Załącznik nr 3.

dr Bartłomiej Jefmański

Autoreferat przedstawiający opis dorobku i osiągnięć naukowych

Spis treści

1. Imię i nazwisko 2
2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe 2
3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych 2
4. Omówienie osiągnięcia wynikającego z 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.) 3
4.1. Tytuł osiągnięcia i skład cyklu publikacji powiązanych tematycznie 3
4.2. Wprowadzenie 5
4.3. Zakres badań 9
4.4. Teoretyczne i aplikacyjne osiągnięcia naukowe 10
4.5. Prezentacja osiągnięć naukowych 11
5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej 44
6. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowych 46
6.1. Opis osiągnięć naukowo-badawczych 46
6.2. Opis osiągnięć dydaktycznych i popularyzatorskich 52
6.3. Opis osiągnięć organizacyjnych 53
7. Literatura 54

1. Imię i nazwisko

Bartłomiej Jefmański

2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe

2002 r. – uzyskanie tytułu magistra ekonomii na Wydziale Gospodarki Regionalnej i Turystyki w Jeleniej Górze, Akademii Ekonomicznej im. Oskara Langego we Wrocławiu na kierunku: Ekonomia, specjalność: Bankowość i Ubezpieczenia. Tytuł pracy magisterskiej: „Zastosowanie analizy dyskryminacyjnej do oceny banków giełdowych w Polsce".

2004 r. – studium podyplomowe na Wydziale Zarządzania i Informatyki Akademii Ekonomicznej im. Oskara Langego we Wrocławiu nt. „Obsługa i wykorzystanie funduszy unijnych wspierających polską przedsiębiorczość i samorządność".

2007 r. – uzyskanie stopnia doktora nauk ekonomicznych w zakresie ekonomii na Wydziale Gospodarki Regionalnej i Turystyki w Jeleniej Górze, Akademii Ekonomicznej im. Oskara Langego we Wrocławiu. Temat rozprawy doktorskiej: „Analiza dyskryminacyjna w profilowaniu segmentów rynkowych". Promotorem w przewodzie doktorskim był prof. dr hab. Marek Walesiak (Akademia Ekonomiczna we Wrocławiu) a recenzentami byli prof. dr hab. Józef Pociecha (Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie) oraz dr hab. Józef Dziechciarz, prof. nadzw. Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu. Stopień doktora został mi nadany Uchwałą Rady Wydziału Gospodarki Regionalnej i Turystyki w Jeleniej Górze 30 listopada 2007 r.

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

- Od 1 października 2002 r. do 30 września 2006 r. doktorant w Katedrze Ekonometrii i Informatyki na Wydziale Gospodarki Regionalnej i Turystyki Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu
- Od 1 października 2006 r. do 15 lutego 2009 r. asystent w Katedrze Ekonometrii i Informatyki na Wydziale Gospodarki Regionalnej i Turystyki Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu
- Od 16 lutego 2009 r. do 30 września 2022 r. adiunkt w Katedrze Ekonometrii i Informatyki na Wydziale Gospodarki Regionalnej i Turystyki Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu
- Od 1 marca 2019 r. do 20 czerwca 2020 r. adiunkt w Instytucie Organizacji i Zarządzania w Przemyśle „ORGMASZ" Sieci Badawczej Łukasiewicz (aktualna nazwa Sieć Badawcza Łukasiewicz – ITECH Instytut Innowacji i Technologii)
- Od 1 października 2022 r. do chwili obecnej profesor UEW w Katedrze Ekonometrii i Informatyki na Wydziale Ekonomii i Finansów Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu

4. Omówienie osiągnięcia wynikającego z 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. Tytuł osiągnięcia i skład cyklu publikacji powiązanych tematycznie

Jako osiągnięcie naukowe przedstawiam cykl publikacji pod tytułem:

Zbiory rozmyte w badaniach złożonych zjawisk społeczno-ekonomicznych z zastosowaniem metod porządkowania i klasyfikacji

W skład wybranych publikacji wchodzą następujące pozycje:

[1] Jefmański B. (2009), *Trudny wybór klienta czyli o analizie segmentów rynkowych z zastosowaniem rozmytych metod klasyfikacji*, Marketing i Rynek, 4, 20-23.

MNiSW: 40 pkt

[2] Jefmański B. (2011), *Rozmyty model luk jakości w ocenie kompetencji pracowników branży turystycznej regionu Kotliny Kłodzkiej*, Prace Naukowe UE we Wrocławiu, nr 179, 335-346.

MNiSW: 40 pkt

[3] Markowska M., Jefmański B. (2012), *Fuzzy Classification of European Regions in the Evaluation of Smart Growth*, Przegląd Statystyczny. Statistical Review, 59(1), 74-93. https://doi.org/10.59139/ps.2012.01.5.

Mój wkład w powstanie pracy polegał na: współtworzeniu koncepcji pracy, współtworzeniu metodyki badania, współtworzeniu analizy i interpretacji wyników oraz współredagowaniu tekstu artykułu. Mój wkład szacuję na 50%.

MNiSW: 40 pkt

[4] Jefmański B. (2013), *Wyniki pomiaru opinii doradców zawodowych o kształceniu ustawicznym*, Wiadomości Statystyczne. The Polish Statistician, 58(2), 33-45. https://doi.org/10.59139/ws.2013.02.3.

MNiSW: 70 pkt

[5] Jefmański B. (2014), *Rozmyta metoda WebQual i jej zastosowanie w ocenie internetowych serwisów informacyjnych*, Handel Wewnętrzny, 2(1), 221-233.

[6] Jefmański B. (2014), *Application of rating scale model in conversion of rating scales' points to the form of triangular fuzzy numbers*, Folia Oeconomica Stetinensia, 14(2), 7-18. https://doi.org/10.1515/foli-2015-0010.

CiteScore: 1,4 (2024); MNiSW: 40 pkt

[7] Jefmański B. (2014), *The rating scale model in the construction of fuzzy TOPSIS method*, Quantitative Methods in Economics (Metody Ilościowe w Badaniach Ekonomicznych), 15(2), 112-124.

MNiSW: 20 pkt

[8] Jefmański B. (2015), *Zastosowanie modeli IRT w konstrukcji rozmytego sytemu wag dla zmiennych w zagadnieniu porządkowania liniowego – na przykładzie metody TOPSIS*, Taksonomia 24. Klasyfikacja i analiza danych – teoria i zastosowania. Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, 384, 127-134.

MNiSW: 40 pkt

[9] Markowska M., Kusterka-Jefmańska M., Jefmański B. (2016), *Analysis of smart specialization in European regions using fuzzy classification*, Argumenta Oeconomica, 2(37), 31-65. http://dx.doi.org/10.15611/aoe.2016.2.02.

Mój wkład w powstanie pracy polegał na: współtworzeniu koncepcji pracy, współtworzeniu metodyki badania, współtworzeniu analizy i interpretacji wyników oraz współredagowaniu tekstu artykułu. Mój wkład szacuję na 33%.

Impact Factor: 0,6 (2023); CiteScore: 1,2 (2024); MNiSW: 70 pkt

[10] Jefmański B. (2017), *The sensitivity of the SERVQUAL score to the choice of the fuzzy conversion scale*, Ekonometria. Econometrics., 3(57), 59-71. http://dx.doi.org/10.15611/ekt.2017.3.05.

MNiSW: 40 pkt

[11] Jefmański B. (2020), *Intuitionistic Fuzzy Synthetic Measure for Ordinal Data*, [in:] K. Jajuga, J. Batóg, M. Walesiak (eds.), Classification and Data Analysis: Theory and Applications. Studies in Classification, Data Analysis, and Knowledge Organization, Springer, 53-72. https://doi.org/10.1007/978-3-030-52348-0_4.

MNiSW: 20 pkt

[12] Jefmański B., Sagan A. (2021), *Item Response Theory Models for the Fuzzy TOPSIS in the Analysis of Survey Data*, Symmetry, 13(2), 223. https://doi.org/10.3390/sym13020223.

Mój wkład w powstanie pracy polegał na: współtworzeniu koncepcji pracy, współtworzeniu metodyki badania, współtworzeniu analizy i interpretacji wyników oraz współredagowaniu tekstu artykułu. Mój wkład szacuję na 65%.

Impact Factor: 2,2 (2023); CiteScore: 5,3 (2024); MNiSW: 70 pkt

[13] Jefmański B,, Roszkowska E, Kusterka-Jefmańska M. (2021), *Intuitionistic Fuzzy Synthetic Measure on the Basis of Survey Responses and Aggregated Ordinal Data*, Entropy, 23(12), 1636. https://doi.org/10.3390/e23121636.

Mój wkład w powstanie pracy polegał na: współtworzeniu koncepcji pracy, współtworzeniu metodyki badania, współtworzeniu analizy i interpretacji wyników oraz współredagowaniu tekstu artykułu. Mój wkład szacuję na 34%.

Impact Factor: 2,1 (2023); CiteScore: 5,2 (2024); MNiSW: 100 pkt

[14] Roszkowska E., Jefmański B. (2021), *Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy Synthetic Measure (I-VIFSM) Based on Hellwig's Approach in the Analysis of Survey Data*, Mathematics, 9(3), 201. https://doi.org/10.3390/math9030201.

Mój wkład w powstanie pracy polegał na: współtworzeniu koncepcji pracy, współtworzeniu metodyki badania, współtworzeniu analizy i interpretacji wyników oraz współredagowaniu tekstu artykułu. Mój wkład szacuję na 50%.

Impact Factor: 2,3 (2023); CiteScore: 4,6 (2024); MNiSW: 20 pkt

[15] Kusterka-Jefmańska M., Jefmański B., Roszkowska E. (2022), *Application of the Intuitionistic Fuzzy Synthetic Measure in the Subjective Quality of Life Measurement Based on Survey Data*, [in:] K. Jajuga, G. Dehnel, M. Walesiak (eds.), Modern Classification and Data Analysis: Methodology and Applications to Micro- and Macroeconomic Problems. Studies in Classification, Data Analysis, and Knowledge Organization, Springer, 243-262. https://doi.org/10.1007/978-3-031-10190-8_17.

Mój wkład w powstanie pracy polegał na: współtworzeniu koncepcji pracy, współtworzeniu metodyki badania, współtworzeniu analizy i interpretacji wyników oraz współredagowaniu tekstu artykułu. Mój wkład szacuję na 33%.

MNiSW: 20 pkt

[16] Roszkowska E., Jefmański B., Kusterka-Jefmańska M. (2022), *On Some Extension of Intuitionistic Fuzzy Synthetic Measures for Two Reference Points and Entropy Weights*, Entropy, 24(8), 1081. https://doi.org/10.3390/e24081081.

Mój wkład w powstanie pracy polegał na: współtworzeniu koncepcji pracy, współtworzeniu metodyki badania, współtworzeniu analizy i interpretacji wyników oraz współredagowaniu tekstu artykułu. Mój wkład szacuję na 34%.

Impact Factor: 2,1 (2023); CiteScore: 5,2 (2024); MNiSW: 100 pkt

[17] Graczyk A.M., Kusterka-Jefmańska M., Jefmański B., Graczyk A. (2023), *Pro-Ecological Energy Attitudes towards Renewable Energy Investments before the Pandemic and European Energy Crisis: A Segmentation-Based Approach*, Energies, 16(2), 707. https://doi.org/10.3390/en16020707.

Mój wkład w powstanie pracy polegał na: współtworzeniu koncepcji pracy, współtworzeniu metodyki badania, współtworzeniu analizy i interpretacji wyników oraz współredagowaniu tekstu artykułu. Mój wkład szacuję na 26%.

Impact Factor: 3,0 (2023); CiteScore: 7,3 (2024); MNiSW: 140 pkt

[18] Kusterka-Jefmańska M., Roszkowska E., Jefmański B. (2024), *The intuitionistic fuzzy synthetic measure in a dynamic analysis of the subjective quality of life of citizens of European cities*, Economics and Environment, 88(1), 708. http://dx.doi.org/10.34659/eis.2024.88.1.708.

Mój wkład w powstanie pracy polegał na: współtworzeniu koncepcji pracy, współtworzeniu metodyki badania, współtworzeniu analizy i interpretacji wyników oraz współredagowaniu tekstu artykułu. Mój wkład szacuję na 33%.

Impact Factor: 1,0 (2023); CiteScore: 1,1 (2024); MNiSW: 100 pkt

4.2. Wprowadzenie

Badania porównawcze stanowią istotny element warsztatu badawczego wielu dyscyplin naukowych, w tym także ekonomii i finansów. Odgrywają ważną rolę we wspieraniu procesów decyzyjnych w podmiotach gospodarczych, organizacjach publicznych, jednostkach samorządów terytorialnych umożliwiając ocenę ich pozycji na tle innych podmiotów, identyfikację obszarów wymagających zmian oraz wskazanie dobrych praktyk (por. Panek, Zwierzchowski 2013; Markowska 2012).

Złożoność wielu zjawisk społeczno-ekonomicznych, przejawiająca się w wielowymiarowości i współzależności zmiennych diagnostycznych, stawia szczególne wymagania przed badaniami porównawczymi. W takich warunkach często niezbędnym staje się zastosowanie metod wielowymiarowej analizy danych, które umożliwiają jednoczesne uwzględnienie wielu zmiennych oraz identyfikację ukrytych struktur w zbiorach danych. Metody takie pozwalają m.in. na redukcję wielowymiarowości, wykrycie współzależności między zmiennymi oraz klasyfikację i porządkowanie jednostek podlegających badaniom porównawczym pod względem zjawisk złożonych. Istotnym etapem tego typu badań jest niewątpliwie konstrukcja stosownych narzędzi pomiarowych.

Pomiar zjawisk złożonych oraz liniowe uporządkowanie obiektów pod względem poziomu tych zjawisk umożliwiają miary syntetyczne. Zasadniczą własnością miar syntetycznych jest kwantyfikacja zjawisk złożonych za pomocą jednej wartości liczbowej, która syntetyzuje informacje cząstkowe oraz pozwala na prowadzenie analiz porównawczych (Strahl 2006). W konstrukcji miar syntetycznych dominują dwa zasadnicze podejścia. Pierwsze z nich oparte jest na metodach analizy czynnikowej. W tym przypadku proponowane miary określane są najczęściej mianem indeksów kompozytowych (zob. np. *Handbook ...*, 2008). Drugie podejście wykorzystuje metody porządkowania liniowego oraz wielokryterialne metody podejmowania decyzji. W tym przypadku proponowane miary syntetyczne określane są także mianem zmiennych syntetycznych, zmiennych agregatowych, syntetycznych miar rozwoju lub taksonomicznych mierników rozwoju (por. Bąk 2018).

Ważną, wyodrębnioną ze względu na sposób agregacji wartości zmiennych, grupą metod porządkowania liniowego, są metody wzorcowe, w ramach których porównuje się odległości obiektów od obiektu wzorcowego. Pierwsza propozycja tego typu metody, znana pod nazwą „metody wzorca rozwoju", została zaproponowana na gruncie badań taksonomicznych i ekonomicznych przez Hellwiga (1968) (por. Pociecha, Jajuga i Walesiak 2024). Przegląd wybranych wariantów i zastosowań tej metody zaprezentowano w opracowaniu Roszkowskiej (2024). Idea Hellwiga zapoczątkowała burzliwy rozwój metod porządkowania liniowego, które stały się domeną polskich badaczy a zostały przedstawione m.in. w pracach: Bartosiewicz (1976a; 1976b), Borys (1978), Cieślak (1974; 1976; 1990), Jajuga (1987), Nowak (1985), Pluta (1977), Ostasiewicz (1981), Strahl (1978), Wydymus (1984), Grabiński, Zając (1975) (cyt. za Walesiak 2004). Na gruncie teorii decyzji (wielokryterialnego podejmowania decyzji) pierwsza metoda porządkowania liniowego z wykorzystaniem wzorca i antywzorca rozwoju została zaproponowana przez Hwanga i Yoona (1981) pod nazwą TOPSIS (*Technique for Order*

Preference by Similarity to Ideal Solution). Przeglądu prac poświęconych rozwojowi tej metody i jej zastosowań dokonali Pandey, Komal i Dincer (2023).

Pomimo, że miary syntetyczne są powszechnie stosowane w badaniach porównawczych złożonych zjawisk społeczno-ekonomicznych, to nie wyczerpują one potencjału informacyjnego tkwiącego w danych źródłowych. Czasami miary te mogą prowadzić, m.in. do zbyt silnej agregacji i uproszczenia natury zjawisk złożonych. Dlatego komplementarnym podejściem, dającym pełniejszy obraz zjawisk złożonych, może być uzupełnienie badań porównawczych o zastosowanie metod klasyfikacji.

Zasadniczym celem klasyfikacji jest badanie podobieństwa lub odrębności obiektów i ich zbiorów. Cel ten można zrealizować za pomocą metod umożliwiających podział zbioru obiektów na rozłączne i niepuste klasy w taki sposób, aby obiekty należące do tej samej klasy były jak najbardziej podobne a obiekty należące do różnych klas jak najmniej podobne. Wyodrębnione klasy powinny spełniać postulat wewnętrznej spójności i zewnętrznej izolacji (Walesiak 2004). Klasyfikacja obiektów pozwala zrozumieć strukturę zróżnicowania badanej populacji pod względem złożonych zjawisk społeczno-ekonomicznych. Dopełnia tym samym wyniki badań porównawczych oceny poziomu tych zjawisk z zastosowaniem miar syntetycznych.

Nieodłącznym elementem badań nad złożonymi zjawiskami społeczno-ekonomicznymi jest niepewność wynikająca zarówno z charakteru analizowanych zjawisk, jak i ograniczeń stosowanych metod statystycznych. Mówiąc o niepewności najczęściej myślimy o niepewności statystycznej związanej m.in. z błędami pomiarowymi, niereprezentatywnością prób badawczych czy estymacją parametrów modeli statystycznych. Pomimo dominacji tego typu niepewności coraz większego znaczenia w tej dyscyplinie nauki nabiera pewien specyficzny typ niepewności określany mianem „nieostrości". Nieostrość jest powszechnym zjawiskiem w naukach społecznych. Dotyczy to również ekonomii, która jak podkreśla Ostasiewicz (1986), posługując się głównie językiem naturalnym z pewnością jest „nieostra". Kategoria nieostrości odnosi się zarówno do zagadnienia porządkowania liniowego obiektów z zastosowaniem miar syntetycznych, jak i grupowania tych obiektów z zastosowaniem metod klasyfikacji.

Problem nieostrości w zagadnieniu porządkowania liniowego obiektów pod względem zjawisk złożonych pojawia się w sytuacji konstrukcji miar syntetycznych, dla których wartości zmiennych podlegających agregacji szacowane są z zastosowaniem porządkowych skal pomiaru. Źródłem nieostrości są punkty tych skal wyrażone w formie kategorii słownych. Wyrażenia te są subiektywne a ich granice płynne, nieostre. Natomiast w zagadnieniu klasyfikacji obiektów pod względem zjawisk złożonych nieostrość wynika z braku jednoznacznie określonych granic między klasami.

Zarówno w porządkowaniu liniowym, jak i klasyfikacji obiektów pod względem zjawisk złożonych nieostrość może być modelowana za pomocą zbiorów rozmytych. Pojęcie zbioru rozmytego po raz pierwszy pojawiło się w opracowaniu Zadeha (1965) a jego głównym celem było umożliwienie definiowania znaczenia pojęć nieostrych (Ostasiewicz 1986). Zbiór rozmyty stanowi uogólnienie zbioru klasycznego, w którym dopuszcza się częściową przynależność elementów do zbioru, wyrażoną za pomocą funkcji przynależności, przypisującej każdemu elementowi wartość z przedziału [0-1]. Zatem każdy obiekt może mniej lub bardziej należeć do zbioru rozmytego, co wyraża się odpowiednio większym lub mniejszym stopniem przynależności. Właściwość zbiorów rozmytych do wyrażania stopniowego przejścia z przynależności do nieprzynależności i odwrotnie, może być wykorzystana do opisu nieostrych pojęć i zjawisk (por. Wysocki 2010).

Teoria zbiorów rozmytych, zaproponowana przez Zadeha, stała się fundamentalnym narzędziem analizy i modelowania zjawisk, w których precyzyjne pomiary i klasyfikacje są trudne do przeprowadzenia. Jej elastyczność w opisie nieostrości oraz możliwości formalizowania niepewności sprawiają, że znajduje coraz szersze zastosowanie w badaniach złożonych zjawisk społeczno-ekonomicznych. Dynamiczny rozwój tej teorii doprowadził do powstania licznych rozszerzeń, takich jak teoria intuicjonistycznych zbiorów rozmytych, która zyskuje szczególne uznanie w kontekście analiz wielowymiarowych i wielokryterialnych. Intuicjonistyczne zbiory rozmyte wprowadzają dodatkowy parametr w postaci stopnia nieprzynależności, uwzględniając tym samym również stopień niezdecydowania. Ta unikalna właściwość czyni je wyjątkowo użytecznym narzędziem w modelowaniu złożonych zjawisk społeczno-ekonomicznych, takich jak jakość życia czy jakość usług, gdzie nieostrość i niepewność odgrywają kluczową rolę. Jest to podejście, które pozwala na uzyskanie bardziej realistycznych wyników, umożliwiając jednocześnie lepszą interpretację i wykorzystanie danych w procesach decyzyjnych.

Uwzględnienie nieostrości w konstrukcji miar syntetycznych przejawia się w możliwości wyrażenia wartości zmiennych diagnostycznych w postaci zbiorów rozmytych przy czym najczęściej odbywa się to z zastosowaniem ich szczególnej postaci określanej mianem liczb rozmytych. Pomiar zmiennych diagnostycznych odbywa się wówczas z zastosowaniem tzw. skal rozmytych (zob. np. Hesketh, Hesketh 1994; De la Rosa de Sáa i in. 2013; De la Rosa de Sáa i in. 2015). Uzyskane w ten sposób wyniki pomiaru zmiennych diagnostycznych poddawanych agregacji implikują konieczność wypracowania rozmytych modyfikacji metod konstrukcji miar syntetycznych. To stosunkowo nowe a przez to mało rozpoznane podejście do pomiaru zjawisk złożonych, w naturalny sposób skutkuje obecnością w literaturze co najmniej kilku luk badawczych. Z pewnością pierwsza z nich dotyczy metod konstrukcji skal rozmytych a moje

propozycje rozwiązań w tym obszarze zawarłem w opracowaniach [2], [4-5], [6-8], [10] i [12]. Druga luka badawcza wynika z konieczności dostosowania metodyki konstrukcji miar syntetycznych do różnej postaci zbiorów rozmytych stosowanych w pomiarze zmiennych diagnostycznych. Swoje propozycje w tym zakresie przedstawiłem w opracowaniach [7-8], [11], [13-16].

Idea zbiorów rozmytych w zagadnieniu klasyfikacji obiektów pod względem zjawisk złożonych polega na traktowaniu wyodrębnionych klas jako zbiorów rozmytych. Klasyfikacja rozmyta postrzegana jest przez niektórych badaczy jako podejście o największym potencjalne aplikacyjnym w badaniach zjawisk społeczno-ekonomicznych z zastosowaniem metod klasyfikacji (zob. np. Jajuga 1990). Zasadnicza różnica między klasyfikacją rozmytą a klasyfikacją „ostrą" polega na sposobie wyrażenia przynależności obiektów do klasy. Przynależność do klasy wyrażona za pomocą zmiennej zero-jedynkowej została zastąpiona zmienną ciągłą przyjmującą wartości z przedziału [0-1], co pozwoliło na precyzyjny opis sytuacji, w której granice między klasami są „nieostre". Jednoznaczne przyporządkowanie obiektów do klas zostało zastąpione ich częściowymi przyporządkowaniami do różnych klas (Jajuga 1990). Takie podejście pozwala na większe różnicowanie informacji o klasyfikowanych obiektach, a co za tym idzie dostarcza bardziej precyzyjnej informacji o analizowanych zjawiskach.

Pomimo faktu, że w przypadku klasyfikacji obiektów ze względu na złożone zjawiska społeczno-ekonomiczne często mamy do czynienia z brakiem wyraźniej struktury klas, to wciąż istnieje niewiele opracowań o charakterze aplikacyjnym, które wskazywałyby na duży potencjał i użyteczność podejścia opartego na klasyfikacji rozmytej. Prowadzi to do powstania luki badawczej jak efektywnie stosować te metody i w jaki sposób komunikować ich wyniki interesariuszom i decydentom. Próbą wypełnienia tej luki są prace [1], [3], [9], [17] w których wykazałem użyteczność klasyfikacji rozmytej w badaniach regionalnych i marketingowych.

4.3. Zakres badań

Zakres moich zainteresowań naukowych koncentruje się na trzech komplementarnych obszarach badawczych, do których należą:

- pomiar złożonych zjawisk społeczno-ekonomicznych z zastosowaniem skal rozmytych,
- porządkowanie liniowe obiektów z zastosowaniem rozmytych miar syntetycznych,
- klasyfikacja obiektów z zastosowaniem rozmytych metod klasyfikacji.

Punktem wyjścia w modelowaniu złożonych zjawisk społeczno-ekonomicznych jest pomiar, który często bazuje na subiektywnych ocenach pochodzących np. z badań ankietowych. W takich przypadkach zasadność stosowania niektórych porządkowych skal pomiaru może

okazać się dyskusyjna. Skale te nie uwzględniają bowiem „nieostrości" kategorii słownych, na których są zbudowane. Dlatego w przedstawionym cyklu znalazły się artykuły [2], [4-5], [6-8], [10] i [12] dotyczące pierwszego z wymienionych obszarów. Rozwój metodyki konstrukcji skal rozmytych stanowi podstawę do dalszych analiz ilościowych z zastosowaniem metod porządkowania liniowego i klasyfikacji.

Transformacja danych porządkowych do postaci rozmytej otwiera drogę do ich agregacji w formie rozmytych miar syntetycznych. Jest to kolejny obszar moich badań dotyczący porządkowania liniowego obiektów. W tym kontekście kluczowe staje się uwzględnienie nieostrości danych pomiarowych na poziomie konstrukcji miar syntetycznych. Podejście to wymaga modyfikacji klasycznych metod porządkowania liniowego i zostało przedstawione w pracach [7-8], [11], [13-16].

Realizacja kolejnego zadania w ramach badań porównawczych, polegającego na grupowaniu obiektów ekonomicznych w podzbiory obiektów do siebie podobnych, najczęściej odbywa się z zastosowaniem klasycznych metod klasyfikacji. Jednak w niektórych przypadkach przypisanie każdego obiektu wyłącznie do jednej klasy może okazać się zbyt dużym uproszczeniem. Dlatego w ramach trzeciego obszaru moich badań zająłem się rozmytą klasyfikacją obiektów, w której przynależność do klas może być częściowa. Takie podejście umożliwia bardziej realistyczne odwzorowanie wielowymiarowych zależności społeczno-ekonomicznych co wykazałem w pracach [1], [3], [9], [17] poświęconych analizom segmentacyjnych, badaniom regionalnym i modelowaniu preferencji konsumentów.

4.4. Teoretyczne i aplikacyjne osiągnięcia naukowe

Do moich teoretycznych i aplikacyjnych osiągnięć naukowych związanych z cyklem tematycznie powiązanych publikacji należą:

A. Propozycja konstrukcji rozmytych skal prostych z wykorzystaniem opinii respondentów (pozycje [2] i [4] wykazu).
B. Propozycja zastosowania modeli odpowiedzi na zadania testowe w konstrukcji rozmytych skal konwersji dla rozmytej metody TOPSIS (pozycje [6-8] i [12] wykazu).
C. Propozycje rozmytych modyfikacji skal wielowymiarowych z zastosowaniem liczb rozmytych (pozycje [5] i [10] wykazu).
D. Pomiar złożonych zjawisk społeczno-ekonomicznych z zastosowaniem Intuicjonistycznej Rozmytej Miary Syntetycznej i danych ankietowych (pozycje [11] i [16] wykazu).

E. Pomiar złożonych zjawisk społeczno-ekonomicznych z zastosowaniem Intuicjonistycznych Rozmytych Miar Syntetycznych i zagregowanych danych porządkowych (pozycje [13], [15] i [18] wykazu).
F. Pomiar złożonych zjawisk społeczno-ekonomicznych z zastosowaniem Przedziałowej Intuicjonistycznej Rozmytej Miary Syntetycznej (pozycja [14] wykazu) .
G. Klasyfikacja europejskiej przestrzeni regionalnej z zastosowaniem rozmytej metody c-średnich (pozycje [3] i [9] wykazu).
H. Segmentacja rynków z zastosowaniem rozmytej metody c-średnich (pozycje [1] i [17] wykazu).

Szczegółową charakterystykę poszczególnych osiągnięć teoretycznych i aplikacyjnych przedstawiono w punkcie 4.5.

4.5. Prezentacja osiągnięć naukowych

A. Propozycja konstrukcji rozmytych skal prostych z wykorzystaniem opinii respondentów (pozycje [2] i [4] wykazu)

Jeden z ważniejszych nurtów badawczych w ramach zastosowania zbiorów rozmytych w badaniach społeczno-ekonomicznych dotyczy kwestii pomiaru zjawisk społeczno-ekonomicznych na podstawie opinii respondentów. W klasycznej teorii pomiaru stosowane są w tym przypadku skale szacunkowe, a jedną z bardziej popularnych jest skala zaproponowana przez Likerta oraz jej modyfikacje określane niekiedy mianem skal likertowskich lub skal typu Likerta. Cechą wspólną tych skal jest, zgodnie z teorią pomiaru Stevensa (1946), ich porządkowy charakter a co za tym idzie pewne ograniczenia w dopuszczalnych operacjach arytmetycznych na wynikach pomiaru z zastosowaniem tych skal. Zwolennicy łączenia elementów teorii zbiorów rozmytych z dorobkiem klasycznej teorii pomiaru wskazują na niektóre niedoskonałości i ograniczenia skal typu Likerta w pomiarze zjawisk społeczno-ekonomicznych. Pierwsze z nich dotyczą subiektywnego postrzegania i interpretacji punktów tych skal, będących najczęściej kategoriami słownymi określanymi również mianem wartości lingwistycznych. Przykładem są kategorie słowne typu „bardzo zadowolony", „bardzo wysoko", które mogą stanowić punkty skrajne skal pomiarowych. Pojawia się zatem element niepewności związany z postrzeganiem znaczenia tych punktów skal, który nie jest brany pod uwagę w klasycznej teorii pomiaru. Druga niedogodność stosowania skal typu Likerta wynika z fundamentalnego założenia, że odległości między puntami skal pomiarowych są jednakowe.

W rzeczywistości odległości są subiektywne i różnią się zarówno między punktami skali, jak i między respondentami. Nie są to wszystkie niedoskonałości i ograniczenia związane z tego typu skalami, ale mogą skutecznie zniekształcić analizę i interpretację uzyskanych wyników prowadząc do błędnych wniosków i rekomendacji. Pomimo tych wątpliwości skale typu Likerta wciąż pozostają istotnym narzędziem pomiarowym w badaniach społeczno-ekonomicznych szczególnie, gdy stosowane są ze zrozumieniem i uwzględnieniem ich ograniczeń. Przejawem takiego podejścia jest obserwowana w literaturze próba implementacji osiągnięć teorii zbiorów rozmytych w procesie konstrukcji skal pomiarowych.

W pomiarze zjawisk społeczno-ekonomicznych z zastosowaniem skal rozmytych dominują dwa podejścia. Pierwsze z nich zakłada zastosowanie tzw. rozmytych skal konwersji (*fuzzy conversion scale*) (De la Rosa de Sáa i in. 2013). Główna idea tego podejścia polega na zastąpieniu punktów skal szacunkowych, wyrażonych w postaci kategorii słownych, zbiorami rozmytymi o różnych postaciach funkcji przynależności, wyrażającymi niepewność w interpretacji znaczenia tych kategorii. Punkty skal pomiarowych najczęściej zastępowane są szczególnymi przypadkami zbiorów rozmytych, czyli liczbami rozmytymi o trójkątnych lub trapezoidalnych funkcjach przynależności. O ustaleniu parametrów trójkątnych liczb rozmytych decyduje *a priori* badacz wykorzystując swoją wiedzę i doświadczenie lub korzystając z dostępnych procedur konwersji/rozmycia (zob. np. Betti 2017; Dudek, Szczęsny 2016; Zani, Milioli, Morlini 2021; Łuczak, Kalinowski 2025). Uzyskane w ten sposób wyniki pomiarów analizuje się z zastosowaniem arytmetyki zbiorów rozmytych i/lub metod analitycznych zmodyfikowanych pod katem możliwości wykorzystania danych wyrażonych w postaci zbiorów rozmytych. Należy jednak podkreślić, że respondenci w dalszym ciągu wyrażają swoją opinię poprzez wskazanie na jeden z punktów tych skal. Procedura tzw. rozmycia (*fuzzyfication*) wyników pomiaru z zastosowaniem rozmytych skal konwersji odbywa się najczęściej bez udziału respondentów.

Drugie podejście opiera się na opisanych w pracach Hesketh, Pryor, Hesketh (1988), Hesketh, Hesketh (1994), Hesketh i in. (1995), Hesketh, Griffin, Loh (2011) tzw. rozmytych skalach szacunkowych (*fuzzy rating scales*). Pozwalają one respondentom wyrazić swoje opinie w sposób zupełnie swobodny, tak jak ma to miejsce w przypadku wizualnych skal analogowych. Respondenci zaznaczają punkt lub przedział wartości, który najlepiej oddaje ich ocenę oraz przedział wartości w „pewnym stopniu zgodnych" z ich oceną. Wskazane w ten sposób punkty i/lub przedziały służą do ustalenia wartości parametrów liczb rozmytych. Zatem pojedyncze oceny respondentów wyrażone są w postaci wartości rozmytych.

Rozmyte skale szacunkowe pomimo swoich zalet nie są do końca „przyjazne" respondentom i z pewnością wymagają pewnego wprowadzenia i zapoznania uczestników badania

z pożądanym formatem odpowiedzi. Łączenie ich z niektórymi metodami badawczymi, np. CATI (*Computer-Assisted Telephone Interviewing*) może być bardzo trudne lub wręcz niemożliwe. Dlatego w swoich badaniach skoncentrowałem się na rozwoju rozmytych skal konwersji, które są „bardziej przyjazne" respondentom i bazują na znanych wszystkim sposobach udzielania odpowiedzi z zastosowaniem klasycznych skal szacunkowych. Problem rozmycia w procesie konstrukcji rozmytych skal konwersji pozostawiony jest w tym przypadku badaczowi.

Swoje badania nad zastosowaniem rozmytych skal konwersji w pomiarze zjawisk społeczno-ekonomicznych zacząłem od stosowania skal osadzonych i zweryfikowanych w literaturze przedmiotu. Jednymi z częściej stosowanych 5-cio stopniowych rozmytych skal konwersji są skale, dla których punkty wyrażone są w postaci symetrycznych, trójkątnych liczb rozmytych. Skalę taką zastosowałem w badaniu opinii przedstawicieli mikro, małych i średnich przedsiębiorstw z branży turystycznej regionu Kotliny Kłodzkiej, którego wyniki zaprezentowałem w opracowaniu [2]. Celem badania była diagnoza i pomiar oczekiwań przedsiębiorców względem kompetencji (głównie „miękkich") zatrudnianych absolwentów ponadgimnazjalnych szkół zawodowych. Prowadzenie badań kompetencji pozwala lepiej zrozumieć potrzeby lokalnych rynków pracy oraz lepiej dostosować programy edukacyjne oraz szkoleniowe do tych potrzeb. Wyniki badań kompetencji mogą wspierać rozwój lokalnych przedsiębiorstw poprzez lepsze dopasowanie kompetencji pracowników do potrzeb pracodawców, co w konsekwencji wpływa na konkurencyjność tych przedsiębiorstw oraz wzrost gospodarczy regionu. W analizie wykorzystano zaproponowaną przeze mnie koncepcję rozmytego modelu luk jakości. Oceny stanu faktycznego i pożądanego poziomu kompetencji zostały wyrażone w postaci trójkątnych liczb rozmytych. Pozwoliło to uwzględnić w analizach niepewność i subiektywizm ocen respondentów. Same luki kompetencyjne, stanowiące różnice między oczekiwaniami i stanem faktycznym, również wyrażone były w postaci liczb rozmytych. Porównanie luk kompetencyjnych wymagało zastosowania metod porównywania liczb rozmytych. W tym celu zastosowałem tzw. metodę wyostrzania opisaną m.in. w opracowaniu Tsaur, Chang, Yen (2002). Dla wszystkich kompetencji miękkich wyszczególnionych w badaniu zaobserwowano luki ujemne. Oznacza to, że oczekiwania przedsiębiorców w stosunku do poziomu kompetencji u zatrudnianych absolwentów przewyższały poziomy rzeczywiście obserwowane. Największe, ujemne luki odnotowano dla umiejętności rozwiązywania problemów oraz elastycznego myślenia. Stosunkowo najlepiej oceniane były umiejętność radzenia sobie ze stresem oraz umiejętność pracy w zespole.

Mimo wielu zalet pomiar i analiza wyników badań ankietowych z zastosowaniem rozmytych skal konwersji ma również pewne ograniczenie. Wynika ono z subiektywnego

definiowania funkcji przynależności liczb rozmytych, co może prowadzić do różnic w wynikach analiz w zależności od zastosowanej funkcji. Z tego względu na potrzeby prowadzonych przeze mnie badań w kolejnym artykule [4] zaproponowałem rozwiązanie pośrednie. Jest ono bardziej przyjazne dla uczestników badania niż rozmyte skale szacunkowe a jednocześnie pozwala ustalić parametry liczb rozmytych przez samych respondentów. Badanie dotyczyło kształcenia ustawicznego realizowanego na terenie podregionu wałbrzyskiego i zostało przeprowadzone wśród doradców zawodowych metodą PAPI (*Paper & Pencil Personal Interview*). Pomiar opinii doradców zawodowych dotyczył m.in. determinant rozwoju kształcenia ustawicznego w podregionie wałbrzyskim, zapotrzebowania na kierunki kształcenia ustawicznego oraz szkoleń wpływających na efektywność procesu doradczego realizowanego przez doradców. Zastosowano dwie klasyczne 5-cio stopniowe skale szacunkowe, odpowiednio do oceny stanu oraz oceny ważności. Wszystkie punkty tych skal wyrażono w postaci wartości lingwistycznych. Punkty te zostały następnie transformowane do postaci trójkątnych i trapezoidalnych liczb rozmytych. W tym celu zastosowano dwa pytania pomocnicze, a odpowiedzi doradców na te pytania wykorzystano do ustalenia parametrów liczb rozmytych. Każdy z respondentów, dla każdej z pięciu wartości lingwistycznych przyporządkował trzy liczby z zakresu [0%-100%] – wartość najlepiej oddającą jego zdaniem znaczenie danej kategorii słownej oraz ewentualnie dopuszczalną dolną i górną granicę odchyleń. Tak sformułowane pytania pozwoliły w bezpośredni sposób oszacować dla każdego respondenta znaczenie poszczególnych kategorii poprzez przyporządkowanie im liczb rozmytych, których środkami są wartości optymalne a lewymi i prawymi zakresami dziedzin odpowiednio dolne i górne granice. Wyniki uśredniono dla całej próby badawczej poprzez obliczenie średnich liczb rozmytych dla każdej z pięciu kategorii słownych. Otrzymane w ten sposób rozmyte skale konwersji wskazały na różnice w postrzeganiu przez doradców zawodowych znaczenia poszczególnych punktów skal pomiaru i zasadności przyjętego podejścia rozmytego. W przypadku obu skal zaobserwowano prawidłowość, że im bardziej na prawo kontinuum skali znajdowały się kategorie słowne tym większa była rozpiętość zakresu dziedzin przyporządkowanych im liczb rozmytych. Oznacza to, że respondenci uczestniczący w badaniu mieli bardziej sprecyzowane lewostronne kategorie skal pomiarowych w stosunku do pozostałych. Uwzględnienie tego faktu na etapie analizy wyników pomiaru pozwoliło sformułować w opracowaniu wiele wniosków i zaleceń praktycznych dla kształcenia ustawicznego w podregionie wałbrzyskim.

Do najważniejszych osiągnięć teoretycznych i aplikacyjnych wyżej omówionych badań, wpisujących się w rozwój dyscypliny ekonomia i finanse, należy zaliczyć:

– wykazanie różnic w postrzeganiu przez respondentów znaczenia kategorii słownych porządkowych skal pomiaru, co wskazuje na konieczność uwzględniania w badaniach zjawisk społeczno-ekonomicznych zmienności interpretacyjnej punktów tych skal;
– rozwój bardziej elastycznych narzędzi pomiaru opinii respondentów, uwzględniających zarówno ograniczenia klasycznej teorii pomiaru, jak i potencjał teorii zbiorów rozmytych;
– propozycję budowy rozmytych skal pomiaru, opartych na klasycznych formatach odpowiedzi znanych respondentom, które zachowują przyjazny charakter skal typu Likerta, a jednocześnie umożliwiają uwzględnienie subiektywności ocen w formie liczb rozmytych;
– opracowanie procedury aktywnego udziału respondentów w procesie „rozmywania" skal prostych, polegającej na samodzielnym przyporządkowaniu przez nich parametrów liczb rozmytych do kategorii słownych. Pozwala to ustalić znaczenie tych kategorii na podstawie percepcji respondentów, a nie wyłącznie założeń badacza;
– zastosowanie opracowanych skal i koncepcji rozmytego modelu luk jakości w badaniach społeczno-ekonomicznych, w tym m.in. w diagnozie oczekiwań kompetencyjnych przedsiębiorców sektora MŚP oraz ocenie determinant rozwoju kształcenia ustawicznego.

B. Propozycja zastosowania modeli odpowiedzi na zadania testowe w konstrukcji rozmytych skal konwersji dla rozmytej metody TOPSIS (pozycje [6-8] i [12] wykazu)

Popularne w badaniach rozmyte skale konwersji są atrakcyjne z aplikacyjnego punktu widzenia, ale obarczone subiektywizmem w ustalaniu parametrów liczb rozmytych. Dlatego kontynuując badania nad pomiarem zjawisk społeczno-ekonomicznych z zastosowaniem zbiorów rozmytych moją uwagę zwróciły, jako potencjalne narzędzia konstrukcji rozmytych skal konwersji, modele zaproponowane na gruncie teorii odpowiedzi na zadania testowe (*IRT - Item Response Theory*).

Teoria IRT jest alternatywnym, w stosunku do klasycznej teorii pomiaru sposobem analizy odpowiedzi na pytania kwestionariuszowe umożliwiającym zwiększenie dokładności i rzetelności pomiaru. Modele IRT mogą być stosowane zarówno na etapie konstrukcji narzędzi pomiarowych jak i na etapie analizy wyników badania. Pierwsze próby implementacji modeli IRT w konstrukcji rozmytych skal pomiarowych podjął Yu, Wu (2007) stosując model odpowiedzi częściowych PCM (*Partial Credit Model*) zaproponowany przez Masters (1982) i liczby rozmyte w ocenie pomiarów psychologicznych.

Moje badania w tym obszarze zainicjowałem artykułem [6], w którym podjąłem próbę konstrukcji rozmytych skal konwersji z zastosowaniem modelu jednorodnej skali porządkowej RSM (*Rating Scale Model*) zaproponowanego przez Andricha (1978) a będącego rozszerzeniem modelu Rascha (1960). Przedstawiona w artykule [6] a następnie rozwijana w artykułach [7], [8] i [12] koncepcja stosowania modeli IRT w konstrukcji rozmytych skal pomiarowych polega na wykorzystaniu tzw. wartości progowych, szacowanych w ramach modeli IRT do ustalenia trzech parametrów trójkątnych liczb rozmytych. Wartości tych parametrów dla każdego z punktów szacunkowych skal pomiarowych ustalane są zgodnie z odpowiadającymi tym punktom wartościami progowymi. Wartości progowe wyznaczane są na kontinuum zmiennej ukrytej w punkcie przecięcia krzywych charakterystycznych sąsiadujących ze sobą kategorii. Zatem wartość progową stanowi punkt, w którym prawdopodobieństwo wyboru przez respondenta jednej z dwóch sąsiadujących kategorii jest takie samo i wynosi 0,5.

Praktyczne zastosowanie tej koncepcji po raz pierwszy wykorzystałem w pomiarze satysfakcji z sytuacji zawodowej mieszkańców obszaru przygranicznego obejmującego dwa powiaty: po stronie polskiej – powiat zgorzelecki, a po stronie niemieckiej – powiat Görlitz. Każde z kryteriów cząstkowych respondenci oceniali z zastosowaniem 5-cio stopniowej porządkowej skali pomiaru z kategoriami odpowiednio od „bardzo niezadowolony" do „bardzo zadowolony". Dla każdego z kryteriów zaproponowałem rozmyte skale konwersji na bazie wartości progowych oszacowanych z zastosowaniem modelu RSM. Zaobserwowałem duże różnice w rozpiętościach trójkątnych liczb rozmytych przyporządkowanych poszczególnym pozycjom skal porządkowych. Wśród punktów skali można było zaobserwować zarówno te o niewielkim, jak i dużym rozmyciu. Zatem można przyjąć, że w pierwszym przypadku percepcja postrzegania przez respondentów znaczenia wartości lingwistycznych przyporządkowanych punktom skali była bardzo podobna. W drugim przypadku, duże rozmycie świadczyło o istnieniu rozbieżności znaczenia pozostałych wartości lingwistycznych w percepcji respondentów. Dysponując tak oszacowanymi skalami rozmytymi możliwa była transformacja ocen kryteriów dokonana przez każdego z respondentów z zastosowaniem klasycznej skali porządkowej na odpowiadające im trójkątne liczby rozmyte. Następnie, zgodnie z zasadami arytmetyki dla liczb rozmytych, oszacowałem średnie poziomy zadowolenia z aspektów pracy dla całej próby badawczej również w postaci trójkątnych liczb rozmytych. Średnie oceny poziomu zadowolenia były podobne dla wszystkich kryteriów oceny pod względem rozpiętości liczb rozmytych a także wartości ich parametrów. Najbardziej zbliżona do symetrycznej liczby trójkątnej była ocena pierwszego kryterium (zadowolenie z aktualnej pracy), najmniej kryterium trzeciego (szansa na znalezienie nowej, atrakcyjnej pracy). To właśnie między tymi kryteriami należało się

spodziewać największych różnic w ocenach respondentów, przy czym o ostatecznych wynikach porównania w dużym stopniu mógłby zdecydować wybór metody wyostrzania liczb rozmytych, który często jest subiektywny. Pozostawienie wyników pomiaru w formie trójkątnych liczb rozmytych jest zasadne dzięki dostępnym w literaturze rozmytym modyfikacjom metod statystycznej analizy wielowymiarowej. Takie podejście nie wymusza utraty informacji o stopniu rozmycia danych pomiarowych a zastosowane np. w konstrukcji rozmytych miar syntetycznych nie wymaga zabiegu wyostrzania, co czyni wyniki pomiaru bardziej obiektywnymi i rzetelnymi.

Wyniki konwersji porządkowych skal pomiaru do rozmytych skal konwersji opisane w artykule [6] ponownie potwierdziły brak podstaw do przyjmowania w pomiarze zjawisk społeczno-ekonomicznych z zastosowaniem szacunkowych skal pomiarowych fundamentalnego założenia o równych odległościach między punktami tych skal. Ponadto propozycja zastosowania modelu IRT w konstrukcji rozmytych skal konwersji czyni podejście rozmyte jeszcze bardziej przyjaznym dla respondenta, bowiem zwalnia go z konieczności ustalania parametrów liczb rozmytych.

Z uwagi na obiecujące wyniki proponowanego podejścia w artykule [7] rozszerzyłem zastosowanie modeli IRT do konstrukcji rozmytych skal konwersji dla potrzeb budowy rozmytych miar syntetycznych, będących narzędziem porządkowania liniowego obiektów pod względem złożonych zjawisk społeczno-ekonomicznych. W tym celu wybrałem jedną z bardziej popularnych rozmytych metod konstrukcji miary syntetycznej, zwłaszcza w literaturze zagranicznej, określaną jako rozmyta metoda TOPSIS (*Fuzzy Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*). Zaproponowany przeze mnie model jest podejściem hybrydowym łączącym model RSM z rozmytą metodą TOPSIS (RSM-TOPSIS). Rozmyty model RSM-TOPSIS został zaprojektowany dla sytuacji, w której oceny zmiennych diagnostycznych charakteryzujących wielowymiarowe obiekty wyrażone są na skalach przedziałowych i/lub interwałowych natomiast wagi tych zmiennych ustalane są na podstawie opinii ekspertów, respondentów itp.

Zaproponowany model zastosowałem w zagadnieniu pozycjonowania produktów na przykładzie telefonów komórkowych. W tym celu dokonałem liniowego uporządkowania 10 wybranych smartfonów scharakteryzowanych pod względem 6 zmiennych: rozmiar ekranu, rozdzielczość ekranu w poziomie, rozdzielczość ekranu w pionie, rozdzielczość wbudowanego aparatu cyfrowego, ilość pamięci wbudowanej, pamięć RAM, maksymalny czas rozmów. Aby oszacować współczynniki ważności każdej ze zmiennych przeprowadziłem badanie internetowe wśród użytkowników smartfonów. Respondenci oceniali ważność zmiennych diagnostycznych z zastosowaniem 5-cio stopniowej porządkowej skali pomiaru z opisanymi

wszystkimi punktami skali zaczynając od „zdecydowanie nieważne" a kończąc na „zdecydowanie ważne". Dla ocen ważności każdej ze zmiennych przedstawiono krzywe charakterystyczne i wyszczególniono punkty odcięcia. Następnie, zgodnie z metodyką zaprezentowaną w opracowaniu [6], oceny ważności nadane przez respondentów zostały wyrażone poprzez trójkątne liczby rozmyte zgodnie z parametrami oszacowanych rozmytych skal konwersji. Oceny te zostały następnie uśrednione dla całej próby badawczej. W rezultacie współczynniki ważności każdej ze zmiennych wyrażone były w postaci uśrednionych, trójkątnych liczb rozmytych. Przemnożenie współczynników ważności przez wartości zmiennych pozwoliło otrzymać znormalizowane, ważone wartości zmiennych wyrażone w postaci trójkątnych liczb rozmytych. Ponieważ jeden z etapów modelu RSM-TOPSIS wymaga ustalenia współrzędnych obiektu wzorcowego i antywzorcowego w tym celu należało porównać znormalizowane, ważone wartości zmiennych i wskazać wartości maksymalne i minimalne. Zastosowałem metodę wyostrzania zaprezentowaną w opracowaniach Ding, Liang (2005) oraz Wysokiego (2010). Współrzędne obiektu wzorcowego i antywzorcowego ustaliłem odpowiednio na podstawie maksymalnych i minimalnych trójkątnych liczb rozmytych zaobserwowanych w próbie badawczej. Zastosowanie odległości Euklidesa dla trójkątnych liczb rozmytych pozwoliło obliczyć odległości między ocenianymi obiektami a obiektem wzorcowym i antywzorcowym a następnie oszacować na ich podstawie wartości miar syntetycznych.

Na wyniki porządkowania liniowego obiektów z zastosowaniem modeli hybrydowych łączących modele IRT z rozmytą metodą TOPSIS może wpływać wiele czynników, ale jednym z kluczowych jest wybór modelu IRT umożliwiającego dokonanie transformacji wyników pomiaru do postaci liczb rozmytych. Dlatego kontynuowałem temat pozycjonowania produktów z zastosowaniem rozmytej metody TOPSIS w kolejnym artykule [8], w którym oprócz modelu RSM zastosowałem dodatkowo dwa inne modele: PCM i uogólniony model odpowiedzi częściowej GPCM *(Generalized Partial Credit Model*) (Muraki 1992).

Modele PCM i GPCM są mniej restrykcyjne niż RSM bowiem nie zakładają równych odległości między wartościami progowymi w ramach pozycji skali a ponadto progi mogą się różnić między pozycjami skali. Dodatkowo w modelu GPCM wprowadzono parametr dyskryminacji pozwalający lepiej odwzorować sytuację, w której pozycje różnią się pod względem zdolności do dyskryminacji poziomów zmiennej ukrytej (modele RSM i PCM zakładają stałą wartość dyskryminacji co oznacza, że pozycje są w jednakowym stopniu „wrażliwe" na różnice w poziomie zmiennej ukrytej). Dzięki temu model uznawany jest za bardziej elastyczny w stosunku do modeli RSM i PCM oraz lepiej dopasowujący się do złożonych struktur danych. W celu sprawdzenia wrażliwości wyników porządkowania liniowego obiektów zastosowałem

ten sam zbiór danych co w artykule [7]. Otrzymane wyniki wykazały, że rozpiętości liczb rozmytych przyporządkowane ocenom ważności zmiennych wyrażonych w postaci wartości lingwistycznych różniły się w zależności od wybranego modelu IRT. Zaobserwowałem również różnice w wartościach miar syntetycznych dla trzech porównywanych metod hybrydowych, ale różnice te nie miały wpływu na ostateczne wyniki porządkowania liniowego analizowanych smartfonów. Otrzymane wyniki należało jednak traktować wyłącznie jako wstępne z uwagi na stosunkowo małą liczebność próby badawczej.

Rozszerzeniem i podsumowaniem moich badań nad łączeniem modeli IRT z rozmytą metodą TOPSIS w zagadnieniu porządkowania liniowego obiektów był artykuł [12], w ramach którego dokonałem pomiaru subiektywnej jakości życia zawodowego mieszkańców 5 gmin powiatu wałeckiego (województwo zachodniopomorskie). Rozmytą miarę syntetyczną skonstruowałem na podstawie 12 zmiennych diagnostycznych. Każda ze zmiennych została oceniona przez respondentów na podstawie 5-cio punktowej porządkowej skali pomiaru gdzie oceny 1 i 5 oznaczały odpowiednio bardzo niskie i bardzo wysokie oceny zmiennych diagnostycznych. Pozostałe punkty skali również były wyrażone w postaci kategorii słownych. Wszystkie zmienne charakteryzowały się stymulującą funkcją preferencji. Zasadniczym celem opracowania była konstrukcja i analiza porównawcza rozmytych miar syntetycznych w pomiarze subiektywnej jakości życia zawodowego z zastosowaniem rozmytej metody TOPSIS, klasycznych modeli IRT wykorzystanych w artykułach [7] i [8] oraz dodatkowo modelu odpowiedzi stopniowanej GRM (*Graded Response Model*) (Samejima 1969). Ponadto na potrzeby analizy porównawczej oszacowano dodatkowo wartości miar syntetycznych dla pięciu rozmytych skal konwersji stosowanych w literaturze w połączeniu z rozmytą metodą TOPSIS. Ponadto uwzględniono również opcję tzw. sztucznego wzmocnienia porządkowej skali pomiaru (zob. np. Walesiak 2012) i zastosowania klasycznej metody TOPSIS. Analizę porównawczą przeprowadzono w przekroju dwóch podejść do ustalenia współrzędnych obiektu wzorcowego i antywzorcowego. W pierwszym przypadku wartości współrzędnych obiektu wzorcowego i antywzorcowego ustalono w sposób proponowany w opracowaniu Chena (2000) a więc na podstawie trójkątnych liczb rozmytych odpowiednio o parametrach (1, 1, 1) oraz (0, 0, 0). W drugim przypadku współrzędne tych obiektów wyznaczono na podstawie odpowiednio maksymalnych i minimalnych trójkątnych liczb rozmytych zaobserwowanych w próbie badawczej.

Sposób ustalenia współrzędnych obiektu wzorcowego i antywzorcowego miał duży wpływ na wartości oszacowanych miar syntetycznych. W pierwszym przypadku zakresy zmienności wartości miar syntetycznych otrzymanych z zastosowaniem modeli IRT były zbliżone a także zdecydowanie niższe niż w drugim podejściu. Miary syntetyczne skonstruowane z

zastosowaniem modeli IRT i rozmytej metody TOPSIS miały wyższe wartości w porównaniu do miar opartych na rozmytych skalach konwersji zaczerpniętych z literatury przedmiotu. Oba podejścia jednak zdecydowanie odstawały pod względem wartości i zakresu zmienności miar syntetycznych od podejścia zakładającego sztuczne wzmocnienie porządkowej skali pomiaru. W tym przypadku wyniki pomiaru subiektywnej jakości życia zawodowego w analizowanych gminach były wyższe i bardziej zróżnicowane.

Ustalenie współrzędnych obiektu wzorcowego i antywzorcowego na podstawie odpowiednio maksymalnych i minimalnych trójkątnych liczb rozmytych zaobserwowanych w próbie badawczej w znaczący sposób wpłynęło na zmienność wartości miar syntetycznych. Dla większości modeli IRT zaobserwowano większą zmienność niż w pierwszym przypadku. Najbardziej zróżnicowane wartości miary syntetycznej otrzymano dla modelu RSM. Miary syntetyczne wykorzystujące modele IRT charakteryzowały się stosunkowo niższymi wartościami przy ich większej zmienności niż miary oparte na rozmytych skalach konwersji. Ponownie najwyższymi wartościami miary syntetycznej, przy jednocześnie dużej zmienności, charakteryzował się wariant zakładający wzmocnienie porządkowej skali pomiaru. Na podkreślenie zasługuje również fakt, że w obu wariantach ustalania współrzędnych obiektów wzorcowych rozkład wartości miar syntetycznych otrzymanych z zastosowaniem modeli IRT był mocno zbliżony do rozkładu symetrycznego.

Wyniki analizy porównawczej potwierdziły wnioski płynące z wcześniejszych badań nad zastosowaniem modeli IRT w konstrukcji miar syntetycznych zgodnie z założeniami rozmytej metody TOPSIS. Parametry oszacowanych rozmytych skal konwersji różniły się w zależności od zastosowanego modelu IRT, co skutkowało różnicami w wartościach miar syntetycznych dla analizowanych obiektów. Różnice te nie przełożyły się jednak na liniowe uporządkowanie obiektów, ale mogłyby wpłynąć na wyniki dalszych analiz wielowymiarowych z zastosowaniem rozmytych miar syntetycznych. Zatem na tym etapie badań wydaje się, że wybór spośród modeli IRT w zagadnieniu porządkowania liniowego obiektów z zastosowaniem rozmytej metody TOPSIS będzie miał w dużej mierze charakter subiektywny. Z pewnością większą uwagę przy wyborze modeli należałoby zachować w przypadku, gdy wyniki pomiaru będą jedynie elementem szerszych analiz z zastosowaniem metod statystycznej analizy wielowymiarowej. Na decyzję co do wyboru modelu IRT będzie również wpływała konstrukcja samego narzędzia pomiarowego a szczególnie np. zróżnicowana liczba kategorii dla poszczególnych pozycji skali. Pomocne może być również doświadczenie badacza płynące z poprzednich pomiarów wybranego zjawiska złożonego m.in. w kontekście stopnia zróżnicowania odległości między punktami skali w ramach poszczególnych pozycji skali. Pewnych podpowiedzi co do wyboru

modelu mogą również dostarczyć badania pilotażowe poprzedzające badania zasadnicze i próba oszacowania a następnie porównania otrzymanych rozmytych skal konwersji.

Do najważniejszych osiągnięć teoretycznych i aplikacyjnych wyżej omówionych badań, wpisujących się w rozwój dyscypliny ekonomia i finanse, należy zaliczyć:

– propozycję obiektywnego sposobu budowy rozmytych skal konwersji opartego na modelach IRT, eliminującą subiektywizm w przypisywaniu parametrów liczb rozmytych do punktów porządkowych skal pomiaru. Wykazano, że wartości progowe estymowane w modelach IRT mogą stanowić podstawę do określania kształtu i rozpiętości trójkątnych liczb rozmytych, co pozwala na uchwycenie zróżnicowania percepcji punktów skal pomiaru przez respondentów;
– rozwój podejścia hybrydowego integrującego rozmytą metodę TOPSIS z rozmytymi skalami konwersji opartymi na modelach IRT, umożliwiającego porządkowanie liniowe obiektów w warunkach niepewności pomiaru, której źródłem są subiektywne opinie respondentów;
– empiryczną weryfikację proponowanego podejścia hybrydowego w analizie wyników badań ankietowych.

C. Propozycje rozmytych modyfikacji skal wielowymiarowych z zastosowaniem liczb rozmytych (pozycje [5] i [10] wykazu)

Wiele zjawisk społeczno-ekonomicznych będących przedmiotem pomiaru ma charakter złożony przez co wymaga stosownych narzędzi pomiarowych. Jednym z nich są skale złożone, które umożliwiają jednoczesny pomiar i analizę związków między wieloma wymiarami zjawiska społeczno-ekonomicznego. Takie podejście pozwala na bardziej kompleksowe i wszechstronne zrozumienie tych zjawisk. Skale te mają jednak swoje ograniczenia związane m.in. z brakiem możliwości uwzględnienia subiektywizmu w postrzeganiu i ocenie zjawisk przez respondentów. Próbą przezwyciężenia tych ograniczeń są propozycje rozmytych modyfikacji skal złożonych. Rozmyte skale złożone są narzędziami bardziej elastycznymi, pozwalającymi respondentom wyrażać swoje opinie w sposób bardziej subiektywny przez co mogą przyczyniać się do pozyskiwania bardziej wiarygodnych i precyzyjnych wyników pomiaru zjawisk ekonomicznych. Włączając się w nurt badań nad rozmytymi modyfikacjami skal złożonych zaproponowałem modyfikacje dwóch popularnych skal złożonych określanych odpowiednio rozmytymi metodami SERVQUAL i WebQual.

Metoda SERVQUAL zaproponowana przez Parasuraman, Zeithaml i Berry (1998) stosowana jest w badaniach satysfakcji i jakości usług. Doczekała się wielu modyfikacji, w tym również tych wykorzystujących szczególną postać zbiorów rozmytych jaką są liczby rozmyte (zob. np. Hu, Lee i Yen 2010; Liu i in. 2015). Zasadność tych modyfikacji została potwierdzona w artykułach, których autorzy wykazali wysoką rzetelność pomiaru rozmytej metody SERVQUAL czy wręcz jej przewagę w tym względzie nad wariantem klasycznym (zob. np. Hu, Lee, Yen 2010; Charles, Kumar, Suggu 2013). Rozmyte modyfikacje metody SERVQUAL różnią się głównie sposobami ustalenia współczynników ważności, stosowanymi rozmytymi skalami konwersji czy też przeprowadzonymi operacjami arytmetycznymi na zbiorach rozmytych celem np. wyostrzania wyników cząstkowych.

Moja propozycja rozmytej modyfikacji metody SERVQUAL przedstawiona w artykule [10] różni się od niektórych propozycji dostępnych w literaturze przedmiotu m.in. tym, że wykorzystuje arytmetykę liczb rozmytych na każdym etapie szacowania wyników cząstkowych oraz ogólnego wskaźnika SERVQUAL. Na każdym etapie szacowania wskaźnika wyniki mają postać trójkątnych liczb rozmytych. Zabieg wyostrzania następuję dopiero wówczas, gdy wyniki pomiaru mają służyć analizom porównawczym. Takie podejście pozwala uwzględnić niepewność związaną z pomiarem opinii konsumentów na każdym etapie szacowania cząstkowych oraz całkowitego wskaźnika SERVQUAL. Druga istotna różnica dotyczy sposobu ważenia zmiennych oraz wymiarów SERVQUAL. Zastosowałem propozycję przedstawioną w oryginalnym, klasycznym wariancie SERVQUAL polegającą na rozdzieleniu 100 punktów między wymiary SERVQUAL (Parasuraman, Berry, Zeithalm 1991). Konkurencyjnym podejściem w tym zakresie mogą być propozycje wykorzystujące miary entropii (Abdolvand, Taghipouryan 2011) czy rozmytą metodę AHP (*Analytic Hierarchy Process*) (Lupo 2013).

Proponując rozmytą modyfikację metody SERVQUAL zauważyłem, że istniejące już w literaturze propozycje wykorzystują rozmyte skale konwersji przy czym dominują skale pięciopunktowe. Punkty tych skal są reprezentowane głównie przez symetryczne trójkątne liczby rozmyte. W większości przypadków autorzy zakładają jednakowe rozpiętości liczb rozmytych przypisanych do punktów skali. Asymetryczne liczby rozmyte przypisuje się głównie skrajnym punktom skali. Charakterystyczne jest również to, że w większości przypadków, zarówno w ocenie oczekiwań, jak i percepcji wykorzystywane są jednakowe parametry liczb rozmytych reprezentujących punkty skal pomiarowych. Zasadnicze różnice między skalami dotyczą stosowanych kategorii słownych i przypisanych im parametrów trójkątnych liczb rozmytych. W tym miejscu należy podkreślić występowanie kolejnej luki badawczej polegającej na braku wskazań co do wyboru rozmytej skali konwersji odpowiedniej dla rozmytej metody

SERVQUAL. W przypadku braku wskazań co do wyboru tych skal konwersji postanowiłem zbadać czy ich wybór może mieć wpływ na wyniki pomiaru z zastosowaniem proponowanej przeze mnie rozmytej metody SERVQUAL. Wykorzystałem w tym celu wyniki badań satysfakcji pracowników 16 jednostek samorządu terytorialnego (urzędów gmin i urzędów powiatowych) zlokalizowanych na terenie województwa zachodniopomorskiego. Pracownicy wyrażali swoje opinie na 5-cio stopniowej skali pomiaru oceniając 23 atrybuty pracy zgrupowane w 5 wymiarach. Pomiar satysfakcji pracowników zgodnie z zaproponowaną przeze mnie metodyką rozmytej metody SERVQUAL, powtórzyłem czterokrotnie dla wybranych rozmytych skal konwersji. Obliczyłem również klasyczny wariant metody SERVQUAL. Uzyskane w ten sposób wyniki dla 5 wariantów modeli SERVQUAL porównałem zarówno na poziomie poszczególnych atrybutów satysfakcji z pracy, jak i ważonych oraz nieważonych wskaźników SERVQUAL. Dla każdego z 23 atrybutów, stosując wybrane rozmyte skale konwersji, obliczyłem tzw. rozmyte luki jakości, które następnie wyostrzyłem metodą Chena (1999). Na podstawie oszacowanych luk jakości opracowałem 5 rankingów atrybutów, przy czym o miejscu w rankingu decydowała wartość luki jakości - im większa dodatnia luka tym wyższa pozycja atrybutu w rankingu. Wysoką zgodność rankingów potwierdziłem za pomocą współczynnika tau Kendalla. Bardzo podobne wyniki otrzymałem w analizach porównawczych ważonych i nieważonych wskaźników SERVQUAL. Jedna z przyczyn uzyskania bardzo dużej zgodności rankingów atrybutów i wymiarów, niezależnie od tego, która rozmyta skala konwersji została zastosowana, tkwi w konstrukcji tych skal. Badacze przyjmują bowiem założenie o jednakowej rozpiętości liczb rozmytych przyporządkowanych wszystkim poza skrajnymi punktami skali. Co więcej, liczby te są zwykle symetryczne. To, w połączeniu ze stosowanymi metodami wyostrzania, prowadzi do przesunięcia wyników pomiarów na kontinuum skali, ale odległość pomiędzy punktami skali pozostaje taka sama, jak w podejściu klasycznym wykorzystującym skale typu Likerta. W rezultacie obliczone wyniki SERVQUAL mogą znacznie różnić się pod względem wartości bezwzględnych, ale relacje mniejszości i większości między nimi pozostają zwykle takie same.

W pomiarze zjawisk społeczno-ekonomicznych często wykorzystywane się informacje zamieszczane na stronach internetowych portali informacyjnych. W takich przypadkach wiarygodność i aktualność zamieszczanych informacji to tylko niektóre z aspektów, które mogą decydować o trafności i rzetelności pomiarów i analiz. Rozwój metod oceny internetowych portali informacyjnych następował równolegle z rozwojem metod oceny serwisów typu e-commerce, przy czym w tym drugim przypadku można spotkać zdecydowanie więcej propozycji metodycznych, głównie ze względu na dynamiczny rozwój handlu elektronicznego. Mając jednak

na uwadze złożoność współczesnej gospodarki oraz postęp technologiczny w obszarze analizy danych można wyraźnie zaobserwować rosnące potrzeby informacyjne w obszarze badań ekonomicznych, które wymagają rzetelnych, wiarygodnych i aktualnych informacji. To z kolei wymaga ciągłego doskonalenia internetowych portali informacyjnych i rozwoju metod ich oceny. W tym celu zaproponowałem w artykule [5] rozmytą metodę WebQual dedykowaną internetowym serwisom informacyjnym, która w oryginalnej postaci została zaproponowana przez Barnes, Vidgen (2000). Według mojej wiedzy była to pierwsza taka modyfikacja, która wykorzystywała liczby rozmyte i rozmyte skale konwersji. Inna propozycja połączenia zbiorów rozmytych z metodą WebQual była jedynie podejściem hybrydowym polegającym na wykorzystaniu klasycznego wariantu metody WebQual oraz rozmytej metody AHP (Shahin, Pool, Poormostafa 2014). Użyteczność metody zaprezentowałem na przykładzie oceny internetowego serwisu informacyjnego Głównego Urzędu Statystycznego. W tym celu przeprowadziłem badanie ankietowe na próbie celowej 102 studentów Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie (ze specjalności Informatyka i Ekonometria oraz Analityka Gospodarcza) i we Wrocławiu (ze specjalności Ekonomia Menedżerska oraz Gospodarka i Administracja Publiczna). Studenci tych specjalności systematycznie korzystali na zajęciach z portalu informacyjnego GUS dlatego ich opinie były poparte doświadczeniem w korzystaniu z tego typu usług informacyjnych oraz sprecyzowanymi oczekiwaniami co do nich. Studenci oceniali ważność oraz percepcję każdego z kryteriów odpowiednio za pomocą dwóch pięciostopniowych skal szacunkowych. Wszystkie punkty tych skal posiadały przyporządkowane kategorie słowne. Następnie dla każdej kategorii tych skal studenci jednorazowo przyporządkowali wartości z przedziału [0%-100%], która ich zdaniem najlepiej oddawała natężenie poszczególnych kategorii. Wartości te wykorzystałem w ustaleniu parametrów trójkątnych liczb rozmytych, na podstawie których zbudowałem dwie rozmyte skale konwersji odpowiednio dla ocen percepcji i ważności. Lewe i prawe zakresy dziedzin liczb rozmytych oraz ich wartości środkowe ustaliłem osobno dla każdej kategorii odpowiednio na podstawie wartości minimalnych, maksymalnych oraz dominujących oszacowanych w próbie badawczej. Było to podejście podobne do tego zastosowanego w opracowaniu [4], ale w jeszcze bardziej uproszczonej wersji bowiem wymagało od respondenta wskazania dla każdej kategorii jedynie jednej wartości. Wyniki takiej transformacji ponownie wykazały, że znaczenie kategorii stanowiących punkty skali pomiaru jest dla respondentów bardzo zróżnicowane. Było to moje kolejne badanie, które potwierdziło, że w przypadku 5-cio stopniowych szacunkowych skal pomiaru z opisanymi wszystkimi punktami respondenci mają bardziej sprecyzowane (mniej rozmyte) oceny punktów skrajnych. Największe rozbieżności w interpretacji kategorii słownych pojawiły się w przypadku środkowych punktów skali zarówno po stronie

ocen ważności, jak i percepcji. Obserwując wartości środkowe zastosowanych liczb rozmytych można wyraźnie zauważyć, że założenie równości przedziałów między punktami skali nie jest spełnione. W takim przypadku transformacja punktów skali pomiarowej do postaci liczb rozmytych a następnie analiza wyników badania z zastosowaniem zasad arytmetyki dla liczb rozmytych prowadzi do bardziej rzetelnych i dokładnych wyników.

Proponowane podejście pozwoliło oszacować wartość rozmytego indeksu WebQual na poziomie 71,26% co oznaczało wysoką ocenę jakości serwisu informacyjnego GUS. Respondenci najwyżej ocenili wiarygodności informacji zawartych na stronie serwisu. Wysoko oceniono również aktualność zamieszczanych informacji oraz ich istotność. Sam serwis wysoko oceniono pod względem fachowości oraz szybkości uruchamiania się i reagowania na polecenia użytkownika. Wskazano również elementy, które wymagają podjęcia działań doskonalących, takie jak łatwość znalezienia informacji na stronie oraz łatwość interakcji ze stroną.

Do najważniejszych osiągnięć teoretycznych i aplikacyjnych wyżej omówionych badań, wpisujących się w rozwój dyscypliny ekonomia i finanse, należy zaliczyć:

- zaproponowanie rozmytych wersji dwóch uznanych skal pomiaru jakości SERVQUAL i WebQual uwzględniających subiektywność ocen oraz niepewność interpretacyjną respondentów, które umożliwiają uzyskanie bardziej wiarygodnych wyników pomiaru;
- empiryczną weryfikację zaproponowanych rozmytych skal wielowymiarowych odpowiednio w badaniu satysfakcji pracowników oraz ocenie jakości informacyjnej strony internetowej;
- opracowanie prostego mechanizmu konstrukcji rozmytych skal konwersji na podstawie ocen respondentów, co czyni te narzędzia bardziej praktycznymi i możliwymi do zastosowania w badaniach terenowych.

D. Pomiar złożonych zjawisk społeczno-ekonomicznych z zastosowaniem Intuicjonistycznej Rozmytej Miary Syntetycznej i danych ankietowych (pozycje [11] i [16] wykazu)

Zaproponowane wcześniej podejścia w konstrukcji rozmytych miar syntetycznych dla złożonych zjawisk społeczno-ekonomicznych kwantyfikowanych na poziomie takich obiektów badawczych jak przedsiębiorstwa, instytucje, jednostki terytorialne a opartych na opiniach respondentów, zakładają agregację, najczęściej poprzez uśrednienie, wyników pomiaru dla każdej zmiennej diagnostycznej na poziomie każdego z tych obiektów. Alternatywnym podejściem dla uzyskania ocen zmiennych diagnostycznych na poziomie obiektów badawczych może być

transformacja wyników klasycznego pomiaru z zastosowaniem skal porządkowych do postaci intuicjonistycznych zbiorów rozmytych IFS (*Intuitionistic Fuzzy Sets*).

Teoria intuicjonistycznych zbiorów rozmytych zaproponowana przez Atanassova (1986) stanowi uogólnienie teorii zbiorów rozmytych Zadeha. W teorii zbiorów rozmytych zakłada się, że nieprecyzyjność modelowana jest wyłącznie przez stopień przynależności elementu do zbioru rozmytego wyrażony w postaci pojedynczej wartości z przedziału [0-1]. Stopień nieprzynależności elementu do zbioru stanowi dopełnienie do jedności. W przypadku intuicjonistycznych zbiorów rozmytych zakłada się, że stopień przynależności i nieprzynależności są liczbami z przedziału [0-1], ale ich suma nie musi wynosić 1. Dopuszcza się zatem możliwość wystąpienia pewnego marginesu wahania, który w dalszej części będzie określany mianem stopnia niepewności. Wprowadzenie parametru niepewności pozwala w jeszcze bardziej elastyczny sposób modelować niepewność w opiniach respondentów. Podejście to w badaniach społeczno-ekonomicznych, a zwłaszcza w obszarze pomiaru zjawisk złożonych, jest stosunkowo nowe a najliczniejsze próby jego implementacji podejmowane są głównie w obszarze wspomagania podejmowania decyzji.

Prace nad wykorzystaniem IFS w pomiarze złożonych zjawisk społeczno-ekonomicznych na podstawie opinii respondentów z zastosowaniem metod porządkowania liniowego zainicjowałem w opracowaniu [11] proponując modyfikację metody Hellwiga (1968) dla rozmytego środowiska intuicjonistycznego o nazwie Intuicjonistyczna Rozmyta Miara Syntetyczna (*Intuitionistic Fuzzy Synthetic Measure* – ISFM). Punktem wyjścia w IFSM jest przedstawienie ocen zmiennych diagnostycznych dla obiektów badawczych w postaci IFS. Współrzędne obiektu wzorcowego również wyrażone są w postaci IFS. W pomiarze odległości obiektów od obiektu wzorcowego zastosowałem odległość Euklidesa dla IFS. Wybrana przeze mnie formuła odległości, oprócz stopnia przynależności i nieprzynależności, uwzględnia również parametr niepewności. Zasadność uwzględnienia tego parametru, zwłaszcza w kontekście pomiarów odległości między intuicjonistycznymi zbiorami rozmytymi, sugerują w swoich pracach Szmidt (2000) oraz Szmidt, Kacprzyk (2000).

Praktyczne aspekty i użyteczność proponowanej miary przedstawiłem na przykładzie badania subiektywnej jakości życia mieszkańców gmin Krainy Łęgów Odrzańskich przeprowadzonego w 2015 r. na próbie 641 respondentów. Dokonałem porządkowania liniowego 11 gmin pod względem subiektywnej jakości życia scharakteryzowanej za pomocą 8 zmiennych diagnostycznych. W pomiarze tych zmiennych wykorzystano 4 stopniowe, porządkowe skale pomiaru. W przypadku każdej z ocenianych zmiennych respondent mógł wybrać opcję spoza skali „trudno powiedzieć" wyrażającą jego niezdecydowanie. Prezentując pomysł na moją

modyfikację metody Hellwiga poddałem ją jednocześnie analizie porównawczej względem dwóch innych podejść wykorzystujących metodę Hellwiga. Pierwsze z nich zaprezentowane zostało w opracowaniach: Wysocki (2010), Jefmański, Dudek (2016) i polega na zastąpieniu punktów porządkowej skali pomiaru trójkątnymi liczbami rozmytymi. Drugie podejście zakłada nadanie rang puntom skali a następnie wykorzystanie klasycznego wariantu metody Hellwiga. W każdym z tych przypadków zastosowano odległość Euklidesa na etapie porównywania obiektów z obiektem wzorcowym.

Wyniki przeprowadzonej analizy porównawczej wykazały wyraźne różnice w wartościach miar syntetycznych uzyskanych za pomocą trzech metod konstrukcji miar syntetycznych. Wartości IFSM wykazały zdecydowanie większy zakres zmienności w porównaniu do pozostałych dwóch podejść. Najmniejszy zakres zmienności oraz najniższe wartości miar syntetycznych zaobserwowano w przypadku podejścia opartego na wzmocnionej skali pomiaru i klasycznej metodzie Hellwiga w konstrukcji miary syntetycznej. Zastosowanie metody Hellwiga opartej na trójkątnych liczbach rozmytych skutkowało zwiększeniem zakresu zmienności, jak również wzrostem wartości miar syntetycznych dla analizowanych gmin. Jednak największy stopień zróżnicowania gmin zaobserwowałem dla proponowanej przeze mnie IFSM. Dla gmin o najwyższym poziomie subiektywnej jakości życia wartości IFSM przekroczyły poziom 0,6.

W ramach analizy porównawczej zbadano również wpływ konstrukcji zastosowanych miar syntetycznych na wyniki porządkowania liniowego obiektów. Do oceny różnic w uporządkowaniu obiektów zastosowano miarę *tau* Kendalla. Otrzymane wyniki pokazały, że wybór metody konstrukcji miar syntetycznych miał wpływ zarówno na ich wartości, jak i uporządkowanie obiektów. Największe rozbieżności zaobserwowano dla IFSM i klasycznej metody Hellwiga. Natomiast wysokie podobieństwo uporządkowania gmin stwierdzono dla metody IFSM i metody Hellwiga opartej na liczbach rozmytych, pomimo że wystąpiły przypadki znacznych różnic w pozycjach niektórych obiektów.

Proponując IFSM przewidziano również możliwość uwzględnienia obiektu antywzorcowego nawiązując tym samym do modyfikacji metody wzorca rozwoju zaproponowanej w opracowaniu Hellwiga (1981). Rozszerzenie metody IFSM pod nazwą Podwójna Intuicjonistyczna Rozmyta Miara Syntetyczna (*Double Intuitionistics Fuzzy Synthetic Measure* – DIFSM) zaprezentowano w opracowaniu [16] jako metodę wielokryterialnego podejmowania decyzji, celem zwrócenia uwagi na szersze możliwości zastosowania obu miar. Aplikacyjne aspekty miary scharakteryzowano na przykładzie danych zaczerpniętych z opracowania Xu (2007). W konstrukcji miary podniesiono również problem ważenia zmiennych diagnostycznych proponując sposób ustalenia wag z zastosowaniem miary entropii. Wagi oparte na entropii są uznawane za

bardziej obiektywne, ponieważ nie wymagają od badacza oceny ważności kryteriów, a opierają się wyłącznie na wartościach zmiennych diagnostycznych. Z uwagi na fakt, że proponowane rozszerzenie IFSM jest podobne do metodyki TOPSIS w rozmytym środowisku intuicjonistycznym, a zasadnicza różnica dotyczy sposobu agregacji zmiennych, naturalnym było porównanie tych metod (zob. np. Xu (2007), Luo, Yu (2008), Wang, Wei (2008)). W analizie porównawczej z IFSM wykorzystano dwa warianty ważonej metody TOPSIS dla rozmytego środowiska intuicjonistycznego oraz dwa zestawy współczynników ważności dla zmiennych diagnostycznych. Wykazano, że zastosowanie współczynników ważności opartych na entropii zarówno podwyższyło wartości porównywanych miar, jak i zwiększyło ich zdolności dyskryminacyjne. Ponadto przeprowadzona analiza dowiodła, że zaproponowana miara DIFSM cechuje się mniejszą wrażliwością na zastosowane metody określania współczynników ważności niż metoda TOPSIS.

Do najważniejszych osiągnięć teoretycznych i aplikacyjnych wyżej omówionych badań, wpisujących się w rozwój dyscypliny ekonomia i finanse, należy zaliczyć:

- nowatorskie zastosowanie teorii intuicjonistycznych zbiorów rozmytych jako narzędzia transformacji skal porządkowych (stosowanych w badaniach ankietowych) do postaci bardziej elastycznej i adekwatnej do modelowania niepewności oraz niezdecydowania respondentów;
- propozycję nowych metod pomiaru złożonych zjawisk społeczno-ekonomicznych dla danych ankietowych: Intuicjonistycznej Rozmytej Miary Syntetycznej oraz Podwójnej Intuicjonistycznej Rozmytej Miary Syntetycznej. Metody stanowią oryginalne modyfikacje klasycznej metody Hellwiga dostosowanej do rozmytego, intuicjonistycznego środowiska, co pozwala uwzględniać nie tylko stopień przynależności i nieprzynależności, ale również poziom niepewności w ocenach respondentów;
- empiryczną weryfikację użyteczności proponowanych metod w pomiarze subiektywnej jakości życia na podstawie danych pochodzących badań ankietowych;
- przeprowadzenie analizy porównawczej proponowanych miar z innymi metodami, która wykazała różnice i przewagi miar IFSM i DIFSM nad innymi podejściami, w szczególności dowodząc wysokie zdolności dyskryminacyjne miary IFSM oraz niską wrażliwość miary DIFSM na system wag opartych na entropii;
- wykazanie potencjału aplikacyjnego IFSM i DIFSM jako narzędzi wspomagania decyzji w warunkach niepewności i niejednoznaczności danych, co otwiera możliwości ich zastosowania nie tylko w pomiarach zjawisk społeczno-ekonomicznych, ale także w praktyce zarządzania.

E. Pomiar złożonych zjawisk społeczno-ekonomicznych z zastosowaniem Intuicjonistycznych Rozmytych Miar Syntetycznych i zagregowanych danych porządkowych (pozycje [13], [15] i [18] wykazu)

Proponowana miara IFSM znajduje zastosowanie zarówno w przypadku posiadania precyzyjnej informacji o ocenach obiektów na poziomie zmiennych diagnostycznych i każdego z respondentów, jak i w przypadku danych zagregowanych, gdzie dysponujemy jedynie informacją o ocenach tych obiektów pod względem zmiennych diagnostycznych na poziomie całej próby badawczej. Miara IFSM może być szczególnie użyteczna właśnie w tym drugim przypadku. Sposób jej implementacji zaprezentowałem w opracowaniach [13], [15] i [18], na przykładzie pomiaru subiektywnej jakości życia oraz satysfakcji z usług administracji publicznej. W przypadku każdego z tych opracowań wykorzystano wyniki cyklicznego Europejskiego Badania Jakości Życia (*European Quality of Life Survey*) realizowanego od 2003 r. na zlecenie Komisji Europejskiej. Badanie obejmuje te dziedziny życia, które odpowiadają szerokiemu zakresowi obszarów polityk i programów realizowanych przez instytucje europejskie. Jest przykładem badań, którego wyniki zamieszczane są przez instytucje statystyki publicznej w postaci procentu wskazań na punkty porządkowych skal pomiaru. W badaniu biorą udział mieszkańcy wybranych miast zlokalizowanych na terenie Unii Europejskiej, EFTA, Wielkiej Brytanii, Turcji oraz na Bałkanach Zachodnich.

Satysfakcja mieszkańców z usług administracji publicznej, będąca przedmiotem pomiaru w opracowaniu [13], została oceniona pod względem pięciu zmiennych diagnostycznych. W ocenie tych zmiennych zastosowano 4 stopniową porządkową skalę pomiaru dopuszczając możliwość odpowiedzi „nie wiem" i/lub odmowę odpowiedzi. W opracowaniu zaproponowano procedurę transformacji zagregowanych danych porządkowych do postaci IFS. Wyniki pomiarów z zastosowaniem tej procedury oraz IFSM wskazały Zurich oraz Palermo jako miasta odpowiednio o najwyższym i najniższym poziomie zadowolenia mieszkańców z usług administracji publicznej. Aby ocenić stabilność wyników pomiaru z zastosowaniem IFSM obliczono osiem wariantów metody zróżnicowanych ze względu na zastosowaną odległość oraz sposób ustalenia współrzędnych obiektów wzorcowych. W pomiarach odległości między IFS zastosowano zarówno te formuły, które uwzględniają stopień niepewności, jak i te które go pomijają. Jeżeli chodzi o współrzędne obiektów wzorcowych to ustalono je, mając na uwadze stymulująca funkcję preferencji wszystkich zmiennych diagnostycznych, na podstawie wartości maksymalnych IFS zaobserwowanych w próbie badawczej oraz na podstawie maksymalnych

wartości IFS możliwych do osiągnięcia. Wyniki pomiarów dla tak określonych kombinacji były wrażliwe przed wszystkim na sposób ustalenia współrzędnych obiektów wzorcowych. Ustalenie współrzędnych obiektu wzorcowego na podstawie możliwych do osiągnięcia maksymalnych wartości IFS skutkowało niższymi wartościami IFSM dla miast w porównaniu do IFSM, gdy współrzędne obiektu wzorcowego oparto na maksymalnych i minimalnych wartościach IFS zaobserwowanych w próbie badawczej. Skutkowało to również zmniejszeniem zakresów zmienności IFSM. Niezależnie od metody określania współrzędnych obiektu wzorcowego wartości IFSM wykazały niewielką wrażliwość na wybór miary odległości oraz liczbę parametrów uwzględnianych przy pomiarze tych odległości. Wprowadzenie stopnia niepewności w pomiarze odległości między miastami a obiektem wzorcowym nieznacznie obniżyło średnie wartości IFSM i zmniejszyło zakres zmienności tych wartości. Prawidłowość ta została zaobserwowana w obu metodach określania współrzędnych obiektu wzorcowego.

Istotnym elementem artykułu było również przeprowadzenie analizy porównawczej IFSM z modyfikacją metody TOPSIS dla rozmytego środowiska intuicjonistycznego (IFT). Zauważyłem, że we wszystkich ośmiu analizowanych wariantach konstrukcji miary syntetycznej średnie wartości IFT dla miast były wyższe niż w przypadku IFSM. Ponadto w każdym z tych przypadków zakres zmienności wartości IFT był mniejszy niż IFSM. Dotyczyło to szczególnie sytuacji, gdy współrzędne obiektów wzorcowych były określane na podstawie możliwych do osiągnięcia maksymalnych wartości intuicjonistycznych.

Uporządkowania liniowe miast otrzymane na podstawie wartości IFSM oraz IFT okazało się mało wrażliwe na wybór miary odległości oraz sposób określenia współrzędnych obiektów wzorcowych. Wartości współczynników korelacji rang Spearmana dla pozycji miast w rankingach były bardzo wysokie a nieznacznie większą zgodność rankingów otrzymano dla IFT, co może sugerować nieco większą wrażliwość IFSM na wybór miary odległości i metody określania współrzędnych obiektu wzorcowego. Największą zgodność rankingów otrzymanych z zastosowaniem IFSM oraz IFT zaobserwowałem, niezależnie od sposobu ustalenia współrzędnych obiektów wzorcowych, dla odległości Hamminga z dwoma parametrami. Najmniejszą zgodność rankingów dla obu miar zaobserwowano również dla odległości Hamminga, ale w wariancie uwzględniającym stopień niepewności oraz dwa różne warianty współrzędnych obiektów wzorcowych.

Użyteczność i aplikacyjne aspekty proponowanej miary IFSM przedstawiono również w opracowaniu [15] gdzie dokonano pomiaru subiektywnej jakości życia mieszkańców wybranych miast UE, EFTA, Wielkiej Brytanii, Turcji oraz Bałkanów Zachodnich. Wyniki pomiarów z zastosowaniem IFSM przedstawiono w przekroju czterech grup miast wyodrębnionych ze

względu na ich wielkość mierzoną liczbą mieszkańców. Najwyższy średni poziom subiektywnej jakości życia zaobserwowano w miastach liczących do 250 tys. do 500 tys. mieszkańców. Najniższy poziom oszacowano w grupie miast największych, dla których liczba mieszkańców przekracza 1 mln osób. Najwyższy i najniższy poziom subiektywnej jakości życia, niezależnie od wielkości miast, oszacowano odpowiednio dla miast Zurich i Palermo. Wśród polskich miast biorących udział w badaniu najwyżej sklasyfikowano Białystok. Podobnie jak w artykule [13] oceniono również stabilność otrzymanych wyników pomiaru z zastosowaniem IFSM stosując cztery warianty miary, różniące się typem odległości oraz sposobem ustalenia współrzędnych obiektów wzorcowych. Wyniki analizy porównawczej potwierdziły wcześniejsze spostrzeżenia o niewielkim wpływie tych parametrów na pozycje miast w rankingach otrzymanych na podstawie wartości IFSM.

Konieczność pomiaru niektórych zjawisk złożonych na podstawie danych porządkowych stanowi wyzwanie metodyczne, ale jednocześnie cechuje się pewną własnością, którą można wykorzystać na potrzeby prowadzenia badań o charakterze dynamicznym. Stosowanie skal porządkowych w pomiarze zmiennych diagnostycznych powoduje, że znane są maksymalne i minimalne wartości tych skal. Nie ma zatem potrzeby ustalania tych wartości na podstawie próby badawczej. Jeżeli dodatkowo przyjmiemy, że porządkowe skale pomiaru są niezmienne w poszczególnych okresach badania to wówczas istnieje możliwość ustalenia wspólnego obiektu wzorcowego dla wszystkich okresów analizy. Zalety takiego podejścia zaprezentowano w opracowaniu [18]. Stanowi ono kolejnym krok w pomiarze subiektywnej jakości życia w miastach, ponieważ dokonuje oceny kształtowania się tego zjawiska w czasie.

Subiektywna jakość życia jest kategorią dynamiczną, zmieniającą się w czasie i przestrzeni. Dlatego istotne jest śledzenie tych zmian, aby móc identyfikować trendy oraz oceniać skuteczność podejmowanych działań w zakresie poprawy jakości życia w miastach. Waga tego typu badań wynika z potrzeby dostarczania decydentom informacji dotyczących kierunków rozwoju miast oraz obszarów wymagających poprawy. Wyniki takich badań wykorzystywane są do kształtowania polityk miejskich, w tym strategii zrównoważonego rozwoju i dostosowywania działań do zmieniających się potrzeb mieszkańców.

W pomiarze subiektywnej jakość życia zastosowano wariant IFSM bazujący na obiektach wzorcowym i antywzorcowym jednakowych dla pięciu fal badań zrealizowanych w latach 2006-2019. Wszystkie zmienne diagnostyczne posiadały stymulującą funkcję preferencji, dlatego współrzędne tych obiektów ustalono odpowiednio na podstawie maksymalnych i minimalnych wartości intuicjonistycznych. Zaletą takiego podejścia jest możliwość porównywania w czasie pozycji obiektów w rankingach, jak i porównanie samych wartości IFSM oraz

opartych na nich np. statystyk opisowych. Ponadto, tak ustalone współrzędne obiektów wzorcowych i antywzorcowych, są niezależne od liczby obiektów w poszczególnych okresach badania, a więc nie zachodzi konieczność ponownego szacowania wartości miar syntetycznych dla wszystkich analizowanych obiektów w przypadku pojawienia się „nowych" lub utraty „starych" obiektów w kolejnych okresach badania. Opracowane wyniki pomiaru w każdym okresie analizy stanowiły podstawę klasyfikacji miast do jednej z pięciu klas pod względem poziomu subiektywnej jakości życia. Taki sposób analizy wyników umożliwił zaobserwowanie zarówno migracji miast między klasami, jak i wskazanie tych, dla których poziom analizowanego zjawiska nie uległ zmianie w analizowanym okresie. Otrzymane w ten sposób wyniki analiz można podsumować jako pozytywny trend zmian w kształtowaniu się subiektywnej jakości życia mieszkańców europejskich miast. Przejawiał się on m.in. w zmniejszającym się odsetku miast zaklasyfikowanych do klas o niskim poziomie jakości życia i rosnącej liczbie miast należących do klas o wysokim poziomie tego zjawiska. Jedynie 25 miast nie zmieniło swojej przynależności do klasy w całym analizowanym okresie.

Do najważniejszych osiągnięć teoretycznych i aplikacyjnych wyżej omówionych badań, wpisujących się w rozwój dyscypliny ekonomia i finanse, należy zaliczyć:

- adaptację Intuicjonistycznej Rozmytej Miary Syntetycznej dla porządkowych danych zagregowanych wraz z procedurą transformacji tego typu danych do postaci intuicjonistycznych zbiorów rozmytych, co zwiększa potencjał aplikacyjny Miary w warunkach ograniczonego dostępu do danych jednostkowych;
- adaptację Intuicjonistycznej Rozmytej Miary Syntetycznej do badań dynamicznych złożonych zjawisk społeczno-ekonomicznych kwantyfikowanych na podstawie zagregowanych danych porządkowych. Wykazano, że konstrukcja Miary sprzyja tworzeniu klasyfikacji dynamicznej i śledzeniu trendów złożonych zjawisk społeczno-ekonomicznych, w tym również w ujęciu porównań międzynarodowych;
- wykazanie własności aplikacyjnych Intuicjonistycznej Rozmytej Miary Syntetycznej w kontekście kształtowania i monitorowania polityk publicznych. Proponowane podejście do klasyfikacji miast i analizy ich migracji między klasami w czasie może stanowić kompleksowe wsparcie dla decydentów odpowiedzialnych za zarządzanie rozwojem lokalnym i realizację polityk publicznych.

F. Pomiar złożonych zjawisk społeczno-ekonomicznych z zastosowaniem Przedziałowej Intuicjonistycznej Rozmytej Miary Syntetycznej (pozycja [14] wykazu)

Propozycja miary IFSM scharakteryzowana w poprzednim punkcie stanowi alternatywę dla dostępnych w literaturze metod agregacji wartości zmiennych diagnostycznych wyrażonych na porządkowych skalach pomiaru. Równolegle w literaturze pojawiły się inne metody agregacji, wykorzystujące dane przedziałowe i przedziałowe intuicjonistyczne zbiory rozmyte (*Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy Sets*, I-VIFS), zaproponowane przez Atanassova i Gargova (1989).

Propozycje zastosowania danych przedziałowych w porządkowaniu liniowym obiektów przedstawiono w artykułach Walesiak, Dehnel (2020) oraz Walesiak, Dehnel (2023). Autorzy, na przykładzie badań regionalnych, zwrócili uwagę na utratę informacji w przypadku, gdy porządkowanie liniowe obiektów statystycznych nie uwzględnia różnic w jednostkach przestrzennych na niższych poziomach agregacji. W ocenach zmiennych diagnostycznych, zamiast danych metrycznych, zaproponowali dane przedziałowe co pozwoliło na bardziej precyzyjną charakterystykę analizowanych obiektów. Proponowane podejście lepiej odzwierciedla zmienność i różnorodność analizowanych zjawisk, eliminuje wpływ wartości odstających oraz umożliwia bardziej precyzyjną ocenę regionalnych różnic i zmian w czasie. Dzięki temu wyniki analiz są bardziej wiarygodne i użyteczne w podejmowaniu decyzji strategicznych. Jednak w przypadku zjawisk kwantyfikowanych na podstawie wyników badań ankietowych mamy do czynienia również z subiektywizmem ocen respondentów oraz brakami danych pomiarowych wprowadzającymi niepewność w oszacowaniach. Przypadek ten zauważyli i opisali m.in. Yue, Yue (2019) proponując pomiar satysfakcji i lojalności użytkowników smartfonów z zastosowaniem I-VIFS. We wskazanym opracowaniu odpowiednikiem zmienności wewnętrznej jest zróżnicowanie w opiniach między grupami respondentów wyodrębnionymi na podstawie np. danych demograficznych takich jak wiek, poziom wykształcenia itp. Autorzy dostrzegają słabe strony dostępnych metod agregacji proponując własny sposób pomiaru opinii respondentów wykorzystujący skumulowane opinie pozytywne i negatywne oraz I-VIFS. Przedziały dla parametrów tych zbiorów ustalane są na podstawie wartości minimalnych i maksymalnych zaobserwowanych we wspomnianych podgrupach respondentów. Autorzy szczególną uwagę zwrócili na problem uwzględnienia braków odpowiedzi, których źródłem może być pomijanie pytań na skutek ich niejasności, braku wiedzy respondentów, ich niechęcią do ujawniania informacji czy zmęczeniem i niecierpliwością spowodowaną złożonością narzędzia pomiarowego. Na braki danych szczególnie „narażone" są właśnie badania kwantyfikujące złożone zjawiska społeczno-ekonomiczne bowiem natura tych zjawisk wymaga oceny wielu zmiennych diagnostycznych

a więc odpowiedzi na wiele pytań ankietowych. Braki danych są więc źródłem niepewności a jej uwzględnienie może wpływać na precyzję wyników porządkowania liniowego oraz ich interpretację.

Problem braku danych w połączeniu z subiektywizmem ocen zmiennych diagnostycznych był obecny również w moich badaniach. Przykładem może być przytoczone już wcześniej Europejskie Badanie Jakości Życia, na podstawie którego dokonałem w pracy [13] porządkowania liniowego miast europejskich pod względem zadowolenia mieszkańców z usług administracji publicznej. Zaobserwowałem wówczas przypadki miast i zmiennych diagnostycznych, dla których braki danych osiągały wartości nawet 32% wszystkich udzielonych odpowiedzi. Im większy odsetek braku odpowiedzi tym większa niepewność co do zagregowanej oceny zmiennych diagnostycznych – respondenci, którzy nie udzielili odpowiedzi mogli „zasilić" zarówno oceny pozytywne, jak i negatywne. Dlatego moja propozycja przedstawiona w opracowaniu [14] polegała na uwzględnieniu tego typu niepewności w pomiarze zjawisk złożonych poprzez wyrażenie wartości zmiennych diagnostycznych w postaci I-VIFS, które są uogólnieniem IFS a ich cechą charakterystyczną jest wyrażenie stopni przynależności, nieprzynależności i niepewności w postaci przedziałów liczbowych.

Porządkowanie liniowe obiektów, których oceny wyrażone są w postaci I-VIFS wymaga dostosowania wybranych etapów budowy miar syntetycznych dla tego typu zbiorów rozmytych. Dlatego zaproponowałem Przedziałową Intuicjonistyczną Rozmytą Miarę Syntetyczną (*Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy Synthetic Measure*, I-VIFSM), która umożliwia pomiar zjawisk złożonych na podstawie surowych lub zagregowanych danych porządkowych. Miara ta jednocześnie uwzględnia niepewność wynikającą z niezdecydowania respondentów w ocenie obiektów pod względem zmiennych diagnostycznych. Niepewność ta wyraża się odmową lub brakiem odpowiedzi. Użyteczność takiego podejścia poparto przykładem empirycznym bazującym na wynikach badania subiektywnej jakości życia mieszkańców wybranych gmin Krainy Łęgów Odrzańskich, które opisano w punkcie D.

W opracowaniu [14] zaproponowałem również procedurę konwersji danych porządkowych do postaci I-VIFS bazującą na tzw. współczynniku optymizmu. Jest to miara unormowana w przedziale [0-1]. Im wyższy stopień niepewności związany z niezdecydowaniem respondentów tym wyższa wartość współczynnika a co za tym idzie większa rozpiętość przedziałów dla wartości parametrów I-VIFS. Wartości współczynnika mogą być określane subiektywnie (np. na podstawie wiedzy i doświadczenia badaczy lub ekspertów) lub obiektywnie (np. na podstawie opinii respondentów). W cytowanej pracy współczynnik optymizmu został określony obiektywnie na podstawie opinii badanych mieszkańców. Innym sposobem na obiektywne

ustalenie wartości współczynnika optymizmu może być uwzględnienie dodatkowego pytania w kwestionariuszu ankiety. Dotyczy ono ogólnej oceny złożonego zjawiska, co jest powszechną praktyką w badaniach złożonych zjawisk społeczno-ekonomicznych prowadzonych z zastosowaniem kwestionariusza ankiety.

Proponując miarę I-VIFSM wraz z procedurą transformacji zmiennych diagnostycznych porównałem ją z dwoma alternatywnymi strategiami postępowania. Pierwsza z nich zakładała potraktowanie wyników pomiaru jako metrycznych i zastosowanie klasycznej metody Hellwiga. Należy jednak zaznaczyć, że w tym przypadku, z uwagi na konstrukcję miary, braki danych nie mogły zostać uwzględnione w analizie. Druga strategia zakładała zastosowanie metody IFSM zaproponowanej w opracowaniu [11]. Wyniki analizy porównawczej wskazały na wyższe wartości I-VIFSM dla gmin w porównaniu z wynikami dla dwóch pozostałych przypadków. Wartości I-VIFSM charakteryzowały się również większym zakresem zmienności, co skutkowało większym zróżnicowaniem gmin pod względem analizowanego zjawiska. Zaobserwowano także różnice w wynikach rankingów gmin ustalonych na podstawie wartości miar syntetycznych. W ocenie zgodności rankingów z zastosowaniem współczynnika *tau* Kendalla największe różnice zidentyfikowano między klasyczną metodą Hellwiga a jej dwoma rozmytymi modyfikacjami. W przypadku porównania IFSM i I-VIFSM różnice w pozycjach gmin w rankingach nie były już tak duże, ale w dalszym ciągu dotyczyły zdecydowanej większości gmin (9 spośród 11 analizowanych gmin różniło się pod względem pozycji w rankingach).

Do najważniejszych osiągnięć teoretycznych i aplikacyjnych wyżej omówionych badań, wpisujących się w rozwój dyscypliny ekonomia i finanse, należy zaliczyć:

- propozycję Przedziałowej Intuicjonistycznej Rozmytej Miary Syntetycznej jako uogólnienia Intuicjonistycznej Rozmytej Miary Syntetycznej dla przypadku przedziałowych intuicjonistycznych zbiorów rozmytych, umożliwiającej jednoczesne uwzględnienie subiektywizmu ocen respondentów oraz niepewności pomiaru wynikającej z braków danych w badaniach ankietowych;
- opracowanie procedury transformacji danych porządkowych do postaci przedziałowych intuicjonistycznych zbiorów rozmytych z wykorzystaniem tzw. współczynnika optymizmu, umożliwiającej odwzorowanie niezdecydowania respondentów i potencjalnego zróżnicowania ich opinii w podgrupach próby badawczej;
- empiryczną weryfikację użyteczności Przedziałowej Intuicjonistycznej Rozmytej Miary Syntetycznej we wspieraniu procesów podejmowania decyzji w ramach zarządzania rozwojem lokalnym i realizacji polityk publicznych na przykładzie pomiaru subiektywnej jakości życia mieszkańców wybranych gmin w Polsce.

G. Klasyfikacja europejskiej przestrzeni regionalnej z zastosowaniem rozmytej metody c-średnich (pozycje [3] i [9] wykazu)

Badania regionalne stanowią jeden z kluczowych obszarów zastosowań metod porządkowania liniowego i klasyfikacji. Oprócz konstrukcji miar syntetyzujących wskaźniki społeczno-ekonomiczne ważnym polem badawczym jest klasyfikacja przestrzeni regionalnej w celu identyfikacji podobieństw i różnic między regionami a także wyodrębnienie grup regionów o zbliżonych charakterystykach. Wyniki klasyfikacji regionów mogą stanowić wsparcie dla procesu podejmowania decyzji strategicznych w polityce regionalnej. Zdecydowana większość opracowań naukowych poświęconych badaniom regionalnym z zastosowaniem metod klasyfikacji zakłada, że regiony są precyzyjnie zdefiniowanymi konstruktami teoretycznymi o ściśle określonych granicach. Zasadność takiego podejścia poddawał w wątpliwość m.in. Leung (1983) a wybrane przykłady zastosowań klasyfikacji rozmytej w badaniach przestrzennych/regionalnych zestawili Manca i Curtin (2012). Liczba tych opracowań jest jednak w dalszym ciągu znikoma w stosunku do klasycznych podejść w zagadnieniu klasyfikacji regionów, a mając na uwadze elastyczność podejścia rozmytego i jego dodatkowe walory informacyjne, wymaga moim zdaniem dalszej popularyzacji. Dlatego moje badania związane z klasyfikacją przestrzeni regionalnej miały charakter głównie aplikacyjny. Opierały się na wykorzystaniu rozmytej metody c-średnich (*fuzzy c-means* – FCM) zaproponowanej przez Dunna (1974) a następnie rozwijanej m.in. przez Bezdeka (1981), który uogólnił FCM dla wartości parametru rozmycia m>=1.

Przedmiotem moich badań była koncepcja inteligentnego wzrostu i inteligentnej specjalizacji regionów europejskich. Regiony odgrywają decydującą rolę w realizacji inteligentnego wzrostu, a w tym kontekście kluczowe znaczenie ma profil ich inteligentnej specjalizacji. To regiony pełnią funkcję głównych partnerów instytucjonalnych dla uniwersytetów, instytucji badawczych i edukacyjnych oraz małych i średnich przedsiębiorstw, które stanowią kluczowy element procesów innowacyjnych odpowiedzialnych za ogólny rozwój. Inteligentna specjalizacja to koncepcja wspierająca regionalną politykę innowacyjną, której celem jest efektywne i skoordynowane wykorzystanie publicznych nakładów na badania i innowacje. Została opracowana, aby wspomagać państwa członkowskie oraz regiony w procesie dywersyfikacji gospodarki, rozwijaniu kluczowych sektorów oraz wzmacnianiu ich potencjału innowacyjnego (Malerba 2005).

W opracowaniu [3], poświęconemu ocenie inteligentnego wzrostu regionów, wykorzystano zmienne odnoszące się do struktury zatrudnienia w regionach europejskich. Zmiennymi

tymi były wskaźniki określające udział siły roboczej zatrudnionej w różnych sektorach gospodarki. Wybór zmiennych opierał się na założeniu, że struktura zatrudnienia odzwierciedla poziom inteligentnej specjalizacji regionu, a w szczególności rosnące znaczenie sektorów innowacyjnych oraz usług opartych na wiedzy. Dane na temat zatrudnienia w rolnictwie, przemyśle i usługach pozwoliły ocenić ogólne profile gospodarek regionów, podczas gdy informacje dotyczące usług opartych na wiedzy oraz przemysłu średnio- i wysokotechnologicznego umożliwiły ocenę poziomu zaawansowania technologicznego i innowacyjnego. Dane do analizy pochodziły z bazy Eurostat i dotyczyły 2008 roku. Wybór okresu analizy podyktowany był dostępnością danych i możliwością porównania między regionami. Obiektami badania były jednostki statystyczne na poziomie NUTS 2 (271 regionów w UE, przy czym z uwagi na braki danych dla niektórych regionów ostateczna liczba analizowanych obiektów była niższa i wyniosła 265). Liczbę klas ustalono z zastosowaniem klasycznych metod klasyfikacji. W opracowaniu zastosowano metodę FCM. Kluczowym etapem było podjęcie decyzji o wartości parametru rozmycia m, który określa stopień rozmycia wyników klasyfikacji. Wartość parametru powinna spełniać warunek $m > 1$, gdzie wartości bliskie jedności prowadzą do wyników zbliżonych do tych uzyskiwanych za pomocą klasycznych metod klasyfikacji. Zwiększenie wartości parametru powoduje, że poziomy przynależności obiektów do poszczególnych klas będą przyjmowały wartości bliskie odwrotności liczby klas, czyli 1/c. Literatura nie dostarcza jednoznacznych wskazówek co do wyboru optymalnej wartości tego parametru. W opracowaniu Hruschka (1986) ustalono wartość parametru na poziomie m=2. Cannon, Davé, Bezdek (1986), Hall i in. (1992) oraz Pal, Bezdek (1995) sugerowali stosowanie parametru rozmycia na poziomach z przedziału [1,5-2,5]. Chan i Cheung (1992) wskazali, że wartości te powinny znajdować się w przedziale [1,25–1,75]. Wyniki badań przedstawione w takich opracowaniach jak: Wysocki (2010), Łuczak (2016) oraz Łuczak, Kozera, Wysocki (2016) sugerują, że wartości tego parametru powinny mieścić się w przedziale [1,3-1,5]. W opracowaniu [3] przyjęto wartość parametru rozmycia na poziomie 1,5.

Wynikiem zastosowanego podejścia była identyfikacja przynależności regionów europejskich do 4 klas różniących się poziomem inteligentnej specjalizacji. Do klasy pierwszej, którą tworzyły regiony rolnicze o niskim poziomie specjalizacji, należało 27 regionów głównie z krajów takich jak Polska, Rumunia i Grecja. Do drugiej klasy należało 70 regionów (głównie z Hiszpanii, Włoch, Austrii, Portugalii oraz Francji) charakteryzujących się zrównoważonym profilem gospodarczym, w którym sektor usługowy odgrywał kluczową rolę, ale ich poziom innowacyjności był niższy w porównaniu do regionów z klas trzeciej i czwartej. W klasie trzeciej znalazło się 60 regionów o silnej bazie przemysłowej i wysokim udziale sektorów średnio-

i wysokotechnologicznych pochodzących z krajów Europy Środkowo-Wschodniej, takich jak Czechy, Węgry, Słowacja i Słowenia. Regiony te często stanowią gospodarcze filary swoich krajów, szczególnie w Europie Środkowo-Wschodniej. Najliczniejszą klasę czwartą reprezentowało 108 regionów z krajów Europy Zachodniej i Północnej, takich jak Wielka Brytania, Szwecja, Dania, Holandia, Belgia oraz Francja. Regiony w tej klasie to najbardziej zaawansowane gospodarczo i innowacyjne obszary Europy, będące centrami usług opartych na wiedzy. Ich dominacja w sektorach takich jak ICT, finanse, badania i rozwój oraz edukacja czyni je kluczowymi ośrodkami dla europejskiej gospodarki. W porównaniu z innymi klasami regiony te wykazują najwyższy potencjał do dalszego rozwoju innowacji i przyciągania wysoko wykwalifikowanej siły roboczej.

Wyniki badań potwierdziły, że istnieje znaczna liczba regionów, których przynależność do wyodrębnionych klas pod względem poziomu inteligentnego rozwoju okazuje się trudna do jednoznacznego określenia. Potwierdza to zasadność podejścia przyjętego w niniejszym badaniu, polegającego na zastosowaniu metod klasyfikacji rozmytej. Metody te dostarczają znacznie więcej informacji o klasyfikowanych regionach niż metody klasyczne. Zastosowanie klasyfikacji rozmytej pozwoliło zidentyfikować regiony „poszukujące" optymalnej ścieżki inteligentnej specjalizacji (w ujęciu technicznym były to regiony, dla których stopnie przynależności do wyodrębnionych klas nie przekroczyły w żadnym przypadku wartości 0,8). Stanowiły one 28% wszystkich analizowanych regionów.

Pewnym ograniczeniem zaproponowanego podejścia badawczego był jego statyczny charakter, ponieważ regiony klasyfikowane były jedynie na podstawie danych pochodzących z jednego roku. Dlatego jego rozwinięciem było opracowanie [9], w którym zaproponowano podejście dynamiczne oparte o metodę FCM oraz kategorie obiektookresów, czyli operacyjnych jednostek taksonomicznych zdefiniowanych przez regiony w określonych jednostkach czasu (Markowska 2012). Takie podejście pozwoliło na dynamiczne badanie zmian przynależności regionów do klas inteligentnej specjalizacji w różnych przedziałach czasu. Dzięki temu zbadano ewolucję regionalnych profili oraz przejścia regionów między różnymi klasami, co jest kluczowe dla planowania polityki regionalnej opartej na koncepcji inteligentnej specjalizacji. Klasyfikacja regionów została przeprowadzona na podstawie jednego zbioru danych łączącego obserwacje z lat 2000-2010. Oznacza to, że każdy z regionów został przedstawiony 11 razy stanowiąc w każdym okresie analizy odrębną jednostkę obiektokresową. W efekcie, po przeanalizowaniu okresu 11 lat oraz wykorzystaniu danych z 265 regionów europejskich, podstawą klasyfikacji stało się 2915 jednostek obiektookresowych. Zatem klasy regionów zostały zdefiniowane tylko raz, a ich skład nie zmieniał się w całym przyjętym okresie badawczym.

Uniknięto w ten sposób problemu wyboru optymalnej liczby klas dla każdego z jedenastu analizowanych lat. Takie podejście umożliwiło identyfikację regionów, które przez cały czas wykazywały określony profil inteligentnej specjalizacji, jak również tych, które zmieniły swój profil lub były w trakcie procesu zmiany. Aby określić zarówno kierunki, jak i dynamikę tych zmian, wykorzystano stopnie przynależności obiektookresów do wyodrębnionych klas. Do ustalenia liczby klas wykorzystano odmienne, w stosunku do zastosowanego w opracowaniu [3], podejście wykorzystujące miary jakości klasyfikacji rozmytej zaproponowane w opracowaniach: Bezdek (1974), Fukuyama, Sugeno (1989), Xie, Beni (1991). Większość oszacowanych mierników ponownie wskazała zasadność wyodrębnienia 4 klas, dla których ustalono następujące specjalizacje: rolnicza, usługowa, wielofunkcyjna, przemysłowa. Przeprowadzona analiza umożliwiła zarówno identyfikację tych regionów, które utrzymywały swój profil przez cały okres analizy (58,9% regionów), jak i tych u których zmieniała się struktura sektorowa. Rozkład regionów o „stabilnym" profilu między klasami był następujący: 13 regionów w klasie o specjalizacji rolniczej, 72 regiony w klasie o specjalizacji usługowej, 35 regionów w klasie wielofunkcyjnej oraz 36 regionów w klasie o specjalizacji przemysłowej. W identyfikacji regionów „migrujących" między klasami w przyjętym okresie analizy przyjęto próg dla stopni przynależności na poziomie 0,8. Przy tak ustalonym progu, wśród krajów, u których zaobserwowano najwyższy odsetek regionów o „nieokreślonej/rozmytej" przynależności znajdowały się Grecja, Portugalia i Polska. Na poziomie NUTS 1 do takich regionów należały Malta, Litwa i Luksemburg.

Do najważniejszych osiągnięć teoretycznych i aplikacyjnych wyżej omówionych badań, wpisujących się w rozwój dyscypliny ekonomia i finanse, należy zaliczyć:

- opracowanie podejścia badawczego umożliwiającego rozpoznanie regionów o niejednoznacznej przynależności do klas, co pozwoliło na identyfikację regionów o „rozmytym" profilu rozwoju lub będących w trakcie jego transformacji;
- przeprowadzenie klasyfikacji rozmytej w ujęciu dynamicznym z wykorzystaniem obiektookresów jako operacyjnych jednostek analizy, co pozwoliło na identyfikację ścieżek rozwoju i zmian przynależności regionów w czasie do klas inteligentnej specjalizacji;
- wykazanie wartości dodanej klasyfikacji rozmytej względem podejść klasycznych, w tym jej większej elastyczności, możliwości modelowania niepewności w przynależności regionów do klas oraz zdolności do identyfikowania regionów „poszukujących" optymalnej ścieżki specjalizacji.

H. Segmentacja rynków z zastosowaniem rozmytej metody c-średnich pozycje [1] i [17] wykazu)

Zróżnicowanie preferencji i zachowań konsumentów a także czynników wpływających na ich decyzje zakupowe wpływa na znaczną heterogeniczność rynków, na których funkcjonują przedsiębiorstwa. Problem heterogeniczności rynku po raz pierwszy został opisanych przez Smitha (1956), który wprowadzając pojęcie segmentacji zainicjował szereg badań stanowiących przyczynek do tego, że segmentacja stała się jedną z podstawowych strategii działania przedsiębiorstw a co za tym idzie kluczowym obszarem badań rynkowych i marketingowych. Istotnym obszarem badań naukowych związanych z segmentacją jest rozwój jej metodyki. Początkowo stosowane jednowymiarowe podejście do segmentacji ustąpiło podejściu wielowymiarowemu wymuszonemu rosnącą konkurencyjnością rynków, różnorodnością klientów i ich zachowań oraz koniecznością uwzględnienia złożoności i różnorodności danych opisujących konsumentów. Rozwojowi podejścia wielowymiarowego sprzyjał rozwój narzędzi statystycznych w parze z rozwojem technologii i oprogramowania komputerowego. Obecnie wiele procedur segmentacyjnych korzysta z wielowymiarowych metod statystycznych, przy czym niezmienna do dziś pozostaje dominacja metod klasyfikacji (zob. np. Punj, Stewart 1983; Walesiak 1996).

Literatura z zakresu badań marketingowych wskazuje, że w określaniu segmentów rynkowych dominują klasyczne metody klasyfikacji (zob. np. Punj, Stewart 1983) a więc takie, którym towarzyszy istotne założenie o tym, że każdy konsument może należeć wyłącznie do jednego segmentu. Istnieje jednak wiele sytuacji, w których konsument może należeć do więcej niż jednego segmentu (szczególnie gdy uwzględnia się korzystanie z wielu marek, różne okazje użytkowania, różnorodne korzyści, których konsumenci poszukują itp.). W takich przypadkach stosowanie klasycznych metod klasyfikacji, które ignorują możliwość wzajemnego „nakładania się" segmentów, może prowadzić do istotnej utraty informacji.

Problemy metodyczne związane z istnieniem nieostrych granic między segmentami rynku zauważyli i opisali m.in. Winda (1978) oraz Arabie i in. (1981). Prace zapoczątkowały równoległy rozwój dwóch podejść w segmentacji rynków, które różnią się sposobem traktowania przynależności do segmentów. Pierwsze z nich zakłada, że obiekty mogą należeć jednocześnie do wielu segmentów, ale przynależność jest zero-jedynkowa, tzn. pozbawiona możliwości modelowania stopni przynależności. Drugie podejście, określane mianem rozmytej segmentacji, wykorzystuje częściowe stopnie przynależności obiektów do różnych segmentów, co czyni to podejście bardziej elastycznym i precyzyjnym wskazując m.in. jak bardzo obiekty „pasują" do

segmentów (Hruschka 1986; D'Urso i in. 2014; N'Cir, Cleuziou, Essoussi 2015). Inaczej mówiąc, można wskazać obiekty najbardziej reprezentatywne dla danego segmentu, a co za tym idzie w sposób bardziej precyzyjny ustalić np. ich profile. Z drugiej strony wartości stopni przynależności pozwalają zidentyfikować obiekty znajdujące się pomiędzy segmentami określane w literaturze jako „mosty" (D'Urso 2016; Hruschka 1986). Dlatego uważa się, że w porównaniu do segmentacji opartej na klasycznych metodach klasyfikacji, wyniki uzyskiwane z zastosowaniem metod rozmytych dostarczają badaczom bardziej wnikliwych i szczegółowych informacji dotyczących wyodrębnianych segmentów rynkowych (Ahmad i Richard 2014; D'Urso i in. 2014; Hruschka 1986).

Przewagę takiego podejścia potwierdziłem również w moich badaniach, których przykładem jest opracowanie [17]. Zastosowałem w nim rozmytą metodę c-średnich w rozmytej segmentacji konsumentów (gospodarstw domowych) na rynku energii. Segmentacja na rynkach energii nie jest podejściem nowym, ale jej znaczenie i charakter ewoluowały wraz z rozwojem technologii oraz rosnącej świadomości społecznej na temat zrównoważonego rozwoju. Początkowo segmentacje rynku energii polegały na prostym podziale konsumentów na grupy oparte na takich wskaźnikach jak wielkość gospodarstwa domowego, dochód czy rodzaj zużycia (np. gospodarstwa domowe, przemysł, rolnictwo). Jednak wraz z rosnącą świadomością ekologiczną konsumentów oraz presją regulacyjną na zwiększenie efektywności energetycznej i redukcję emisji, segmentacja zaczęła uwzględniać czynniki psychograficzne, takie jak postawy wobec środowiska, gotowość do podejmowania działań proekologicznych, czy akceptacja nowych technologii (np. odnawialnych źródeł energii lub magazynowania energii). Potrzeba bardziej szczegółowych i precyzyjnych analiz segmentacyjnych rynku energii wymusiły również stosowanie bardziej wyrafinowanych metod segmentacyjnych, w tym również metod klasyfikacji, które zostały wykorzystane m.in. w opracowaniach: Sütterlin, Brunner, Siegrist (2011); Seidl, Moser, Blumer (2017); Tumbaz, Moğulkoç H.T. (2018).

Włączając się w ten nurt badawczy zaproponowałem w opracowaniu [17] nowe podejście łączące ideę segmentacji rozmytej z kryteriami segmentacji opartymi na decyzjach konsumentów dotyczących wyboru źródeł energii. Z uwagi na stosunkowo dużą liczbę uwzględnionych motywów zastosowano redukcję kryteriów segmentacji z zastosowaniem analizy czynnikowej. Pozwoliło to zidentyfikować trzy główne czynniki motywacyjne. Pierwszy z nich dotyczył motywów związanych ze świadomością ekologiczną oraz troską o przyszłe pokolenia. Drugi czynnik grupował intencje zakupowe konsumentów energii związane z efektami popytowymi. Trzeci czynnik związany był z motywami finansowymi dotyczącymi inwestycji w określone źródła energii. Oszacowane wartości ładunków czynnikowych dla gospodarstw domowych

stanowiły podstawę ich segmentacji z zastosowaniem rozmytej metody c-średnich. Większość zastosowanych wskaźników jakości klasyfikacji wskazały zasadność wyodrębnienia dwóch zasadniczych segmentów.

Pierwszy z nich, nazwany jako „Proekologiczni konsumenci", cechował się wysoką świadomością ekologiczną gospodarstw domowych i ich wysokim deklarowanym zaangażowaniem w ochronę środowiska. Segment drugi, nazwany jako „Pragmatyczni konsumenci", stanowiły gospodarstwa domowe wrażliwe na czynniki ekonomiczne i społeczne oraz deklarujące niższy poziom zaangażowania w działania mające na celu ochronę środowiska i jego zasobów. Istotną przewagą zastosowanego podejścia była identyfikacja trzeciego, „nieformalnego" segmentu gospodarstw domowych, stanowiących około 10% analizowanej próby badawczej (należy się jednak spodziewać, że przy mniej restrykcyjnym poziomie współczynnika rozmycia *m*, który ustalono na poziomie 1,3, liczebność tego segmentu mogłaby być jeszcze większa). Były to gospodarstwa, które trudno jednoznacznie zaklasyfikować do wyodrębnionych segmentów. W klasycznej segmentacji przypadki takich gospodarstw zostałyby zignorowane i arbitralnie przypisane do jednego z wyodrębnionych segmentów. Zastosowanie rozmytej metody c-średnich umożliwiło określenie stopnia przynależności każdego z tych gospodarstw zarówno do pierwszego, jak i drugiego segmentu. W celu identyfikacji tego typu gospodarstw zaproponowano krytyczną wartość stopnia przynależności do jednego z dwóch segmentów, ustaloną na poziomie 0,7. Grupa tych gospodarstw łączyła cechy obu segmentów, ale wyróżniała się największą podatnością na wpływ społeczny, najniższym zainteresowaniem wykorzystania lokalnych zasobów energetycznych oraz relatywnie niską motywacją ekonomiczną do inwestowania w odnawialne źródła energii.

Innym rynkiem, dla którego segmentacja ma istotne znaczenie zarówno w kontekście konsumentów, jak i producentów jest rynek samochodów osobowych. W Europie funkcjonuje ogólnie przyjęty podział modeli samochodów osobowych na segmenty od A (segment samochodów małych) do F (segment samochodów luksusowych) ustalony na bazie wymiarów tych modeli. Podział ten został wprowadzony w celu uporządkowania oferty modeli samochodów osobowych i ułatwienia zarówno konsumentom, jak i producentom poruszanie się na tym złożonym rynku. Z założenia podział ten ma wspierać producentów w dostosowywaniu oferty do potrzeb klientów i ułatwić konsumentom wybór odpowiedniego pojazdu. Aktualnie obserwuje się jednak coraz większe rozmycie tych segmentów wynikające ze zmian w preferencjach konsumentów, rozwoju technologii i platform modułowych, nowych form napędu a także strategii marketingowych przedsiębiorców. O zjawisku rozmywania segmentów rynku samochodów osobowych napisałem w opracowaniu [1] proponując alternatywne podejście oparte na rozmytej

segmentacji tego rynku z zastosowaniem rozmytej metody c-średnich. Później na problem ten zwróciła uwagę również Grigolon (2021) próbując uchwycić zjawisko zacierania się granic segmentów z zastosowaniem zagnieżdżonego wielomianowego modelu logitowego.

W moim opracowaniu przyjąłem perspektywę konsumenta bowiem skupiając się na modelach samochodów pozycjonowanych na pograniczu analizowanych segmentów wskazałem te, które stanowiły swoiste „pomosty" między segmentami i mogły stanowić atrakcyjną ofertę zakupu. Jednak wyniki tego typu segmentacji mogą być użyteczne również dla producentów samochodów osobowych w kontekście pozycjonowania swoich modeli czy ustalania poziomu ich cen. W segmentacji wykorzystałem zmienne charakteryzujące rozmiary modeli samochodów, a więc ich długość i szerokość nadwozia oraz rozstaw osi. Zastosowałem podział na 6 klas (przy parametrze rozmycia na poziomie m=1,25) nawiązując w ten sposób do funkcjonującego na rynku europejskim podziału modeli na wspomniane wcześniej sześć segmentów. W analizie segmentacyjnej uwzględniono 131 modeli samochodów osobowych będących w sprzedaży na polskim rynku w 2008 r. Zaproponowane podejście umożliwiło wskazanie dla większości segmentów (wyjątkiem był jedynie segment F) modeli samochodów z niejednoznaczną przynależnością do segmentów. Modele te aspirowały do segmentów wyższych oferując jednocześnie ceny bazowe charakterystyczne dla niższych segmentów. Wskazane modele, pozycjonowane na pograniczu sąsiadujących segmentów, stanowiły potencjalnie korzystne opcje zakupowe, gdyż jak pokazały wyniki badań Grigolon (2021) konsumenci najczęściej dokonują zmian w swoich wyborach rozważając modele z sąsiadujących ze sobą segmentów. Uzyskane wyniki mogły stanowić punkt wyjścia do bardziej pogłębionych analiz porównawczych pod względem innych zmiennych (wyposażenie, okres gwarancji itp.) wpływających na decyzje zakupowe konsumentów.

Do najważniejszych osiągnięć teoretycznych i aplikacyjnych wyżej omówionych badań, wpisujących się w rozwój dyscypliny ekonomia i finanse, należy zaliczyć:

– zastosowanie rozmytej metody c-średnich w segmentacji konsumentów na rynku energii i rynku samochodów osobowych, umożliwiające modelowanie niejednoznacznej przynależności konsumentów do segmentów i uwzględnienie złożonych wzorców zachowań konsumenckich;
– wykazanie przewagi podejścia rozmytego nad klasycznym w segmentacji rynku przejawiającego się m.in. w zdolności identyfikacji konsumentów wykazujących cechy charakterystyczne dla więcej niż jednego segmentu oraz możliwości wskazania tzw. „pomostów" między segmentami, co nabiera szczególnego znaczenia w kontekście zacierania się granic niektórych segmentów rynkowych;

– wykorzystanie stopni przynależności obiektów do segmentów jako narzędzia pogłębionej analizy charakterystyki segmentów, w tym ich profili, co pozwala uchwycić subtelne różnice wewnątrzsegmentowe i stopień ich spójności.

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

W ramach rozwoju współpracy naukowej z innymi ośrodkami akademickimi i badawczymi uczestniczyłem w dwóch stażach i jednej wizycie naukowej, których efektem było opracowanie koncepcji badań, narzędzi pomiarowych, rozwiązań metodycznych oraz publikacji naukowych.

W okresie od 1 stycznia do 31 marca 2019 r. odbyłem staż naukowy w Instytucie Organizacji i Zarządzania w Przemyśle „ORGMASZ" w Warszawie. Moim opiekunem naukowym w trakcie stażu była dr hab. Elwira Gross-Gołacka. Efekty stażu obejmowały:

- przygotowanie koncepcji badania dotyczącego innowacyjności sektora MŚP w Polsce, w tym opracowanie struktury próby badawczej, narzędzia pomiarowego (kwestionariusza wywiadu) oraz nadzór merytoryczny nad realizacją badania,
- opracowanie koncepcji, struktury i fragmentów monografii: Gross-Gołacka E., Jefmański B., Spałek P. (2019), *Kapitał intelektualny przedsiębiorstw w Polsce – wybrane aspekty teoretyczne i praktyczne*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, stanowiącej kompendium wiedzy w zakresie zarządzania kapitałem intelektualnym oraz prezentującej wyniki badań dotyczących świadomości menedżerów w obszarze znaczenia kapitału intelektualnego oraz jego wpływu na rozwój przedsiębiorstw,
- przygotowanie referatu naukowego pt. *Identification and prioritization of benefits from the diversity management in organizations from the Visegrad Group countries (V4) – multi-criteria decision making approach*, na 33 edycję Międzynarodowej Konferencji Naukowej Stowarzyszenia IBIMA.

W dniach od 1 do 12 lipca 2022 r. odbyłem wizytę naukową na Wydziale Informatyki Politechniki Białostockiej. Opiekunem naukowym była prof. dr hab. Ewa Roszkowska. Wizyta miała na celu dalszy rozwój współpracy badawczej w zakresie metod wielokryterialnych i intuicjonistycznych zbiorów rozmytych. W ramach wizyty naukowej:

- prowadziłem prace nad metodyką wybranych metod wielokryterialnych wykorzystujących intuicjonistyczne zbiory rozmyte,

- dokonałem weryfikacji poprawności oraz oceny funkcjonalności autorskiego pakietu IFMCDM w środowisku R, który został scharakteryzowany w artykule: Roszkowska E., Jefmański B., Dudek A., Kusterka-Jefmańska M. (2024), *IFMCDM: An R package for intuitionistic fuzzy multi-criteria decision making methods*, SoftwareX, 26, 101721. https://doi.org/10.1016/j.softx.2024.101721,
- opracowałem propozycje nowych obszarów zastosowań pakietu w badaniach społeczno-ekonomicznych,
- współuczestniczyłem w przygotowaniu artykułu naukowego: Roszkowska E., Jefmański B., Kusterka-Jefmańska M. (2022), *On Some Extension of Intuitionistic Fuzzy Synthetic Measures for Two Reference Points and Entropy Weights*, Entropy, 24(8), 1081. https://doi.org/10.3390/e24081081 (pierwotna wersja tytułu w brzmieniu: *On Some Modification of Intuitionistic Fuzzy Synthetic Measures for Two Pattern Objects and Entropy Weights* została zmodyfikowana po uwagach recenzentów),
- współtworzyłem zakres i harmonogram dalszych badań nad rozwojem intuicjonistycznych rozmytych metod wielokryterialnych.

W kolejnym etapie współpracy z innymi ośrodkami naukowymi, w okresie od 1 do 30 czerwca 2023 r., odbyłem staż naukowy w Katedrze Teorii Organizacji i Zarządzania na Wydziale Zarządzania Uniwersytetu Warszawskiego. Opiekunem naukowym stażu była dr hab. Elwira Gross-Gołacka, prof. UW. W ramach stażu:

- opracowałem metodykę analizy danych pochodzących z badań diagnozujących postawy przedstawicieli Generacji Z wobec sztucznej inteligencji,
- wspólnie z zespołem badawczym przygotowałem referat a następnie artykuł naukowy: Jefmański, B., Kusterka-Jefmańska, M., Gross-Gołacka, E., & Błoński, K. (2025). *Data analytics based on MCDM methods for business sustainability — what's behind and what lies ahead?* Proceedings of the 58th Hawaii International Conference on System Sciences, s. 5747–5754. https://hdl.handle.net/10125/109536.

Realizacja powyższych staży i wizyt naukowych przyczyniła się do rozwoju współpracy międzyuczelnianej, poszerzenia moich kompetencji badawczy, a także do przygotowania publikacji naukowych i referatów wygłoszonych na zagranicznych konferencjach naukowych.

6. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowych

6.1. Opis osiągnięć naukowo-badawczych

Prace, które nie zostały wskazane jako główne osiągnięcie naukowo-badawcze można przyporządkować do czterech obszarów badawczych:

- satysfakcja klienta,
- innowacyjność przedsiębiorstw,
- kapitał intelektualny przedsiębiorstw,
- postawy konsumentów wobec zrównoważonej konsumpcji.

Badania prowadzone w pierwszym obszarze dotyczyły zarówno teoretycznych, jak i aplikacyjnych aspektów pomiaru satysfakcji klientów wewnętrznych i zewnętrznych. Część prac z tego obszaru dotyczyła alternatywnych, w stosunku do podejścia rozmytego prezentowanego w głównym osiągnięciu, koncepcji budowy miar syntetycznych, przy czym jedną z ważniejszych było wykorzystanie uogólnionej miary odległości dla danych porządkowych zaproponowanej przez Walesiaka (2016). W zagadnieniu pomiaru satysfakcji, oprócz miar kompozytowych, wskazałem również możliwości aplikacyjne innych wielowymiarowych metod statystycznych, takich jak: analiza czynnikowa, model CART, *conjoint analysis*, analiza klas ukrytych czy rozmyta funkcja regresji. Badania obejmowały również prace symulacyjne, które dostarczyły wskazówek metodycznych dla badań o charakterze aplikacyjnym w obszarze satysfakcji klientów. Część prac była efektem wieloletniej, nieformalnej współpracy badawczej z pracownikami Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie oraz Uniwersytetu Szczecińskiego. Do najważniejszych prac mieszczących się w obszarze badawczym związanym z pomiarem satysfakcji klientów należy zaliczyć:

1. Rybicka A., Jefmański B. (2010), *Zastosowanie metody conjoint analysis w badaniach satysfakcji klientów na przykładzie usług dydaktycznych szkoły wyższej*, Marketing i Rynek, 11, 21-27.
2. Jefmański B. (2011), *Zastosowanie rozmytej funkcji regresji w ocenie poziomu satysfakcji klientów z usług*, Taksonomia 18. Klasyfikacja i analiza danych – teoria i zastosowania. Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, 176, 313-320.
3. Jefmański B., Łapczyński M. (2011), *Badania satysfakcji z wykorzystaniem modelu logitowego dla kategorii uporządkowanych*, Roczniki Kolegium Analiz Ekonomicznych Szkoły Głównej Handlowej w Warszawie, 23, 60-75.
4. Rybicka A., Jefmański B. Pełka M. (2012), *Analiza klas ukrytych w badaniach satysfakcji studentów*, Taksonomia 19. Klasyfikacja i analiza danych - teoria i zastosowania. Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, 242, 247-255.
5. Jefmański B., Łapczyński M. (2013), *Masking problem in identification of service quality determinants with an application of the CART model - an example of the public services quality research in Poland*, Ekonometria. Econometrics, 3(41), 24-31.
6. Błoński K., Jefmański B. (2013), *Determinants of satisfaction of the employees of local government units*, Economics & Sociology, 6(2), 158-170. https://doi.org/10.14254/2071-789X.2013/6-2/14.
7. Jefmański B., Błoński K. (2014), *Composite Index of Local Government Employees Satisfaction*, Folia Oeconomica Stetinensia, 13(2), 77-95. https://doi.org/10.2478/foli-2013-0012.

8. Łapczyński M., Jefmański B. (2014), *Number of Clusters and the Quality of Hybrid Predictive Models in Analytical CRM*, Studies in Logic, Grammar and Rhetoric, 37(1), 141-157. https://doi.org/10.2478/slgr-2014-0022.
9. Jefmański B., Błoński K. (2016), *Kompozytowy indeks satysfakcji pracowników jednostek samorządu terytorialnego w Polsce*, [w:] P. Celeja, M. Kaczmarczyk (red.), Zarządzanie jakością w administracji i biznesie, Oficyna Wydawnicza „Humanitas", Sosnowiec, 23-40.
10. Jefmański B., Kusterka-Jefmańska M. (2017), *Satysfakcja klienta*, [w:] P. Rogala, P. Skowron (red.), Menedżer jakości i środowiska, AD REM, Jelenia Góra, 88-100.
11. Łapczyński, M., Jefmański B. (2019), *The number of clusters in hybrid predictive models: does it really matter?* Przegląd Statystyczny. Statistical Review, 66(3), 228-238. https://doi.org/10.5604/01.3001.0013.9131
12. Roszkowska E., Jefmański B., Kusterka-Jefmańska M. (2024), *A synthetic measure for ranking overall satisfaction based on multidimensional ordinal data. The case of airlines on the TripAdvisor website*, Operations Research and Decisions, 34(3), 221-242. https://doi.org/10.37190/ord240312.

Specyficznym typem klientów są mieszkańcy miast, gmin, regionów będący odbiorcami usług publicznych, użytkownikami przestrzeni oraz uczestnikami życia społecznego. Moje badania dobrostanu mieszkańców realizowane były m.in. na mocy listu intencyjnego o współpracy badaczy z następujących uczelni: UE we Wrocławiu, Uniwersytetu Szczecińskiego, UE w Katowicach, UE w Krakowie, UMCS w Lublinie, Akademii Leona Koźmińskiego w Warszawie, Uniwersytetu Warmińsko – Mazurskiego w Olsztynie. W przypadku tych badań pełniłem funkcję koordynatora po stronie Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu. Działania wykonywałem w ramach kierowanego przeze mnie Centrum Innowacji Społecznych działającego przy UE we Wrocławiu. Do istotnych prac z tego obszaru należy zaliczyć:

1. Kusterka-Jefmańska M., Jefmański B. (2013), *Measurement scale of subjective quality of life in cross-border regions*, Optimum. Studia Ekonomiczne, 5(65), 101-115. https://doi.org/10.15290/ose.2013.05.65.08.
2. Błoński K., Jefmański B. (2017), *Metodyka badań jakości życia mieszkańców powiatu wałeckiego*, [w:] K. Błoński, A. Burlita, J. Witek (red.), Pomiar jakości życia na poziomie lokalnym (na przykładzie powiatu wałeckiego), Rozprawy i Studia, nr 981, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin, 45–52.
3. Jefmański B., Błoński K. (2019), *Determinants of satisfaction with professional life in Western Poland*, [in:] K.S. Soliman (ed.), Vision 2025: Education Excellence and Management of Innovations through Sustainable Economic Competitive Advantage. Proceedings of the 34th International Business Information Management Association Conference (IBIMA), IBIMA Publishing, Madrid, 8382-8391.

Badania nad innowacyjnością przedsiębiorstw zainicjowane zostały w ramach grantu na badania naukowe realizowane przez Międzyuczelniane Zespoły Badawcze SGH-UEW pt. *Wpływ kapitału relacyjnego na innowacyjność przedsiębiorstw z sektorów wysokich technologii*. Jednym z efektów wspólnych badań było zaproponowanie metodyki Syntetycznej Miary Innowacyjności, umożliwiającej pomiar innowacyjności międzynarodowych grup kapitałowych w Polsce. Wartością dodaną projektu było kontynuowanie współpracy z pracownikami naukowymi Szkoły Głównej Handlowej w Warszawie w zakresie badań nad koncepcją Przemysłu 4.0 a w szczególności zakresu wdrażania technologii Przemysłu 4.0 w zrównoważonym zarządzaniu ryzykiem oraz ich wpływu na finanse przedsiębiorstw. Koncepcja Przemysłu 4.0 stanowi istotny czynnik stymulujący innowacyjność przedsiębiorstw, jednak jej implementacja

w przedsiębiorstwach wymaga od nich stosownej transformacji cyfrowej. Dlatego w ramach badań nad innowacyjnością zająłem się również tematem cyfryzacji i zaproponowałem Miarę Dojrzałości Cyfrowej pozwalającą ocenić poziom zaawansowania cyfrowego polskich przedsiębiorstw w obszarze zarządzania i zaawansowania technologicznego. W większości badań poświęconych innowacyjności przedsiębiorstw, oprócz implementacji mojego dorobku z obszaru teorii zbiorów rozmytych zaproponowałem również autorskie, alternatywne rozwiązania bazujące na uogólnionej mierze odległości dla danych porządkowych. Wyniki badań nad innowacyjnością przedsiębiorstw prezentowane były na Sympozjum Naukowym Instytutu Zarządzania Szkoły Głównej Handlowej w Warszawie oraz czterech konferencjach naukowych w tym na międzynarodowej konferencji AIB (The Academy of International Business) w Warszawie. Do moich istotnych publikacji naukowych w ramach obszaru badawczego związanego z innowacyjnością przedsiębiorstw należy zaliczyć:

1. Ocicka B., Baraniecka A., Jefmański B. (2022), *Exploring Supply Chain Collaboration for Green Innovations: Evidence from the High-Tech Industry in Poland*, Energies, 15(5), 1750. https://doi.org/10.3390/en15051750.
2. Turek J., Ocicka B., Rogowski W., Jefmański B. (2023), *The role of Industry 4.0 technologies in driving the financial importance of sustainability risk management*, Equilibrium. Quarterly Journal of Economics and Economic Policy, 18(4), 1009-1044. https://doi.org/10.24136/eq.2023.032.
3. Poszytek P., Lis M., Jefmański B., Fila J., Jeżowski M., Kotelska J. (2024), *Transformacja cyfrowa przedsiębiorstw w dobie Przemysłu 4.0*, Akademia WSB, Dąbrowa Górnicza.
4. Dziurski P., Jefmański B. (2023), *Rozważania nad autorskim podejściem do pomiaru innowacyjności organizacji*, Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, 67(5), 101-111. https://doi.org/10.15611/pn.2023.5.09.

W ramach stażu naukowego w należącym do Sieci Badawczej Łukasiewicz Instytucie Organizacji i Zarządzania w Przemyśle „ORGMASZ" (aktualna nazwa Sieć Badawcza Łukasiewicz – ITECH Instytut Innowacji i Technologii) rozpocząłem badania nad kapitałem intelektualnym. Zaprojektowałem ogólnopolskie badania poświęcone praktyce zarządzania kapitałem intelektualnym w przedsiębiorstwach. W swoich badaniach poruszyłem również zagadnienie pomiaru kapitału intelektualnego oraz jego wpływu na zrównoważony rozwój przedsiębiorstw. Dużą wagę nadałem różnorodności kapitału ludzkiego stanowiącego jeden z filarów kapitału intelektualnego. Zastosowanie autorskich propozycji pomiaru pozwoliło wskazać najważniejsze korzyści wynikające z wdrażania koncepcji zarządzania różnorodnością w przedsiębiorstwach w Polsce. W części przeprowadzonych analiz statystycznych promowałem podejście rozmyte analizując m.in. opinie menedżerów z zastosowaniem rozmytych skal konwersji i rozmytej analizy wariancji.

Ocenę kapitału intelektualnego można rozpatrywać również w szerszym kontekście związanym z oceną stopnia realizacji strategii zrównoważonego rozwoju przedsiębiorstw. Ocena taka wymaga jednak stosownego podejścia analitycznego uwzględniającego złożoność

kategorii zrównoważonego rozwoju. Jednym z nich są wielokryterialne metody podejmowania decyzji, dlatego w ramach stażu naukowego na Uniwersytecie Warszawskim, podjąłem się przeglądu ich zastosowań w ocenie zrównoważonego biznesu. Wyniki przeprowadzonej analizy bibliometrycznej zostały przedstawione na 58 międzynarodowej konferencji naukowej HICS 2025 (Hawaii International Conference on System Sciences).

Do najważniejszych publikacji w ramach niniejszego obszaru badawczego należy zaliczyć:

1. Jefmański B. (2013), *Statystyczna analiza regionalnego zróżnicowania Polski pod względem wdrażania koncepcji zarządzania różnorodnością w przedsiębiorstwach*, Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, nr 285, 46-54.
2. Gross-Gołacka E., Jefmański B. (2018), *Benefits of implementing diversity management concept in the opinion of organizations operating in the Visegrad Group – statistical comparative analysis*, Ekonomika i Organizacja Przedsiębiorstwa, 4, 20-35.
3. Gross-Gołacka E., Jefmański B., Spałek P. (2019), *Kapitał intelektualny przedsiębiorstw w Polsce - wybrane aspekty teoretyczne i praktyczne*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa,.
4. Gross-Gołacka E., Kusterka-Jefmańska M., Jefmański B. (2020), *Can Elements of Intellectual Capital Improve Business Sustainability?—The Perspective of Managers of SMEs in Poland*, Sustainability, 12(4), 1545. https://doi.org/10.3390/su12041545.
5. Gross-Gołacka E., Kusterka-Jefmańska M., Spałek P., Jefmański B. (2021), *Perception of Intellectual Capital and Its Impact on Business Sustainability: Evidence from Small, Medium, and Large Enterprises*, E&M Economics and Management, 24(2), 35-50. https://doi.org/10.15240/tul/001/2021-2-003.
6. Gross-Gołacka E., Kusterka-Jefmańska M., Kupczyk T., Jefmański B., Warwas I. (2022), *Diversity Management in Organizations - the Measuring of the Benefits: Visegrad Group (V4) Countries Perspective*, [in:] T.X. Bui (ed.), Proceedings of the 55th Annual Hawaii International Conference on System Sciences, University of Hawaii at Manoa, Honolulu, 5608-5617.
7. Brzozowska A., Gross-Gołacka E., Grima S., Kusterka-Jefmańska M., Jefmański B. (2023), *A Perspective on the Benefits of Diversity Management in Organizations*, Polish Journal of Management Studies, 28(2), 76-90. https://doi.org/10.17512/pjms.2023.28.2.05.
8. Gross-Gołacka E., Kusterka-Jefmańska M., Jefmański B., Błoński K. (2025), *Data analytics based on MCDM methods for business sustainability – what's behind and what lies ahead*? [in:] T.X. Bui (ed.), Proceedings of the 58th Hawaii International Conference on System Sciences, University of Hawaii at Manoa, Honolulu, 5747-5754.

Podjęcie badań w ostatnim z wymienionych obszarów wynikało z uczestnictwa w czterech projektach badawczych oraz przygotowaniu wniosków grantowych na dwa kolejne projekty, w ramach których są lub będą realizowane badania postaw konsumentów wobec zrównoważonej konsumpcji. Badania podjęte w projekcie INTEREKON – program Inter Team o tytule „*Dostawy ostatniej mili na rynku e-commerce na obszarach wiejskich*" wynikały m.in. z potrzeby poznania preferencji i postaw e-konsumentów w zakresie dostaw ostatniej mili na terenach wiejskich. Efektem mojego zaangażowania było przygotowanie analiz statystycznych i referatu naukowego traktującego o segmentacji e-konsumentów na podstawie motywów zakupów online oraz preferencji konsumentów dotyczących dostaw ostatniej mili.

Postawy różnych pokoleń konsumentów względem gotowości do zakupu lodówek zawierających pochodzącą z recyklingu piankę PUR były przedmiotem moich badań w ramach uczestnictwa w projekcie Horyzont 2020 pt. „*Systemic expansion of territorial CIRCULAR*

Ecosystems for end-of-life FOAM (CIRCULAR FOAM)". Dotychczasowymi efektami mojego zaangażowania w tym projekcie były m.in. dwa opracowania:

1. Wegener J., Uhlig J., Bohne M., Beinker F., Kiba-Janiak M., Jagoda A., Krzywonos M., Kołakowski T., Marcinkowski J.,Wąsowicz M., Jefmański B., Witkowski J., Lezak E., Pluta J., Romanowska B., Kołakowski D., Okoń K., Skoczylas A., Białas P., Zięcia A., Gorczyca A., Grygierczyk S., Lemiski D., Ploos van Amstel W. (2023), *Stakeholder map and regional readiness for a systemic territorial solution*, raport naukowo-badawczy, 1-159.
2. Krzywonos M., Jagoda A., Jefmański B. (2025), *Factors Influencing Refrigerator Containing Recycled PUR Foam Purchase Decisions Among Different Generations - Cross-Regional Analysis*. Artykuł złożony do recenzji do czasopisma Journal of Environmental Management.

Analiza decyzji nabywczych oraz ocena zaangażowania konsumentów w procesie zrównoważonej konsumpcji stanowiła przedmiot moich badań w kolejnym projekcie nt. „*Wartość komunikacyjna zrównoważonych produktów a zachowania konsumentów*" realizowanym wspólnie z naukowcami z Uniwersytetów Ekonomicznych w Poznaniu, Krakowie oraz Katowicach, w którym pełnię funkcję kierownika po stronie UE we Wrocławiu. Jednym z dotychczasowych efektów projektu jest zaproponowanie rozmytej metody wspomagania decyzji w identyfikacji opakowań produktów o wysokiej wartości informacyjnej scharakteryzowanej w referacie:

1. Jefmański B., Piekara A. Krzywonos M. (2025), *Fuzzy Intuitionistic Decision Support Method for Identification of High Informational Value Packaging – A Case Study of Buttermilk Packaging*, 27th European Conference on Artificial Intelligence (referat po pozytywnej recenzji, zakwalifikowany do wygłoszenia na konferencji).

Moje zaangażowanie w badania przewidziane w ramach projektu pt. „*Wpływ osobowości browarników na decyzje strategiczne i operacyjne w piwowarstwie rzemieślniczym*" wynikało z faktu, że również przedsiębiorcy, w tym przypadku browarnicy, mogą aktywnie kształtować postawy konsumentów wobec zrównoważonej konsumpcji poprzez m.in. promowanie lokalnych składników, zaangażowanie społeczne czy oferowanie zrównoważonych produktów. Dotychczasowym efektem mojego zaangażowania było przygotowanie następującego referatu na konferencję naukową:

1. Piekara A., Tripes S., Krzywonos M., Jefmański B. (2025), *Wpływ osobowości piwowara na decyzje strategiczne i operacyjne w browarnictwie rzemieślniczym*, Międzynarodowa Konferencja Naukowa pt. Rola towaroznawstwa w zarządzaniu jakością w warunkach gospodarki opartej na wiedzy (referat w recenzji).

Po uzyskaniu stopnia doktora opublikowałem 2 monografie, 22 rozdziały w monografiach oraz 61 artykułów naukowych. Prace zostały opublikowane zarówno w czasopismach polskich (np. „Przegląd Statystyczny. Statistical Review", „Wiadomości Statystyczne. The Polish Statistician", „Optimum. Economic Studies", „Econometrics. Ekonometria", „Taksonomia – Klasyfikacja i Analiza Danych", „Argumenta Oeconomica", „Marketing i Rynek", „Handel wewnętrzny", „Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie", „Economics and

Environment", „Equilibrium. Quarterly Journal of Economics and Economic Policy", „Oeconomica Stetinensia", „Operations Research and Decisions", „Quantitative Methods in Economics", „Studies in Logic, Grammar and Rhetoric", „Polish Journal of Management Studies") jak i zagranicznych (np. „Economics & Sociology", „E&M Economics and Management", "SoftwareX", „Entropy", „Symmetry", „Mathematics", „Sustainability"). Jestem również redaktorem 2 monografii naukowych oraz autorem lub współautorem 2 rozdziałów w podręcznikach akademickich.

Liczbowe zestawienie opublikowanego dorobku naukowego wyszczególniono w tabeli 1.

Tabela 1. Opublikowany dorobek naukowy

Wyszczególnienie	Przed uzyskaniem stopnia doktora		Po uzyskaniu stopnia doktora	
	Autorstwo	Współautorstwo	Autorstwo	Współautorstwo
Monografie naukowe	–	–	–	2
Redakcja monografii naukowych	–	–	2	–
Rozdziały w monografiach naukowych (w tym w języku angielskim)	1 (–)	–	4 (2)	18 (10)
Artykuły naukowe (w tym w języku angielskim)	10 (–)	2 (–)	19 (3)	42 (28)

Po uzyskaniu stopnia doktora byłem autorem lub współautorem 52 referatów oraz 14 plakatów zaprezentowanych na 52 krajowych i 13 międzynarodowych konferencjach naukowych.

Liczba cytowań moich prac na dzień 15.05.2025 r. według baz bibliometrycznych Web of Science, Scopus oraz Google Scholar (za *Publish or Perish*) wynosi odpowiednio: 171, 233, 509. Indeksy Hirscha według baz Web of Science, Scopus oraz Google Scholar wynoszą odpowiednio: h-indeks=8, h-indeks=9, h-indeks=11.

Za działalność naukowo-badawczą zostałem wyróżniony nagrodami Rektora oraz dodatkami naukowymi:

- nagroda Rektora II stopnia za osiągnięcia naukowo-badawcze w 2011 r.,
- nagroda Rektora I stopnia za osiągnięcia naukowo-badawcze w 2013 r.,
- nagroda Rektora II stopnia za osiągnięcia naukowo-badawcze w 2014 r.,
- nagroda Rektora I stopnia za osiągnięcia naukowo-badawcze w 2019 r.,
- nagroda Rektora I stopnia za osiągnięcia w działalności naukowej w 2021 r.,
- nagroda Rektora II stopnia za osiągnięcia w obszarze prowadzenie działalności naukowej w 2022 r.,

- dwa dodatki naukowe II stopnia za działalność naukową w 2022 r.,
- list gratulacyjny Dziekana Wydziału Ekonomii i Finansów UE we Wrocławiu za wkład w ewaluację 2017-2021,
- nagroda Rektora I stopnia za osiągnięcia naukowe w 2023 r.,
- dwa dodatki naukowe II stopnia za działalność naukową w 2023 r.,
- dodatek naukowy I stopnia za działalność naukową w 2024 r.

6.2. Opis osiągnięć dydaktycznych i popularyzatorskich

Swoje doświadczenie dydaktyczne zdobywałem prowadząc zajęcia ze studentami na Wydziale Ekonomii, Zarządzania i Turystyki Filii w Jelenie Górze Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu (wcześniej Wydział Gospodarki Regionalnej i Turystyki Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu), Wałbrzyskiej Wyższej Szkole Zarządzania i Przedsiębiorczości oraz Wyższej Szkole Techniczno-Ekonomicznej w Świdnicy. Prowadzone zajęcia dotyczyły następujących przedmiotów: „Analiza danych", „Ekonometria", „Statystyka", „Modelowanie i prognozowanie zjawisk ekonomicznych", „Technologie informacyjne", „Biznesowe zastosowania arkusza kalkulacyjnego", „Metody statystyczne w kontroli jakości", „Grafika menedżerska i prezentacyjna", „Informatyka w zarządzaniu", „Diagnostyka w zarządzaniu", „Analiza ekonomiczna", „Metody oceny projektów inwestycyjnych". W 2011 r. przygotowałem wykład pt. „Przygotowanie i prowadzenie badań potrzeb oraz satysfakcji klientów" w ramach studiów podyplomowych nt. „Uczę się zarządzania jakością – studia podyplomowe dla pracowników przedsiębiorstw" na UE we Wrocławiu. W latach 2018-2024 prowadziłem zajęcia na studiach podyplomowych nt. „Logistyka i zarządzanie łańcuchem dostaw" na Uniwersytecie Ekonomicznym we Wrocławiu. W 2018 r. prowadziłem wykłady i ćwiczenia komputerowe z przedmiotu „Analiza statystyczna" na studiach doktoranckich w Instytucie Immunologii i Terapii Doświadczalnej im. Ludwika Hirszfelda Polskiej Akademii Nauk we Wrocławiu. W latach 2024-2025 prowadziłem wykłady z przedmiotu „Metodyka badań ilościowych" w ramach seminarium doktorskiego realizowanego w Społecznej Akademii Nauk w Łodzi. Aktualnie przygotowuję materiały dydaktyczne z przedmiotów „Statystyczna analiza danych" oraz „Badania społeczno-środowiskowe i wizualizacja danych", których prowadzenie rozpocznę w roku akademickim 2025/2026 na UE we Wrocławiu.

Oceny moich zajęć dydaktycznych prowadzonych w jednostce macierzystej w roku akademickim 2023/2024 nadane przez studentów kształtowały się następująco:

1. Semestr zimowy 2023/2024 – średnia ważona 4,74.

2. Semestr letni 2023/2024 – średnia ważona 5,0.
3. Semestr zimowy 2024/2025 – średnia ważona 4,93.

Jestem współautorem podręcznika akademickiego nt. „Statystyka z prostej perspektywy teorii zbiorów" pod redakcją prof. dra hab. Tadeusza Borysa i dr Marty Kusterki-Jefmańskiej, w ramach którego przygotowałem rozdział nt. „Wielowymiarowa analiza porównawcza" promując w nim m.in. rozmyte miary agregatowe. Współtworzyłem również podręcznik nt. „Systemy informatyczne zarządzania. Microsoft Business Solutions Navison" pod redakcją dra hab. Andrzej Dudka, prof. UE we Wrocławiu, w którym przygotowałem rozdział nt. „Zarządzanie finansami".

Byłem promotorem 24 prac dyplomowych licencjackich i 10 prac magisterskich. Recenzowałem 2 prace dyplomowe licencjackie i 9 prac magisterskich.

W latach 2019-2023 pełniłem rolę promotora pomocniczego w 2 skutecznie zakończonych przewodach doktorskich:

1. Praca doktorska pt. „*Instytucje otoczenia biznesu a podejmowanie działalności gospodarczej przez kobiety*". Autor: Agata Buczak,
2. Praca doktorska pt. „*Interakcje innowacji i internacjonalizacji w procesach rozwoju mikroprzedsiębiorstw z województwa dolnośląskiego*". Autor: Małgorzata Martynoga.

W obu przypadkach promotorem głównym była dr hab. Małgorzata Markowska, prof. UE we Wrocławiu.

W trakcie pracy naukowej pełniłem również funkcję recenzenta w następujących czasopismach krajowych i zagranicznych: „Przegląd Statystyczny", „Optimum. Economic Studies", „Technological Forecasting & Social Change", „American Journal of Marketing Research", „American Journal of Economics", „Finance and Management", „International Journal of Environmental Research and Public Health", „Mathematics", „Sustainability", „Tourism and Hospitality", „Information", „Ekonomika i organizacja przedsiębiorstwa", „Advances in Hygiene and Experimental Medicin", wydawnictwo pokonferencyjne nt. „The International Conference on Advances in Information Mining and Management", wydawnictwo pokonferencyjne nt. „Współczesne uwarunkowania zarządzania środowiskiem", wydawnictwo pokonferencyjne nt. „Aktualne trendy w zarządzaniu środowiskiem", wydawnictwo pokonferencyjne nt. „Aspekty środowiskowe w ekonomii i zarządzaniu",

6.3. Opis osiągnięć organizacyjnych

Do moich najważniejszych osiągnięć organizacyjnych zaliczam:

- 2016-2019 r. – założenie i kierowanie centrum badawczym na Uniwersytecie Ekonomicznym we Wrocławiu pod nazwą „Centrum Badań i Rozwoju Innowacji Społecznych";

- 2019 r. – pełnienie funkcji członka Rady Naukowej Instytutu Organizacji i Zarządzania w Przemyśle „ORGMASZ" Sieci Badawczej Łukasiewicz;
- 2020 r. – pełnienie funkcji przewodniczącego Rady Naukowej Instytutu Organizacji i Zarządzania w Przemyśle „ORGMASZ" Sieci Badawczej Łukasiewicz;
- od 2024 r. do chwili obecnej – pełnienie funkcji redaktora statystycznego czasopisma „Advances in Hygiene and Experimental Medicin";
- od 2025 r. do chwili obecnej – pełnienie funkcji redaktora statystycznego czasopisma „Prakseologia i Zarządzanie. Zeszyty Naukowe TNP".

W 2010 r. współtworzyłem na potrzeby Wydziału Gospodarki Regionalnej i Turystyki UE we Wrocławiu raport cząstkowy pt. „Raport z badania satysfakcji studentów Wydziału Gospodarki Regionalnej i Turystyki UE we Wrocławiu. Raport cząstkowy dla kierunku Ekonomia". W latach 2013-2016 byłem członkiem Komitetu Programowego i Doradczego cyklu międzynarodowych konferencji „The International Conference on Advances in Information Mining and Management". Byłem również współorganizatorem Forum Inspiracji dla Innowacji zorganizowanego przez Sieć Badawczą Łukasiewicz – Instytut Organizacji i Zarządzania w Przemyśle ORGMASZ oraz Fundację Digital University, które odbyło się 18 grudnia 2019 r. w Warszawie.

7. Literatura

Abdolvand M.A., Taghipouryan M.J. (2011), *Evaluation of Customs Service Quality by Using Fuzzy SERVQUAL and Fuzzy MCDM*, American Journal of Scientific Research, 35, 89-103.

Ahmad S.N., Richard M.-O. (2014), *Understanding consumer's brand categorization across three countries: Application of fuzzy rule-based classification,* Journal of Business Research, 67(3), 278–287. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2013.05.014.

Andrich D.A. (1978), *A Rating Formulation for Ordered Response Categories*, Psychometrika, 43(4), 561-573. https://doi.org/10.1007/BF02293814.

Arabie P., Carroll J.D., DeSarbo W., Wind J. (1981), *Overlapping Clustering: A New Method for Product Positioning*, Journal of Marketing Research, 18(3), 310–317. https://doi.org/10.2307/3150972.

Atanassov K.T. (1986), *Intuitionistic fuzzy sets*, Fuzzy Sets and Systems, 20(1), 87–96. https://doi.org/10.1016/S0165-0114(86)80034-3.

Atanassov K.T, Gargov G. (1989), *Interval-valued intuitionistic fuzzy sets*, Fuzzy Sets and Systems, 31(3), 43–349. https://doi.org/10.1016/0165-0114(89)90205-4.

Bąk A. (2018), *Analiza porównawcza wybranych metod porządkowania liniowego*, Taksonomia 31. Klasyfikacja i analiza danych – teoria i zastosowania. Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, 508, 19-28.

Barnes S.J., Vidgen R.T. (2000), *WebQual: An Exploration of Web Site Quality*, [in:] H.R. Hansen, M. Bichler, H. Mahreh (eds.), Proceedings of the Eighth European Conference on Information Systems, Wirtschaftsunivsitat Wien, Vienna, 298-305.

Bartosiewicz S. (1976a), *Propozycja metody tworzenia zmiennych syntetycznych*, Prace Naukowe Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu, 84, 5-7.

Bartosiewicz S. (1976b), *Wariacje na temat wzorców rozwoju*, Przegląd Statystyczny, 4, 479-482.

Betti G. (2017), *Fuzzy measures of quality of life in Germany: a multidimensional and comparative approach*, Quality & Quantity. International Journal of Methodology, 51(1), 23-34. https://doi.org/10.1007/s11135-015-0291-0.

Bezdek J.C. (1974), *Numerical Taxonomy with Fuzzy Sets*, Journal of Mathematical Biology, 1, 57–71. https://doi.org/10.1007/BF02339490.

Bezdek J.C. (1981), *Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms*, Springer, New York.

Borys T. (1978), *Metody normowania cech statystycznych w badaniach porównawczych*, Przegląd Statystyczny, 25(2), 227-239.

Cannon R.L., Dave J.V., Bezdek J.C. (1986), *Efficient Implementation of the Fuzzy c-Means Clustering Algorithms*, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, PAMI-8(2), 248-255. https://doi.org/10.1109/TPAMI.1986.4767778.

Chan K.P. Cheung Y.S. (1992), *Clustering of clusters*, Pattern Recognition, 25(2), 211-217. https://doi.org/10.1016/0031-3203(92)90102-O.

Charles V., Kumar M., Suggu S. (2013), *Adapting Fuzzy Linguistic Servqual Model: A Comparative Analysis of Bank Services*, Middle-East Journal of Scientific Research, 18(8), 1119-1132. https://doi.org/10.5829/idosi.mejsr.2013.18.8.11844.

Chen S.M. (1999), *Evaluating the Rate of Aggregative Risk in Software Development Using Fuzzy Set Theory*, Cybernetics and Systems. An International Journal, 30(1), 57-75. https://doi.org/10.1080/019697299125389.

Chen C.T. (2000), *Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment*, Fuzzy Sets and Systems,114(1), 1-9. https://doi.org/10.1016/S0165-0114(97)00377-1.

Cieślak M. (1974), *Taksonomiczna procedura programowania rozwoju gospodarczego i określania zapotrzebowania na kadry kwalifikowane*, Przegląd Statystyczny, 1, 29-39.

Cieślak M. (1976), *Modele zapotrzebowania na kadry kwalifikowane*, PWN, Warszawa.

Cieślak M. (1990), Zagadnienie „ruchomego celu" w wielowymiarowej analizie porównawczej, Przegląd Statystyczny, 37(1-2), 25-35.

De la Rosa de Sáa S., Gil M.Á., García M.T.L., Lubiano M.A. (2013), *Fuzzy Rating vs. Fuzzy Conversion Scales: An Empirical Comparison through the MSE*, [in:], R. Kruse, M. Berthold, C. Moewes, M. Gil, P. Grzegorzewski, O. Hryniewicz (eds.), Synergies of Soft Computing and Statistics for Intelligent Data Analysis. Advances in Intelligent Systems and Computing, 190, Springer, 135-143. https://doi.org/10.1007/978-3-642-33042-1_15.

De la Rosa de Sáa S., Gil M.Á, González-Rodríguez G., López M.T., Lubiano M.A. (2015), *Fuzzy Rating Scale-Based Questionnaires and Their Statistical Analysis*, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 23(1), 111-126. https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2014.2307895.

Ding J.F., Liang G.S. (2005), *Using fuzzy MCDM to select partners of strategic alliances for linear shipping*, Information Sciences, 173(1-3), 197-225. https://doi.org/10.1016/j.ins.2004.07.013.

Dudek H., Szczęsny W. (2016), *Subjective perception of quality of life – multidimensional analysis based on the fuzzy sets approach*, Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, 435, 55-68. https://doi.org/10.15611/pn.2016.435.03.

Dunn J.C. (1974), *A fuzzy relative of the ISODATA process and its use in detecting compact well-separated clusters*, Journal of Cybernetics, 3(3), 32–57. https://doi.org/10.1080/01969727308546046.

D'Urso P., Disegna M., Massari R., Osti L. (2014), *Fuzzy segmentation in postmodern consumers*, BEMPS – Bozen Economics & Management Paper Series, 20.

D'Urso P., Disegna M., Massari R., Osti L. (2016), *Fuzzy segmentation of postmodern tourists*, Tourism Management, 55, 297-308. https://doi.org/10.1016/j.tourman.2016.03.018.

Fukuyama Y., Sugeno M. (1989), *A New Method of Choosing the Number of Clusters for the Fuzzy C-means Method*, [in:] Proceedings of 5th Fuzzy Systems Symposium, Japan Society for Fuzzy Theory and Intelligent Informatics, Kobe, Japan, 247-250.

Grabiński T., Zając K., (1975), *Dynamiczna metoda badania struktur demograficznych*, [w:] K. Zając (red.), Metody statystyczne w badaniach społeczno-ekonomicznych, Prace Komisji Socjologicznej, nr 38.

Grigolon L. (2021), *Blurred boundaries: A flexible approach for segmentation applied to the car market*, Quantitative Economics, 12(4), 1273-1305.

Hall L.O., Bensaid A.M., Clarke L.P., Velthuizen R.P., Silbiger M.S., Bezdek J.C. (1992), *A comparison of neural network and fuzzy clustering techniques in segmenting magnetic resonance images of the brain*, IEEE Transactions on Neural Networks, 3(5), 672-682. https://doi.org/10.1109/72.159057.

Handbook on Constructing Composite Indicators. Methodology and User Guide, Paris, OECD, 2008.

Hellwig Z. (1968), *Zastosowanie metody taksonomicznej do typologicznego podziału krajów ze względu na poziom ich rozwoju oraz zasoby i strukturę wykwalifikowanych kadr*, Przegląd Statystyczny, 15(4), 307–326.

Hellwig Z. (1981), *Wielowymiarowa Analiza Porównawcza i Jej Zastosowanie w Badaniach Wielocechowych Obiektów Gospodarczych.* [w:] W. Welfe (red.), Metody i Modele Ekonomiczno-Matematyczne w Doskonaleniu Zarządzania Gospodarką Socjalistyczną, PWE, Warszawa, 46–68.

Hesketh B., Griffin B., Loh V. (2011), *A future-oriented retirement transition adjustment framework*, Journal of Vocational Behavior, 79(2), 303–314. https://doi.org/10.1016/j.jvb.2011.03.008.

Hesketh T., Hesketh B. (1994), *Computerised fuzzy ratings: the concept of a fuzzy class*, Behavior Research Methods, Instruments, & Computers, 26(3), 272–277. https://doi.org/10.3758/BF03204637.

Hesketh B., Hesketh T., Hansen J-I., Goranson D. (1995), *Use of fuzzy variables in developing new scales from strong interest inventory*, Journal of Counseling Psychology, 42(1), 85–99. https://doi.org/10.1037/0022-0167.42.1.85.

Hesketh T., Pryor R., Hesketh B. (1988), *An application of a computerized fuzzy graphic rating scale to the psychological measurement of individual differences*, International Journal of Man-Machine Studies, 29(1), 21–35. https://doi.org/10.1016/S0020-7373(88)80029-4.

Hruschka H. (1986), *Market definition and segmentation using fuzzy clustering methods*, International Journal of Research in Marketing, 3(2), 117-134. https://doi.org/10.1016/0167-8116(86)90015-7.

Hu H.Y., Lee Y.Ch., Yen T.M. (2010), *Service quality gaps analysis based on Fuzzy linguistic SERVQUAL with a case study in hospital out-patient services*, The TQM Journal, 22(5), 499-515. https://doi.org/10.1108/17542731011072847.

Hwang C.L., Yoon K. (1981), *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Application*, Springer-Verlag, New York.

Jajuga K. (1987), *Metoda tworzenia zmiennych syntetycznych na podstawie klasyfikacji rozmytej*, Prace Naukowe Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu, 360, 67-82.

Jajuga K. (1990), *Statystyczna teoria rozpoznawania obrazów*, PWN, Warszawa.

Jefmański B., Dudek A. (2016), *Syntetyczna miara rozwoju Hellwiga dla trójkątnych liczb rozmytych*, [w:] D. Appenzeller (red.), Matematyka i informatyka na usługach ekonomii. Wybrane problemy modelowania i prognozowania zjawisk gospodarczych, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, Poznań, 29–40.

Leung Y. (1983), *Fuzzy Sets Approach to Spatial Analysis and Planning, a Nontechnical Evaluation*, Geografiska Annaler. Series B, Human Geography, 65(2), 65-75. https://doi.org/10.1080/04353684.1983.11879490.

Liu R., Cui L., Zeng G., Wu H., Wang Ch., Yan S., Yan B. (2015), *Applying the fuzzy SERVQUAL method to measure the service quality in certification & inspection industry*, Applied Soft Computing, 26, 508-512. https://doi.org/10.1016/j.asoc.2014.10.014.

Luo Y., Yu C. (2008), *A Fuzzy Optimization Method for Multi-criteria Decision-making Problem Based on the Inclusion Degrees of Intuitionistic Fuzzy Sets*, Journal of Information and Computing Science, 3(2), 139-145.

Lupo T. (2013), *A fuzzy ServQual based method for reliable measurements of education quality in Italian higher education area*, Expert Systems with Applications, 40(17), 7096-7110. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.06.045.

Łuczak A. (2016), *Wielokryterialne metody ilościowe w diagnozowaniu i modelowaniu rozwoju lokalnego*, Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, Poznań.

Łuczak A., Kalinowski S. (2025), *A fuzzy hybrid MCDM approach to the evaluation of subjective household poverty*, Statistics in Transition new series, 26(1), 69-91. https://doi.org/10.59139/stattrans-2025-005.

Łuczak A., Kozera A., Wysocki F. (2016), *Ocena sytuacji finansowej jednostek samorządu terytorialnego z wykorzystaniem rozmytych metod klasyfikacji i programu R*, Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, 427, 165-175.

Malerba F. (2005), *Sectoral systems of innovation: a framework for linking innovation to the knowledge base, structure and dynamics of sectors*, Economics of Innovation and New Technology, 14(1–2), 63–82. https://doi.org/10.1080/1043859042000228688.

Manca G., Curtin K. (2012), *Fuzzy Analysis for Modeling Regional Delineation and Development: The Case of the Sardinian Mining Geopark*, Transactions in GIS, 16(1), 55-79. https://doi.org/10.1111/j.1467-9671.2011.01300.x.

Markowska M. (2012), *Dynamiczna taksonomia innowacyjności regionów*, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Wrocław.

Masters G.N. (1982), *A Rasch model for partial credit scoring*, Psychometrika, 47(2), 149-174. https://doi.org/10.1007/BF02296272.

Muraki E. (1992), *A Generalized Partial Credit Model: Application of an EM Algorithm*, Applied Psychological Measurement, 16(2), 159-176. https://doi.org/10.1177/014662169201600206.

N'Cir CE.B., Cleuziou G., Essoussi N. (2015), *Overview of Overlapping Partitional Clustering Methods*, [in:] M.E. Celebi (eds.), Partitional Clustering Algorithms, Springer, Cham, 245-275. https://doi.org/10.1007/978-3-319-09259-1_8.

Nowak E. (1985), *Metodyka statystycznych analiz porównawczych efektywności obiektów rolniczych*, Prace Naukowe Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu, 292, Seria: Monografie i Opracowania, 25.

Ostasiewicz W. (1981), *Zastosowanie miary rozmytej do porównań syntetycznych*, Prace Naukowe Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu, 190, 79-102.

Ostasiewicz W. (1986), *Zastosowanie zbiorów rozmytych w ekonomii*, PWN, Warszawa.

Pal N.R., Bezdek J.C. (1995), *On cluster validity for the fuzzy c-means model*, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 3(3), 370-379. https://doi.org/10.1109/91.413225.

Pandey V., Komal, Dincer H. (2023), *A review on TOPSIS method and its extensions for different applications with recent development*, Soft Computing, 27(23), 18011–18039. https://doi.org/10.1007/s00500-023-09011-0.

Panek T., Zwierzchowski J. (2013), *Statystyczne metody wielowymiarowej analizy porównawczej. Teoria i zastosowania*, Oficyna Wydawnicza Szkoły Głównej Handlowej w Warszawie, Warszawa.

Parasuraman A., Zeithaml V., Berry L.L. (1998), *SERVQUAL: A Multiple-Item Scale for Measuring Consumer Perceptions of Service Quality*, Journal of Retailing, 64(1), 12-40.

Parasuraman A., Berry L.L., Zeithalm V.A. (1991), *Refinement and reassessment of the SERVQUAL scale*, Journal of Retailing, 67(4), 420-450.

Pluta W. (1977), *Wielowymiarowa analiza porównawcza w badaniach ekonomicznych*, PWN, Warszawa.

Pociecha J., Jajuga K., Walesiak M. (2024), *Wkład ośrodków statystycznych w Krakowie i we Wrocławiu w rozwój metod klasyfikacji i analizy danych*, Wiadomości Statystyczne. The Polish Statistician, 69(9), 61-77. https://doi.org/10.59139/ws.2024.09.4.

Punj G., Stewart D.W. (1983), *Cluster Analysis in Marketing Research: Review and Suggestions for Application*, Journal of Marketing Research, 20(2), 134-148. https://doi.org/10.1177/002224378302000204.

Rasch G. (1960), *Probabilistic Models for Some Intelligence and Attainment Tests*, University of Chicago Press, Chicago.

Roszkowska E. (2024), *A Comprehensive Exploration of Hellwig's Taxonomic Measure of Development and Its Modifications—A Systematic Review of Algorithms and Applications*, Applied Sciences,14(21), 10029. https://doi.org/10.3390/app142110029.

Samejima F. (1969), *Estimation of Latent Ability Using a Response Pattern of Graded Scores*, Psychometrika, 17, 1-97. https://doi.org/10.1007/BF03372160.

Seidl R., Moser C., Blumer Y. (2017), *Navigating behavioral energy sufficiency. Results from a survey in Swiss cities on potential behavior change*, PLoS ONE, 12(10). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185963.

Shahin A., Pool J.K., Poormostafa M. (2014), *Evaluating and ranking hotels offering e-service by integrated approach of Webqual and fuzzy AHP*, International Journal of Business Information Systems, 15(1), 84-104. https://doi.org/10.1504/IJBIS.2014.057966.

Smith W. (1956), *Product Differentiation and Market Segmentation as Alternative Marketing Strategies*, Journal of Marketing, 21(1), 3-8. https://doi.org/10.2307/1247695.

Stevens S.S. (1946), *On the theory of scales of measurement*, Science, 103(2684), 677-680.

Strahl D. (1978), *Propozycja konstrukcji miary syntetycznej*, Przegląd Statystyczny, 25(2), 205-215.

Strahl D. (red.), (2006), *Metody oceny rozwoju regionalnego*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu, Wrocław.

Sütterlin B., Brunner T., Siegrist M. (2011), *Who puts the most energy into energy conservation? A segmentation of energy consumers based on energy-related behavioral characteristics*, Energy Policy, 39(12), 8137-8152. https://doi.org/10.24451/arbor.11689.

Szmidt E. (2000), *Applications of Intuitionistic Fuzzy Sets in Decision Making*, Technical University of Sofia (D.Sc. dissertation).

Szmidt E., Kacprzyk J. (2000), *Distances between intuitionistic fuzzy sets*, Fuzzy Sets and Systems, 114(3), 505–518. https://doi.org/10.1016/S0165-0114(98)00244-9.

Tsaur S.H., Chang T.Y., Yen Ch.H. (2002), *The Evaluation of Airline Service Quality by Fuzzy MCDM*, Tourism Management, 23(2), 107-115. https://doi.org/10.1016/S0261-5177(01)00050-4.

Tumbaz M.N.M., Moğulkoç H.T. (2018), *Profiling energy efficiency tendency: A case for Turkish households*, Energy Policy, 119, 441-448. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.04.064.

Walesiak M. (1996), *Metody analizy danych marketingowych*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

Walesiak M. (2004), *Metody porządkowania liniowego*, [w:] E. Gatnar, M. Walesiak (red.), Metody statystycznej analizy wielowymiarowej w badaniach marketingowych, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu, Wrocław, 351-368.

Walesiak M. (2016). *Uogólniona miara odległości GDM w statystycznej analizie wielowymiarowej z wykorzystaniem programu R*, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Wrocław.

Walesiak M. (2012*), Pomiar odległości obiektów opisanych zmiennymi mierzonymi na skali porządkowej - strategie postępowania,* Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, 242, 39-46.

Walesiak M., Dehnel G. (2020), *The Measurement of Social Cohesion at Province Level in Poland Using Metric and Interval-Valued Data*, Sustainability, 12(18), 7664. https://doi.org/10.3390/su12187664.

Walesiak M., Dehnel G.A. (2023), *Measurement of Social Cohesion in Poland's NUTS2 Regions in the Period 2010-2019 by Applying Dynamic Relative Taxonomy to Interval-Valued Data*, Sustainability, 15(4), 3752. https://doi.org/10.3390/su15043752.

Wang H.J., Wei G.W. (2008), *An Effective Supplier Selection Method with Intuitionistic Fuzzy Information,* Proceedings of the 4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing Networking and Mobile Computing, Dalian, China, 1-4.

Wind Y. (1978), *Issues and Advances in Segmentation Research*, Journal of Marketing Research, 15(3), 317-337. https://doi.org/10.2307/3150580.

Wydymus S. (1984), *Metody wielowymiarowej analizy rozwoju społeczno-gospodarczego*, Zeszyty Naukowe Akademii Ekonomicznej w Krakowie, Seria specjalna: Monografie, 62, Kraków.

Wysocki F. (2010), *Metody taksonomiczne w rozpoznawaniu typów ekonomicznych rolnictwa i obszarów wiejskich*, Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, Poznań.

Xie X.L., Beni G.A. (1991), *Validity Measure for Fuzzy Clustering*, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 13(8), 841–847. https://doi.org/10.1109/34.85677.

Xu Z.S. (2007), *Some Similarity Measures of Intuitionistic Fuzzy Sets and Their Applications to Multiple Attribute Decision Making*, Fuzzy Optimization and Decision Making, 6, 109-121. https://doi.org/10.1007/s10700-007-9004-z.

Yu S.C., Wu B. (2007), *Fuzzy item response model: a new approach to generate membership function to score psychological measurement*, Quality & Quantity, 43, 381-390. https://doi.org/10.1007/s11135-007-9114-2.

Yue C., Yue Z. (2019), *Measuring the satisfaction and loyalty for Chinese smartphone users: A simple symbol-based decision making method*, Scientia Iranica, 26(1), 589-604. https://doi.org/10.24200/sci.2018.3841.0.

Zadeh L.A. (1965), *Fuzzy sets*, Information and Control, 8(3), 338-353. https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X.

Zani S., Milioli M.A., Morlini I. (2021), *Fuzzy Methods and Satisfaction Indices*, [in:] R.S. Kenett, S. Salini (eds.), Modern Analysis of Customer Surveys: with applications using R, John Wiley & Sons, Chichester. 439-456.