęte przeze mnie współprace krajowe i międzynarodowe pozwalają mi na skuteczniejszą realizację wyznaczanych w badaniach celów. Nawiązana współpraca nadal służy przygotowywaniu zaawansowanych narzędzi pozwalających na opracowanie modelu bazującego zarówno na metodach statystycznych, ekonometrycznych, jak również matematycznych, w szczególności z zastosowaniem teorii osobliwości oraz równań różniczkowych cząstkowych. Podjęta przeze mnie współpraca międzynarodowa była podyktowana potrzebą zarówno skonfrontowania prowadzonych prac na arenie międzynarodowej, jak i wzmocnieniem merytorycznym. Był i jest to doskonały sposób na wymianę wiedzy i doświadczeń, podnoszenie jakości prowadzonych badań, weryfikację metodologii, zwiększenie widoczności i prestiżu prowadzonych prac oraz rozwój własnych kompetencji.

4.1.3 Dotychczasowe badania w obszarze podjętego problemu badawczego na podstawie literatury przedmiotu wraz z uzasadnieniem wyboru tematu cyklu publikacji

Zagadnienie ryzyka systemowego (dalej: RS) analizowane jest od początku lat 80-tych. Upadek Franklin National Bank w 1974 roku, jak i kryzys związany z Continental Illinois National Bank w 1984 roku, były ważnymi wydarzeniami, które miały duży wpływ na rozwój badań nad ryzykiem systemowym. Wydarzenia te pokazały, jak "zbyt duży, by upaść" (ang. *"too big to fail"*) jest realnym zagrożeniem dla stabilności systemu finansowego. Po kryzysie nastąpiły zmiany w przepisach bankowych, mające na celu zapobieganie podobnym sytuacjom w przyszłości oraz zwiększenie nadzoru nad dużymi instytucjami finansowymi. Następnie kryzys azjatycki w 1997 r. oraz kryzys finansowy w latach 2007-2008 ujawniły, że niekontrolowane ryzyko podejmowane przez instytucje finansowe, a także powiązania między różnymi rynkami i instrumentami finansowymi, mogą prowadzić do katastrofalnych skutków dla całego systemu globalnego. Po tym kryzysie organizacje takie jak Międzynarodowy Fundusz Walutowy (ang. *International Monetary Fund*, IMF), Bank Rozrachunków Międzynarodowych (ang. *Bank for International Settlements*, BIS), a także krajowe organy nadzoru finansowego zaczęły intensywnie badać i opracowywać metody monitorowania ryzyka systemowego.

Współczesne podejście do ryzyka systemowego obejmuje nie tylko ryzyko związane z instytucjami finansowymi, ale także czynniki zewnętrzne, takie jak zmiany w polityce gospodarczej, zmiany w regulacjach czy globalne kryzysy.

W tym podrozdziale nakreślę obszar badawczy wraz z motywacją podjętych przeze mnie badań, z czego wyniknie luka badawcza oraz uzasadnienie wyboru tematu cyklu publikacji.

4.1.3.1 Definicja ryzyka systemowego

Od ponad dekady prowadzone są intensywniejsze badania nad efektywnym sposobem zdefiniowania, ustalania miary oraz predykcją ryzyka systemowego, które w dobie tzw. globalizacji ekonomicznej, czyli wzrostu powiązań i integracji gospodarek różnych krajów, jest jednym z najaktualniejszych zagadnień. W wielu pracach definicja niepewności i ryzyka opiera się na koncepcjach wprowadzonych przez Knighta (1921), Tverskiego i Kahnemana (1992), Camerera i Webera (1992) oraz Zweifela i Eisena (2012). W pracy (Eling i Pankoke, 2016) podano 43 definicje, które wskazują na trójetapowy przebieg materializacji ryzyka systemowego: systemowo istotne przyczyny, nieoczekiwane zdarzenie i niepożądane dla realnej gospodarki negatywne skutki tego zdarzenia. Jedno z podejść to koncepcja ryzyka systemowego zaproponowana przez De Bandta i Hartmanna (2000), w którym rozróżnia się ryzyko wstrząsów na podstawie ich efektów drugiej rundy (skupia się nie na instytucjach doświadczających szoku, lecz na konsekwencjach osłabienia ich funkcjonowania wywołanego tym wstrząsem). Dodatkowo Harrington (2009) odróżnia ryzyko systemowe od ryzyka typowych wstrząsów. Według niego tylko ryzyko zdarzenia, które wiąże się z „zarażeniem przenoszonym przez współzależność”, powinno być rozważane jako systemowe. Wielu badaczy analizuje problem RS w kontekście zakłócenia funkcjonowania znacznej części sektora finansowego. Acharya i in. (2011) wiążą RS ze zmniejszeniem dostępności do kredytu. Adrian i Brunnermeier (2016) badają negatywny wpływ na podaż kredytu; Bach i Nyuyen (2012), Rodríguez-Moreno i Peña (2013) analizują zakłócenie funkcjonowania systemu finansowego; Baur (2003), Chen i in. (2013b), Cummins i Weiss (2011,2013), Weiß i Mühnickel (2013a) badają negatywny wpływ na realną gospodarkę;

Baluch i in. (2011) śledzą reakcję łańcuchową trudności finansowych; Chen i in. (2013a), Huang (2009) identyfikują RS poprzez wiele jednocześnie niewykonanych zobowiązań dużych instytucji finansowych. Jobst (2012) kojarzy RS z zakłóceniem przepływu usług finansowych oraz z negatywnym wpływem na realną gospodarkę; Klein (2011) bada rynek w kontekście niestabilności systemu finansowego, zdarzenia idiosynkratycznego oraz zarażania; Kress (2011) bada zarażanie, Rodríguez-Moreno i Peña (2013) nieprawidłowe działanie w systemie finansowym i negatywny wpływ na realną gospodarkę. Na podstawie zacytowanej literatury zidentyfikowałam problem postawienia precyzyjnej definicji ryzyka systemowego. W 2019 r. powstała ogólna, prawna definicja ryzyka systemowego, jaką odnajdujemy w Rozporządzeniu Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/2176 z dnia 18 grudnia 2019 r. oraz w rozporządzeniu (UE) nr 1092/2010 w sprawie nadzoru makroostrożnościowego Unii Europejskiej nad system finansowym i ustanowienia Europejskiej Rady ds. Ryzyka Systemowego (art. 1 pkt 1). „Ryzyko systemowe oznacza ryzyko zakłócenia systemu finansowego, które może mieć poważne negatywne konsekwencje dla realnej gospodarki Unii lub co najmniej jednego z jej członków i dla funkcjonowania rynku wewnętrznego. Wszystkie rodzaje pośredników finansowych, rynków i infrastruktury mogą mieć w pewnym stopniu znaczenie systemowe.” Zgodnie z art.2,b) Rozporządzenia (UE) nr 1092/2010 „system finansowy oznacza wszystkie instytucje finansowe, rynki, produkty i infrastruktury rynkowe”.

4.1.3.2 Pomiar ryzyka systemowego

Przytoczone różne koncepcje definiowania ryzyka systemowego przyczyniły się do powstania również wielu metod jego pomiaru. W literaturze przedmiotu znalazłam kilkadziesiąt miar. Przeglądu trzydziestu najpopularniejszych dokonali Bisias i in. (2012), dzieląc je na sześć grup: (ang. *Macroeconomic Measures, Granular Foundations and Network Measures, Forward-Looking Risk Measurement, Stress Tests, Cross-Sectional Measures, Measures of Illiquidity and Insolvency*). Analizą ilościową ryzyka systemowego z wykorzystaniem opisanych podejść zajmują się również Hautsch i in. (2015), Giglio i in. (2016), Benoit i in. (2017), Jajuga i in. (2017), Bégin (2018). Jobst (2014) wyróżnił trzy podejścia do jego pomiaru odwołujące się do źródeł i przenoszenia ryzyka, które mogą sprawiać, że instytucja finansowa jest istotna systemowo. Są to trzy podejścia; oparte na wkładzie, partycypacyjne czy też partycypacyjno-kontrybucyjne. Według podejścia opartego na wkładzie, określona działalność instytucji ubezpieczeniowej może spowodować jej upadek i tym samym obciążyć system z powodu charakteru, zakresu, wielkości, skali, koncentracji lub powiązania jej działalności z innymi instytucjami finansowymi. Pomiar RS w tym podejściu bazuje na miarach takich jak *Conditional Value at Risk*, (CoVaR) i $\Delta CoVaR$ (Adrian i Brunnermeier, 2016), *CoRisk* (Chan-Lau, 2010), *Marginal Expected Shortfall*, (MES) (Acharya et al., 2017), *Dynamic Causality Index (DCI)* (Billio et al., 2012), *SRISK* (Brownlees i Engle, 2017), *Systemic Contingent Claims Analysis* (Gray i Jobst, 2013). Według podejścia partycypacyjnego pomiar RS oparty jest na możliwości absorpcji negatywnych szoków w sektorze ubezpieczeń. Natomiast w podejściu partycypacyjno-kontrybucyjnym dodatkowo uwzględnia się możliwość wzmacniania szoków.

Z kolei Giglio i in. (2016) bazując na literaturze zaproponowali podział sposobu pomiaru RS na grupy, związane z najważniejszymi jego aspektami. Są to miary współzależności i zarażania takie jak *Absorption Ratio*, (AR) wykorzystywane w (Kritzman i in., 2011); *Dynamic Causality Index*, (DCI), *International Spillover Index*, (ISI) w (Diebold i Yilmaz, 2009), oraz miary zmienności i niestabilności wykorzystywane w (Kritzman i Li,

2010; Allen i in., 2012; Schularick i Taylor, 2012). Ponadto miary płynności i kredytowe w (Amihud, 2002; Gilchrist i Zakrajšek, 2012) oraz miary wpływu (wkładu) indywidualnej instytucji finansowej w ryzyko systemowe danego rynku i miary wrażliwości instytucji na to ryzyko (institution-specific risk), np. wspomniane wcześniej *CoVaR*, $\Delta CoVaR$ i *MES* w (Acharya et al., 2017).

Przegląd sposobów pomiaru RS najczęściej wykorzystywanych w oficjalnych publikacjach instytucji zaangażowanych w politykę i analizę makroostrożnościową, takich jak Międzynarodowy Fundusz Walutowy (MFW), Europejska Rada ds. Ryzyka Systemowego (ERRS), Europejski Bank Centralny (EBC) został opracowany przez Di Cesare i Rogantini Picco (2018). W pracy tej miary RS są scharakteryzowane według trzech kryteriów. Pierwsze z nich przyjmuje punkt widzenia organów regulacyjnych, których uwaga zwykle koncentruje się na implementacji i predykcyjnym charakterze miar. Drugie uwzględnia badania naukowców zainteresowanych głównie miarami, które wynikają z solidnych podstaw teoretycznych i posiadają zaawansowane zdolności analityczne, w szczególności predykcyjne. W trzecim uwzględniane są specyficzne cechy ryzyka systemowego, które wybrane metody pomiaru są w stanie uchwycić. Autorzy przedstawili zarówno opisy ogólne, jak i techniczne, a także konkretne przykłady obejmujące następujące sposoby pomiaru RS: $\Delta CoVaR$, *CoRisk*, *Systemic Expected Shortfall*, (SES) i *SRISK*, *Distress Insurance Premium*, *Principal Component Analysis* i *Granger-Causality Networks Option-iPoD*, *Joint distress indicators*, *Systemic Contingent Claim Analysis*, *Network analysis*, *Default intensity model Markov-Regime Switching Model*, *Composite Indicator of Systemic Stress*, *Risk Assessment Model for Systemic Institutions*. W opisie Di Cesare i Rogantini Picco (2018) uwzględnili: (i) ogólną charakterystykę ilustrującą główne cechy, zalety i wady miar; (ii) stronę techniczną skupioną na analitycznych aspektach każdej miary; (iii) przykład empiryczny zaczerpnięty z opublikowanych prac, zawierający dalsze wyjaśnienia dotyczące faktycznego wykorzystania i interpretacji miar. Należy podkreślić, że większość zacytowanych przez Di Cesare i Rogantini Picco (2018) artykułów to prezentacja badań przeprowadzonych w sektorze bankowym.

W ostatnich latach w badaniach nad ryzykiem systemowym, oprócz wspomnianych metod, coraz częściej wykorzystywane są elementy teorii sieci, zwłaszcza w kontekście zarażania niepożądanymi skutkami zaburzeń finansowych. Do analizy siły wzajemnych powiązań między instytucjami finansowymi oraz kierunkowości relacji wykorzystywano sieci przyczynowości Grangera (Billio i in., 2012; Park i in., 2020; Jiang i in., 2022). Powiązania między instytucjami finansowymi zbadano, wykorzystując sieci bazujące na dekompozycji wariancji błędów prognoz (Diebold i Yilmaz, 2014). Do pomiaru nieliniowego przepływu informacji w sieci wykorzystano elementy teorii informacji, w szczególności entropię transferu (Bekiros i in., 2017). Skonstruowana sieć dostarcza informacji o zależnościach między instytucjami finansowymi i możliwych ścieżkach propagacji wstrząsów. Pozwala zrozumieć, w jaki sposób efekty zewnętrzne przemieszczają się w łańcuchach kontraktów finansowych i powodują narastanie ryzyka systemowego. W szczególności w przypadku występowania niepełnych informacji związanych z ryzykiem rynków finansowych. Pod tym względem modele sieci finansowych pozwalają uchwycić aspekty, których nie da się opisać ani tradycyjnymi podejściami skupiającymi się na zagregowanych wymiarach makroekonomicznych, ani tymi, które analizują poziom mikroekonomiczny firm. Niemniej jednak skonstruowane sieci najczęściej charakteryzują się gęstymi strukturami, które są trudne do interpretacji. W celu uchwycenia istotnych powiązań badano rzadkie sieci, stosując np. metody GLASSO (ang. *Graphical Least Absolute Shrinkage and Selection Operator*), czy też TLASSO (Torri i in., 2018) oraz Minimalne Drzewa Rozpinające

(ang. *Minimum Spanning Trees*, MST), czyli spójne i acykliczne grafy, z najmniejszą sumą wag przypisanych do krawędzi (Song i in., 2018; Fenn 2010; Li i in., 2018; Sensay i in., 2014).

4.1.3.3 Ryzyko systemowe w sektorze ubezpieczeń

W dotychczas prowadzonych badaniach nad ryzykiem systemowym uwagę skupiano na sektorze bankowym. Szczegółową analizę ryzyka systemu finansowego, metody oceny i ich weryfikację w wybranych krajach przeprowadził Jajuga i in. (2017). Sektor ubezpieczeń był mniej analizowany w tym kontekście, ponieważ panowało przekonanie, że sektor ubezpieczeniowy, a więc sektor przejmujący, rozpraszający i redystrybuujący skutki finansowe ryzyka, nie generuje zagrożenia systemowego. Przed kryzysami w latach 2007-2009 i przed europejskim kryzysem długu publicznego w latach 2010-2012 istniało wyraźne przekonanie wśród badaczy, że sektor ten jest systemowo mniej istotny. Jednakże po tych kryzysach można zauważyć znaczący wzrost zainteresowania ryzykiem systemowym generowanym w sektorze ubezpieczeń. W związku z tym odnajdujemy publikacje, w których uważa się, że firmy ubezpieczeniowe stały się nieuniknionym źródłem ryzyka systemowego, np. (Billio i in. 2012; Weiß i Mühlhnickel, 2014) oraz takie, których autorzy twierdzą, że firmy ubezpieczeniowe mogą być systemowo istotne, ale wynika to z ich nietradycyjnych (pozaubezpieczeniowych) działań, np. (Baluch i in., 2011; Bedarczyk, 2013; Cummins, Weiss, 2014; Czerwińska, 2014).

Odnajdujemy również badania, które wskazują na brak dowodów na systemowe znaczenie branży ubezpieczeniowej (Harrington, 2009; Bell i Keller, 2009). Z kolei Bierth i in. (2015), po przeanalizowaniu dużej grupy ubezpieczycieli w długim okresie czasu, uważają, że wkład sektora ubezpieczeń w ryzyko systemowe jest stosunkowo niewielki. Twierdzą jednak, że osiągnął on szczyt w czasie kryzysu finansowego w latach 2007-2008.

Niektórzy autorzy, jak np. Chen i in. (2013a), przyjmują, że systemowe znaczenie sektora ubezpieczeń jako całości jest nadal podporządkowane sektorowi bankowemu. Wskazują, że istotnymi czynnikami wpływającymi na ekspozycję ubezpieczycieli na ryzyko systemowe są silne wzajemne powiązania dużych firm ubezpieczeniowych, dźwignia finansowa, straty i płynność.

Po wspomnianych kryzysach, od 2011 r. również organy nadzorcze zaczęły zwracać większą uwagę na problem ryzyka systemowego w branży ubezpieczeniowej. Rada Stabilności Finansowej (ang. *Financial Stability Board*, FSB) w porozumieniu z Międzynarodowym Stowarzyszeniem Organów Nadzoru Ubezpieczeniowego (ang. *International Association of Insurance Supervisors*, IAIS), zidentyfikowała w listopadzie 2013 r. dziewięć globalnych instytucji ubezpieczeniowych o znaczeniu systemowym (ang. *Global Systemically Important Institutions* G-SII) na podstawie metodologii oceny opracowanej przez IAIS, w której uwzględniano pięć elementów: (ang. *non-traditional and non-insurance activity of the insurer (45%), assessment of the degree of direct and indirect links of institutions within the financial system (40%), range of global activity (5%), the size of the insurance institution (5%), product substitutability (5%)*). Instytucje ubezpieczeniowe, które znalazły się na tej liście, podlegały wzmocnionemu nadzorowi, obejmującemu całą grupę, w tym nadzorowi obejmującemu bezpośrednio uprawnienia wobec spółek holdingowych oraz nadzorowanie rozwoju i wdrożenia Planu Zarządzania Ryzykiem Systemowym i Planu Zarządzania Płynnością. Opracowana metodologia oraz lista G-SIIs wywołała wątpliwości i pytania dotyczące skuteczności proponowanych ram, zarówno ze strony sektora ubezpieczeń, jak i środowisk akademickich. Pośród zajmujących się RS do dziś trwa dyskusja,

wskazująca na to, że niektóre wskaźniki w metodzie oceny IAIS mogą nie być w stanie wyjaśnić udziału instytucji ubezpieczeniowych w ryzyku systemowym (Weiß i Mühlnickel, 2014; Bierth i in., 2015).

Przyjęte rozwiązania dla branży ubezpieczeniowej zostały podważone. Przykładem może być firma ubezpieczeniowa MetLife, która walczyła o usunięcie etykiety „systemowo ważnej instytucji” i uzyskała przychylne orzeczenie amerykańskiego sądu w marcu 2016 r. (Wall Street Journal, 2016). Po sukcesie MetLife to oznaczenie SIFI (*Systemically Important Financial Institution*) zostało we wrześniu 2017 r. cofnięte przez FSOC (*Financial Stability Oversight Council*) również firmie ubezpieczeniowej AIG, a Prudential Financial zrzucił etykietę SIFI w październiku 2018 r. W 2020 r. IAIS wycofało się z dotychczasowej metodologii ustalania Globalnie Istotnych Instytucji Ubezpieczeniowych i wezwało do badań nad nową metodą ustalania najważniejszych instytucji.

Choć ryzyko systemowe, w szczególności w sektorze bankowym, analizuje wielu badaczy: Jurkowska (2018); Bierth i in. (2015); Mühlnickel i Weiß (2015); Kanno (2016); Giglio i in. (2016); Adrian (2016); Kojen (2016); Brownlees (2017); Kaserer (2018), zarażanie ryzykiem analizują (Hautsch i in. (2015); Härdle i in. (2016); Fan (2018), to w Jajuga i in. (2017) podkreślono, że "w literaturze, jak na razie, brakuje powszechnie akceptowanej systematyzacji zaawansowanych modeli ryzyka systemowego. Niewątpliwie przyczyną tego jest relatywnie niedługi okres powstawania tych narzędzi". Zatem brak jest modeli hybrydowych, które łączyłyby narzędzia statystyczno-ekonometryczne z elementami teorii sieci oraz metodami algorytmicznymi typu DTW (ang. *Dynamic Time Warping*). Proponowane przeze mnie podejście stwarza nowe możliwości opracowania narzędzi do identyfikacji, analizy, pomiaru i predykcji ryzyka systemowego w sektorze ubezpieczeń.

4.1.3.4 Modelowanie ryzyka systemowego i kanały zarażania

Idealne metody, które można byłoby wykorzystać w celu stworzenia modeli ryzyka systemowego, powinny wspierać zasadnicze elementy polityki i nadzoru makroostrożnościowego lub być z nimi powiązane poprzez dostarczanie informacji na temat narastania ogólnosystemowych luk w zabezpieczeniach w wymiarze czasowym i przekrojowym, z akceptowalnym poziomem dokładności zarówno prognozy wystąpienia zdarzenia systemowego, jak i jego skutków finansowych. Z uwagi na wielowymiarowy (wieloaspektowy) charakter ryzyka systemowego, konstrukcja takich metod w zasadniczy sposób powinna zależeć od przyjętych rozstrzygnięć w zakresie:

- definicji RS,
- metod identyfikacji źródeł i czynników RS,
- metod identyfikacji struktury zależności między tymi czynnikami,
- metod analizy struktury wzajemnych powiązań między instytucjami w sektorze ubezpieczeń,
- metod identyfikacji kanałów zarażania ryzykiem w całym systemie,
- metod pomiaru RS,
- metod predykcji RS,

- metod predykcji skutków finansowych niepożądanych zdarzeń związanych z zaburzeniami w całym systemie.

Wieloaspektowy charakter ryzyka systemowego sprawia, że jego analiza wymaga zastosowania modeli i wskaźników, które są w stanie uchwycić:

- prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia istotnego systemowo w poszczególnych instytucjach ubezpieczeniowych lub w całym sektorze,
- ścieżkę propagacji wstrząsów w obrębie grupy zakładów i całego sektora,
- oczekiwane straty indywidualne lub wspólne w przypadku ich realizacji,
- wpływ na system finansowy i gospodarkę realną.

Model taki powinien pozwalać również na predykcję zjawisk systemowo istotnych, które mogą powodować niepożądane negatywne skutki w realnej gospodarce, wraz z identyfikacją instytucji systemowo istotnych, będących potencjalnym miejscem materializacji niepożądanych zdarzeń.

O ile w literaturze znajdujemy coraz liczniejsze opracowania metod identyfikacji, modelowania i pomiaru ryzyka systemowego zarówno w sektorze bankowym, jak i sektorze ubezpieczeń, to również predykcja zjawisk bezpośrednio mogących wywoływać negatywne zaburzenia ze skutkami w całym systemie czy też predykcja sposobu propagacji tych zaburzeń jest nadal otwartym zagadnieniem. Aby dobrze opracować takie metody, które pozwolą na przewidywanie ryzyka systemowego, należy sięgnąć po narzędzia matematyczne. Zastosowanie metod matematycznych do rozwijania teorii ryzyka na użytek ubezpieczeń prowadzili już Lundberg w 1903, czy też Cramer w 1932. Teoria ta bazowała na złożonym procesie Poissona, następnie procesie odnowy i procesie Coxa, zastępowanych od lat sześćdziesiątych procesami Markowa, pozwalającymi na modelowanie losowych zmian w intensywności zgłoszeń szkód i wielkości szkód. W literaturze podkreśla się, że interesujący rozkwit metod matematycznych w latach dziewięćdziesiątych dokonał się głównie z dwóch przyczyn: wzrostu szkód związanych z katastrofami oraz z gwałtownego rozwoju rynków finansowych. Firmy ubezpieczeniowe oczekują elastycznych rozwiązań zapewniających pomoc w całościowym podejściu do zarządzania ryzykiem. Całkiem naturalnie na tym tle od wielu lat wprowadzane są metody pochodzące z teorii optymalizacji stochastycznej. Wiele zmiennych kontrolnych, takich jak wielkość reasekuracji, dywidendy, inwestycje, jest badanych łącznie w sposób dynamiczny, prowadząc do równań Hamiltona-Jacobiego-Bellmana, rozwiązywanych numerycznie. Wciąż jednak trwają poszukiwania adekwatnych narzędzi pozwalających na predykcję zjawisk wywołujących stan ryzyka w całym systemie.

W ostatnich latach przeprowadzono również badania dotyczące przewidywania zagrożeń systemowych za pomocą algorytmów uczenia maszynowego, w tym uczenia głębokiego. Sekmen i Kurkcü (2014) zastosowali architektury sieci neuronowych; Tölö (2020) stosował w szczególności architektury ang. *Recurrent Neural Network Long Short-Term Memory*, (RNN-LSTM) oraz ang. *Recurrent Neural Network Gated Recurrent Unit*, (RNN-GRU). Wang i Zhu (2021) przewidywali systemowe kryzysy finansowe z 1-5-letnim wyprzedzeniem. W badaniach do przewidywania ryzyka systemowego autorzy stosują sieci neuronowe z propagacją wsteczną (ang. *Backward Propagation*).

Jednym z istotnych aspektów ryzyka systemowego jest jego przenoszenie za pomocą efektu zarażania. Proces ten wyjaśniony jest na przykładzie sektora bankowego w Jajuga i in. (2017).

Badając fenomen zarażania ryzykiem systemowym, szczególną uwagę zwraca się na ten proces ze względu na różnorodność kanałów zarażania. Wśród najistotniejszych wskazywane są:

- Kanał rynkowy – zmienność na rynkach finansowych wpływa na wartość aktywów firm ubezpieczeniowych, co może prowadzić do obniżenia ich stabilności finansowej.
- Kanał kredytowy – ryzyko niewypłacalności kredytobiorców lub instytucji, którym firma ubezpieczeniowa udzieliła pożyczek, może wpłynąć na jej sytuację finansową.
- Kanał operacyjny – awaria systemów informacyjnych, problem z dostawcami lub wspólną infrastrukturą mogą spowodować problemy operacyjne i rozprzestrzenić ryzyko.
- Kanał sentymentu rynkowego – negatywne emocje inwestorów lub konsumentów mogą prowadzić do paniki, spadku zaufania i masowej sprzedaży akcji, co wpływa na inne firmy.
- Kanał regulacyjny i polityczny – zmiany w przepisach prawnych, polityce fiskalnej lub regulacjach rynkowych mogą wpłynąć na cały sektor ubezpieczeń.
- Kanał kryzysów – globalne kryzysy gospodarcze lub finansowe mogą wpłynąć na stabilność całego sektora ubezpieczeń, zagrażając jego rentowności.
- Kanał katastrof naturalnych – zwiększona częstotliwość i intensywność katastrof naturalnych prowadzi do wzrostu wypłat odszkodowań, obciążając ubezpieczycieli.

Dynamiczny proces rozprzestrzeniania się ryzyka w całym systemie można porównać z procesem zarażania, który był szeroko badany w różnych dziedzinach, takich jak epidemiologia (Brauer, 2008; Murray, 2002a), biologia (Fanelli i Piazza, 2020; Murray, 2002b), informatyka (Wang i in., 2020) i nauki o środowisku (Wang i in., 2018). Udowodniono, że modele bazujące na równaniach różniczkowych cząstkowych są skuteczne w badaniu procesów dyfuzji i rozprzestrzeniania się infekcji (Shi i in., 2020; Wang i in., 2020; Wang i in., 2018). Dlatego podjęłam badania w kierunku ustalenia narzędzi bazujących na równaniach różniczkowych w celu identyfikacji, opisu i w szczególności predykcji zarażania niepożądanymi zjawiskami finansowymi i ich skutkami.

4.1.3.5 Uzasadnienie wyboru tematu cyklu publikacji

Uzasadnienie wyboru tematu cyklu publikacji wynika z wcześniejszej analizy dotychczasowych badań. Bezpośrednim bodźcem do prowadzenia przeze mnie prezentowanych w cyklu badań jest fakt, że w 2017 roku Komisja Europejska dokonała przeglądu elementów dyrektywy Solvency II i skierowała do Europejskiego Urzędu Nadzoru Ubezpieczeń i Pracowniczych Programów Emerytalnych (EIOPA) wezwanie do doradztwa oraz oceny, czy istniejące przepisy ramowe Solvency II zapewniają odpowiedni nadzór makroostrożnościowy. W związku z tym, w dokumencie z 2017 roku, EIOPA wezwała naukowców i praktyków do badań dotyczących tego, czy sektor ubezpieczeń tworzy lub wzmacnia ryzyko systemowe. Jeśli tak, to jakie narzędzia już istnieją w ramach Solvency II i w jaki sposób przyczyniają się do ograniczenia źródeł ryzyka systemowego. EIOPA postawiła również pytanie, czy potrzebne są inne narzędzia, a jeśli tak, to które z nich można promować.

Późniejsza publikacja EIOPA z 2019 roku stanowi jakościową analizę tego zagadnienia oraz zbiór najnowszych pytań dotyczących narzędzi umożliwiających zastosowanie metod wczesnego ostrzegania i identyfikacji systemowo istotnych ubezpieczycieli. Autorzy dokumentu podkreślają, że brakuje analizy ilościowej oraz rozwiązań regulacyjnych opartych na tej analizie.

Prezentowane przeze mnie w cyklu publikacji wyniki badań uzupełniają zatem częściowo dotychczasową lukę badawczą. W cyklu publikacji omawiam opracowane przeze mnie nowe narzędzia ilościowe oraz wyniki przeprowadzonych badań empirycznych.

4.1.4 Cele główne i cele szczegółowe

Biorąc pod uwagę zidentyfikowaną lukę badawczą i istotność zagadnienia dla praktyki gospodarczej, podjęłam badania, których głównymi celami są:

- Cel 1.** Opracowanie nowych metod konstrukcji i analizy sieci, pozwalających na badanie powiązań w sektorze ubezpieczeń w różnych stanach rynku.
- Cel 2.** Zastosowanie opracowanych metod do monitorowania dynamiki zmian w sieci powiązań instytucji ubezpieczeniowych, w szczególności możliwości zarażania negatywnymi skutkami niepożądanych zdarzeń finansowych.
- Cel 3.** Identyfikowanie instytucji istotnych dla całego sektora ubezpieczeń oraz monitorowanie ich położenia w sieci w kontekście propagowania ryzyka.
- Cel 4.** Zbadanie podobieństwa i porównanie ścieżek rozwoju sektorów ubezpieczeń państw Unii Europejskiej.
- Cel 5.** Rozwijanie narzędzi modelowania rynków finansowych, w szczególności rynku ubezpieczeń, bazujących na zbiorach konfliktowych, a także inkluzjach i równaniach różniczkowych cząstkowych pozwalających na predykcję ryzyka systemowego.

Cele szczegółowe to:

- Cel 6.** Wykazanie, że sieci rzadkie, a w szczególności Minimalne Drzewa Rozpinające stanowią skuteczne narzędzie w identyfikowaniu kluczowych podmiotów oraz istotnych powiązań w sieci wzajemnych relacji w sektorze ubezpieczeń.
- Cel 7.** Wykazanie, że wskaźniki topologiczne sieci MST, które odpowiadają określonemu aspektowi ryzyka systemowego w sektorze ubezpieczeń, umożliwiają identyfikację struktury zależności oraz powiązań instytucji, co pozwala na wskazanie możliwych kanałów zarażania skutkami niepożądanych zdarzeń.
- Cel 8.** Wykazanie, że modelując ścieżki transmisji ryzyka systemowego w sektorze ubezpieczeń, należy uwzględnić dynamikę sieci wzajemnych powiązań instytucji ubezpieczeniowych, a nie tylko jej strukturę w ustalonym okresie.
- Cel 9.** Wykazanie, że w kontekście polityki makroostrożnościowej, oprócz ustalenia grupy instytucji ubezpieczeniowych o globalnym znaczeniu systemowym, kluczowe jest także identyfikowanie tych, które charakteryzują się podobnym wpływem na system finansowy i realną gospodarkę.

Zaprezentowane w cyklu publikacji [A1-A9] wyniki badań oczywiście nie wyczerpują tematyki. Pośród przedstawionych w cyklu publikacji są również artykuły [A8, A9], które pozwolą na prowadzenie dalszych badań teoretycznych i empirycznych oraz realizację dalszych celów, jak np.:

1. Analizowanie dynamiki powiązań w sektorze ubezpieczeń, bazując na teorii zbiorów konfliktowych, co pomaga w zrozumieniu zachowań rynków ewoluujących w czasie.
2. Modelowanie wkładu instytucji ubezpieczeniowej w ryzyko systemowe z zastosowaniem cząstkowych równań różniczkowych, co pozwala na predykcję ryzyka systemowego.

Przedstawione w autoreferacie w cyklu publikacji [A1-A9] wyniki badań teoretycznych i empirycznych stanowią silny fundament do rozwoju dalszych, szerszych badań. W kontekście najnowszej polityki zrównoważonego rozwoju związanej w szczególności z ryzykiem klimatycznym (ryzykiem katastroficznym oraz ryzykiem przejścia na gospodarkę nisko-emisyjną) sektor ubezpieczeń wymaga głębokiej analizy, która pozwoli nam na ustalenie narzędzi ilościowych, potrzebnych zarówno aktuariuszom, jak i nadzorowi ubezpieczeniowemu. W tym kierunku, wraz ze współpracownikami, przeprowadziłam kolejne badania, które są przedstawione w publikacjach [D1,D2,D4] dodatkowego dorobku naukowego.

4.1.5 Prezentacja prac składających się na cykl publikacji wraz ze wskazaniem zrealizowanych celów

W prowadzonych badaniach poszukuję narzędzi ilościowych pozwalających na precyzyjną analizę ryzyka systemowego w sektorze ubezpieczeń, w szczególności zagadnienia zarażania wynikającego z kanałów cen rynkowych oraz sentymentu rynkowego.

Prezentację prac [A1-A9] składających się na cykl publikacji rozpoczynam od syntetycznego przedstawienia w podrozdziale (4.1.5.1) opracowanych metod wraz z otrzymanymi wynikami. W podrozdziale (4.1.5.2) omawiam szczegółowo każdy artykuł. Następnie w podrozdziale (4.1.5.3) omawiam zrealizowane cele badań, których wyniki przedstawione są w cyklu publikacji.

4.1.5.1 Prezentacja syntetyczna publikacji

Przedstawiony cykl obejmuje 9 publikacji: 8 artykułów w czasopismach i jeden rozdział w monografii. W artykułach [A1-A6] prezentuję opracowane przeze mnie metody statystyczno-ekonometryczne z elementami teorii sieci i metodą nieliniowego dopasowania czasowego (DTW) wraz z nowymi wynikami empirycznymi uzyskanymi za ich pomocą:

- W [A1] jest to wielowymiarowy model Copula-DCC-GARCH;
- W [A2] jest to konstrukcja sieci MST, bazująca na modelu Copula-DCC-GARCH;
- W [A3] jest to model łączący miarę wkładu poszczególnych ubezpieczycieli w RS *DeltaCoVaR* ze wskaźnikami topologicznymi MST;
- W [A4] jest to modyfikacja konstrukcji sieci MST, bazująca na zależnościach w ogonach rozkładów logarytmicznych stóp zwrotu;
- W [A5] jest to metoda bazująca na algorytmie DTW, pozwalająca na analizę wskaźników topologicznych sieci;
- W [A6] jest to metoda wielowymiarowej analizy danych, bazująca na mierniku rozwoju Hellwiga oraz wykorzystująca wybrane metody analizy skupień, takich jak Warda, PAM, k-średnich. Wykorzystano wskaźniki jakości grupowania (ang. *cluster validity indices*) takie jak statystyki pseudo-F Calińskiego-Harabasz, Dunna oraz Xie-Beniego;
- W [A7] jest to zbiór narzędzi służących do analizy stabilności i podziału rynku finansowego oraz ryzyka systemowego. Szczególnym przypadkiem badanych zbiorów są diagramy Voronoia;
- W [A8] są to dowody twierdzeń dotyczących półciągłości zbiorów konfliktowych oraz osi środkowej zbiorów, prezentowanych wraz z zastosowaniem w publikacji [A7];
- W [A9] są to dowody na istnienie i jednoznaczność zrenormalizowanych rozwiązań inkluzji różniczkowych z niestandardowym wzrostem. Jest to przygotowanie teoretyczne do dalszych badań nad predykcją ryzyka systemowego.

Korzystając z metod rozwiniętych w pracach [A1-A6] przeprowadziłam analizy empiryczne. Wyniki tych analiz są prezentowane w każdej publikacji i potwierdzają skuteczność opracowanych narzędzi:

- W [A1] zbadalam wzajemne zależności 8 światowych największych ubezpieczycieli oraz ich związek z europejskim rynkiem ubezpieczeniowym. Zidentyfikowałam stany rynku ubezpieczeniowego (stan kryzysu i stan bez kryzysu);
- W [A2] analizowałam 28 ubezpieczycieli z listy "Top 50". Przeanalizowałam cztery wskaźniki topologiczne sieci MST, pozwalające na ocenę powiązań między badanymi instytucjami oraz ustaliłam globalnie istotnych ubezpieczycieli w tej grupie;
- W [A3] zbadalam wkład badanych ubezpieczycieli w RS i skonfrontowałam wyniki z wnioskami otrzymanymi w badaniu [A2];
- W [A4] bazując na 10 wskaźnikach topologicznych innowacyjnie skonstruowanej sieci MST, zbadalam wzajemne zależności 38 ubezpieczycieli i możliwości zarażania niepożądanymi skutkami zdarzeń finansowych. Na podstawie szeregów czasowych ustalonych wskaźników topologicznych sieci MST zbadalam reakcję sektora ubezpieczeń na kryzysy ogólnoswiatowe.
- W [A5] bazując na wzajemnych zależnościach analizowanych ubezpieczycieli, wykorzystując algorytm DTW, zbadalam podobieństwo zachowania sieci powiązań w sektorze ubezpieczeń w trakcie ogólnoswiatowych kryzysów finansowych oraz w trakcie okresów bez kryzysów.
- W publikacji [A6] zbadalam podobieństwo i ścieżki rozwoju sektorów ubezpieczeń dwóch grup państw członkowskich Unii Europejskiej. Pierwsza badana grupa to państwa tworzące Unię przed 2004 r. a druga to państwa, które dołączyły do Unii od 2004 r.

W pracach [A1-A5] w analizie empirycznej dane wyjściowe to stopy zwrotów analizowanych ubezpieczycieli oraz indeks STOXX 600 Insurance Index. W pracy [A6] przedstawiłam analizę wskaźników rynku ubezpieczeniowego, takich jak: penetracja ubezpieczeń, gęstość ubezpieczeń, koncentracja ubezpieczeń, średnia wartość sumy aktywów ubezpieczeniowych przypadająca na jedno towarzystwo ubezpieczeniowe, stosunek rocznej składki ubezpieczeniowej do PKB, liczba ubezpieczycieli na milion mieszkańców dla sektora ubezpieczeń na życie (ang. *life*) oraz ubezpieczeń innych niż na życie (ang. *non-life*). Publikacje [A7-A9] to prace teoretyczne przygotowujące do dalszych badań empirycznych w obszarze analizy ryzyka systemowego.

4.1.5.2 Prezentacja cyklu prac

W tej części przedstawiam szczegółowo publikacje wchodzące w skład prezentowanego osiągnięcia naukowego.

- Publikacja [A1] rozpoczyna cykl artykułów, w których rozwijam narzędzia pozwalające analizować ryzyko systemowe w sektorze ubezpieczeń. Badanie składa się z dwóch części. W pierwszej części skupiam się na metodzie identyfikacji stanu rynku ubezpieczeniowego. W drugiej zaś na analizie w zidentyfikowanych stanach rynku: powiązań między badanymi instytucjami ubezpieczeniowymi, zależności między każdą badaną instytucją a europejskim rynkiem ubezpieczeniowym reprezentowanym przez STOXX 600 Europe Insurance oraz ryzyka systemowego. W badanym okresie od 07.01.2005 do 21.12.2018 wyodrębniamy dwa stany: stan „ryzyka”, czyli podokres na osi czasu, w trakcie którego zidentyfikowano zaburzenia związane z

kryzysem, i stan „normalny”, czyli podokres, w trakcie którego stan rynku ubezpieczeniowego był stabilny. W badaniu poddajemy analizie wzajemne powiązania i wkład w ryzyko systemowe europejskiego sektora ubezpieczeniowego, wybranych ośmiu największych pod względem aktywów ogółem, światowych instytucji ubezpieczeniowych (pięciu z Europy oraz po jednym ze Stanów Zjednoczonych Ameryki, Kanady i Chin) w zidentyfikowanych stanach. W analizie zakładamy klasycznie, że wzrost ryzyka (mierzonego wariancją warunkową stóp zwrotu z akcji badanych instytucji ubezpieczeniowych) jest dobrym wskaźnikiem napięcia rynku ubezpieczeniowego. Identyfikując stan rynku, stosujemy, zaliczaną do statystycznych metod uczenia bez nadzoru, analizę skupień. Otrzymane grupy tworzą okresy o podobnym poziomie ryzyka, czyli o podobnej warunkowej wariancji.

Warunkowe wariancje otrzymujemy na podstawie ośmiowymiarowego modelu Copula-DCC-GARCH. W modelu tym rozkład wektora stóp zwrotu modelujemy za pomocą warunkowych kopuli według propozycji Pattona (2006). Model ten szacujemy dwustopniową metodą funkcji wnioskowania dla rozkładów brzegowych (*ang. Inference Function for Margins (IMF)*) jak w Doman (2011). Dla jednowymiarowych stóp zwrotu rozważamy różne specyfikacje modelu średniej (np. procesu ARMA) oraz różne specyfikacje modelu zmienności (np. sGARCH, fGARCH, eGARCH, gjrGARCH, apGARCH, iGARCH, scGARCH). Ostatecznie wybraliśmy proces ARMA(1,1) ze strukturą eGARCH(2,2) oraz skośnym rozkładem t-Studenta. Natomiast strukturę zależności między stopami zwrotu modelowaliśmy, stosując kopule eliptyczne, których parametrami są warunkowe korelacje z dynamiką opisaną za pomocą modelu DCC(1,1).

Grupowanie okresów przeprowadzamy z wykorzystaniem metod hierarchicznych, w których tworzymy grupy rekurencyjnie (stosujemy metodę Warda). Ponadto stosujemy dodatkowo dwie metody podziałowe: klasyczną k-średnich i PAM (Kaufman i Rousseeuw 1990). Optymalną liczbę grup, czyli stany rynku, ustalamy, bazując na miernikach jakości grupowania: wskaźniku Calińskiego-Harabasz (1974), wskaźniku sylwetkowym (Kaufman i Rousseeuw 1990), wskaźniku Dunna (1974) oraz wskaźniku Xie-Beni (1991).

W drugiej części badań wzajemne zależności między instytucjami analizujemy na podstawie warunkowych korelacji uzyskanych z oszacowanego ośmiowymiarowego modelu Copula-DCC-GARCH. Zaś dla zbadania zależności między analizowanymi instytucjami a europejskim rynkiem ubezpieczeniowym wykorzystujemy osiem dwuwymiarowych modeli Copula-DCC-GARCH dla par: logarytmiczna stopa zwrotu z indeksu rynku europejskiego STOXX 600 Europe Insurance i logarytmiczna stopa zwrotu z akcji każdej analizowanej instytucji ubezpieczeniowej.

Na koniec ryzyko systemowe w każdym z wyodrębnionych stanów rynku szacujemy na podstawie miary *CoVaR*. Formalnie $CoVaR_{\beta,t}^{j|i}$ to wartość narażona na ryzyko j – tej instytucji pod warunkiem, że inna i – ta instytucja jest zagrożona kryzysem w okresie t . W prowadzonym badaniu j – ta instytucja to sektor ubezpieczeń reprezentowany przez indeks STOXX 600 Europe Insurance. Bazując na prawdopodobieństwie warunkowym, definicji wartości narażonej na ryzyko i korzystając z kluczowego twierdzenia Sklara, dochodzimy do równania, które rozwiązujemy numerycznie i ustalamy wartość $CoVaR_{\beta,t}^{j|i}$ dla każdej badanej instytucji.

Z badań wynika, że w rozpatrywanym okresie od 07.01.2005 do 21.12.2018, wyróżniają się dwa podokresy, w których obserwujemy różne zachowania rynku: o niskim

stopniu zmienności, który nazywamy stanem „normalnym”, oraz stan niestabilnych notowań, czyli stan „ryzyka”. Stan „ryzyka” ustalony został w okresie pokrywającym się z największymi turbulencjami, a wraz z nimi największymi decyzjami rządowymi wielu państw świata, w celu stabilizacji sytuacji na światowych rynkach finansowych w okresie kryzysu, czyli od 17.10.2008 do 05.06.2009. Ponadto z badań wynika, że generalnie analizowane instytucje są ze sobą dodatnio skorelowane. Najsilniejsza zależność występuje między AXA i Allianz. Chińska instytucja ubezpieczeniowa Ping jest najsłabiej skorelowana z pozostałymi europejskimi i amerykańskimi instytucjami. Powiązania są mocniejsze w stanie „ryzyka”, co można zinterpretować w taki sposób, że w trakcie turbulencji w sektorze ubezpieczeń rośnie ekspozycja na ryzyko systemowe. AXA i Allianz są również najmocniej skorelowane z europejskim rynkiem reprezentowanym przez STOXX 600 Europe Insurance. Poziom miary *CoVaR* jest również istotnie różny w dwóch ustalonych stanach. W okresie turbulencji wartość *CoVaR* wszystkich badanych instytucji jest niższa niż w okresach poza nimi, co oznacza, że ryzyko systemowe rośnie.

- W artykule [A2] rozwijam bazujące na Minimalnych Drzewach Rozpinających narzędzia dające możliwość analizy dynamiki powiązań między instytucjami ubezpieczeniowymi w kontekście ryzyka systemowego.

Minimalne Drzewo Rozpinające to spójny i acykliczny graf, z najmniejszą sumą wag przypisanych do krawędzi.

Ojcem MST jest czeski naukowiec Otakar Borůvka, który w 1926 r. jako pierwszy zaproponował swój algorytm do konstrukcji MST, tzw. algorytm Borůvky. Algorytm Borůvky to jeden z tzw. algorytmów zachłannych. W literaturze do konstrukcji MST stosowane są również inne algorytmy zachłanne, np. Kruskala lub Prima.

W naszych badaniach każdy wierzchołek grafu MST_t jest instytucją ubezpieczeniową, a do konstrukcji MST_t stosujemy algorytm Kruskala, bazujący na macierzy pseudoodległości, której wartości ustalone są zgodnie z metryką Mantegna (1999):

$$d_t(i, j) = \sqrt{2(1 - R_t(i, j))}, \quad (4.1)$$

gdzie $R_t(i, j)$ to współczynniki korelacji pomiędzy logarytmicznymi stopami zwrotu z akcji i – tej i j – tej instytucji ubezpieczeniowej.

W artykule [A2] kluczowe w konstrukcji MST współczynniki korelacji $R_t(i, j)$, stosowane we wzorze (4.1), liczone dla każdej pary ubezpieczycieli tradycyjną metodą, zastępujemy współczynnikami korelacji uzyskanymi dzięki szacowanym dwuwymiarowym modelom Copula-DCC-GARCH.

Drugim etapem w [A2] jest wyznaczenie na bazie MST_t szeregów czasowych wskaźników topologicznych Minimalnych Drzew Rozpinających do analizy struktury powiązań między instytucjami ubezpieczeniowymi w celu oceny dynamiki potencjalnego zarażenia skutkami negatywnych zdarzeń i szoków oraz ustalenia instytucji ubezpieczeniowych, mających wpływ na generowanie ryzyka w całym systemie. Analizę empiryczną prowadzimy dla dostępnych w okresie 2005-2019 tygodniowych notowań giełdowych 28 europejskich instytucji ubezpieczeniowych, wybranych z listy Top 50 (www.relbanks.com/top-insurance-companies/europe), największych ubezpieczycieli pod względem aktywów ogółem.

Konstrukcja MST_t przebiega następująco:

1. Na podstawie notowań giełdowych k instytucji ubezpieczeniowych wyznaczamy logarytmiczne stopy zwrotu $r_{i,t}$, ($i = 1 \dots k$, $t = 1 \dots T$).
2. Wykorzystując logarytmiczne stopy zwrotu $r_{i,t}$ dla każdej pary instytucji i, j ($i, j = 1 \dots k$) i każdego okresu $t = 1 \dots T$, szacujemy warunkowe współczynniki korelacji liniowej $R_t(i, j)$, bazując na dwuwymiarowych modelach Copula-DCC-GARCH.
3. Dla każdego okresu wyznaczamy macierz odległości między badanymi instytucjami, zgodnie ze wzorem (4.1), gdzie $R_t(i, j)$ oznacza współczynnik korelacji między i -tą a j -tą instytucją ($i, j = 1, \dots, k$) w okresie t ($t = 1, \dots, T$).
4. Wykorzystując wyznaczone macierze odległości, za pomocą algorytmu Kruskala (Mantegna, Stanley, 1999) dla każdego z 295 tygodni w okresie od 2005 r. do 2019 r., konstruujemy MST_t ($t = 1, \dots, T$) z k wierzchołkami i $k - 1$ krawędziami.

Każdy z 295 grafów MST_t przedstawia stan sieci powiązań między instytucjami ubezpieczeniowymi w okresie t , $t = 1, \dots, 295$. Wierzchołkami grafu są poszczególne badane instytucje, a krawędzie oznaczają istnienie relatywnie małych odległości i tym samym dużych podobieństw pomiędzy parami instytucji ubezpieczeniowych. Konstrukcja MST_t może być postrzegana jako sposób na znalezienie najbardziej odpowiednich $k - 1$ połączeń spośród $\frac{k(k-1)}{2}$ ogółem. Skonstruowane grafy MST_t można uznać za filtrowane sieci, które pozwalają na identyfikację najbardziej prawdopodobnej i najkrótszej ścieżki transmisji szoku.

W kolejnym etapie dla każdego $t = 1, \dots, 295$ ustalamy wskaźniki topologiczne MST_t :

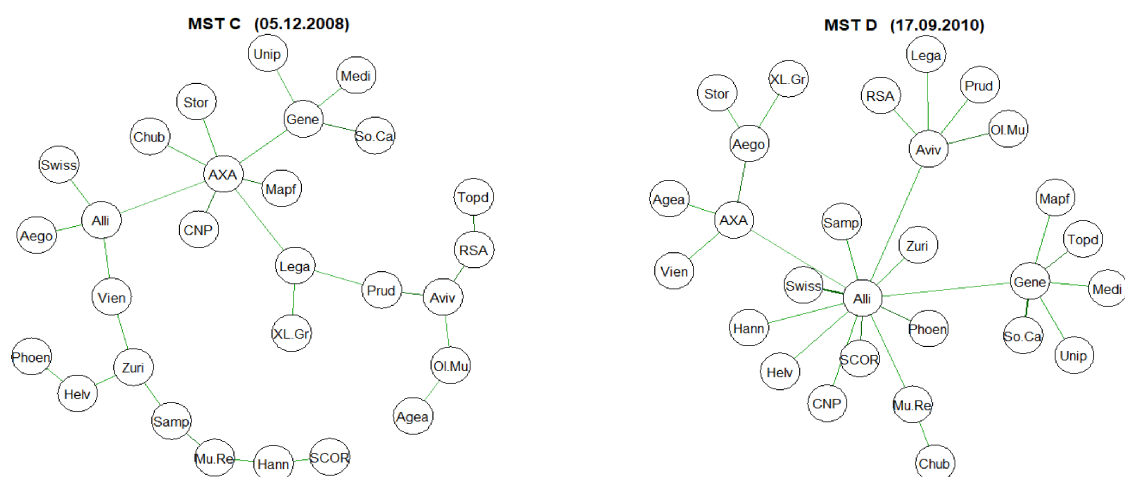
- średnią długość ścieżki (*ang. Average Path Length*, APL),
- maksymalny stopień (*ang. Maximum Degree*, Max.Deg.)
- parametry α rozkładu potęgowego stopni wierzchołków: $P(s) = Cs^{-\alpha}$, $\alpha > 0$
- centralność pośrednictwa (*ang. Betweenness Centrality*, BC).

Szeregi czasowe wymienionych wskaźników topologicznych MST pozwalają na ocenę dynamiki zmian struktury MST_t , a tym samym dynamiki zmian powiązań pomiędzy analizowanymi instytucjami ubezpieczeniowymi.

Z przedstawionej w artykule [A2] analizy wskaźników wynika, że tuż przed kryzysami i w pierwszej ich fazie, czyli w stanie „ryzyka”, MST mają tendencję kurczenia się i mają postać gwiazdy, w odróżnieniu do postaci rozciągniętego łańcucha jak w stanach „normalnych”. Gwieździsta struktura zależności niestety sprzyja propagacji niepożądanych zdarzeń. MST są w okresach „ryzyka” bezskalowe, ponieważ α należy do przedziału $(2, 3)$, co oznacza strukturę z hubami MST, czyli wierzchołkami z licznymi połączeniami. Wierzchołki huby są szczególnie ważne w całej strukturze. Niepożądane negatywne zdarzenia, które miałyby miejsce w takiej instytucji, mogą rozprzestrzeniać się w sieci do innych instytucji, które są do nich przyłączone. Ze względu na szeroką debatę nad Globalnie Systemowo Istotnymi Ubezpieczycielami, wskaźnik BC jest tym, który pozwala na ustalenie ważności instytucji w całej sieci. Nasze badanie opisane w [A2] potwierdziło, że w analizowanym okresie najistotniejszymi systemowo instytucjami w grupie badanych ubezpieczycieli były AXA i Allianz oraz Aviva, Prudential plc, Aegon, Generali, Legal & General, będące na liście G-SII w 2013 r. Wnioski takie otrzymaliśmy, analizując szereg czasowy centralności pośredniczenia (BC). Zatem zastosowana w [A2] metodologia może być

wykorzystywana w identyfikowaniu ubezpieczycieli, ważnych ze względu na propagowanie ryzyka w całym systemie.

Na rysunku (4.1) prezentuję Minimalne Drzewa Rozpinające z okresów 05.12.2008 oraz 17.09.2010 różniące się strukturą. Po lewej stronie znajduje się sieć z początku kryzysu SMC (ang. *Subprime Mortgage Crisis*). Struktura tego MST jest rozciągnięta i ma postać łańcucha. Po prawej stronie rysunku (4.1) znajduje się MST w końcowej fazie najgłębszego kryzysu SMC. Struktura tego MST jest gwieździsta. Na początku kryzysu MST było rozciągnięte, a w trakcie kryzysu MST się skurczyło. Taka skupiona, gwieździsta struktura MST sprzyja propagacji skutków niepożądanych zdarzeń.



Rysunek 4.1: Minimalne Drzewa Rozpinające z różną strukturą.

- W artykule [A3] rozwijam metodologię opracowaną w artykułach [A1, A2]. Badania nad sektorem ubezpieczeń poszerzam, mierząc wkład każdej analizowanej instytucji ubezpieczeniowej w ryzyko systemowe europejskiego sektora ubezpieczeń miarą *DeltaCoVaR* obliczoną na podstawie oszacowanych modeli Copula-DCC-GARCH.

Przy czym wartość miary *DeltaCoVaR* (precyzyjnie: $\Delta CoVaR_{\beta}^{j|i}$) to różnica między wartością zagrożoną j – tej instytucji (sektora ubezpieczeń reprezentowanego przez indeks STOXX 600 Europe Insurance) pod warunkiem, że dana i – ta instytucja ubezpieczeniowa jest w stanie kryzysu finansowego, a wartością zagrożoną sektora ubezpieczeń w przypadku, gdy sytuacja finansowa i – tej instytucji jest normalna (przeciętna), co wyrażmy wzorem:

$$\Delta CoVaR_{\beta}^{j|i} = CoVaR_{\beta}^{j|X^i \leq VaR_{\alpha}^i} - CoVaR_{\beta}^{j|X^i \leq Mediana^i}. \quad (4.2)$$

Wartość tej miary mówi o wkładzie w ryzyko systemowe i – tej instytucji. Im niższa wartość miary $\Delta CoVaR_{\beta}^{j|i}$, tym i – ta instytucja ubezpieczeniowa ma większy udział w generowaniu ryzyka systemowego.

Otrzymane w badaniach wyniki analizy potwierdzają możliwość generowania ryzyka w całym systemie przez sektor ubezpieczeń. Każdy z badanych ubezpieczycieli z listy 50-ciu największych ubezpieczycieli ma wkład w ryzyko systemowe. *DeltaCoVaR* przyjmuje podobną wartość. Tylko nieliczne z analizowanych instytucji ubezpieczeniowych mają mniejszy wkład w ryzyko systemowe. Wykazaliśmy, że istotnie

najmniejszy wkład w RS mają trzy z badanych instytucji, które charakteryzują się najmniejszą wartością wskaźnika BC w skonstruowanym MST . Zatem dzięki równoczesnemu zastosowaniu różnych narzędzi - z jednej strony wskaźnika BC dla MST , z drugiej strony miary $DeltaCoVaR$ - potwierdzamy, że najmniejszy wpływ na zarażanie mają instytucje z niskim BC , będące na peryferiach sieci MST , ponieważ mają one stosunkowo mały wkład w RS, wyrażony miarą $DeltaCoVaR$.

- W badaniach, których wyniki przedstawiam w artykule [A4] inspirowałam się zadaniami wskazanymi na końcu artykułu Alves i in. (2015). Autorzy przeprowadzili analizę sieci utworzonej z 29 największych europejskich grup ubezpieczeniowych i ich kontrahentów finansowych, koncentrując się na bezpośrednich powiązaniach między ubezpieczycielami a bankami. Autorzy podkreślili, że nie analizowali połączeń pośrednich wynikających z zależności cen rynkowych i kanałów informacyjnych, a należy zbadać sieci bazujące na takich danych. Dlatego podjęliśmy się analizy połączeń między tymi instytucjami, bazując na notowaniach giełdowych akcji tych instytucji.

Nowością w artykule [A4] jest autorska modyfikacja odległości (4.1) między instytucjami ubezpieczeniowymi, która bazuje na oszacowanych zależnościach w dolnych ogonach rozkładów logarytmicznych stóp zwrotu z inwestycji w akcje badanych instytucji. Odległość ta przyjmuje postać (4.5). W badaniu śledzę dynamikę struktury skonstruowanych MST_t , analizując ich wskaźniki topologiczne. Szczególną uwagę koncentruję na podokresach kryzysów występujących w badanym okresie od 2005 do 2019.

Konstrukcję MST opieramy na zależnościach w ogonach. Dla każdego badanego okresu t , ($t = 1, \dots, T$) i każdej pary stóp zwrotu $r_{i,t}, r_{j,t}$, ($i, j = 1, \dots, k, j > i$) szacujemy dwuwymiarowe rozkłady F_t :

$$F_t(r_{i,t}, r_{j,t}) = C_{ij,t}(F_{i,t}(r_{i,t}), F_{j,t}(r_{j,t})), \quad (4.3)$$

gdzie $C_{ij,t}$ oznacza kopulę, natomiast $F_{i,t}, F_{j,t}$ to odpowiednio dystrybuanty rozkładów brzegowych w czasie t dla F_t .

Dalej wykorzystując kopule $C_{ij,t}$ szacujemy współczynniki zależności w dolnych ogonach rozkładów logarytmicznych stóp zwrotu $r_{i,t}, r_{j,t}$:

$$\lambda_t^L(i, j) = \lim_{q \rightarrow 0^+} \frac{C_{ij,t}(q, q)}{q}. \quad (4.4)$$

Następnie dla każdego okresu t wyznaczamy macierz „odległości” między zakładami ubezpieczeń za pomocą zmodyfikowanej pseudoodległości Mantegna:

$$d_t(i, j) = \sqrt{2(1 - \lambda_t^L(i, j))} \quad (4.5)$$

i stosując algorytm Kruskala, konstruujemy Minimalne Drzewa Rozpinające MST_t z k wierzchołkami i $k - 1$ krawędziami.

W celu oszacowania $\lambda_t^L(i, j)$ rozważam różne specyfikacje dwuwymiarowych modeli Copula-DCC-GARCH.

W oparciu o tak uzyskane drzewa MST_t ($t = 1 \dots T$) prowadzimy analizę szeregów czasowych topologicznych wskaźników sieci, które podzielone są na dwie grupy

ze względu na specyfikę miary; takie, które są miarą dotyczącą każdego wierzchołka MST i są to stopień wierzchołka (ang. *Node Degree*), centralność pośredniczenia wierzchołka (ang. *Betweenness Centrality*, BC), siła wierzchołka (ang. *Vertex Strength*), bliskość centralna węzła (ang. *Closeness Centrality*) oraz na takie, które są miarą własności całego MST, i są to średnia długość ścieżki (ang. *Average Path Length*, APL), maksymalny stopień sieci (ang. *Maximum Degree*, Max.Deg), parametr α rozkładu potęgowego stopni wierzchołków, średnica (ang. *Diameter*), tzw. współczynnik bogatego klubu (ang. *Rich Club Effect*, RCE) i asortatywność nazywana także mieszanym selektywnym (ang. *Assortativity*).

W badaniu oszacowałam także dla każdej instytucji ubezpieczeniowej i każdego t, *DeltaCoVaR*, informujący o jej wkładzie w RS sektora ubezpieczeń. Jak wcześniej, stosuję w tym celu dwuwymiarowe modele Copula-DCC-GARCH. Miarę *DeltaCoVaR* szacujemy, przyjmując, że europejski sektor ubezpieczeń reprezentuje indeks STOXX 600 Europe Insurance.

Na podstawie otrzymanych wyników stwierdziliśmy, że wskaźniki topologiczne MST są narzędziem pozwalającym na identyfikację okresów, w trakcie których sektor ubezpieczeń staje się szczególnie podatny na możliwość generowania ryzyka systemowego. Ponadto, wskaźniki topologiczne tak skonstruowanych sieci pozwalają na ustalenie ważnych instytucji w grupie badanych ubezpieczycieli.

- W pracy [A5] rozwinęłam metodologię zaproponowaną w [A1,A2,A3,A4]. Łączę możliwości identyfikacji, modelowania i pomiaru ryzyka systemowego w sektorze ubezpieczeń z zastosowaniem metody łączącej modele ekonometryczne, elementy teorii grafów, w szczególności MST oraz algorytm DTW (ang. *Dynamic Time Warping*).

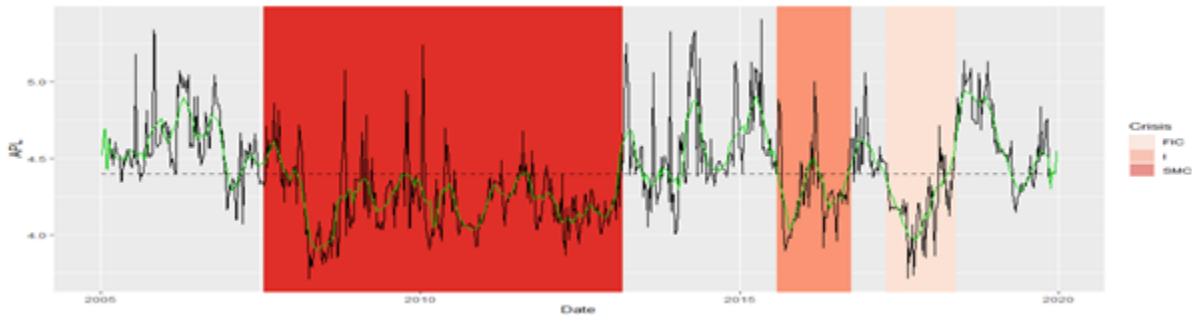
DTW to algorytm pozwalający na ustalenie podobieństwa pomiędzy dwoma szeregami czasowymi, przekształconymi względem osi czasu. Szeregi mogą mieć różną długość lub być przesunięte, ściśnięte lub rozciągnięte. Algorytm DTW pozwala również na analizę podobieństwa dynamiki zmian obu szeregów.

Algorytm ten dotychczas szeroko stosowano w obszarach pozaekonomicznych, takich jak rozpoznawanie mowy, obrazu czy ruchu. Nieparametryczna miara podobieństwa szeregów czasowych jest lepsza niż inne miary, takie jak współczynnik korelacji Pearsona. Dla ustalenia podobieństwa pomiędzy szeregami czasowymi ustalana jest tzw. ścieżka optymalna (ang. *Optimal Warping Path*) w macierzy kosztów dopasowania. Ścieżka optymalna wskazuje, które elementy pierwszego szeregu czasowego najlepiej odpowiadają elementom drugiego szeregu czasowego. Takie połączenie nie jest jednoznacznie identyfikowane. Optymalne jest to dopasowanie, które ma najniższy "koszt". DTW jest sumą wartości odległości wzdłuż optymalnej ścieżki przejścia między dwoma szeregami.

Dla zobrazowania przeprowadzonego badania przedstawię teraz przykład z [A5] analizy szeregu czasowego wskaźnika Average Path Length (APL).

W pracy [A5] badany okres podzieliłam na podokresy odpowiadające kryzysom subprime i nadmiernego długu publicznego (ang. *Subprime Mortgage Crisis*, SMC), a także okresy początku europejskiego kryzysu imigracyjnego (ang. *Immigrants*, I), kryzysu UE wywołanego strajkami we Francji oraz narastającego kryzysu zadłużenia publicznego we Włoszech (ang. *France and Italy Crisis*, FIC) (w przykładzie na rys. 4.2 zaznaczone kolorem czerwonym, pomarańczowym i różowym) oraz podokresy pomiędzy kryzysami N_1 , N_2 , N_3 , N_4 (zaznaczone na rys. 4.2 kolorem szarym).

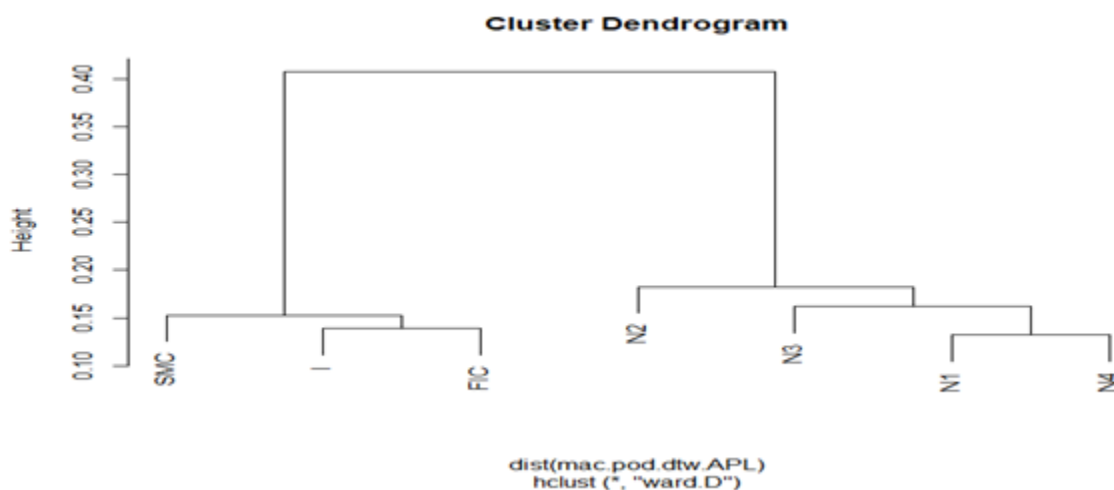
Uzyskałam w ten sposób zbiór $O = \{N_1, SMC, N_2, I, N_3, FIC, N_4\}$ siedmiu podokresów. Następnie, wykorzystując wartości DTW , obliczyłam podobieństwo dla każdej pary fragmentów szeregu APL nad podokresami ze zbioru O . Przyjmuje się, że im mniejsza jest wartość znormalizowanego DTW tym szeregi czasowe w wyodrębnionych podokresach są bardziej podobne.



Rysunek 4.2: Szereg czasowy APL

Z kolei, wykorzystując wartości DTW , skonstruowałam macierz podobieństwa między fragmentami szeregu APL ze zbioru O i za pomocą metody Warda przeprowadziłam grupowanie obiektów z tego zbioru. Uzyskany dendrogram przedstawiam na rysunku (4.3).

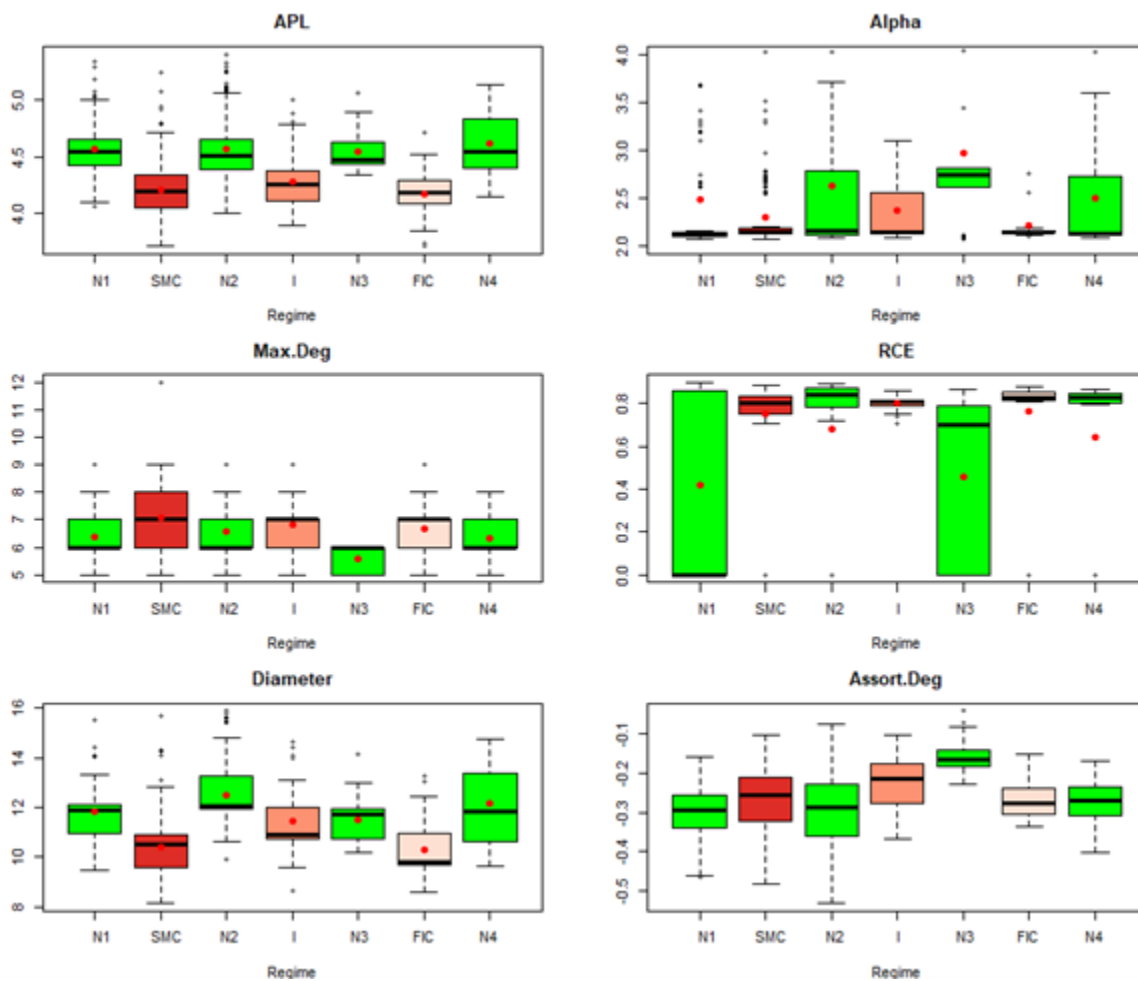
Z analizy podobieństwa fragmentów szeregów czasowych APL wynika, podział na dwie odrębne grupy. Pierwsza obejmuje fragmenty odpowiadające podokresom kryzysowym SMC, I, FIC, druga natomiast okresem "normalnym" N_1, N_2, N_3, N_4 . Oznacza to, że wskaźnik APL w każdym podokresie kryzysowym wykazuje podobne zachowanie, różniące się od zachowania w podokresach "normalnych". Tym samym zastosowanie DTW potwierdza zdolność APL do identyfikacji stanów kryzysowych w sektorze ubezpieczeń.



Rysunek 4.3: Grupy okresów utworzone w oparciu o DTW dla wskaźnika APL

Dla szeregów czasowych pozostałych wskaźników topologicznych przeprowadziłam analogiczną analizę podobieństwa.

Na (Rys. 4.4) przedstawiam boksploty ustalone na podstawie szeregów czasowych wszystkich badanych wskaźników topologicznych MST w wyróżnionych w zbiorze O podokresach. W różnych podokresach struktura MST zmienia się wraz z sytuacją rynkową. Z przeprowadzonych przeze mnie badań wynika, że w trzech zidentyfikowanych okresach kryzysów SMC, I, FIC zarówno APL, jak i średnica maleją, maksymalny stopień wzrasta, RCE jest wysoki, a asortatywność jest ujemna. Wszystko to powoduje, że w trakcie tych okresów struktura MST staje się gwieździsta i zwarta, co skutkuje spadkiem stabilności układu. Oznacza to, że turbulencje mogą być łatwiej przenoszone przez sieć. Taka konfiguracja sieci jest mniej odporna na wstrząsy, a bardziej podatna na zarażanie i przenoszenie skutków negatywnych zdarzeń na cały sektor ubezpieczeń, a następnie cały rynek finansowy.



Rysunek 4.4: Boksploty dla wskaźników topologicznych badanych MST

Zaprezentowane w artykule [A5] badania empiryczne, pozwoliły mi na potwierdzenie przydatności wskaźników topologicznych sieci do identyfikacji i analizy ryzyka systemowego w sektorze ubezpieczeń. Szeregi czasowe wskaźników topologicznych są wrażliwym narzędziem i odzwierciedlają każdą nietypową sytuację gospodarczą lub polityczną, która miała wpływ na rynek ubezpieczeniowy, co potwierdzam, wykorzystując algorytm *DTW*. Dzięki połączeniu tych narzędzi potwierdziłam, że struktury MST w okresach odpowiadających kryzysom SMC, I oraz FIC są podobne i inne niż w okresach pozakryzysowych.

- W artykule [A6] analizuję sektory ubezpieczeń wszystkich państw Unii Europejskiej. W 2004 r. Unia Europejska, składająca się z 16 krajów, została poszerzona o Cypr, Czechy, Estonię, Litwę, Łotwę, Malte, Polskę, Słowację, Słowenię i Węgry. Następnie do Unii została przyłączona Bułgaria, Rumunia, Chorwacja. Od 1 lutego 2020 r. do Unii nie należy Wielka Brytania. Rozszerzenie Unii Europejskiej o nowe kraje w 2004 r. wprowadziło mechanizmy wspierające rozwój różnych obszarów społecznych i gospodarczych, a także mające na celu zniwelowanie różnic między państwami członkowskimi.

Głównym celem badania opisanego w artykule [A6] była analiza rozwoju oraz podobieństwa rynków ubezpieczeniowych w państwach członkowskich UE przed i po rozszerzeniu w 2004 roku. Wraz ze współautorami przeanalizowałam sektory ubezpieczeń obu grup krajów – tych, które należały do UE przed 2004 rokiem, oraz tych, które przystąpiły w tym roku – wykorzystując miernik Hellwiga (Hellwig's information criterion) (Hellwig 1968; Roszkowska i in. 2021). Miernik ten opiera się na odpowiednio skalowanych odległościach euklidesowych między wielowymiarowym wektorem znormalizowanych wartości zmiennych charakteryzujących rozwój sektora ubezpieczeniowego w danym kraju i roku t , a tzw. wzorcem rozwoju.

Ponadto przeanalizowałam podobieństwo tych krajów, stosując trzy statystyczne metody analizy skupień: metodę Warda, metodę k-średnich i Partitioning Among Medoids (PAM). Wskaźniki jakości grupowania, takie jak statystyki pseudo-F Calinskiego-Harabasza (Calinski i Harabasz 1974), wskaźnik sylwetkowy, indeks Dunna (Dunn 1974) oraz indeks Xie i Beni (Xie i Beni 1991) były używane do określenia optymalnej liczby skupień. Ostateczny skład grup jest wynikiem porównania wyników odpowiednich algorytmów grupowania.

W badaniach prezentowanych w artykule [A6] odpowiadamy na pytania: Czy integracja Unii Europejskiej wpłynęła na zintegrowanie sektorów ubezpieczeń krajów „Starej Unii” z sektorami ubezpieczeń krajów, które zostały przyłączone do Unii po 2004 r.? Czy rozszerzenie Unii miało wpływ na jedną czy też drugą grupę krajów? Na ile rynki ubezpieczeniowe różnych krajów były podobne? Czy też dopiero zmiany strukturalne spowodowały ich upodobnienie? Czy nastąpiło wyrównanie zróżnicowań występujących między członkami wspólnoty? Jak powiązane są ze sobą kraje wspólnoty?

Analiza sektorów ubezpieczeń przeprowadzona w tym badaniu wskazuje na utrzymujące się różnice w poziomie rozwoju, mierzonego miernikiem Hellwiga, między analizowanymi grupami krajów starej i nowej Unii Europejskiej. Grupy tych państw mają inną ścieżkę rozwoju. I chociaż możemy zaobserwować tendencję wzrostową wartości dla niektórych zmiennych, np. aktywów ogółem i PKB, to średni poziom rozwoju nie zmienia się, ponieważ np. liczba firm maleje. Zauważamy również, że wybrane zmienne, takie jak składka brutto, penetracja czy gęstość ubezpieczeń, reagują dynamicznie na kryzysy. Na podstawie analizy podobieństwa wskazałam również na brak jakiegokolwiek rzeczywistej integracji w europejskim sektorze ubezpieczeń. Choć w prezentowanych badaniach nad rozwojem i podobieństwem krajów UE stosowane narzędzia nie są nowatorskie, to według najlepszej mojej wiedzy nie były stosowane w takim obszarze badań w taki sposób, dla tak długiego okresu.

- W kolejnym artykule [A7] przedstawiam narzędzia analizy danych, które będą wykorzystywać do modelowania ryzyka systemowego. W szczególności badam zbiory

konfliktowe oraz oś środkową zbiorów.

Zbiór konfliktowy skończonej rodziny parami rozłącznych podzbiorów domkniętych przestrzeni euklidesowej rozumiemy jako zbiór takich punktów, dla których minimum odległości od każdego z danych zbiorów jest realizowane jednocześnie w przynajmniej dwóch zbiorach. Jest to zawsze zbiór domknięty. Interesuje nas jego zachowanie w sytuacji, kiedy rozważane zbiory ewoluują w czasie. Okazuje się, że najdogodniejszym językiem do wyrażania tego typu deformacji jest zbieżność Kuratowskiego zbiorów domkniętych.

Samo pojęcie zbioru konfliktowego ma szerokie zastosowanie w teorii rozpoznawania obrazów oraz zagadnieniach logistycznych czy też geograficzno-ekonomicznych. Gibas i Heffner (2007) twierdzą, że wiele analiz ekonomicznych nie uwzględnia aspektów przestrzennych. Wprowadzenie czynnika przestrzennego do badań nad procesami gospodarczymi i szerzej społeczno-gospodarczymi uświadamia, że tradycyjna analiza ekonomiczna formułuje prawa opierające się na założeniu, że przedmioty i dobra znajdują się w jednym miejscu. Jednak z ekonomicznego punktu widzenia oddziaływanie przestrzeni nie ma neutralnego charakteru. Dlatego aspekt przestrzenny powinniśmy uwzględnić również w analizie rynków ubezpieczeniowych. Przykładem może być tutaj diagram Voronoia, który jest konstrukcją tworzoną ze zbioru punktów na określonej powierzchni. Diagram Voronoia polega na takim podziale badanego obszaru na komórki, że każdy punkt położony wewnątrz danej komórki diagramu leży bliżej węzła, znajdującego się w tej komórce, niż jakiegokolwiek innego węzła sieci (Brasel i Reif, 1979). Diagram Voronoia staje się rodzajem grafu, w którym wierzchołki reprezentują regiony, a krawędzie wskazują na sąsiedztwo tych regionów. Dla mnie w trakcie analizy ryzyka systemowego szczególnie ważny jest proces ewoluowania w czasie wielowymiarowych zbiorów danych opisujących sektory ubezpieczeń, które dynamicznie się zmieniają w przestrzeni. Dynamika skrajnych lub nagłych zachowań w sektorze ubezpieczeń może być opisana przez dynamikę zmiany położenia danych w diagramie. Zatem zastosowanie znajduje analiza sieci teselacji Voronoia, które są szeroko stosowane do agregacji danych i grupowania (Wieland i in., 2007; Balcan i in., 2009). W dalszych badaniach zaproponuję analizę ryzyka za pomocą algorytmu sieci Voronoia, która pozwoli na zidentyfikowanie grupy ubezpieczycieli, u których występują zaburzenia lokalne z potencjalną możliwością zarażania w całym sektorze ubezpieczeń. Zamierzam tu prowadzić badania w zależności od sposobu analizy; albo ze względu na ustaloną grupę poszczególnych ubezpieczycieli, jak w [A2,A3,A4,A5], albo ze względu na grupy państw, jak w [A6,B1]. Ciekawym narzędziem staje się dla mnie innowacyjne połączenie zbiorów konfliktowych czy też osi środkowych zbiorów z Minimalnymi Drzewami Rozpinającymi, ponieważ diagramy Voronoia są szczególnym przypadkiem – dla zbiorów punktowo izolowanych – ogólniejszych pojęć, jakimi są zbiory konfliktowe oraz oś środkowa zbioru, które w danym wypadku się pokrywają. Połączenie diagramów Voronoia z MST można odnaleźć w (Wieland i in. 2007). Autorzy, stosując takie narzędzia, oceniają ryzyko rozprzestrzeniania się choroby. Znajdując analogię, opracowuję narzędzia, które zastosować można do rozprzestrzeniania się ryzyka systemowego w sektorze ubezpieczeń.

- W artykule [A7] przedstawiłam nowe wyniki dotyczące półciągłości zbiorów konfliktowych wraz z zastosowaniami. Jako zastosowanie w ekonomii czy finansach prowadzonych w [A7] badań podajemy w szczególności dwie możliwe ścieżki, jedną z nich

jest właśnie analiza stabilności i podziału rynku finansowego. Szczegółowe dowody przedstawianych w [A7] wyników opublikowane zostały w [A8]. Dzięki dowodom przeprowadzonym w [A8] możemy rozwijać dalej zapowiadaną analizę empiryczną. Główny wynik pracy teoretycznej [A8] to fakt, że wraz ze zmianami przestrzennymi wyjściowych zbiorów mamy pełną kontrolę nad ich diagramami Voronoia.

- W artykule [A9] wraz ze współautorami przedstawiam narzędzia do opracowania modelu, który pozwoli na predykcję ryzyka systemowego w sektorze ubezpieczeń, bazującego na równaniach i inkluzjach różniczkowych. W badaniach nad predykcją ryzyka systemowego w sektorze ubezpieczeń istotne są dwa aspekty - przewidywalność źródła, czyli pierwszego momentu wystąpienia negatywnych w skutkach zdarzeń oraz przewidywalność sposobu zarażania kryzysem w całym sektorze ubezpieczeń oraz całej gospodarce. Z tego powodu prowadzone przeze mnie badania nad modelem, który pozwoli na predykcję ryzyka systemowego, powinny uwzględniać zmiany występujące zarówno ze względu na miejsce, jak i czas. Rozwijając metody identyfikowania, opisu, pomiaru oraz predykcji ryzyka systemowego w sektorze ubezpieczeń, proponuję metodę wykorzystującą sieci zbudowane w oparciu o transfer entropii. Następnie, bazując na skonstruowanych w nowatorski sposób sieciach, w przyszłych badaniach proponuję podejście predykcyjne w myśl (Yan i in., 2023) z wykorzystaniem zmodyfikowanego modelu czasowo-przestrzennego, bazującego na równaniach różniczkowych cząstkowych, a w kolejnych badaniach na inkluzjach różniczkowych. W artykule [A9] przedstawiam opracowane ze współautorami dowody istnienia i jednoznaczności zrenormalizowanego rozwiązania eliptycznych inkluzji różniczkowych z niestandardowym wzrostem. Szczególnym przypadkiem analizowanej inkluzji jest równanie:

$$\begin{cases} \operatorname{div} A(x, \nabla u(x)) = f(x) & \text{in } \Omega, \\ u = 0 & \text{on } \partial\Omega. \end{cases}$$

Jeśli przyjmiemy, że $\Omega \subset \mathbb{R}^d$ jest zbiorem ubezpieczycieli, a funkcja $u : \Omega \rightarrow \mathbb{R}$ jest funkcją ryzyka, gradient u , czyli ∇u , wskazuje kierunek najszybszego wzrostu ryzyka. Pole wektorowe $A : \Omega \times \mathbb{R}^d \rightarrow \mathbb{R}^d$ skojarzone z rozwiązaniem u oznacza strategię na przeciwdziałanie ryzyku. Czyli dla danego ubezpieczyciela x przyjmującego profil działalności v , ustalana jest strategia $A(x, v)$, gdzie $V_u(x) = A(x, \nabla u(x))$. Wtedy dywergencja $\operatorname{div} V_u(x) \in \mathbb{R}$ mierzy ściśliwość pola wektorowego, czyli jak „wiele” pola wypływa/wpływa w danym punkcie x . Zatem $\operatorname{div} V_u(x)$ mierzy, czy mamy do czynienia ze źródłem ryzyka, czy też z ubezpieczycielem, który absorbuje ryzyko. Funkcja f jest z góry zadana i określa odpowiedź na ryzyko. Możemy przyjąć, że jest to funkcja ważności ubezpieczyciela w systemie, czyli w rozpatrywanym zbiorze ubezpieczycieli Ω . Jak ważny jest ubezpieczyciel, możemy ustalić, bazując na wskaźnikach topologicznych Minimalnych Drzew Rozpinających, rozpatrywanych w pracach [A2,A3,A4] lub przyjąć jako wartość funkcji f wielkość wkładu w ryzyko systemowe ubezpieczyciela x , czyli *DeltaCoVaR* ubezpieczyciela x . (Metodologię ustalania *DeltaCoVaR* przedstawiam w pracy [A3].)

4.1.5.3 Prezentacja realizacji celów głównych i szczegółowych

W badaniach przedstawionych w cyklu prac zrealizowałam następujące cele:

Cel 1. *Opracowanie nowych metod analizy wzajemnych powiązań i podobieństwa w sektorze ubezpieczeń w różnych stanach rynku.*

- W artykule [A1] prezentuję metodę, bazującą na modelu Copula-DCC-GARCH, która jest po raz pierwszy stosowana do identyfikacji stanów rynku.

W artykułach [A2, A3, A4, A5] głównymi narzędziami analizy powiązań i podobieństwa między instytucjami ubezpieczeniowymi są wskaźniki topologiczne MST. Kluczową rolę w konstrukcji MST odgrywa pseudoodległość (4.1), zaproponowana przez Mantegna, gdzie $R_t(i, j)$ to współczynniki korelacji pomiędzy dwiema instytucjami ubezpieczeniowymi. Nowością w moich badaniach jest modyfikacja tej pseudoodległości, w celu uwzględnienia zależności liniowych i nieliniowych między analizowanymi instytucjami ubezpieczeniowymi:

- W [A2] modyfikacja ta polega na szacowaniu $R_t(i, j)$ za pomocą zaproponowanego w [A1] modelu Copula-DCC-GARCH. Metoda ta pozwoliła na bardziej elastyczne oszacowanie współczynników korelacji, a tym samym pseudoodległości Mantegna w porównaniu z oszacowaniami uzyskanymi za pomocą metod stosowanych dotychczas w literaturze.
- W [A3] rozwijam metodologię opracowaną w artykułach [A1, A2]. Badania nad sektorem ubezpieczeń poszerzam, mierząc wkład każdego analizowanego ubezpieczyciela w ryzyko systemowe europejskiego sektora ubezpieczeń miarą $\Delta CoVaR$ ustaloną również na podstawie oszacowanych modeli Copula-DCC-GARCH.
- W [A4] w konstrukcji MST bazuję na zmodyfikowanej pseudoodległości (??) ustalonej na podstawie wzoru:

$$d_t(i, j) = \sqrt{2(1 - \lambda_t^L(i, j))}, \quad (4.6)$$

gdzie

$$\lambda_t^L(i, j) = \lim_{q \rightarrow 0^+} \frac{C_{ij,t}(q, q)}{q} \quad (4.7)$$

są współczynnikami zależności w dolnych ogonach rozkładów logarytmicznych stóp zwrotu $r_{i,t}, r_{j,t}$, bazującymi na kopulach $C_{ij,t}$.

- W [A5] przedstawiam opracowaną metodę analizy podobieństwa instytucji ubezpieczeniowych bazującą na MST oraz algorytmie Dynamic Time Warping (DTW).
- W [A6] przedstawiam metodę analizy podobieństwa bazującą na mierniku rozwoju Hellwiga. Miernik ten tworzą odpowiednio skalowane odległości Euklidesa między wielowymiarowym wektorem znormalizowanych wartości zmiennych charakteryzujących rozwój sektora ubezpieczeń w danym kraju i w danym roku t a tzw. wzorcem rozwoju.

Cel 2. *Zastosowanie opracowanych metod do monitorowania dynamiki zmian w sieci powiązań instytucji ubezpieczeniowych, w szczególności możliwości zarażania negatywnymi skutkami niepożądanych zdarzeń finansowych.*

W artykułach [A2-A5] przedstawiam analizę wskaźników topologicznych Minimalnych Drzew Rozpinających, które pozwoliły na zbadanie dynamiki zmian w sieci powiązań badanych instytucji.

- W [A2] grafy MST w okresie przed kryzysami i w początkowej ich fazie kurczyły się, co wskazywało na upodobnianie się badanych instytucji. Takie upodobnienie się instytucji może przyspieszać propagację wstrząsów. W okresach poza kryzysami MST stawały się mniej gwieżdźiste, co wskazywało na mniejsze podobieństwo między instytucjami i mniejsze napięcie w całej sieci.
- W [A4] grafy miały inną strukturę w okresach kryzysów i poza nimi, co spowodowane było inną ich konstrukcją niż w [A2]. W [A4] konstrukcja MST bazuje na zależnościach w ogonach logarytmicznych stóp zwrotu z akcji badanych instytucji. W trakcie kryzysów MST są skurczone, a ich struktura topologiczna sprzyja propagowaniu negatywnych informacji. W okresach poza kryzysami wskaźniki topologiczne MST wskazują na bardziej łańcuchową niż gwieżdzistą strukturę, spowalniającą przekazywanie informacji.
- W [A5] dla dokładniejszej analizy wskaźników topologicznych MST wykorzystujemy algorytm Dynamic Time Warping. Dzięki tej analizie ustaliliśmy podobieństwo struktury sieci w trakcie kryzysów.

Cel 3. *Identyfikowanie instytucji istotnych dla całego sektora ubezpieczeń oraz monitorowanie ich położenia w sieci w kontekście propagowania ryzyka.*

- W [A3] konfrontuję otrzymane wyniki dotyczące struktury MST z informacją o wkładzie w ryzyko systemowe badanych instytucji. Badanie pozwoliło na wyłonienie istotnych instytucji, które odgrywają znaczącą rolę w transmisji ryzykownych zdarzeń i ich skutków w całej sieci. A zgodnie z najnowszą polityką IAIS i wycofaniem się z metodologii wyłaniania instytucji globalnie systemowo istotnych tzw. G-SII, zachodzi jednak konieczność wskazania najważniejszych ubezpieczycieli w całej sieci. Z naszej analizy w [A3] wynika, że ubezpieczyciele z najwyższym wskaźnikiem centralności pośredniczenia tzw. *ang. Betweenness Centrality* (BC), mają największy wkład w ryzyko systemowe wyrażone miarą DeltaCoVaR. Równocześnie odkryliśmy, że są to ubezpieczyciele, którzy kiedyś znajdowali się na liście G-SII. Wskaźnik BC pozwolił na ocenę położenia istotnych instytucji w sieci.
- Również w [A4] oraz [A5] potwierdza się skuteczność zastosowanej miary BC.

Cel 4. *Zbadanie podobieństwa i porównanie ścieżek rozwoju sektorów ubezpieczeń państw Unii Europejskiej.*

- W [A6] prezentuję opracowaną metodę i przedstawiam przeprowadzoną analizę empiryczną podobieństwa ścieżek rozwoju sektorów ubezpieczeń państw UE. Otrzymane wnioski wskazują na brak integracji pomiędzy sektorami ubezpieczeń państw starej Unii i państw, które przystąpiły do Unii Europejskiej od 2004 r.

Cel 5. *Rozwijanie narzędzi modelowania rynków finansowych, w szczególności rynku ubezpieczeniowego, bazujących na zbiorach konfliktowych, a także inkluzjach i równaniach różniczkowych cząstkowych, pozwalających na predykcję ryzyka systemowego.*

- W badaniach zaprezentowanych w [A7-A9] opracowane zostały narzędzia pozwalające na realizację celu 5. W trakcie analizy ryzyka systemowego szczególnie ważny jest proces ewoluowania w czasie wielowymiarowych zbiorów danych opisujących sektory ubezpieczeń, które dynamicznie się zmieniają w przestrzeni. Dynamika skrajnych lub nagłych zachowań w sektorze ubezpieczeń może być opisana przez dynamikę zmiany położenia danych w zbiorze. Zatem zastosowanie znajduje analiza sieci teselacji Voronoia. W [A7, A8] przygotowane zostały narzędzia pozwalające na analizę ryzyka za pomocą algorytmu sieci Voronoia, szczególnie zbiorów konfliktowych, które pozwolą na zidentyfikowanie grupy ubezpieczycieli, u których występują zaburzenia lokalne z potencjalną możliwością zarażania w całym sektorze ubezpieczeń.
- W badaniach teoretycznych prowadzonych w [A9] przedstawiamy narzędzia do opracowania modelu, który pozwoli na predykcję ryzyka systemowego w sektorze ubezpieczeń, bazującego na równaniach i inkluzjach różniczkowych.

W trakcie prowadzonych badań osiągnięte zostały również cele szczegółowe:

Cel 6. *Wykazanie, że sieci rzadkie, a w szczególności Minimalne Drzewa Rozpinające stanowią skuteczne narzędzie w identyfikowaniu kluczowych instytucji oraz istotnych powiązań w sieci wzajemnych relacji w sektorze ubezpieczeń.*

Każde z badań empirycznych zaprezentowanych w artykułach [A2-A5] potwierdziło, że sieci rzadkie, w szczególności badane MST, pozwalają na uchwycenie kluczowych podmiotów i powiązań między badanymi instytucjami w sektorze ubezpieczeń.

Cel 7. *Wykazanie, że wskaźniki topologiczne sieci MST, które odpowiadają określone-
mu aspektowi ryzyka systemowego w sektorze ubezpieczeń, umożliwiają iden-
tyfikację struktury zależności oraz powiązań instytucji, co pozwala na wskazanie
możliwych kanałów zarażania skutkami niepożądanых zdarzeń.*

Badane wskaźniki topologiczne skonstruowanych MST pozwoliły na ocenę struktury zależności pomiędzy ubezpieczycielami. Jest to analiza zarówno całej sieci, jak i położenia poszczególnych ubezpieczycieli w sieci. Przeprowadzane analizy pozwoliły zatem na ocenę kondycji całego sektora ubezpieczeń w okresach kryzysów, jak i poza kryzysami. Zastosowanie opracowanych w [A2] narzędzi pozwala również na predykcję nadchodzącego kryzysu, czy też, jak w [A3,A4 A5] identyfikację stanów kryzysów.

Cel 8. *Wykazanie, że modelując ścieżki transmisji ryzyka systemowego w sektorze ubezpieczeń, należy uwzględnić dynamikę sieci wzajemnych powiązań instytucji ubezpieczeniowych, a nie tylko jej strukturę w ustalonym okresie.*

W identyfikacji, pomiarze oraz predykcji ryzyka systemowego istotna jest ocena dynamicznych zmian struktury sieci powiązań badanych instytucji. Dzięki wnioskowi z prezentowanych w [A1-A5] badań możemy ustalić konieczność uwzględniania zmieniającej się w czasie struktury sieci. Algorytm DTW zastosowany w [A5] pozwala wręcz na grupowanie podokresów, w trakcie których

szeregi czasowe wskaźników topologicznych, a więc struktury MST, są podobne. Ustalenie wzorca struktury MST, która wskazuje na kryzys, może pozwolić na działania zapobiegające tzw. zarażaniu, czyli skutkom rozprzestrzeniania się ryzyka w całym sektorze ubezpieczeń.

Cel 9. *Wykazanie, że w kontekście polityki makroostrożnościowej, oprócz ustalenia grupy instytucji o globalnym znaczeniu systemowym, kluczowe jest także identyfikowanie tych, które charakteryzują się podobnym wpływem na system finansowy i realną gospodarkę.*

Na podstawie przeprowadzonej analizy empirycznej w [A2-A5] ustaliłam, że prócz wymienionych na liście G-SII instytucji, powinni się znaleźć również inni ubezpieczyciele, których wartości BC oraz DeltaCoVaR były na podobnym poziomie. Ustaliłam, że istotne dla całego sektora ubezpieczeń jest położenie w sieci danej instytucji. Jeśli jej centralność i liczba połączeń, wyrażona stopniem wierzchołka, jest wysoka, to dana instytucja ma duże znaczenie w pośredniczeniu negatywnych skutków niepożądanych zdarzeń finansowych. Wykazałam, że pomimo odejścia IAIS od wyłaniania G-SII, przy identyfikacji instytucji ubezpieczeniowych odgrywających znaczącą rolę w całym systemie dużą wagę nadal należy przypisać ocenie stopnia bezpośrednich i pośrednich powiązań instytucji w ramach sektora finansowego.

Zatem dzięki:

1. metodom, bazującym na modelach Copula-DCC-GARCH, po raz pierwszy zastosowanym przeze mnie do identyfikowania różnych stanów rynku, [A1, A3],
2. nowym konstrukcjom MST [A2-A5],
3. metodom analizy wskaźników topologicznych sieci MST oraz zastosowaniu DTW [A5],
4. analizie ścieżek rozwoju i podobieństwa sektorów ubezpieczeń [A6],
5. narzędziom bazującym na diagramach Voronoia oraz zbiorach konfliktowych [A7, A8],
6. narzędziom służącym do predykcji ryzyka systemowego, bazującym na cząstkowych równaniach różniczkowych [A9],

możemy stwierdzić, że zostały osiągnięte zaplanowane cele prowadzonych badań.

4.2 Wkład w rozwój dyscypliny ekonomia i finanse

Prowadzone przeze mnie badania w zakresie modelowania ryzyka systemowego w obliczu kryzysów finansowych i analizowania wzajemnych powiązań i podobieństw w sektorze ubezpieczeń mają wpływ na dyscyplinę *Ekonomia i Finanse* zarówno w aspekcie metodologicznym, jak i poznawczym.

Mój wkład metodologiczny i poznawczy:

- Opracowałam nowe metody badań dynamiki struktury sieci powiązań pośrednich, wynikających z cen akcji i innych instrumentów finansowych, wraz z metodami badań ryzyka systemowego w sektorze ubezpieczeń, które przedstawiłam w pracach [A2, A4, A5].

Metody te polegają na połączeniu modeli Copula-DCC-GARCH, nowych konstrukcji MST oraz analizy ich wskaźników topologicznych z wykorzystaniem algorytmu DTW. W podejściu tym uzyskujemy informacje pochodzące z zestawu uzupełniających się wskaźników topologicznych sieci. Metody te pozwalają na kompleksową analizę powiązań pośrednich badanej grupy instytucji ubezpieczeniowych. Taka analiza dynamiki zmian struktury układu badanych instytucji pozwala na długookresową ocenę kondycji sektora ubezpieczeń w kontekście kryzysów światowych. Ponadto notowania giełdowe w dużym stopniu mogą odzwierciedlać kondycję finansową firm ubezpieczeniowych.

- Opracowałam nowe metody identyfikowania systemowo istotnych instytucji ubezpieczeniowych. Metoda ta opiera się na połączeniu analizy miary *Delta-CoVaR* i wskaźników topologicznych MST, w szczególności wskaźnika Betweenness Centrality. Metodologia ta zaprezentowana jest w pracach [A2, A3, A4, A5].

Badanie wskaźnika Betweenness Centrality z równoczesną analizą miary wkładu instytucji w ryzyko systemowe jest szczególnie aktualne w procesie ustalania istotnych instytucji ważnych dla całego sektora ubezpieczeń, w szczególności gdy IAIS zawiesiło proces identyfikowania G-SII.

- Opracowałam metodę analizy podobieństwa sektorów ubezpieczeń, w szczególności państw Unii Europejskiej. Metoda ta wskazuje, jak ustalać i analizować wielowymiarowe zbiory opisujące sektory ubezpieczeniowe. Metoda w pracy [A6] bazuje na mierniku rozwoju Hellwiga.

W okresie pełnym wyzwań, w szczególności ostatnich kryzysów związanych z pandemią, wojną na Ukrainie oraz szeroko pojętymi kryzysami ogólnosiętowymi, ważna jest wiedza na temat stanu i kondycji całych sektorów ubezpieczeń. Przeprowadziłam analizę sektorów ubezpieczeń państw Unii Europejskiej. Natomiast metoda jest uniwersalna i pozwoli na analizę podobieństwa dowolnej grupy państw. Przed państwami UE obecnie stoi szereg wyzwań związanych w szczególności z polityką klimatyczną. Wyniki, jakie otrzymałam w [A6], prowadząc badanie, wskazują na dwa tempa rozwoju i brak upodobnienia się badanych grup państw ‘starej’ i ‘nowej’ Unii Europejskiej od rozszerzenia w 2004 r.

- Opracowałam narzędzia służące do badania zachowania zbiorów konfliktowych i osi środkowych zbiorów, które są ściśle związane z diagramami Voronoia [A7, A8]. Wraz ze współautorami przeprowadziłam dowody twierdzeń, w których

przedstawione jest następujące zjawisko: Przy ciągłej deformacji zbioru, punkty niejednoznaczności realizacji odległości od zdeformowanego zbioru są aproksymowalne przez punkty niejednoznaczności realizacji odległości od zbioru, który deformujemy.

Zbadanie dynamiki deformacji zbiorów jest istotnym zagadnieniem w analizie ryzyka systemowego. Za pomocą zbiorów konfliktowych możemy grupować instytucje ubezpieczeniowe według podobieństwa, a ich dynamika pozwala identyfikować te, które mogą destabilizować cały układ. Z drugiej strony, diagramy Voronoia pokazują zasięg oddziaływania instytucji ubezpieczeniowych, a zbiory konfliktowe pomagają określić, jak dodanie kolejnej instytucji wpłynie na istniejący układ. Zbadanie obu narzędzi pozwoli na lepsze prognozowanie zachowań rynkowych i optymalizowanie strategii finansowych.

- Opracowałam narzędzia bazujące na równaniach różniczkowych cząstkowych, służących do predykcji ryzyka systemowego w sektorze ubezpieczeń [A9]. W pracy wraz ze współautorami wykazałam istnienie i jednoznaczność rozwiązania inkluzji różniczkowej, której szczególny przypadek w postaci równania różniczkowego modeluje zależność ryzyka od ubezpieczyciela i przyjmowanej przez niego strategii.

Równania różniczkowe cząstkowe znajdują szczególne zastosowanie w modelowaniu ewolucji ryzyka w czasie i przestrzeni, z uwzględnieniem interakcji między instytucjami w sektorze ubezpieczeń. Jeśli instytucja ubezpieczeniowa ma silne powiązania z innymi instytucjami, kryzys może się rozprzestrzeniać. Takie zjawiska można modelować jako procesy dyfuzji, które pozwolą zobrazować, jak ryzyko może się rozprzestrzeniać w całym systemie i jakie działania mogą je ograniczać.

W prowadzonych przeze mnie badaniach teoretycznych istotny jest ich wymiar aplikacyjny. Rozwój metod statystycznych, ekonometrycznych czy matematycznych analizy danych ma szczególne znaczenie w dobie ogromnych zbiorów danych oraz możliwości stosowania szybkich narzędzi obliczeniowych. Obecnie dane stały się towarem, a ich analiza powszechną i pożądaną usługą. Praktycy wciąż jednak oczekują prostych i zrozumiałych metod, pozwalających na czytelną interpretację. Chociaż teoria sieci ma swoje początki sięgające XVII wieku, kiedy uznawany za jej ojca Euler w 1736 roku opublikował pierwsze twierdzenie teorii grafów, teoria ta wciąż się rozwija. Nie sposób nawet wymienić możliwych zastosowań teorii sieci we wszystkich dziedzinach życia i dyscyplinach nauki zarówno ścisłych, jak i humanistycznych oraz przyrodniczych, w tym medycznych. Proponowany przeze mnie innowacyjny sposób konstrukcji MST i jego aplikacja jest zatem wkładem w rozwój tej teorii w dyscyplinie ekonomia i finanse również w wymiarze poznawczym:

- Bazując na przygotowanych modelach zidentyfikowałam zależność i powiązania pomiędzy analizowanymi instytucjami ubezpieczeniowymi z uwzględnieniem okresów kryzysów finansowych (artykuły [A1-A5]).
- Zidentyfikowałam systemowo istotne instytucje ubezpieczeniowe, które mają znaczenie globalne w kontekście możliwości zarażania ryzykiem (artykuły [A2, A3]).
- Ustaliłam wkład w ryzyko systemowe instytucji ubezpieczeniowych z uwzględnieniem globalnych kryzysów finansowych występujących w badanych okresach

(artykuły [A3-A5]).

- Ustaliłam podobieństwo pomiędzy sektorami ubezpieczeń wszystkich państw Unii Europejskiej oraz ścieżki rozwoju tych sektorów od 2004 r. (artykuł [A6]).

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

5.1 Aktywność naukowa realizowana w Uniwersytecie Ekonomicznym w Krakowie

5.1.1 Syntetyczne zestawienie dorobku publikacyjnego

Poniżej prezentuję zestawienie ilościowe publikacji wraz z informacjami naukowymi w podziale na okresy przed i po otrzymaniu stopnia doktora zgodnie ze stanem w dniu 20.03.2025 r.

Mój dotychczasowy dorobek obejmuje 29 publikacji. Z czego 23 to opublikowane, recenzowane artykuły naukowe. 22 z nich zostały opublikowane po uzyskaniu stopnia doktora.

W chwili publikowania osiem artykułów z czternastu, które ukazały się w czasopiśmie naukowych, posiadały Impact Factor. (Obecnie 12 z tych 14 czasopism posiada IF).

Tabela 5.1: Zestawienie ilościowe publikacji

	Przed doktoratem	Po doktoracie
Artykuły w czasopiśmie naukowych	1	15
Rozdziały w monografiach	–	2
Rozdziały w materiałach konf.	1	6
Artykuły w recenzji	–	4
Artykuły w serii ArXiv	–	2
Razem	1	29

Tabela 5.2: Zestawienie łącznej liczby punktów MNiSW

	Przed doktoratem	Po doktoracie
Artykuły naukowe	20 pkt.	1480 pkt.

Tabela 5.3: Zestawienie łącznego IF

	Przed doktoratem	Po doktoracie
Artykuły naukowe	–	12,509 (2025: 17,109)

Tabela 5.4: Dane z raportu cytawalności wraz z indeksem Hirscha

	Bez autocytowań			Z autocytowaniami		
	l. Cyt.	l. Cyt. publ.	h-index	l. Cyt.	l. Cyt. publ.	h-index
Web of Science	31	8	3	37	10	4
Web of Science B	3	2	-	4	2	-
Scopus	35	7	4	45	9	5
Scopus B	3	3	-	4	4	-
BazEkon	7	5	2	12	8	2
Inne źródła	13	6	2	14	6	2
Stat. całościowa	55	11	5	69	15	5
Google Scholar	-	-	-	76	12	5

5.1.2 Zestawienie realizowanych projektów

W trakcie ostatnich lat byłam zarówno kierownikiem, jak i wykonawcą projektów finansowanych przez Narodowe Centrum Nauki oraz z subwencji MNiSW na działalność naukową UEK.

1. Finansowanie przez Narodowe Centrum Nauki - **kierownik**:

- 2025-2027, OPUS 27: 2024/53/B/HS4/03258, "Identyfikacja i pomiar systemowych zagrożeń sektora ubezpieczeniowego wynikających z ryzyka klimatycznego w świetle polityki zrównoważonego rozwoju: nowe narzędzia bazujące na metodach uczenia maszynowego".
- 2021, Miniatura 4: 2020/04/X/HS4/01339, "Analiza sektora ubezpieczeniowego w kontekście ryzyka systemowego i czwartej rewolucji przemysłowej".

2. Finansowanie przez Narodowe Centrum Nauki - **wykonawca**:

- 2019-2024, OPUS 16: 2018/31/B/ST1/02289, "Hipoteza Onsagera dla ogólnych praw zachowania". Kierownik: prof. dr hab. Piotr Gwiazda (IM PAN).

3. Finansowane z subwencji MNiSW na działalność naukową UEK - **kierownik**:

- 2024, no. PRW/WDOB/2024/05/0011, "Interdyscyplinarne badania nad metodami analizy ilościowej bieżących problemów z obszaru ekonomia i finanse".
- 2023, no. 031/EIM/2023/POT, "Analiza aktualnych problemów w ekonomii i finansach z wykorzystaniem innowacyjnych narzędzi ilościowych".
- 2022, no. 081/EIM/2022/POT, "Analiza aktualnych problemów w ekonomii i finansach z wykorzystaniem innowacyjnych narzędzi ilościowych".
- 2021, no. 26/EIM/2021/POT, "Modelowanie predykcyjne z wykorzystaniem teorii sieci oraz metod uczenia maszynowego w analizie aktualnych problemów sektora ubezpieczeń".
- 2019-2022, Project no. 021/RID/2018/19, Grant funded within the project REV 4.0 G-REV6-2-2020 "Regional Initiative of Excellence".

- Grant dla Młodych Naukowców "Własność UPC z parametrem w geometrii subanalitycznej i jej zastosowanie"; no.104/WF-KM/02/2013/MN/3104 .
4. Finansowane z subwencji MNiSW na działalność naukową UEK - **wykonawca**:
- 2020, no.36/EIM/2020/POT, "Wykorzystywanie wybranych metod matematycznych oraz statystycznych w ubezpieczeniach, finansach i ekonomii. Aspekty teoretyczne i aplikacyjne".
 - 2018/2019, no.094/WFP-KM/02/2018/S/8094, "Zastosowanie narzędzi matematycznych i statystycznych w ubezpieczeniach, finansach i demografii".
 - 2017, no.011/WFP-KM/02/2017/S/7011, "Narzędzia i modele matematyczno-statystyczne w teoretycznych i empirycznych badaniach ekonomicznych".
 - 2014, no.012/WF-KM/01/2014/S/4208, "Modele matematyczne w gospodarce i finansach".
 - 2012, no.111/KM/1/2011/S/590, "Matematyczne modele funkcjonowania rynków".

5.1.3 Nagrody za działalność naukową i organizacyjną

Otrzymałam następujące wyróżnienia:

- 2023, Nagroda Rektora UEK za osiągnięcia organizacyjne zespołowe, nagroda drugiego i trzeciego stopnia.
- 2022, Nagroda Rektora UEK za indywidualne osiągnięcia **naukowe** drugiego stopnia.
- 2021, Medal Komisji Edukacji Narodowej.
- 2021, Nagroda Rektora UEK za indywidualne osiągnięcia **naukowe** trzeciego stopnia.
- 2014, Nagroda Rektora UEK za indywidualne osiągnięcia **naukowe** trzeciego stopnia.

5.2 Współpraca naukowa z ośrodkami naukowymi w kraju i za granicą

Od 2018 r. rozwijam kontakty naukowe z ośrodkami w kraju i za granicą.

1. Instytut Matematyki Polskiej Akademii Nauki

W 2018 r. rozpoczęłam współpracę z Prof. Piotrem Gwiazdą z IMPAN, który jest matematykiem szeroko rozpoznawalnym w matematycznym środowisku polskim oraz międzynarodowym. Jest specjalistą zajmującym się głównie zaawansowaną analizą nieliniową - analizą z punktu widzenia teorii równań różniczkowych cząstkowych. Zajmuje się zastosowaniami matematyki opartymi na modelowaniu układów rzeczywistych opisujących konkretne zjawiska oraz analizą numeryczną, czy też epidemiologią. Motywem łączącym naszą współpracę jest obszar analizy przestrzeni Musielaka-Orlicza, w którym prowadziłam badania przedstawione w rozprawie doktorskiej oraz modelowania ryzyka systemowego, w którym bazuje się na modelach równań i inkluzji różniczkowych. W trakcie współpracy rozwijam warsztat matematyczny bazujący na nieliniowej analizie, pozwalający m.in. na zastosowanie równań różniczkowych w modelowaniu ryzyka systemowego w sektorze ubezpieczeń.

Najważniejszym wynikiem dotychczasowej współpracy jest **artykuł [A9]** we współautorstwie z P. Gwiazdą i P. Kalitą (IMUJ). Artykuł ten przedstawiam w cyklu publikacji. W trakcie powstawania wspólnego artykułu brałam udział w spotkaniach naukowych i Seminarium Równań Różniczkowych IMPAN z referatem (11.2018). Prezentowałam również uzyskane wyniki na konferencji Zastosowań Matematyki (09.2022). W dniach 15-19 maja 2023 wzięłam udział w Spring school: "Structured Population Models" organizowanej przez ICM-MIM. W trakcie szkoły również zaprezentowałam wyniki z artykułu [A9].

2. Polytechnic Institute of Viana do Castelo in Valença, Portugalia

W 2021 r. rozpoczęłam współpracę z Prof. João Paulo Vieito z IPVC, który jest specjalistą w zakresie zarządzania ryzykiem finansowym, neuroekonomii, neurofinansów, finansów behawioralnych, gender i rozwoju. Jest rozpoznawalny na skalę światową. Jest głównym organizatorem World Finance Conference, w której biorę udział od 2020 r. Na każdej z tych konferencji miałam dwie prezentacje: prezentację swoich wyników samodzielnych lub we współautorstwie z S. Wanatem lub K. Szczęsnym czy też V. Lorenzoni oraz prezentację recenzji artykułów wykładowców tej konferencji – każdy artykuł będący przedmiotem referatu na tej konferencji zawsze poddawany jest recenzjom.

Od 2021 roku zrealizowałam trzy pobyty naukowe na Polytechnic Institute of Viana do Castelo in Valença:

- 15.10-29.10.2021
- 26.10.2023-2.11.2023
- 06.06.2024-13.06.2024

Najważniejsze rezultaty dotychczasowej współpracy to **artykuły [A6, D1]**,

które powstały we współautorstwie z J.P.Vieito i S.Wanatem (UEK). W trakcie wyjazdów naukowych uczestniczyłam w spotkaniach naukowych oraz seminarium dla pracowników Polytechnic Institute of Viana do Castelo w Valença. Na spotkaniach prezentowałam również wyniki badań otrzymane przed 2021.

3. Stralsund University of Applied Sciences, Niemcy

W 2022 r. rozpoczęłam współpracę z prof. Gero Szepannkiem, który jest specjalistą w zakresie statystyki, uczenia maszynowego i klasyfikacji, autorem Pakietu Statystycznego R Package 'xgrove'. Jest rozpoznawalny międzynarodowo, zwłaszcza w środowisku Statystyków podejmujących badania w obszarze klasyfikacji danych (CLADAG, ECDA). W trakcie współpracy w dniach (30.05-05.06.2023) zrealizowałam pobyt naukowy w Stralsund University of Applied Sciences. W trakcie tego pobytu **pracowaliśmy nad kodem R**, który zostanie wykorzystany w opracowywanym aktualnie artykule. W trakcie pobytu odbyły się: spotkania naukowe na temat możliwości opracowania i zastosowania pakietów R; spotkanie naukowe R user Treffen Stralsund (31.05.2023) wraz z moim referatem. Wzięłam również udział w International Workshop Data Science in Finance 2023, z kolejną prezentacją. W ramach współpracy 6 października 2023 r. wzięłam udział on-line w spotkaniu pt. „Model based clustering with the packages mclust - teigen – mixsmsn”, które poprowadziła Marta Nai Ruscone (Uniwersytet w Genui). W minionym roku akademickim podjęliśmy dyskusję na temat ustalenia wspólnego obszaru badań: zastosowanie uczenia maszynowego w analizie ryzyka. Na zaproszenie prof. G. Szepannka przedstawiłam wyniki najnowszych moich badań trakcie sesji gościnnej organizowanej przez niego na konferencji European Conference on Data Analysis (ECDA), która odbywała się w Sopocie w dniach 09-11.09.2024.

4. Instytut Matematyki Uniwersytetu Jagiellońskiego

Od wielu lat współpracuję z dr hab. Maciejem Denkowskim, prof. UJ, oraz dr Adamem Białożytem. Najważniejsze osiągnięcia to wspólne **publikacje [A8, C1, C7, C8, D4]**. Ponadto biorę udział w Seminarium "Gdańsk-Kraków-Łódź-Warszawa Seminar in Singularity Theory". Brałam udział w seminarium z Geometrii Analitycznej Instytutu Matematyki Uniwersytetu Jagiellońskiego, oraz w seminarium z Teorii Aproksymacji IMUJ wraz z referatami. Referaty na Seminarium z Geometrii Analitycznej: „O stabilności szkieletów i zbiorów konfliktowych” - 27.04.2019, 05.05.2019, 17.05.2019.

W ramach współpracy z IMUJ byłam (jednym z trzech) współorganizatorów międzynarodowej konferencji 60 LB Geometry and Singularities (07.2023), w Będlewie. Wygłosiłam szereg referatów w trakcie konferencji Zastosowań Matematyki w Zakopanem Kościelisku (informacje szczegółowe zamieszczam w spisie konferencji z referatami.)

5. Katedra Statystyki Ekonomicznej i Społecznej, Wydział Ekonomiczno-Socjologiczny Uniwersytetu Łódzkiego

Od 2018 r. współpracuję z dr hab. Elżbietą Roszko-Wójtowicz, która jest specjalistką w obszarze pomiaru i oceny zjawisk społecznych i ekonomicznych w zakresie innowacyjności gospodarek, rozwoju przedsiębiorczości i kształcenia ustawicznego. Początkowo współpraca realizowana była na poziomie organizacyjnym. Uczestniczyłam w konferencji organizowanej przez E. Roszko-Wójtowicz w Waszyngtonie. Następnie wspólnie organizowałyśmy sesję na konferencji w Czechach. W listopadzie 2024 zorganizowałam sesję gościnną na konferencji MASEP w Łodzi, której głównym organizatorem była Elżbieta Roszko, a w trakcie której wyniki badań przedstawili pracownicy naukowcy z UEK oraz prof. V. Lorenzoni ze Scuola Superiore Sant'Anna in Pisa oraz Gloria Santoro z Policlinico Universitario Agostino Gemelli w Rzymie, z którymi współpracuję. Planujemy rozwijać współpracę również na poziomie naukowym. W Katedrze Statystyki Ekonomicznej i Społecznej na Wydziale Ekonomiczno - Socjologicznym Uniwersytetu Łódzkiego planuję zrealizować kolejny staż naukowy.

6. Scuola Superiore Sant'Anna in Pisa, Włochy

W lutym 2024 r. rozpoczęłam współpracę z prof. Valentiną Lorenzoni, która jest specjalistą w zakresie statystyki, modelowania środowiskowego, pakietu statystycznego R. Najważniejszym osiągnięciem dotychczasowej współpracy jest złożony do recenzji wspólny z prof. V. Lorenzoni **artykuł [D2]**. W trakcie pobytu na szkoleniu Statistical Methods for Unsupervised and Supervised Learning with Dimensionality Reduction w Sapienza University of Rome, który odbył się w dniach 18-25.02.2024 r. ustaliłyśmy obszar dalszych wspólnych badań nad ryzykiem klimatycznym. Pani prof. V. Lorenzoni wyraziła zainteresowanie również współpracą w ramach składanego przeze mnie wniosku o finansowanie projektu NCN w konkursie OPUS 27, który złożyłam w czerwcu 2024 r., a którego finansowanie otrzymałam w grudniu 2024 r. Prof. V. Lorenzoni na organizowanej przeze mnie sesji gościnnej w trakcie konferencji Measurement and Assessment of Social and Economic Phenomena (MASEP) 2024 w Łodzi prezentowała wyniki naszych wspólnych badań.

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę

6.1 Zajęcia ze studentami w języku angielskim

Poniżej przedstawiam miejsca wraz z informacją o prowadzonych przeze mnie zajęciach ze studentami:

- 06.2024, Polytechnic Institute of Viana do Castelo w Valença, Portugalia, Zajęcia w ramach programu Erasmus.
- 06.2023, Stralsund University of Applied Sciences, Niemcy, Zajęcia w ramach programu Erasmus.
- Od 2022/2023, Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, przedmiot: Financial Mathematics, semestralne zajęcia kursowe dla kierunku Global Finance and Accounting dla studentów z Polski i studentów studiujących w ramach Erasmus.

6.2 Zajęcia ze studentami w języku polskim, UEK

Poniżej przedstawiam przedmioty, które prowadziłam ze studentami. Najczęściej byli to studenci kierunków Finanse i Rachunkowość, Ekonomia, Analityka Gospodarcza, Informatyka Stosowana, Inżynieria Organizacji i Zarządzania:

- Matematyka
- Analiza matematyczna i algebra liniowa
- Matematyka w naukach o zarządzaniu
- Matematyka w zastosowaniach ekonomicznych
- Matematyka finansowa
- Arytmetyka finansowa - konwersatorium
- Modelowanie predykcyjne w finansach i ubezpieczeniach
- Seminarium licencjackie

6.3 Opracowanie kart przedmiotu

Od 2011 r. opracowałam 25 Kart Przedmiotu z przedmiotów Matematyka, Arytmetyka Finansowa, Matematyka Finansowa, Matematyka w naukach o Zarządzaniu dla różnych kierunków studiów UEK.

6.4 Organizacja konferencji o zasięgu krajowym oraz międzynarodowym

W ostatnich latach byłam współorganizatorem konferencji lub organizatorem sesji gościnnych:

- Konferencja Statystyków, Ekonometryków i Matematyków Polski Południowej (SEMPP), Kraków, 05-07.04.2017, współorganizator konferencji.
- Konferencja Statystyków, Ekonometryków i Matematyków Polski Południowej (SEMPP), Kraków, 23-25.09.2020, współorganizator konferencji.
- Geometry and Singularities International Conferences (LB-60), Będlewo, 16-22.07.2023, współorganizator konferencji.
- International Days of Statistics and Economics, Prague, 8-10.09.2022, współorganizator sesji gościnnej.
- Measurement and Assessment of Social and Economic Phenomena (MASEP), Łódź, 27-29.11.2024, organizator sesji gościnnej w języku angielskim pt. "Advanced Quantitative Techniques in Insurance Sector Analysis".
- Classification and Data Analysis Group (CLADAG), Neapol, 08-10.09.2025, współorganizator sesji gościnnej pt. "Advances in clustering algorithms: contrastive hierarchical approaches and dynamic time warping".

6.5 Organizacja współpracy z otoczeniem gospodarczym

6.5.1 Współpraca z firmą Numlabs

Firma Numlabs buduje i wdraża indywidualnie opracowane systemy inteligentnych asystentów klienta (wewnętrznych - pracownicy, i zewnętrznych - finalny kupujący) oraz inteligentne systemy wyszukiwania i eksploracji nieustrukturyzowanych baz danych dokumentów z użyciem dużych modeli językowych (LLM np. ChatGPT) oraz technik RAG (Retrieval-augmented generation). Rozwiązania te służą np. do odpowiadania na pytania klientów nt. posiadanego przez sklep internetowy asortymentu, odpowiadaniu na zgłoszenia pracowników o usterkach, przeszukiwanie złożonych, multimodalnych (pismo, zdjęcia, schematy etc.) dokumentacji w postaci zapytań w języku naturalnym np.: "co mam zrobić w przypadku awarii XYZ".

Moja współpraca z firmą Numlabs od 2024 r. polega na:

- Dzieleniu się doświadczeniem z budowania systemów AI od zaprojektowania poprzez tzw. "corner cases" do optymalizacji.
- Śledzeniu najnowszych badań oraz literatury w danym temacie. Współpraca na poziomie naukowym.

6.5.2 Rada Interesariuszy Instytutu Metod Ilościowych w Naukach Społecznych

Od 2020 r. jestem odpowiedzialna za koordynację współpracy Instytutu Metod Ilościowych w Naukach Społecznych UEK z otoczeniem gospodarczym. Od 10.2024 r.

jestem członkiem Rady Interesariuszy Instytutu Metod Ilościowych w Naukach Społecznych, a jednocześnie koordynatorem współpracy z Interesariuszami Zewnętrznymi. W szczególności:

- Byłam odpowiedzialna za współpracę z firmą Verisk - amerykańską firmą zajmującą się analizą danych ubezpieczeniowych. Organizowałam dla studentów kierunku Analityka Gospodarcza 15-godzinny wykład (2021/2022) oraz 4-godzinne szkolenie. Firma oferuje studentom i absolwentom UEK odpłatne staże.
- Byłam odpowiedzialna za współpracę z firmą NumLab.
- Byłam współodpowiedzialna za organizację szkolenia dla studentów UEK i pracowników 4-godzinnego certyfikowanego szkolenia dla studentów, które prowadziła firma NVIDIA.
- Zorganizowałam spotkanie naukowe dla studentów z gościnnym wykładem absolwenta UEK, obecnie pracującego w firmie Maspex.

6.6 Promotor pomocniczy w przewodzie doktorskim

Byłam dwukrotnie promotorem pomocniczym w przewodzie doktorskim. Promotorem głównym był dr hab. Stanisław Wanat, prof. UEK:

- 2019-2024, mgr Grzegorz Korbela; obrona doktoratu 07.2024 r.
- 2021-2025, mgr Krystian Szczesny; planowana obrona w czerwcu 2025 r.

6.7 Udział w konferencjach krajowych i międzynarodowych

Poniżej wymieniam konferencje, na których zawsze prezentowałam wyniki badań prowadzonych indywidualnie oraz we współpracy naukowej. W wybranych konferencjach uczestniczę cyklicznie.

1. World Finance Conference (WFC)

- 2024, Nicosia, Cyprus "The impact of climate risk on systemic risk in the context of the sustainable development strategy of the insurance sector"
- 2023, Kristiansand, Norway "Risk aggregation in Solvency II: Deep Neural Networks in identifying marginal distributions and multidimensional copula"
- 2022, Turin, Italy "SCR for non-life insurance premium and reserves risk: results based on non-parametric methods for estimating the quantiles of the sum of dependent random variables"
- 2021, Norway "Minimum Spanning Trees based on the multidimensional distance Dynamic Time Warping in the study of the similarity of insurance sectors of European Union countries in the context of Systemic Risk in Industry 4.0"
- 2020, Malta "A Tail Dependence-Based MST and Their Topological Indicators in Modeling Systemic Risk in the European Insurance Sector"

2. International Conference on Time Series and Forecasting: Gran Canaria, Spain

-
- 2022, "Time series analysis of topological indicators of the network of connections in the insurance sector during the greatest financial crises of the 21st century"
 - 2021, "Linkages and Systemic Risk in the European Insurance Sector: Some New Evidence Based on Minimum Spanning Trees"
3. Classification and Data Analysis Group, Italy (Invited sessions)
- 2023, Salerno "Deep neural network in the modeling of the dependence structure in risk aggregation"
 - 2021, Florence "DTW-based assessment of the predictive power of the copula-DCC-GARCH-MST model developed for European insurance institutions"
4. International Atlantic Economic Society: Waszyngton, USA
- 2020, "Development, similarity, and systemic risk of insurance markets of European Union countries after the enlargement in 2004"
5. International Days of Statistics and Economics, Prague
- 2022, "SCR for non-life insurance premium and reserves risk: results based on non-parametric methods for estimating the quantiles of the sum of dependent random variables"
6. Applied, Informatics, Econometrics, Statistics, Accounting International Scientific Conference, Bratislava
- 2024, "Measuring systemic risk in the context of climate risk"
 - 2022, "Diversification effect for premium and provision risk in non-life insurance: results based on a non-parametric approach to dependency modeling"
7. International Conference on Quantitative Methods in Economics, Warsaw
- 2024, "The impact of climate risk on systemic risk in the context of the sustainable development strategy of the insurance sector"
 - 2023, "Deep Neural Networks in identifying multidimensional distribution in the context of risk aggregation in Solvency II"
 - 2022, "Risk aggregation in Solvency II: results based on non-parametric methods"
 - 2021, "DTW-based assessment of the predictive power of the copula-DCC-GARCH-MST model developed for European insurance institutions"
8. International Scientific Conference on Risk Management in Financial Sector: Lwów, Ukraina
- 2019, "The Dynamics of Systemic Risk in the European Insurance Sector: Some new evidence based on dynamic spanning trees and deltaCoVaR measure"
9. Workshop on Modern Applied Mathematics, Politechnika Krakowska
- 2019, "MST and Applications"(Invited sessions)

10. International Scientific Conference MSA, Łódź

- 2019, "Linkages and systemic risk in the European insurance sector: Some new evidence based on dynamic spanning trees"

11. International Conference Mathematical Methods in Economics, Czech Republic

- 2018, "Measuring Systemic Risk in the European Insurance Sector Using Copula-DCC-GARCH Model and Selected Clustering Methods"

12. Measurment and Assessment of Social and Economic Phenomena (MASEP)

- 2023, "Wpływ ryzyka klimatycznego na ryzyko systemowe w kontekście strategii zrównoważonego rozwoju sektora ubezpieczeniowego" 2024, "Connection Network in the Insurance sector based on Transfer Entropy"

13. Konferencja Statystyków, Ekonometryków i Matematyków Polski Południowej (SEMP)

- 2024, "Wpływ ryzyka klimatycznego na ryzyko systemowe w kontekście strategii zrównoważonego rozwoju sektora ubezpieczeniowego"
- 2023, "Wykorzystanie kopuli oszacowanej za pomocą sieci neuronowej w agregacji ryzyka w Solvency II"
- 2022, „Agregacja ryzyka składki i rezerw w ubezpieczeniach innych niż na życie z wykorzystaniem nieparametrycznych metod estymacji kopuli”
- 2021, „Analiza sektorów ubezpieczeń państw Unii Europejskiej w kontekście Czwartej Rewolucji Przemysłowej”
- 2019, „Zbieżność zbiorów konfliktowych”
- 2014, „Zbiory UPC”
- 2013, "Zbieżność w sensie Kuratowskiego zbiorów domkniętych i zastosowania"
- 2012, "One-complemented subspaces in Musielak-Orlicz sequence spaces with general smoothness condition"

14. Konferencja Zastosowań Matematyki w Zakopanem-Kościelisku

- 2024, The impact of climate risk on systemic risk of the insurance sector. Delta CoVaR-copula-DCC-GARCH model"
- 2022, „On renormalized solutions to elliptic inclusions with nonstandard growth”
- 2021, „Zastosowanie modeli MST-DTW w ocenie ryzyka systemowego w sektorze ubezpieczeń”
- 2020, „A Tail Dependence-Based MST and Their Topological Indicators in Modeling Systemic Risk in the European Insurance Sector"
- 2019, „Nierówność Bernsteina-Walsh-Siciaka”
- 2018, „Zastosowanie zbieżności zbiorów konfliktowych”
- 2017, „Własność UPC i nierówność Markowa z parametrem”

15. Algebraic and Geometric Methods of Analysis, Kijów

- 2023, “Inner Semi-continuity of medial axes and conflict sets”

16. European Conference on Data Analysis (ECDA), Gdansk (Poland)

- 2024, "Deep Neural Networks in the Modeling of the Dependence Structure in Risk Aggregation" (Invited session)

6.8 Recenzowane artykuły i monografie

Poniżej podaję czasopisma i wydawnictwa, dla których recenzowałam wielokrotnie artykuły i monografie:

- Financial Innovation
- Risks
- Economic Analysis and Policy
- Quality and Quantity
- Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu
- Entrepreneurial Business and Economics Review

6.9 Członkostwo w organizacjach

- American Risk and Insurance Association
- Polskie Towarzystwo Matematyczne
- Polskie Towarzystwo Statystyczne
- Sekcja Klasyfikacji i Analizy Danych Polskiego Towarzystwa Statystycznego

7. Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1-6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej

7.1 Dodatkowy drobek publikacyjny

Oprócz zaprezentowanych artykułów [A1-A9], w cyklu publikacji składających się na osiągnięcie naukowe, jestem autorem lub współautorem dodatkowych prac, które tematycznie można podzielić na cztery grupy. Pierwsza grupa to artykuły [D1,D2], w których rozwijamy metodologię umożliwiającą analizę kolejnych aspektów ryzyka systemowego w sektorze ubezpieczeń. W [D1] przedstawiamy wyniki badań ilościowych, które pozwalają na pomiar i analizę wpływu digitalizacji na ryzyko systemowe w sektorze ubezpieczeń. W [D2] badamy wpływ ryzyka klimatycznego na ryzyko systemowe sektora ubezpieczeń.

Druga grupa [B1-B7], to publikacje bezpośrednio związane z prezentowanym jako osiągnięcie naukowe cyklem artykułów. Są to rozdziały w monografiach lub w recenzowanych i punktowanych materiałach pokonferencyjnych, które potwierdzają moją działalność i aktywność na konferencjach krajowych i międzynarodowych. Publikacje te były często zapowiedzią i promocją na arenie międzynarodowej pełnowymiarowych artykułów, jakie powstawały na podstawie przeprowadzanych badań. Publikacje te były streszczeniem szerzej opracowanych artykułów, które znajdują się w cyklu [A1-A9].

Publikacje [C1-C8] prezentują badania w obszarze narzędzi matematycznych, które znajdują zastosowanie w dyscyplinie ekonomia i finanse. W artykułach [C4,D3] prezentujemy badania dotyczące narzędzi przygotowywanych do ustalania wymogów kapitałowych dla ubezpieczycieli. Jest to zagadnienie niezwykle aktualne. Zarówno praktycy, jak i naukowcy, wraz z samymi twórcami Dyrektywy Solvency II, wysuwają zagadnienie poszukiwania narzędzi ilościowych w celach możliwości ustalania tzw. Modeli Wewnętrznych na pierwszy plan. W literaturze wskazuje się wady Formuły Standardowej, na której bazuje dotychczas metoda ustalania wymogów kapitałowych. Praktycy, aktuariusze, są zainteresowani prezentowanymi przez nas tego typu wynikami (PIU 2024). Prace [C5,C6,E1] to publikacje bezpośrednio związane z tematyką rozprawy doktorskiej.

Rozdziały w monografiach i materiałach konferencyjnych:

- [B1] Denkowska, A., Wanat, S. (2020). *Dynamiczne minimalne drzewa rozpinające w analizie wzajemnych powiązań i ryzyka systemowego na europejskim rynku ubezpieczeń*, Współczesne problemy ekonomiczno-społeczne : metody i modele w rozwoju regionów / red. Elżbieta Sojka, Jan Acedański - Katowice: Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach, 2020, s. 54-65.

MNiSW: 20 pkt.

- [B2] Wanat, S., Denkowska, A. (2018). *Measuring Systemic Risk in the European Insurance Sector Using Copula-DCC-GARCH Model and Selected Clustering Methods*, [W:] Váchová L., Kratochvíl V. (red.), *Mathematical Methods in Economics: Conference Proceedings*, Praha: MatfyzPress, Publishing House of the Faculty of Mathematics and Physics Charles University, 630-635.

MNiSW: 20 pkt.

- [B3] Denkowska, A. (2019). *Network Analysis of the EU Insurance Sector: a Tail Dependence-based MST in Modelling Systemic Risk*, The 14th Professor Aleksander Zelias International Conference on Modelling and Forecasting of Socio-Economic Phenomena: Conference Proceedings / red. Monika PAPIEŻ, Sławomir ŚMIECH - Kraków: Wydawnictwo Małopolskiej Szkoły Administracji Publicznej Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie, 2020, s. 21-31.

MNiSW: 20 pkt.

- [B4] Denkowska, A., Wanat S. (2020). *The Structure of the EU Insurance Markets' Connections Network after the 2004 Enlargement in the Context of Systemic Risk*, 14th International Scientific Conference "Analysis of International Relations 2020. Methods and Models of Regional Development. Summer Edition": Conference Proceedings / red. Włodzimierz Szkutnik, Anna Sączewska-Piotrowska, Monika Hadaś-Dyduch, Jan Acedański - Katowice: Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach, 2020, s. 44-58.

MNiSW: 20 pkt.

- [B5] Denkowska, A., Wanat, S. (2021). *DTW-based Assessment of the Predictive Power of the Copula-DCC-GARCH-MST Model Developed for European Insurance Institutions*, 13-th Scientific Meeting Classification and Data Analysis Group, Florence, Italy, 2021: Book of Abstracts and Short Papers / red. by Giovanni C. Porzio, Carla Rampichini, Chiara Bocci - Firenze: Firenze University Press, 2021, 71-74.

MNiSW: 20 pkt.

- [B6] Denkowska, A., Szczesny, K., Vieito, J.P., Wanat, S. (2023). *Deep Neural Network in the Modeling of the Dependence Structure in Risk Aggregation*, 14-th Scientific Meeting Classification and Data Analysis Group, Salerno, Italy, 2023: Book of Abstracts and Short Papers - CLADAG 2023 / red. Carla Rampichini, Michele La Rocca, Pietro Coretto, Giuseppe Giordano, Maria Lucia Parrella - Salerno: Pearson Education Resources, 2023, s. 124-127.

MNiSW: 20 pkt.

- [B7] Białożyty, A., Denkowska, A., Denkowski, M., (2023) *Inner Semi-continuity of Medial Axes and Conflict Sets. Algebraic and Geometric Methods of Analysis: Devoted to 160 anniversary of Dvytro Grave (25.08.1863 - 19.12.1939)* Academician of the Ukrainian Academy of Sciences, the first director of the Institute of Mathematics of NAS of Ukraine, May 29-June 1, 2023, Odesa, Ukraine - Odesa; Kyiv: National Academy of Sciences of Ukraine, 2023, s. 31-32.

Publikacje w czasopismach oraz serii wydawniczej arXiv:

- [C1] Denkowska, A., Denkowski, M.P. (2021). *The Bernstein-Walsh-Siciak Theorem for Analytic Hypersurfaces*, Dolomites Research Notes on Approximation, vol. 14, Iss.

3, 53-58.

MNiSW: 70 pkt., IF: 0.6

- [C2] Denkowska, A., Kornafel, M. (2017). *Producer's optima in Schumpeterian evolution*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie, 10(970), 55-66.
MNiSW: 70 pkt.
- [C3] Denkowska, A., Lipieta, A., (2022), *Optimal demand-driven eco-mechanisms leading to equilibrium in a competitive economy*, Central European Journal of Economic Modelling and Econometrics. vol. 14(3), pages 225-262.
MNiSW: 70 pkt., IF(2025): 0.5
- [C4] Szczesny, K., Wanat, S., Denkowska, A. (2023). *Solvency II and Diversification Effect for Non-life Premium and Reserves Risk: New Results Based on Non-parametric Copulas*, Risk Management, vol.25(3), art. no. 20 (2023), 1-10.
MNiSW: 70 pkt., IF(2025): 2.1
- [C5] Denkowska, A. (2013). *One-Complemented Subspaces in Musielak-Orlicz Sequence Spaces with a General Smoothness Condition*, Numerical Functional Analysis and Optimization, 34(9), 1001-1032.
MNiSW: 70 pkt., IF(2025): 1.4
- [C6] Denkowska, A. (2013). *Contractive and optimal sets in Musielak-Orlicz spaces with a smoothness condition*, Opuscula Mathematica 33(4), 667-684.
MNiSW: 70 pkt., IF(2025): 1.0
- [C7] Denkowska, A., Denkowski, M.P. (2018). *UPC Condition with Parameter for Subanalytic Sets* eprint: doi.org/10.48550/arXiv.1804.10567.
- [C8] Denkowska, A., Denkowski, M., Kornafel, M. (2017). *Linear programming on non-compact polytopes and the Kuratowski convergence with application in economics*, <https://arXiv.org/abs/1804.09832>.

Artykuły w recenzji:

- [D1] Denkowska, A., Wanat, S., Vieito, J.P. (2024). *Assessing the Influence of Digitalization on Systemic Risk in the Insurance Sectors of EU Countries* (w recenzji Entrepreneurial Business and Economics Review)
- [D2] Denkowska, A., Wanat, S., Lorenzoni, V. (2024) *When climate risk affects the systemic risk of the insurance sector: applying the new copula-DCC-GARCH- Delta-CoVaR model* (w recenzji w czasopiśmie International Journal of Forecasting)
- [D3] Szczesny, K., Denkowska, A., Wanat, S. (2024). *Risk aggregation in Solvency II: Deep Neural Networks in identifying marginal distributions and multidimensional copula* (w recenzji w czasopiśmie Risk Management)
- [D4] Denkowska, A., Denkowski, M., Wanat, S. (2025) *Minimum Spanning Trees Based on the Transfer Entropy in the Analysis of Systemic Risk in the Insurance Sector* (w recenzji w czasopiśmie Journal of Risk and Insurance)

Artykuł przed uzyskaniem stopnia doktora:

- [E1] Denkowska, A. (2005). *Strong Law of large numbers for optimal points*, Universitatis Iagellonicae Acta Mathematica 43, 45-60.

MNiSW (2025): 20 pkt.

7.1.1 Prezentacja wybranych artykułów w pozostałym dorobku

W tym podrozdziale zaprezentuję dwa pierwsze artykuły dodatkowego dorobku publikacyjnego, ponieważ są one kontynuacją publikacji prezentowanych jako osiągnięcie naukowe. W tych pracach rozwijamy nadal stosowaną metodologię, która pozwala na analizę kolejnych aspektów ryzyka systemowego.

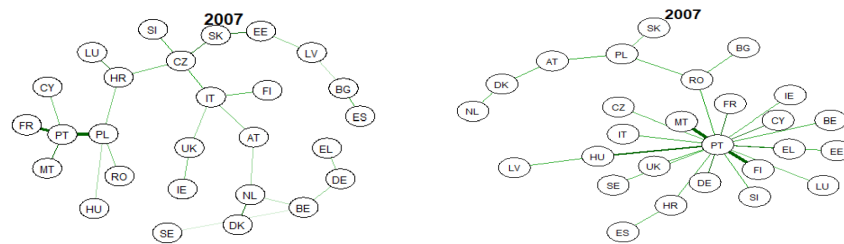
Praca [D1] powstała we współpracy naukowej z prof. João Paulo Vieito, głównego organizatora World Finance Conference, z Politechnic Viana do Castelo w Portugalii. Jest wynikiem moich pobytów naukowych w tym ośrodku. Badania w artykule [D1] dotyczą aktualnych zagadnień społeczno-ekonomicznych. Czwarta rewolucja przemysłowa, zainicjowana przez sztuczną inteligencję (AI), Internet rzeczy (IoT), robotykę i duże zbiory danych, przekształca globalne systemy gospodarcze, w tym ubezpieczenia. Rozwój rynku ubezpieczeń w każdym kraju uzależniony jest już nie tylko od czynników wynikających z zasad i sposobu jego funkcjonowania. Wpływ na jego strukturę mają także uwarunkowania natury ekonomicznej i społecznej. W każdym państwie cechy takie jak poziom rozwoju gospodarczego kraju, zamożność gospodarstw domowych, czy też wysokość pobieranych składek ubezpieczeniowych kształtują się zupełnie inaczej. W dobie czwartej rewolucji przemysłowej istotnymi wyznacznikami rozwoju ubezpieczeń są również wskaźniki mierzące pięć podstawowych aspektów cyfryzacji dotyczących: dostępu do łącza szerokopasmowego, zatrudnienia specjalistów w branży IT, użytkowania Internetu, digitalizacji urzędów i e-administracji, integracji techniki cyfrowej. Poprzez zestawienie wszystkich tych czynników dla krajów europejskich uzyskujemy bardzo duży zbiór informacji dotyczących struktury ubezpieczeń w Unii Europejskiej ogółem. W artykule [D1] przedstawiamy wyniki badania wpływu trwającego procesu digitalizacji na podobieństwo oraz wzajemne powiązania sektorów ubezpieczeń Państw Unii Europejskiej. Opracowujemy nowe narzędzia analizy ryzyka systemowego w sektorze ubezpieczeń bazujące na MST. Przy konstrukcji MST wykorzystujemy tym razem wielowymiarową analizę danych oraz wielowymiarowe dynamiczne dopasowanie szeregów czasowych (Multidimensional DTW). Przy czym w badaniu nie koncentrujemy się na powiązaniach poszczególnych instytucji ubezpieczeniowych, jak w badaniach [A1-A5] lecz na analizie wpływu procesu digitalizacji na podobieństwo oraz wzajemne powiązania sektorów ubezpieczeń wszystkich Państw Unii Europejskiej. Ponadto badanie opiera się na danych opisujących sektory ubezpieczeniowe państw Unii Europejskiej oraz poziom ich digitalizacji, a nie na notowaniach giełdowych, jak w [A1-A5]. Przyjmujemy, że w grupach państw, których sektory ubezpieczeniowe i poziom digitalizacji są podobne, będziemy obserwować podobne zachowania w przypadku wystąpienia kryzysu. Analizujemy:

- wskaźniki rynku ubezpieczeń (Penetrację, Gęstość ubezpieczeń, Koncentrację ubezpieczeń, średnią wartość sumy aktywów ubezpieczeniowych przypadającą na jedno towarzystwo ubezpieczeniowe, stosunek inwestycji do PKB, liczbę ubezpieczycieli na milion mieszkańców);
- wskaźniki digitalizacji (dostęp do szerokopasmowych usług internetowych oraz łączność, dostęp do usług internetowych gospodarstw domowych, osoby z wykształce-

niem ICT (według statusu pracy - zatrudnione), działalność internetowa (bankowość internetowa), usługi internetowe (wyszukiwanie informacji o towarach i usługach), zakupy on-line osób fizycznych, integracja cyfrowa (handel elektroniczny), integracja cyfrowa (Częstotliwość korzystania z usług internetowych));

- odpowiadający wskaźnikom digitalizacji Wskaźnik Indeksu Gospodarki Cyfrowej i Społeczeństwa Cyfrowego (DESI – Digital, Economy, Society Index). DESI opisany jest przez 34 wskaźniki odnoszące się do 5 głównych kategorii: Łączność (rozmieszczenie infrastruktury szerokopasmowej i jej łączność), Kapitał ludzki (umiejętności potrzebne do wykorzystania możliwości oferowanych przez społeczeństwo cyfrowe); Korzystanie z Internetu przez obywateli (różnorodność działań wykonywanych przez obywateli w Internecie); Integracja technologii cyfrowej (cyfryzacja przedsiębiorstw i rozwój internetowego kanału sprzedaży); Cyfrowe usługi publiczne (cyfryzacja usług publicznych ze szczególnym uwzględnieniem administracji elektronicznej).

Wykorzystując odpowiednie zmienne diagnostyczne dla każdego roku z okresu 2004-2018 wyznaczamy macierz odległości między sektorami ubezpieczeń na trzy sposoby. Pierwszy tradycyjny polega na wykorzystaniu odległości Mahalanobisa. Natomiast dwa następne bazują na mierze DTW. Każdą z odległości liczymy bazując na trzech różnych zestawach cech diagnostycznych: tylko na Wskaźnikach Rynku Ubezpieczeń, następnie Wskaźnikach Rynku Ubezpieczeń wraz ze Wskaźnikami Digitalizacji, oraz na trzecim zestawie: Wskaźnikach Rynku Ubezpieczeń wraz ze Wskaźnikami DESI. W kolejnym kroku, wykorzystując wyznaczone macierze odległości, stosujemy algorytm Kruskala i konstruujemy Minimalne Drzewa Rozpinające (MST) dla każdego roku z analizowanego okresu 2004-2018. Następnie ustalamy szeregi czasowe wybranych wskaźników topologicznych MST: Average Path Length, Maximum Degree, Parameter „alpha” (alpha), Network Diameter, RCE, Assortativity. Rysunek 7.1 obrazuje różnicę struktury MST, czyli struktury zależności pomiędzy państwami Unii Europejskiej, jeśli uwzględnimy tylko dane opisujące sektor ubezpieczeń (po lewej stronie) w porównaniu ze strukturą zależności między tymi samymi krajami, jeśli bierzemy pod uwagę dane opisujące sektor ubezpieczeń wraz z danymi opisującymi digitalizację (po prawej stronie). Tak różna struktura MST wskazuje na fakt, że jeśli badamy podobieństwo sektorów ubezpieczeń z wykorzystaniem tylko Wskaźników Rynku Ubezpieczeń, to powiązanie sektorów ubezpieczeń w całej Unii Europejskiej jest raczej luźne. Taka struktura MST jest bezpieczna ze względu na zarażanie, czyli propagację negatywnych zdarzeń. Natomiast jeśli dodatkowo uwzględnimy dane związane z digitalizacją, to struktura drzewa jest gwieździsta i propagacja ryzyka potencjalnie jest natychmiastowa. Wskazane jest zatem, aby we wszelkich analizach ryzyka systemowego w sektorze ubezpieczeń uwzględniać trwający proces digitalizacji. Zjawisko digitalizacji powinno być uwzględniane również przez nadzór makroostrożnościowy.



Rysunek 7.1: MST skonstruowane w oparciu o dane opisujące tylko sektory ubezpieczeniowe w porównaniu z MST skonstruowanymi w oparciu o dane ubezpieczeniowe wraz z danymi opisującymi digitalizację.

Praca [D2] powstała we współautorstwie z prof. V. Lorenzoni, ze Scuola Normale w Pizie, którą poznałam w trakcie pobytu naukowego połączonego ze szkoleniem na Uniwersytecie Sapienza w Rzymie. Rozpoczęłam wspólne badania z prof. V. Lorenzoni w ramach realizacji projektu OPUS 27, finansowanego przez NCN, którego jestem kierownikiem. Zagadnienie ryzyka klimatycznego katastroficznego jest przedmiotem szerokiej debaty związanej z polityką zrównoważonego rozwoju i zielonego ładu. W zaprezentowanym w [D2] przez nas badaniu, bazując na powszechnie znanej mierze *DeltaCoVaR* wkładu w RS, ustaliliśmy metodę porównania wkładu w RS największych ubezpieczycieli z uwzględnieniem katastrof klimatycznych. Otrzymane wyniki pozwalają na sformułowanie następującej tezy: Najwięksi ubezpieczyciele z listy Top to ubezpieczyciele, którzy generują ryzyko systemowe. Ponadto, jeśli katastrofy występują w okresach kryzysów, np. takich jak w latach 2009-2012 oraz w trakcie pandemii Covid-19, to ubezpieczyciele ci generują większe ryzyko niż w trakcie katastrof występujących w okresie stabilizacji. Zatem nadzór makroostrożnościowy powinien wdrożyć dodatkowe zabezpieczenia, aby ubezpieczyciele byli dodatkowo przygotowani na pokrywanie kosztów ubezpieczonych wyrażonych szkód. Szczególnie interesujący jest fakt, że prowadzone badania bazowały na bazie danych (Emergency Events Database (EM-DAT)), która została założona w 1988 r. przez Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED) oraz World Health Organization (WHO) i rząd belgijski. Baza ta zawiera m.in. informacje o katastrofach na świecie od 1900 r.

8. Podsumowanie autoreferatu

W przedstawianym autoreferacie przedstawiłam moje główne osiągnięcie naukowe, które stanowi cykl publikacji pt. ***Modelowanie ryzyka systemowego w obliczu kryzysów finansowych: wzajemne powiązania i podobieństwo w sektorze ubezpieczeń.***

Zaprezentowałam obszary i efekty mojej działalności naukowo-badawczej, którą zajmowałam się po uzyskaniu stopnia doktora. Przedstawiłam również moją działalność na polu dydaktycznym, organizacyjnym i popularyzacyjnym. W okresie po doktoracie, po przerwach związanych z urlopami macierzyńskimi, w ciągu ostatnich lat (od 2017 r.), strategicznie rozwijałam obszary publikacyjny, organizacyjny wraz z rozwojem współpracy krajowej i międzynarodowej. Wielokrotnie aplikowałam o finansowanie projektów w Narodowym Centrum Nauki (dwa razy skutecznie). Skuteczna okazuje się również moja działalność w obszarze popularyzacyjnym. Uczestniczenie w konferencjach zaowocowało wspólnymi artykułami z rozpoznawalnymi naukowcami w dyscyplinie ekonomia i finanse, zaproszeniami przez nich do udziału w sesjach gościnnych kolejnych konferencji lub zaproszeniami do organizowania takich sesji, pobytami naukowymi w ośrodkach zagranicznych lub szkoleniami.

Szczegółowy wykaz osiągnięć zawarłam w załączniku IV do wniosku o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego.

9. Literatura cytowana w autoreferacie

Literatura

- [1] Acemoglu, D., Ozdaglar, A., Tahbaz-Salehi, A., (2015), *Systemic risk and stability in financial networks*, American Economic Review, vol. 105, no. 2, 564–608.
- [2] Acharya, V. V., Biggs, J., Le, H., Richardson, M., and Ryan, S. (2011), Systemic risk and the regulation of insurance companies, in V. V. Acharya, T. F. Cooley, M. Richardson, and I. Walter (eds.) *Regulating Wall Street—The Dodd-Frank Act and the New Architecture of Global Finance*, Hoboken: John Wiley and Sons, pp. 241–301.
- [3] Acharya V.V., Pedersen L.H., Philippon T., Richardson M.P. (2017), Measuring Systemic Risk, *The Review of Financial Studies*, Vol. 30, nr 1, doi: 10.1093/rfs/hhw088.
- [4] Adrian T. and M. Brunnermeier, M. K. (2016), CoVar. American Economic Review, Vol. 106, No. 7, pp. 1705-1741.
- [5] Allen L., Bali T.G., Tang Y. (2012), Does Systemic Risk in the Financial Sector Predict Future Economic Downturns?, “Review of Financial Studies” 2012, Vol. 25, nr 10, doi:10.1093/rfs/hhs094.
- [6] Alves I., Brinkhoff J., Georgiev S., Héam J-C., Moldovan I., di Carlo M.S. (2015) Network analysis of the EU insurance sector, ESRB Occasional Paper Series 07, European Systemic Risk Board.
- [7] Amihud Y. (2002), Illiquidity and stock returns: cross-section and time-series effects, *Journal of Financial Markets*, Vol. 5, nr 1, doi:10.1016/s1386-4181(01)00024-6.
- [8] Andrzejak, J., Chmielewski, L. J., Landmesser-Rusek, J., & Orłowski, A. (2024). The Impact of the Measure Used to Calculate the Distance between Exchange Rate Time Series on the Topological Structure of the Currency Network. *Entropy*, 26(4), 279. <https://doi.org/10.3390/e26040279>
- [9] Bach, W., and Nguyen, T. (2012) ‘On the systemic relevance of the insurance industry: Is a macroprudential insurance regulation necessary?’ *Journal of Applied Finance & Banking* 2(1): 127–149.
- [10] Balcan, D., Colizza, V., Goncalves, B., Hu, H., Ramasco, J. J., and Vespignani, A. (2009). *Multiscale mobility networks and the spatial spreading of infectious diseases*. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 106, 21484–21489. doi: 10.1073/pnas. 0906910106
- [11] Baluch, F., Mutenga, S., and Parsons, C. (2011) ‘Insurance, systemic risk and the financial crisis’, *Geneva Papers on Risk and Insurance—Issues and Practice* 36(1): 126–163.
- [12] Battiston, S., D’Errico, M., Gurciullo, S. *DebtRank and the Network of Leverage* The Journal of Private Equity Vol. 20, No. 1 (WINTER 2016), pp. 58-71 Published By: Euromoney Institutional Investor PLC

-
- [13] Baur, P., Enz, R., and Zanetti, A. (2003) Reinsurance—A Systemic Risk? Zürich: Swiss Re. 45
 - [14] Bednarczyk T. (2013), Czy sektor ubezpieczeniowy kreuje ryzyko systemowe?, *Studia Oeconomica Posnaniensia*, 11 (260), 7-17
 - [15] Bégin J.-F., Boudreault M., Doljanu D. A., Gauthier G. (2017), Credit and Systemic Risks in the Financial Services Sector: Evidence From the 2008 Global Crisis, *Journal of Risk and Insurance*. Advanced online publication.
 - [16] Bekiros, S., Nguyen, D. K., Junior, L. S., Uddin, G. S. (2017), Information diffusion, cluster formation and entropy-based network dynamics in equity and commodity markets. *European Journal of Operational Research*, 256 (3), 945–961.
 - [17] Bell M., Keller B. (2009), Insurance and Stability: The Reform of Insurance Regulation, Zurich Financial Services Group Working Paper.
 - [18] Benoit S., Colliard J-E, Hurlin C., Pérignon C, (2015); (2017), "Where the Risks Lie: A Survey on Systemic Risk," *Review of Finance*, European Finance Association, vol. 21(1), pages 109-152.
 - [19] Bierth C., Irresberger F., Weiß G. N. (2015). Systemic risk of insurers around the globe. *Journal of Banking & Finance*, 55, 232-245. doi:10.1016/j.jbankfin.2015.02.014
 - [20] Billio M., Getmansky M., Lo A.W., Pelizzon L. (2012), Econometric measures of connectedness and systemic risk in the finance and insurance sectors, "Journal of Financial Economics", Vol. 104, nr 3, doi:10.1016/j.jfineco.2011.12.010.
 - [21] Bisias D., Flood M., Lo A.W., Valavanis S. (2012), *A Survey of Systemic Risk Analytics*, *Annual Review of Financial Economics*, Vol. 4, nr 1, doi:10.1146/annurev-financial-110311-10175
 - [22] Brassel K.E., Reif D. (1979), *A procedure to generate Thiessen polygons*, *Geographical Analysis*, 11(3). pp. 289–303.
 - [23] Brauer, F. *Compartmental models in epidemiology*, *Mathematical epidemiology*, 2008, 19–79. DOI: 10.1007/978-3-540-78911-6.
 - [24] Brownlees C.T. and R. Engle (2017), SRISK: A Conditional Capital Shortfall Measure of Systemic Risk. *The Review of Financial Studies*, Vol. 30, No. 1, pp. 48-79.
 - [25] Caccioli, F., Shrestha, M., Moore, C., Farmer, J. D., (2014), Stability analysis of financial contagion due to overlapping portfolios, *Journal of Banking & Finance*, vol. 46, Supplement C, 233–245.
 - [26] Caliński, Harabasz (1974) A dendrite method for cluster analysis. *Communications in Statistics* 3(1), 1–27.
 - [27] Camerer, Weber, (1992) Recent Developments in Modeling Preferences: Uncertainty and Ambiguity. *Journal of Risk and Uncertainty*, 5, 325-370.
 - [28] Chan-Lau, J. (2010), Regulatory capital charges for too-connected-to-fail institutions: A practical proposal, IMF Working Paper 10/98, Washington, DC, International Monetary Fund, from www.imf.org/external/pubs/ft/wp/2010/wp1098.pdf.

-
- [29] Chen, F., Chen, X., Sun, Z., Yu, T., and Zhong, M. (2013) ‘Systemic risk, financial crisis, and credit risk insurance’, *Financial Review* 48: 417–442.
 - [30] Chen, H., Cummins, J. D., Viswanathan, K. S., Weiss, M. A. (2013a), Systemic Risk and the Interconnectedness Between Banks and Insurers: An Econometric Analysis, *Journal of Risk and Insurance*, 81(3), 623-652. doi:10.1111/j.1539-6975.2012.01503.x
 - [31] Chen, H., Cummins, J. D., Viswanathan, K. S., and Weiss, M. A. (2013b) Systemic risk measures in the insurance industry: A copula approach, working paper, Temple University, Philadelphia, PA.
 - [32] Cimini, G., Squartini, T., Garlaschelli, D., Gabrielli, A., (2015), *Systemic Risk Analysis on Reconstructed Economic and Financial Networks*, *Scientific Reports*, 5, Article ID 15758,
 - [33] Cummins J. D., Weiss M. A. (2014), Systemic Risk and The U.S. Insurance Sector, *Journal of Risk and Insurance*, 81(3), 489-528. doi:10.1111/jori.12039
 - [34] Cummins, Weiss (2013) Systemic risk and regulation of the U.S. insurance industry, working paper, Temple University, Philadelphia, PA.
 - [35] Czerwińska, T. (2014, Systemic risk in the insurance sector, *Problemy Zarządzania*, 12(48), 41-63. doi:10.7172/1644-9584.48.3
 - [36] De Bandta, Hartmann (2000) Systemic Risk: A Survey (November 2000). Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=258430> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.258430>
 - [37] Di Cesare A., Rogantini Picco A (2018), *A Survey of Systemic Risk Indicators, Questioni di Economia e Finanza* (Occasional Papers) 458, Bank of Italy
 - [38] Diebold F.X., Yilmaz K. (2009), Measuring Financial Asset Return and Volatility Spillovers, with Application to Global Equity Markets, “*The Economic Journal*”, Vol. 119, nr 534, doi:10.1111/j.1468-0297.2008.02208.x.
 - [39] Diebold, F. X., Yilmaz, K. (2014), On the network topology of variance decompositions: Measuring the connectedness of financial firms. *Journal of Econometrics*, 182 (1), 119–134.
 - [40] Doman R., (2011) *Zastosowania kopuli w modelowaniu dynamiki zależności na rynkach finansowych*, wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, Poznań.
 - [41] Doman M., Doman R., (2011) *The Impact of the Exchange Rate Dynamics on the Dependencies in Global Stock Market*. *Dynamic Econometric Models*, 2011, vol. 11, s. 73-86
 - [42] Dunn, E. (1974). Introduction. *Social Compass*, 21(2), 115-119.
 - [43] EIOPA, (2017), *Systemic risk and macroprudential policy in insurance*, Luxembourg: Publications Office of the European Union.
 - [44] EIOPA, (2019), *Discussion Paper on Systemic risk and macroprudential policy in insurance*, Luxembourg: Publications Office of the European Union. EIOPA-BoS-19/131

-
- [45] Eling M., Pankoke D.A. (2016), Systemic Risk in the Insurance Sector: A Review and Directions for Future Research, *Risk Management and Insurance Review*, 19(2):249-284.
- [46] Fan, Y., Härdle, W. K., Wang W., Zhu L., (2018). Single-Index-Based CoVaR with Very High- Dimensional Covariates, *Journal of Business & Economic Statistics*, 36: 212-226.
- [47] Fanelli, D., Piazza, F. *Analysis and forecast of COVID-19 spreading in China, Italy and france*, *Chaos, Solitons & Fractals*, 2020, 134, 109761. DOI: 10.1016/j.chaos.2020.109761.
- [48] Fenn D., 2010, *Network Communities and the Foreign Exchange Market*, University of Oxford, Oxford.
- [49] Gray D., Jobst A. (2013), Systemic Contingent Claim Analysis - Estimating Market-Implied Systemic Risk. IMF Working Paper, No. 13/54, International Monetary Fund. Available at <http://www.imf.org/external/pubs/ft/wp/2013/wp1354.pdf>
- [50] Gibas, P., Heffner. K. (2007), *Analiza ekonomiczno-przestrzenna*, Wydawnictwo akademii Ekonomicznej w Katowicach.
- [51] Giglio S., Kelly B., Pruitt S. (2016), Systemic risk and the macroeconomy: An empirical evaluation, "Journal of Financial Economics", Vol. 119, nr 3, doi:10.1016/j.jfineco.2016.01.010.
- [52] Gilchrist S., Zakrajšek E. (2012), Credit Spreads and Business Cycle Fluctuations, "American Economic Review", Vol. 102, nr 4, doi:10.1257/aer.102.4.1692.
- [53] Härdle, W. K., Wang W., Yu L., (2016). TENET: Tail-Event Driven NETwork Risk, *Journal of Econometrics*, 192: 499-513.
- [54] Harrington, S. E. (2009) 'The financial crisis, systemic risk, and the future of insurance regulation', *Journal of Risk and Insurance* 76(4): 785–819.
- [55] Hellwig (1968) Zastosowanie metody taksonomicznej do typologicznego podziału krajów ze względu na poziom ich rozwoju oraz zasoby i strukturę wykwalifikowanych kadr, *Przegląd Statystyczny*, z. 4, s. 307–327.
- [56] Hattori A., Kikuchi K., Niwa F., Uchida Y. (2014): A Survey of Systemic Risk Measures: Methodology and Application to the Japanese Market, Discussion Paper, 2014-E-3.
- [57] Huang X., Zhou H., Zhu H. (2009) 'A framework for assessing the systemic risk of major financial institutions', *Journal of Banking & Finance* 33(11): 2036–2049.
- [58] Hautsch N., Schaumburg J., Schienle M. (2015), "Financial Network Systemic Risk Contributions," *Review of Finance*, 19(2): 685–738.
- [59] IAIS (2009) Systemic Risk and the Insurance Sector (October)
- [60] Jajuga K., Karaś M., Kuziak K., Szczepaniak W. (2017), Ryzyko systemu finansowego. Metody oceny i ich weryfikacja w wybranych krajach, *Materiały i Studia*, 329, Narodowy Bank Polski

-
- [61] Jiang, Z., Arreola Hernandez, J., McIver, R.P., Yoon, S.-M. (2022), Nonlinear Dependence and Spillovers between Currency Markets and Global Economic Variables, *Systems*, 10, 80.
- [62] Jobst A.A (2014), Systemic risk in the insurance sector: a review of current assessment approaches, *Geneva Papers on Risk and Insurance*, 39(3) : 440-470.
- [63] Joe (1997) *Multivariate models and dependence concepts*, Chapman-Hall, London
- [64] Jurkowska A. (2018), *Polski sektor bankowy wobec ryzyka systemowego. Analiza banków giełdowych*, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie, Zeszyty Naukowe UEK. Seria specjalna, Monografie; nr 259.
- [65] Kanno M. (2016), The network structure and systemic risk in the global non-life insurance market, *Insurance: Mathematics and Economics* 67 (2016) 38–53
- [66] Kaserer, C., Klein, C., (2018). Supplementary Material to 'Systemic Risk in Financial Markets: How Systemically Important Are Insurers?' *Journal of Risk and Insurance*
- [67] Kauê Dal'Maso Peron, T., da Fontoura Costa, L., Rodrigues, F. A., (2012), The structure and resilience of financial market networks, *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, vol. 22, no. 1.
- [68] Kaufman, L., i Rousseeuw, P. J. (1990). *Finding Groups in Data—An Introduction to Cluster Analysis*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- [69] Klein, R. W., 2011. Insurance market regulation: Catastrophe risk, competition and systemic risk, working paper, Georgia State University, Atlanta, GA, forthcoming in: Dionne, G. (Ed.), *Handbook of Insurance*, 2d edition, Springer, New York.
- [70] Knight, F. H. (1921) *Risk, Uncertainty and Profit*, Chicago, IL: Chicago University Press.
- [71] Koijen, R. S., Yogo, M., (2016). Shadow Insurance, *Econometrica*, 84(3): 1265-1287.
- [72] Kress, J. C., (2011), 'Credit default swaps, clearinghouses, and systemic risk: Why centralized counterparties must have access to central bank liquidity, *Harvard Journal of Legislation* 48(1): 49–93.
- [73] Kritzman M., Li Y. (2010), Skulls, Financial Turbulence, and Risk Management, "Financial Analysts Journal", Vol. 66, nr 5, doi:10.2469/faj.v66.n5.3.
- [74] Kritzman M., Li Y., Page S., Rigobon R. (2011), Principal Components as a Measure of Systemic Risk, "The Journal of Portfolio Management", Vol. 37, nr 4, doi:10.3905/jpm.2011.37.4.112.
- [75] Li, W., Hommel, U., Paterlini, S. (2018). Network topology and systemic risk: Evidence from the Euro Stoxx market, *Finance Research Letters*, 27 105–112.
- [76] Mühlnickel, J., Weiß, G. N., (2015). Consolidation and Systemic Risk in the International Insurance Industry, *Journal of Financial Stability*, 18: 187-202.

-
- [77] Mantegna, R. N. (1999), Hierarchical structure in financial markets, *The European Physical Journal B - Condensed Matter and Complex Systems*, vol. 11, no. 1, 193–197
 - [78] Murray, J. D. (2002), *Reaction diffusion, chemotaxis, and nonlocal mechanisms*, *Mathematical Biology: I. An Introduction*, 2002, 395–417. DOI:10.1007/978-0-387-22437-4.
 - [79] Nelson, D. B. (1991), Conditional Heteroskedasticity in Asset Returns: A New Approach. *Econometrica*, 59(2), 347–370. [https:// doi.org/10.2307/2938260](https://doi.org/10.2307/2938260)
 - [80] Newman, M. E. J. (2003), The structure and function of complex networks, *SIAM Review*, 45(2), 167–256.
 - [81] Park, J.H., Chang, W., Song, J.W. (2020), Link prediction in the Granger causality network of the global currency market, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 553, 124668.
 - [82] Poledna, S., Molina-Borboa, J. L., Martínez-Jaramillo, S., van der Leij, M., Turner, S., (2015), The multi-layer network nature of systemic risk and its implications for the costs of financial crises, *Journal of Financial Stability*, vol. 20, Supplement C, 70–81.
 - [83] Rodríguez-Moreno M., Peña J. I. (2013), Systemic Risk Measures: The Simpler the Better? *Journal of Banking & Finance*, 37(6): 1817-1831.
 - [84] Roszkowska, E., Filipowicz-Chomko, M. (2021) Measuring Sustainable Development Using an Extended Hellwig Method: A Case Study of Education. *Soc Indic Res* 153, 299–322 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11205-020-02491-9>
 - [85] Schularick M., Taylor A. M. (2012), Credit Booms Gone Bust: Monetary Policy, Leverage Cycles, and Financial Crises, 1870–2008, “*American Economic Review*”, Vol. 102, no 2, doi:10.1257/aer.102.2.1029.
 - [86] Sekmen, F., Kurkcü, M., *An early warning system for turkey: the forecasting of economic crisis by using the artificial neural networks*, *Asian Economic and Financial Review*, 2014, 4(4), 529–543. DOI:<https://archive.aessweb.com/index.php/5002/article/view/1176>.
 - [87] Sensoy A., Tabak B. M., (2014). Dynamic spanning trees in stock market networks: The case of Asia-Pacific, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Vol. 414, (2014), 387402.
 - [88] Shi, J., Wang, C., Wang H., Yan, X. *Diffusive spatial movement with memory*, *Journal of Dynamics and Differential Equations*, 2020, 32, 979–1002. DOI: 10.1007/s10884-019-09757-y.
 - [89] Song J.W., Ko B., Chang W. (2018). Analyzing systemic risk using non-linear marginal expected shortfall and its minimum spanning tree *Physica A*, 491 (2018), pp. 289-304
 - [90] Tabak, B. M., Serra, T. R., Cajueiro, D. O., (2010), *Topological properties of stock-market networks: the case of Brazil*, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, vol. 389, no. 16, 3240–3249.

-
- [91] Tölö, E., *Predicting systemic financial crises with recurrent neural networks*, Journal of Financial Stability, 2020, 49, 100746. DOI: 10.1016/j.jfs.2020.100746.
 - [92] Torri, G., Giacometti, R., Paterlini, S. (2018), Robust and Sparse Banking Network Estimation. European Journal of Operational Research. 270 (1), 51-65,
 - [93] Tversky, A., and Kahneman, D. (1992) ‘Advances in prospect theory: Cumulative representation of uncertainty’, Journal of Risk and Uncertainty 5(4): 297–323.
 - [94] Wang, G.J., Zhu, C.L., *BP-CVAR: A novel model of estimating CVAR with back propagation algorithm*, Economics Letters, 2021, 209, 110–125. DOI:10.1016/j.econlet.2021.110125.
 - [95] Wang, H., Wang, F., Xu, K. *Modeling information diffusion in online social networks with partial differential equations*, 7, 2020. DOI:10.48550/arXiv.1310.0505.
 - [96] Wang, Y., Wang, H., Chang, S., Avram, A. *Prediction of daily pm 2.5 concentration in China using partial differential equations*, PloS one, 2018, 13(6), e0197666. DOI: 10.1371/journal.pone.0197666. Van Lelyveld, I., Liedorp, F., and Kampman, M. (2011) ‘An empirical assessment of reinsurance risk’, Journal of Financial Stability 7(4): 191–203.
 - [97] Wanat, S., (2012) Modele zależności w agregacji ryzyka ubezpieczyciela, Wydawnictwo UEK, Kraków 2012
 - [98] Weiß, G. N., Mühlnickel J., (2014), Why do some insurers become systemically relevant?, Journal of Financial Stability, 13, 95-117
 - [99] Wang, G.-J., Xie, C., He, K., Stanley, H. E., (2017) Extreme risk spillover network: application to financial institutions, Quantitative Finance, vol. 17, no. 9, 417–1433.
 - [100] Wieland, S. C., Brownstein, J. S., Berger, B., and Mandl, K. D. (2007). *Density-equalizing Euclidean minimum spanning trees for the detection of all disease cluster shapes*. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 104, 9404–9409. doi: 10.1073/pnas.0609457104
 - [101] Xie, X.L. and Beni, G. (1991) A Validity Measure for Fuzzy Clustering. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 13, 841-847. <http://dx.doi.org/10.1109/34.85677>
 - [102] Yan, X.-G., Xie, C., Wang, G.-J., (2015) Stock market network’s topological stability: evidence from planar maximally filtered graph and minimal spanning tree, International Journal of Modern Physics B, vol. 29, no. 22, Article ID 1550161.
 - [103] Zhou, C., (2010), Are Banks Too Big to Fail? Measuring Systemic Importance of Financial Institutions, International Journal of Central Banking, vol. 6, no. 34, pp. 205–250
 - [104] Zweifel, P., Eisen, R., (2012) *Insurance Economics*, Springer Science & Business Media. DOI:10.1007/978-3-642-20548-4

"Człowiek jest szczęśliwy, jeśli jego życie wypełnione jest twarzami i imionami"
Papież Franciszek, 2014, Evangelii Gaudium

Dziękuję mojemu mężowi Maciejowi i dzieciom Agatce, Oleńce i Kazikowi
za cierpliwe znoszenie mnie, kiedy dużo pracowałam i kiedy mnie brakowało.
Dziękuję moim przyjaciołom: Kasi, Agnieszce, Danielowi, Heniowi i Arturowi,
że dzięki Nim łączyłam pracę z pasją górskich wycieczek.
Dziękuję wszystkim drogim współautorom: Stanisławowi, Maciejowi, Adamowi,
Piotrowi, Krystianowi, João, Valentinie, Agnieszce i Marcie.
za wspieranie czasu rozwoju, trudu i radości.
Wszystkim, którzy mnie motywowali: Annie, Agnieszce, Joannie, Fryderykowi, Pawłowi,
Krzysztofowi i Grzegorzowi.
Państwu z Centrum Obsługi Badań Naukowych i Działu Organizacji Działalności
Naukowej oraz Biura Podróży Zagranicznych serdecznie dziękuję,
za pomoc w sprawach organizacyjnych.
Dziękuję również władzom Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie, w szczególności
Panu Rektorowi ds. Nauki
za motywację i wsparcie finansowe w latach 2020-2024.

*Wszystkim, których twarze i imiona wypełniają moje życie...
serdecznie dziękuję.*