

**Dr Michał Bernardelli**

**Zakład Metod Probabilistycznych  
Instytut Ekonometrii  
Kolegium Analiz Ekonomicznych  
Szkoła Główna Handlowa w Warszawie**

## **Autoreferat**

### **Spis treści**

<b>1. Wykształcenie i praca zawodowa .....</b>	<b>2</b>
<b>2. Dorobek naukowy: osiągnięcie habilitacyjne .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Identyfikacja punktów zwrotnych cyklu koniunkturalnego.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2. Synchronizacja cykli koniunkturalnych .....</b>	<b>10</b>
<b>2.3. Analiza konwergencji.....</b>	<b>12</b>
<b>2.4. Miara podobieństwa szeregów czasowych .....</b>	<b>13</b>
<b>2.5. Najważniejsze wyniki i wnioski.....</b>	<b>15</b>
<b>3. Pozostały dorobek naukowy.....</b>	<b>17</b>
<b>3.1. Pozostałe publikacje po uzyskaniu stopnia doktora .....</b>	<b>17</b>
3.1.1. Pozostałe publikacje z analizami bazującymi na ukrytych modelach Markowa ...	17
3.1.2. Konstrukcja i zastosowanie algorytmów.....	18
3.1.3. Systemy bonus-malus .....	20
3.1.4. Big data.....	21
3.1.5. Analiza konwergencji .....	23
<b>3.2. Statystyka dorobku naukowego.....</b>	<b>24</b>
<b>3.3. Udział w projektach badawczych .....</b>	<b>26</b>
<b>4. Dorobek dydaktyczny .....</b>	<b>29</b>
<b>5. Dorobek organizacyjny.....</b>	<b>32</b>
<b>6. Nagrody i wyróżnienia.....</b>	<b>33</b>
<b>Literatura cytowana.....</b>	<b>33</b>

## 1. Wykształcenie i praca zawodowa

W latach 1998-2003 studiowałem na Międzywydziałowych Indywidualnych Studiach Matematyczno-Przyrodniczych na Uniwersytecie Warszawskim, w ramach których uzyskałem na Wydziale Matematyki, Informatyki i Mechaniki stopnie magistra na kierunku informatyka z oceną celujący (temat pracy: *Deterministyczny algorytm rozpoznawania liczb pierwszych – podejście logiczne*) oraz na kierunku matematyka z oceną bardzo dobry (temat pracy: *Algorytmy równoległe z użyciem formuł wstecznego różniczkowania*). Na tym samym wydziale rozpocząłem studia doktoranckie, które ukończyłem w roku 2008 uzyskując stopień doktora nauk matematycznych w dyscyplinie matematyka ze specjalizacją matematyka stosowana Uniwersytetu Warszawskiego. Praca doktorska pt. *Metody Dirichleta-Neumanna równoległego rozwiązywania dyskretyzacji zagadnień eliptycznych* przygotowana została pod kierunkiem naukowym prof. dr. hab. Maksymiliana Dryji.

Od grudnia 2009 roku do chwili obecnej pracuję na stanowisku adiunkta w Zakładzie Metod Probabilistycznych Instytutu Ekonometrii Kolegium Analiz Ekonomicznych Szkoły Głównej Handlowej w Warszawie. Dodatkowo już od 2003 roku podejmowałem pracę dydaktyczną, prowadząc wiele przedmiotów o charakterze matematyczno-informatycznym, w tym w latach 2003-2012 oraz 2018-2019 na Wydziale Matematyki, Mechaniki i Informatyki Uniwersytetu Warszawskiego, zaś w latach 2006-2009 na Wydziale Zarządzania w Ciechanowie Wyższej Szkoły Menedżerskiej w Warszawie.

Swoje doświadczenie w obszarze programistyczno-projektowym oraz modelowania matematyczno-ekonometrycznego wykorzystuję w zastosowaniach komercyjnych m.in. w latach 2012-2014 jako specjalista do spraw modelowania ekonometrycznego w projekcie Systematic Planning for Development of Wind Energy in Lubelskie, w latach 2013-2014 jako ekspert numeryczny w projekcie Morfa w Instytucie Badań Strukturalnych, jak również w latach 2014-2016 w BPO Poland jako analityk Big Data oraz od 2016 roku w Cloud Technologies S.A. jako ekspert do spraw modelowania matematycznego.

Od 2015 roku zajmuję również stanowisko kierownika Centrum Wychowania Fizycznego i Sportu w Szkole Głównej Handlowej w Warszawie, od 2010 roku pełnię funkcję Prezesa Klubu Uczelnianego Akademickiego Związku Sportowego Szkoły Głównej Handlowej w Warszawie, a od 2018 roku opiekuna Studenckiego Koła Naukowego Zarządzania w Sporcie.

## 2. Dorobek naukowy: osiągnięcie habilitacyjne

Rozwój informatyki zarówno na polu konstrukcji bardziej wydajnego sprzętu komputerowego, jak i efektywnych obliczeniowo algorytmów, przyczynił się do znacznego poszerzenia możliwości ich wykorzystania w różnych dziedzinach nauki. Zaawansowane metody obliczeniowe wymagające wykorzystania programów i sprzętu komputerowego powszechnie stosowane w jednym obszarze nauki, mogą być jednak niemal nieznanymi w innych obszarach.

Teoria łańcuchów Markowa jest znana od dziesiątków lat i ma fundamentalne znaczenie w modelowaniu wielu zjawisk przyrodniczych, technicznych oraz ekonomicznych (Podgórska et al., 2002). Uogólnienie modeli Markowa, znane pod nazwą ukrytych modeli Markowa (ang. *hidden Markov models*, HMM) lub też przełącznikowych modeli Markowa, pojawiło się w literaturze w latach 60. ubiegłego stulecia (Cappé et al., 2005) i znalazło zastosowanie m.in. w rozpoznawaniu mowy, sygnałów, odręcznego pisma czy też w bioinformatyce przy sekwencjonowaniu DNA. Tej świetnej metodzie automatycznego rozpoznawania wzorców, stosunkowo niewiele poświęcono miejsca w naukach ekonomicznych. Umiejętności i wiedza zdobyte przeze mnie w trakcie lat nauki matematyki i informatyki, pozwoliły na ich doskonałe połączenie z ekonometrią, czego wynikiem było opracowanie algorytmów wykorzystujących ukryte modele Markowa i ich zastosowanie w naukach ekonomicznych. Opis tych zastosowań zawarty został w cyklu dziesięciu powiązanych tematycznie artykułów, które przedstawiam do oceny jako osiągnięcie habilitacyjne pod tytułem: **„Zastosowanie ukrytych modeli Markowa w ekonomii i finansach, ze szczególnym uwzględnieniem badań koniunkturalnych”**.

[1] Bernardelli M., Dędyś M., *Ukryte modele Markowa w analizie wyników testu koniunktury gospodarczej*, Badanie koniunktury – zwierciadło gospodarki. Część I, pr. zb. pod red. Konrada Walczyka, "Prace i Materiały Instytutu Rozwoju Gospodarczego", IRG SGH, Warszawa 2012, No. 90, pp. 159-181.

- MNiSW: lista B, 7 p.

[2] Bernardelli M., *Non-classical Markov models in the analysis of business cycles in Poland*, "Roczniki" Kolegium Analiz Ekonomicznych SGH, No. 30, Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa 2013, pp. 59-74.

- MNiSW: lista B, 6 p.

- [3] Bernardelli M., *The procedure of business cycle turning points identification based on hidden Markov models*, Analyzing and forecasting economic fluctuations. pr. zb. pod red. Konrada Walczyka, "Prace i Materiały Instytutu Rozwoju Gospodarczego", IRG SGH, Warszawa 2015, No. 96, pp. 5-24.
- MNiSW: lista B, 8 p.
- [4] Bernardelli M., Dędyś M., *The Viterbi path of hidden Markov models in an analysis of business tendency surveys*, Analyzing and forecasting economic fluctuations. pr. zb. pod red. Konrada Walczyka, "Prace i Materiały Instytutu Rozwoju Gospodarczego", IRG SGH, Warszawa 2015, No. 96, pp. 25-47.
- MNiSW: lista B, 8 p.
- [5] Bernardelli M., Dędyś M., *Przełącznikowe modele Markowa w analizie synchronizacji cykli koniunkturalnych*, "Roczniki" Kolegium Analiz Ekonomicznych SGH, No. 39, Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa 2015, pp. 213-227.
- MNiSW: lista B, 9 p.
- [6] Bernardelli M., Dędyś M., *Mapping the respondents' assessments in the RIED manufacturing tendency survey using the Viterbi paths*, Niepewność a aktywność gospodarcza. pr. zb. pod red. Konrada Walczyka, "Prace i Materiały Instytutu Rozwoju Gospodarczego", IRG SGH, Warszawa 2017, No. 101, pp. 27-44.
- MNiSW: lista B, 8 p.
- [7] Bernardelli M., Próchniak M., Witkowski B., *The Application of Hidden Markov Models to the Analysis of Real Convergence*, Dynamic Econometric Models, Vol. 17 (2017) 59–80, <http://dx.doi.org/10.12775/DEM.2017.004>.
- MNiSW: lista B, 13 p.
- [8] Bernardelli M., Próchniak M., Witkowski B., *Przydatność ukrytych modeli Markowa do oceny podobieństwa krajów w zakresie synchronizacji wahań cyklicznych i wyrównywania się poziomów dochodu*, "Roczniki" Kolegium Analiz Ekonomicznych SGH, No. 53, Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa 2018, pp. 77-96
- MNiSW: lista B, 9 p.
- [9] Bernardelli M., *Hidden Markov Models as a Tool for the Assessment of Dependence of Phenomena of Economic Nature*, Acta Universitatis Lodziensis. Folia Oeconomica nr 338(5)/2018, pp. 7-20, <http://dx.doi.org/10.18778/0208-6018.338.01>.
- MNiSW: lista B, 14 p.

[10] Bernardelli M., *Ocena korelacji wyników testów koniunktury z wykorzystaniem ukrytych modeli Markowa*, pr. zb. pod red. Konrada Walczyka, "Prace i Materiały Instytutu Rozwoju Gospodarczego", 2018, Warszawa, No. 100, str. 57-87.

- MNiSW: lista B, 8 p.

Ukryte modele Markowa mają szereg zalet, które – szczególnie w ostatnich latach – znalazły swoje odzwierciedlenie w liczbie zastosowań w ekonomii i finansach. Moje prace nad aplikacyjnością podejścia bazującego na HMM w ogólnie pojętych badaniach koniunkturalnych, pozwoliły na świeże spojrzenie, które w zestawieniu z klasycznymi metodami, wydaje się dużym krokiem naprzód w procesie automatyzacji analiz i wnioskowania. Prowadzone przeze mnie badania dały szansę na rozwój alternatywnych metod analizy zagadnień z obszaru badań koniunktury – skutecznych, łatwych w interpretacji, a przede wszystkim charakteryzującymi się słabymi założeniami stosowalności. Wyniki tych badań zostały opublikowane w wymienionych artykułach, które dla przejrzystości zostały podzielone na cztery obszary – istotnych z punktu widzenia ekonomii – zastosowań:

1. identyfikacja punktów zwrotnych cyklu koniunkturalnego (artykuły 1-4),
2. synchronizacja cykli koniunkturalnych (artykuły 5-6),
3. analiza konwergencji (artykuły 7-8),
4. miara podobieństwa szeregów czasowych (artykuły 9-10).

Wymienione zastosowania łączy jeden wspólny proponowany zestaw narzędzi, a mianowicie połączenie ukrytych modeli Markowa i ścieżek Viterbiego. Procedura bazująca na tych narzędziach, jak pokazują analizy empiryczne, to wyrafinowana metoda z pogranicza informatyki, matematyki, ekonometrii i badań operacyjnych, która daje możliwości szerokiego zastosowania w naukach ekonomicznych. W kolejnych podrozdziałach opisane zostało wykorzystanie HMM we wskazanych czterech obszarach zastosowań. Podkreślono przy tym wartość dodaną każdego z artykułów oraz podsumowano zasadność podejścia bazującego na algorytmach Bauma-Welcha oraz Viterbiego.

## **2.1. Identyfikacja punktów zwrotnych cyklu koniunkturalnego**

Moje początkowe badania z wykorzystaniem ukrytych modeli Markowa koncentrowały się na możliwości identyfikacji punktów zwrotnych cykli koniunkturalnych. Istnieją prace (patrz np. Chauvet i Hamilton, 2005), w których stosowano w tym celu tego typu narzędzia, ale na ogół rozpatrywano łańcuchy Markowa z dwuelementową przestrzenią stanów. Dodatkowo, w badaniach ekonometrycznych (Hamilton, 1994) do znalezienia oceny nieobserwowalnej

zmiennej wykorzystuje się zazwyczaj prawdopodobieństwa przefiltrowane lub wygładzone, które determinują stan ukrytego łańcucha Markowa w każdym momencie czasu niezależnie.

Cykl publikacji przedstawiony do oceny jako osiągnięcie habilitacyjne otwiera artykuł [1], który zawiera wprowadzenie do ukrytych modeli Markowa opisane na gruncie procesów stochastycznych<sup>1</sup>. Przedstawione w artykule badania obejmowały nie tylko dwuelementową, ale też trójelementową przestrzeni stanów. Przede wszystkim jednak, zastosowano alternatywne podejście do oceny stanów ukrytego łańcucha Markowa, a mianowicie algorytm Viterbiego. Umożliwia on znalezienie tak zwanej ścieżki Viterbiego, to jest takiego ciągu stanów, który jest najbardziej prawdopodobny, biorąc pod uwagę zaobserwowane wartości w całym badanym okresie czasu, a nie tylko – jak przy prawdopodobieństwach przefiltrowanych i wygładzonych – w danej chwili. Takie globalne podejście z punktu widzenia badania sytuacji ekonomicznej wydaje się być znacznie bardziej adekwatne. W artykule [1] zastosowano połączenie HMM oraz ścieżek Viterbiego do analizy sald odpowiedzi respondentów na pytania testu koniunktury w przemyśle, prowadzonego przez Instytut Rozwoju Gospodarczego Szkoły Głównej Handlowej w Warszawie (IRG SGH). W badaniu rozważane były odpowiedzi respondentów na pytania dotyczące oceny aktualnej sytuacji gospodarczej w Polsce. Dane pochodziły z miesięcy od marca 1997 do sierpnia 2011 roku. Badanie miało na celu określenie potencjału metody poprzez skonfrontowanie uzyskanych wyników z datowaniami punktów zwrotnych cyklu koniunkturalnego dokonany przez OECD (cykl odchyień) i (Drozdowicz-Bieć, 2012) (cykl klasyczny). Dodatkowo, do analizy sygnałów przetworzonych za pomocą trójstanowych HMM posłużono się datowaniami punktów zwrotnych cyklu odchyień, określonymi przez Drozdowicz-Bieć (2008). Wyniki analizy empirycznej dowodzą dużej dokładności proponowanego podejścia i przemawiają za stosowaniem modeli z łańcuchami Markowa o trzech stanach, przy czym sygnały o zmianie klimatu koniunktury są bardzo często opóźnione względem datowań punktów zwrotnych w szeregach referencyjnych. Jest to spowodowane faktem wyprzedzającego charakteru stosowanych wskaźników referencyjnych.

W artykule [2] ponownie wykorzystano dane z testu koniunktury w przemyśle prowadzonego przez IRG SGH. Badania rozszerzono jednak, umożliwiając wykorzystanie panelowego charakteru danych wejściowych. Uwzględniono mianowicie kombinacje par szeregów sald odpowiedzi respondentów, a uzyskane wyniki porównano z wynikami obliczeń

---

<sup>1</sup> Teorię HMM można również zbudować korzystając z terminologii automatów skończonych, patrz np. artykuł [3].

dla danych wejściowych złożonych z pojedynczych szeregów sald, jak również z dostępnymi szeregami referencyjnymi (cyklem odchylen i cyklem klasycznym). Analizy przeprowadzono dla łańcuchów Markowa o dwóch, trzech i czterech stanach, a dodatkowo uwzględniono przesunięcia szeregów w celu oceny wyprzedzenia bądź opóźnienia badanych szeregów w stosunku do szeregów referencyjnych. Do kompleksowej analizy zastosowano udoskonaloną procedurę identyfikacji punktów zwrotnych, która została opracowana w wyniku badań i analiz empirycznych<sup>2</sup>. Zaproponowane przeze mnie podejście połączenia HMM oraz ścieżek Viterbiego okazało się niezwykle elastyczne, umożliwiając zastosowanie nie tylko różnej liczby stanów, lecz również wielowymiarowych danych wejściowych o różnych rozkładach prawdopodobieństwa (w analizie empirycznej wykorzystany został rozkład normalny), kosztem dłuższego czasu obliczeń. Zwiększenie liczby stanów ukrytego łańcucha Markowa poprawia jakość dopasowania do szeregów referencyjnych oraz rozszerza interpretowalność badanego zagadnienia. Dodatkowo, wykorzystanie kombinacji odpowiednich szeregów sald odpowiada na pytania testu koniunktury w przemyśle daje wyraźną poprawę mierzoną liczbą błędnych dopasowań.

Artykuł [3] zawiera pełną wersję procedury identyfikacji punktów zwrotnych bazującą na HMM. Jest ona rozwinięciem procedury wykorzystywanej w poprzednich artykułach, uwzględniającym aspekty, które okazały się istotne z punktu widzenia zakresu ekonomicznej stosowalności, stabilności numerycznej oraz dokładności aproksymacji. Zaproponowana procedura zapewnia w dużym stopniu automatyczny sposób znajdowania ukrytego wzorca w analizowanych danych (jeżeli takowy istnieje). Obejmuje ona wstępną transformację danych (dekompozycja szeregów), symulacje Monte Carlo zwiększające prawdopodobieństwo uzyskania globalnego maksimum oraz zapewniające stabilność numeryczną, algorytm Bauma-Welcha deterministycznego doboru parametrów modelu, uśrednienie parametrów w ramach znalezionych grup rozwiązań, algorytm Viterbiego wyznaczenia najbardziej prawdopodobnej w całym rozpatrywanym okresie reprezentacji stanów ukrytego łańcucha Markowa, a przede wszystkim wybór najlepszego modelu w oparciu o wielokryterialną optymalizację. Tak zdefiniowana procedura pozwala na znaczną elastyczność w doborze parametrów oraz części składowych. W szczególności, z łatwością można zastosować różnego rodzaju metody dekompozycji bądź desezonalizacji, np. w miejsce algorytmu STL metodę X-13 ARIMA-

---

<sup>2</sup> Wyniki badań opublikowano m.in. w Bernardelli M., *Kryteria optymalizacyjne w procedurze wykorzystującej ukryte modele Markowa do analiz danych ekonomicznych*, Rola informatyki w naukach ekonomicznych i społecznych. Innowacje i implikacje interdyscyplinarne. red. Z. Zieliński, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Handlowej, Kielce 2013, Tom 2, str. 43-53; Bernardelli M., *Nieklasyczne modele Markowa – problemy numeryczne*, praca badawczo-rozwojowa, SGH 2012.

SEATS. Można również dokonać wyboru odpowiedniego zestawu kryteriów optymalizacyjnych.

Warto podkreślić, iż procedura ma swoje ograniczenia stosowalności. Po pierwsze, wpływają na to ograniczenia samego algorytmu Bauma-Welcha. Może się bowiem zdarzyć, iż zastosowany iteracyjny algorytm nie osiągnie zbieżności. W przypadku zjawisk o charakterze ekonomicznym mamy jednak zazwyczaj do czynienia z wystarczająco gładkimi funkcjami, aby nie stanowiło to znaczącego ograniczenia. Po drugie, zbyt krótkie szeregi wpływają na niewystarczającą liczbę stopni swobody do otrzymania sensownej aproksymacji. Po trzecie, ze względu na specyfikę danych wejściowych, uzyskane wyniki mogą być nieinterpretowalne. Taka sytuacja może być spowodowana np. brakiem występowania (nieznanej) regularności w danych, lub też zbyt dużą ich zmiennością implikującą występowanie wzorca o zbyt chaotycznym przebiegu, aby uznać go za akceptowalny dla danych ekonomicznych. W zależności więc od danych: ich zmienności oraz długości rozpatrywanego szeregu, jak również w zależności od przyjętej liczby stanów ukrytego łańcucha Markowa, zmienia się prawdopodobieństwo znalezienia optimum lokalnego w miejsce maksimum globalnego. W celu zmniejszenia tego prawdopodobieństwa należy zwiększyć liczbę symulacji Monte Carlo, co przekłada się na większą złożoność obliczeniową zadania.

Ze względu na wymienione teoretyczne ograniczenia, do oceny przydatności proponowanej procedury istotna jest weryfikacja jej stosowalności na danych spotykanych w praktyce ekonomicznej. Ocena ta, na podstawie analiz empirycznych, okazuje się jak najbardziej pozytywna. Skuteczność procedury została wykazana m.in. w artykułach z cyklu publikacji przedstawionego jako osiągnięcie habilitacyjne. Przede wszystkim przeprowadzone zostały analizy porównawcze punktów zwrotnych cykli koniunkturalnych zidentyfikowanych na podstawie danych z badań ankietowych z punktami datowanymi przez uznane instytucje jak OECD (artykuły [1]-[4]). Porównania te okazały się potwierdzać efektywność proponowanego podejścia. Co więcej, okazało się, że HMM dało dokładniejsze wskazanie, które potwierdziło się po dopiero po rewizji punktów zwrotnych przez OECD. W artykule [4] dokonano również porównania z „twardymi” danymi makroekonomicznymi. Zestawienie punktów zwrotnych wyznaczonych na podstawie odpowiedzi respondentów na pytanie o wielkość produkcji oraz na podstawie indeksu produkcji sprzedanej przemysłu (w cenach stałych) pokazuje, że w obu szeregach zidentyfikowane zostały wszystkie punkty zwrotne, ale też wzrosty wykrywane są z wyprzedzeniem (na podstawie badań ankietowych).



W artykule [11]<sup>3</sup> procedura HMM została wykorzystana do analizy danych z testu koniunktury w transporcie samochodowym, a mianowicie wskaźnika koniunktury w transporcie (WKT), wskaźnika koniunktury w transporcie międzynarodowym (WKTM) oraz wskaźnika kondycji ekonomicznej przedsiębiorstw (KE). Dzięki identyfikacji punktów zwrotnych wyodrębnione zostały okresy oceniane przez respondentów jako lepszą lub gorszą sytuację gospodarczą w transporcie samochodowym oraz zestawiono te oceny z fazami cyklu koniunkturalnego Polski i jej największych sąsiadów. Dodatkowo informacje niesione przez wskaźniki koniunktury zestawione zostały z odpowiednio zdekomponowanymi szeregami wielkości realnych, takich jak PKB, wartość dodana przemysłu, budownictwa, transportu, gospodarki magazynowej i łączności, eksportu oraz importu. Zmiany nastrojów respondentów w ocenie wycinków działalności gospodarczej odwzorowywanych przez wskaźniki KE i WKT okazały się mieć charakter równoległy w stosunku do konstruowanego przez OECD wskaźnika wyprzedzającego (CLI, *Composing Leading Index*) oraz stosunkowo dobrze wpisywać się w fazy cyklu koniunkturalnego Europy. Najbardziej prawdopodobne ścieżki trzy- i czterostanowych łańcuchów Markowa nieco lepiej niż ścieżki dwustanowe wkomponowują się w zmiany klimatu koniunktury gospodarczej Polski, przynajmniej jeżeli chodzi o sygnalizowanie wszystkich faz cyklu koniunkturalnego.

Wykonane analizy związane z identyfikacją punktów zwrotnych cyklu koniunkturalnego świadczą o skuteczności proponowanej procedury wykorzystującej HMM. Dają również podstawy do wykorzystania tego podejścia do konstrukcji wskaźnika wczesnego ostrzegania (porównaj Abberger i Nierhaus, 2010). Jest to jednak zadanie o tyle trudne, że zmiana długości badanego szeregu czasowego może skutkować w innej realizacji stanów ukrytego łańcucha Markowa, będącej wynikiem działania algorytmu Viterbiego. Tymczasem zmiany w historycznych wskazaniach są zjawiskiem niepożądanym. Teoretycznie takie zdarzenie oznacza zmianę strukturalną parametrów modelu, które jednakże utrudnia automatyzację wyliczeń wartości wskaźnika oraz ewentualnych zasad predykcji. Połączenie wiedzy i doświadczenia w obszarach ekonometrii, informatyki i matematyki pozwala jednak wierzyć, że i to zadanie uda się zrealizować pomyślnie, oraz że będzie to kolejny krok milowy w badaniach koniunktury.

---

<sup>3</sup> Bernardelli M., Dędyś M., Ukryte modele Markowa w analizie wskaźników koniunktury w transporcie. [w:] Koniunktura w transporcie. Metodyka badań, wyniki, modele, red. S. Dorosiewicz, Instytut Transportu Samochodowego, Warszawa, 2013, s. 62–73/126 s.

## 2.2. Synchronizacja cykli koniunkturalnych

Badanie synchronizacji cykli koniunkturalnych, obok identyfikacji punktów zwrotnych, stanowi kolejny obszar zastosowań HMM (Krolzig, 1997; Smith i Summers, 2005; Dufrénot i Keddad, 2014). Procedurę opisaną i zastosowaną w artykułach [1]-[4] do identyfikacji punktów zwrotnych zaadaptowano w artykułach [5] i [6] do badania synchronizacji. W artykule [5] analizie poddano szeregi indeksów produkcji przemysłowej Polski, Włoch i Niemiec. Propozycja analizy synchronizacji cykli koniunkturalnych pary gospodarek polegała na rozpatrywaniu dwuwymiarowej składowej obserwowalnej oraz ukrytego łańcucha Markowa z czterema stanami mającymi odzwierciedlać klimat koniunktury dla obydwu gospodarek. Za (Philips, 1991) przyjęto, że stan (0, 0) odpowiada okresom, w których obie gospodarki są w fazie spowolnienia, zaś stan (1, 1) okresem, w którym obie gospodarki są w fazie wzrostowej. Wnioski dotyczące ewentualnych interakcji między gospodarkami wyciągane są jednak na podstawie ścieżek Viterbiego, a nie na podstawie macierzy prawdopodobieństw przejścia HMM, co znacząco wyróżnia tę pracę od dotychczasowo publikowanych artykułów. Wyznaczoną najbardziej prawdopodobną ścieżkę ukrytego łańcucha Markowa dla pary gospodarek zestawiono z analogicznymi ścieżkami otrzymanymi dla szeregów jednowymiarowych i modeli z dwustanowymi ukrytymi łańcuchami Markowa.

Wyniki przemawiają za tym, że czterestanowe ścieżki Viterbiego dostarczają znacznie bogatszych informacji o synchronizacji cykli gospodarczych dwóch gospodarek w porównaniu z wnioskami, które można wyciągnąć na podstawie zestawienia ścieżek dwustanowych, szczególnie jeżeli chodzi o identyfikację punktów zwrotnych cykli koniunkturalnych słabszych gospodarek. Sygnały o zakończeniu fazy wzrostu pojawiają się wcześniej od analogicznych sygnałów w ścieżkach dwustanowych.

W artykule [5] zaproponowano również metodę lokalnego wygładzania szeregu czasowego, która pozwala na uniezależnienie się od podatności HMM na względność wielkości kryzysu bądź wzrostu gospodarczego. W wielu zastosowaniach bowiem, interesuje nas detekcja samego odwrócenia klimatu koniunktury, a nie wielkość zmiany. Bez zastosowania tego rozwiązania, skutki kryzysu finansowego w 2008 r. były tak głębokie, że poprzednie i następne kryzysy nie byłyby wykrywane w dekompozycji szeregu, ze względu na nieproporcjonalną względem HMM ich wielkość do wielkości kryzysu z roku 2008. Metoda lokalnego wygładzania jest kolejnym nowatorskim elementem, który pozwala na lepszą kalibrację parametrów procedury w celu poprawy dokładności jej działania.

Procedura badania synchronizacji cykli koniunkturalnych bazująca na HMM została wykorzystana w artykule [6], w którym zaprezentowano zalety ścieżek Viterbiego. W szczególności skoncentrowano się na udzieleniu odpowiedzi na pytanie o zależności między odpowiedziami respondentów na różne pytania testu koniunktury w przemyśle prowadzonego przez IRG SGH. Do analizy wybrano pytania o wielkość produkcji, portfel zamówień ogółem, poziom zapasów produkowanych wyrobów, ceny produkowanych wyrobów, poziom zatrudnienia oraz sytuację finansową przedsiębiorstwa. Zagadnienie to rozpatrywano w kategorii synchronizacji cykli koniunkturalnych konstruowanych na podstawie różnych (jedno- i dwuwymiarowych) danych wejściowych, przy czym interesujące było również ustalenie ewentualnych wyprzedzeń bądź opóźnień pomiędzy badanymi szeregami.

W pierwszej kolejności badano pojedyncze szeregi czasowe. O ile takie podejście stanowi efektywny i wygodny sposób identyfikacji lidera spośród analizowanych szeregów czasowych i to z łatwą interpretacją wyników, o tyle w przypadku analizowanych danych z IRG SGH żadne z pytań nie okazało się nieść wiedzy z większym od pozostałych wyprzedzeniem. Z pewnością natomiast zwiększenie liczby stanów daje dodatkowe informacje na temat badanego zjawiska.

Badanie przeprowadzono również dla dwuwymiarowego przypadku, w którym brano pod uwagę szeregi czasowe odpowiedzi respondentów na wybrane pary pytań. Mimo potencjału tego podejścia, należy zwrócić uwagę na trudności w interpretacji wyników, ze względu na brak narzucającego się uporządkowania stanów – inaczej niż ma to miejsce w przypadku jednowymiarowym. Co więcej, nie ma nawet gwarancji istnienia parametrów modelu, który odpowiadałby danym wejściowym. W szczególności dla wielu kombinacji pytań testu koniunktury odpowiadające im modele nie mogły zostać skonstruowane w związku z brakiem możliwości osiągnięcia zbieżności procesu iteracyjnego. Stąd, o ile większa liczba wymiarów może dać więcej informacji o badanym zjawisku, o tyle jednowymiarowe podejście daje większą szansę na uzyskanie sensownych z ekonomicznego punktu widzenia wyników.

W artykule [6] zaproponowano także alternatywny sposób wizualizacji przebiegu stanów ścieżek Viterbiego, który wydaje się w bardziej przystępny sposób przedstawiać informacje na temat synchronizacji, w tym ewentualnych przesunięć cykli względem siebie. Sposób ten pozwala również na łatwe porównywanie wyników działania procedury bazującej na HMM dla różnej liczebności przyjętej przestrzeni stanów.

Synchronizacja cykli koniunkturalnych nie jest – na tym etapie badań – w pełni zautomatyzowana, ale proponowane podejścia bazujące na HMM wydają się nieść duży wkład

w rozwój tego zagadnienia, przy czym potencjał wydaje się nadal niewykorzystany pozostawiając miejsce do dalszej poprawy i badań.

### 2.3. Analiza konwergencji

Idea kolejnego z możliwych zastosowań HMM w ekonomii, tj. analiza konwergencji cyklicznej i dochodowej, zrodziła się z inspiracji Kierownika Zakładu Metod Probabilistycznych, dr. hab. Bartosza Witkowskiego, prof. SGH. Jego wieloletnie doświadczenie i badania w tym zakresie przyczyniły się do uzyskania grantu<sup>4</sup> Narodowego Centrum Nauki *“Ukryte modele Markowa w analizie zbieżności poziomu dochodów i konwergencji cyklicznej ze szczególnym uwzględnieniem punktów zwrotnych”* pod kierownictwem dr. hab. Mariusza Próchniaka, prof. SGH. Część wyników tych badań opisana została w artykułach [7] i [8], a konkretnie przeprowadzono analizę podobieństwa krajów w zakresie synchronizacji wahań cyklicznych i wyrównywania się poziomów dochodów dla 28 krajów Unii Europejskiej, koncentrując się na określeniu podobieństwa Polski w stosunku do pozostałych 27 krajów UE. Wzięto przy tym pod uwagę 12 zmiennych makroekonomicznych z lat 1995-2016, przede wszystkim poziom PKB per capita wg PSN oraz stopę wzrostu realnego PKB ogółem. Wyniki obu analiz potwierdziły m.in. występowanie dywergencji gospodarczej w okresie globalnego kryzysu oraz silną konwergencję nominalną stóp inflacji między Polską a grupą UE-27. Wyniki te są zgodne z analizami innych badaczy (np. Mucha, 2012; Monfort et al., 2013).

Kluczowe dla omawianych analiz jest zastosowanie nowego podejścia wykorzystującego identyfikację punktów zwrotnych algorytmem opisanym i stosowanym we wszystkich pracach wchodzących w skład powiązanych tematycznie artykułów przedstawianych do oceny jako osiągnięcie habilitacyjne. Punkty zwrotne wyznaczone były<sup>5</sup> dla 324 szeregów czasowych będących różnicami odpowiednich 12 zmiennych pochodzących z 27 par krajów: Polski i kolejnych państw z grupy UE-27. Ze względu na krótkość szeregów, stabilność numeryczną wyników i łatwość interpretacji wykorzystano dwustanowe HMM: stan 0 oznacza rok, w którym kraje pod względem analizowanej zmiennej były podobne, podczas gdy stan 1 wskazuje na rozbieżność między krajami. Różnica w przeprowadzonych badaniach opisanych w artykułach [7] i [8] występuje na ostatnim etapie proponowanej procedury analizy

---

<sup>4</sup> Szczegółowe informacje na temat udziału w projektach badawczych przedstawiono w podrozdziale 3.3 oraz w Załączniku nr 4, punkt II G).

<sup>5</sup> Ze względu na braki danych uzyskanie stabilnych wyników dla niektórych zmiennych nie było możliwe.

konwergencji, a mianowicie w pierwszym z wymienionych opracowań, dla każdego roku uzyskane stany ścieżek Viterbiego są uśredniane. Po takiej agregacji, wartość 0 oznacza idealną konwergencję (podobieństwo), podczas gdy rok, w którym średnia arytmetyczna równa się 1, oznacza okres bezspornego braku podobieństwa (dywergencji) między Polską a innymi krajami UE. Obliczenia z wykorzystaniem średniej arytmetycznej implikują jednak, że każdy z krajów UE-27 ma takie samo znaczenie dla określenia występowania konwergencji lub dywergencji. Tymczasem wielkości gospodarek krajów w UE różnią się znacząco. Stąd bardziej miarodajne pod względem ekonomicznym wyniki wydaje się dawać podejście zaprezentowane w artykule [8], w którym to w ostatnim kroku procedury analizy konwergencji została dodana modyfikacja, związana z wyznaczeniem średniej. W miejsce średniej arytmetycznej zaproponowano użycie średnich ważonych, za pomocą których dokonuje się agregacji poszczególnych stanów ze ścieżek Viterbiego, przy czym wartości wag powinny korespondować z wielkościami gospodarek poszczególnych państw. W omawianym badaniu, analizę przeprowadzono dla wag proporcjonalnych do liczby mieszkańców poszczególnych państw. Wyniki pokazują w pewnych aspektach dużą odporność na metodę agregacji danych, jednak w niektórych kwestiach uzyskane wnioski są odmienne. Zostało potwierdzone m.in. realne podobieństwo Polski do pozostałych krajów UE w kategoriach poziomów PKB per capita wg PSN oraz stóp wzrostu PKB, z krótkim okresem dywergencji podczas globalnego kryzysu. Zaobserwowano natomiast różnice, częściowo znaczące, w tempie konwergencji w stosunku do badania z jednakowymi wagami.

Poza identyfikacją punktów zwrotnych i synchronizacją cykli koniunkturalnych, badania nad realną konwergencją stanowią przykład udanego zastosowania nowej metody badania bazującej na HMM. Metoda ta może podlegać dalszym modyfikacjom i uogólnieniom. Przykładowo zamiast wag związanych z liczbą ludności można wykorzystać np. PKB danego kraju. Można również przeprowadzać analizy dla określonych podgrup krajów. Przedstawioną metodę oceny podobieństwa krajów, można również zastąpić procedurą wykorzystującą nową miarę podobieństwa szeregów czasowych, opisaną w kolejnym podrozdziale.

## **2.4. Miara podobieństwa szeregów czasowych**

Ocena zależności między szeregami czasowymi jest zagadnieniem, które jest często, błędnie z metodologicznego punktu widzenia, rozwiązywane za pomocą współczynnika korelacji Pearsona. Z metod określenia podobieństwa, dedykowanych szeregom czasowym, przeważają te oparte na kointegracji oraz wykorzystujące ideę kopuli (Lhermitte et al., 2011;

Serrà i Arcos, 2014). Istnieją również miary odległości, które można wykorzystać do szeregów czasowych, np. odległość euklidesowa, miejska czy Mahalanobisa. W artykule [9] przedstawiono alternatywną miarę badania podobieństwa szeregów czasowych bazującą na dwustanowych ukrytych modelach Markowa oraz ścieżkach Viterbiego. W zaproponowanej, nowatorskiej metodzie wyznaczane są stany ukrytego łańcucha Markowa dla odpowiednio znormalizowanych szeregów czasowych będących różnicami bądź sumami odpowiadających wyrazów badanych szeregów (w zależności od znaku współczynnika korelacji Pearsona). Na podstawie ścieżki Viterbiego wyznaczany jest współczynnik  $r_{HMM}$  będący analogiem współczynnika  $r$  korelacji liniowej Pearsona, odpowiadającym procentowi okresów, w których analizowane szeregi zachowują się podobnie. Dla idealnego podobieństwa  $r_{HMM} = 1$ .

Zaproponowana metoda nie jest uniwersalna, ale pozwala na dość dokładne odzwierciedlenie podobieństwa między szeregami czasowymi. Co więcej, takie podejście daje możliwość odróżnienia okresów, w których szeregi wykazują większe podobieństwo od tych, w których szeregi wyraźnie się od siebie różnią. Zaletami tej metody, obok łatwości interpretacji wyników, są również słabe założenia stosowalności oraz możliwość generalizacji. Kluczowa jest jednak wysoka skuteczność w ocenie zależności różnych szeregów czasowych o charakterze ekonomicznym, potwierdzona na realnych danych makroekonomicznych w artykule [9], a także na danych ankietowych (artykuł [10]).

Dane ankietowe pochodziły z testu koniunktury w przemyśle prowadzonego przez IRG SGH. Celem badania było wyznaczenie wartości miary  $r_{HMM}$  dla par szeregów sald odpowiedzi respondentów. Wyniki badania, oprócz weryfikacji przydatności nowej miary, pozwalają na ocenę ewentualnej redundantności pytań. Wysoka wartość współczynnika  $r_{HMM}$  oznaczałaby, że dwa pytania niosą te same informacje o zmienności w ocenach respondentów. Uzyskane wyniki zestawiono z wartościami współczynników korelacji Pearsona. Biorąc pod uwagę współczynnik  $r_{HMM}$ , szeregi sald odpowiedzi respondentów na pytania testu koniunktury w przemyśle można określić jako znacząco różne. Tymczasem wartości współczynników korelacji Pearsona dla niektórych par szeregów wykazują stopień podobieństwa, które poddawałby w wątpliwość sensowność zadawania rozpatrywanych pytań.

Wydaje się zatem, że zakres stosowalności proponowanej metody badania podobieństwa szeregów jest większy niż zakres stosowalności korelacji liniowej Pearsona, a wskazania w rozpatrywanych przypadkach lepiej odzwierciedlać rzeczywisty stopień podobieństwa szeregów czasowych. Nie do przecenienia z punktu widzenia ekonomicznego, jest możliwość łatwej interpretacji współczynnika  $r_{HMM}$ . Podejście to może być również wykorzystane jako

metoda badania zjawiska konwergencji, alternatywna do przedstawionej w artykułach [7] i [8]. Badania w tym zakresie trwają i powinny zostać dokończone w 2019 roku.

## 2.5. Najważniejsze wyniki i wnioski

Przedłożony cykl publikacji łączy wykorzystywane w analizach narzędzia – ukryte modele Markowa oraz ścieżki Viterbiego. Do najważniejszych zastosowań i wyników zawartych w dziesięciu artykułach należy zaliczyć:

- Możliwość praktycznie automatycznej identyfikacji punktów zwrotnych cyklu koniunkturalnego. Jakość dopasowania do szeregów referencyjnych, jak również potencjalne wzbogacenie ilości informacji na temat badanego zjawiska, można osiągnąć poprzez zwiększenie liczby stanów z dwóch (najczęściej spotykanych w literaturze) do trzech lub czterech. Wprowadzenie stanów pośrednich sprawia, że model HMM inaczej przetwarza sygnały ukryte w odpowiedziach respondentów i tym samym daje nadzieję na szybsze wychwytywanie informacji o zmianie klimatu koniunktury. Identyfikację punktów zwrotnych może również poprawić wykorzystanie danych panelowych.
- Dogodne metody badania synchronizacji cykli koniunkturalnych. Najłatwiejsze do interpretacji jest zestawienie ścieżek Viterbiego dla jednowymiarowych danych wejściowych. Prezentacja wyników może być wykonana zarówno w postaci wykresu stanów ścieżki (z ewentualnym zaznaczeniem okresów w tym samym stanie HMM) lub zestawienia stanów w tabeli. Pozwala to na śledzenie ewentualnych przesunięć względem siebie badanych cykli, a w przypadku badania dwóch gospodarek – tej dominującej.  
Bardziej wyrafinowanym podejściem jest badanie synchronizacji z wykorzystaniem dwuwymiarowych danych wejściowych. Mimo potencjalnych trudności w interpretacji wyników, ze względu na brak uporządkowania stanów, taka metoda daje, w przypadku istnienia wyraźnego wzorca w synchronizacji dwóch cykli koniunkturalnych, większe możliwości.
- Nowatorską metodę analizy konwergencji, dopuszczającą dowolne zestawy badanych zmiennych oraz zbiory krajów. Dość kosztowne obliczeniowo, lecz skuteczne podejście pozwala nie tylko na stwierdzenie faktu wystąpienia konwergencji, lecz również na oszacowanie jej tempa. W fazie agregacji wyników uzyskanych dla poszczególnych zmiennych, możliwe jest stosowanie zarówno

zwykłej średniej arytmetycznej, jak i średnich ważonych wielkością gospodarek poszczególnych krajów.

Analiza przeprowadzona na przykładzie Polski i krajów UE-27 potwierdziła m.in. występowanie konwergencji nominalnej stóp inflacji oraz dywergencję gospodarczą w okresie globalnego kryzysu.

- Dedykowaną dla szeregów czasowych miarę podobieństwa wyrażaną w postaci współczynnika  $r_{HMM} \in \langle 0; 1 \rangle$ , która dodatkowo daje możliwość odróżnienia okresów, w których zachowanie obu szeregów jest bardziej podobne, od tych okresów, w których szeregi zachowują się odmiennie. Adekwatność miary została potwierdzona na wybranych, realnych danych makroekonomicznych oraz na danych ankietowych.

Szeroki zakres zastosowań w finansach i ekonomii, pozwala na wyciągnięcie następujących wniosków dotyczących metod bazujących na ukrytych modelach Markowa i ścieżkach Viterbiego:

- HMM to skuteczne podejście do analizy szeregów czasowych oraz badań konwergencji i koniunktury.
- Narzędzie, traktowane jako automatyczne rozpoznawanie wzorców, ma niewielkie w porównaniu z modelami ekonometrycznymi, założenia stosowalności.
- Dla danych makroekonomicznych oraz ankietowych dostajemy wysoką jakość dopasowania, pod warunkiem zapewnienia wystarczającej liczby symulacji (stabilność numeryczna), poddania szeregów odpowiedniej transformacji (m.in. desezonalizacja, lokalne wygładzanie), jak również istnienia wzorca w danych.
- Wyniki działania procedur bazujących na HMM oraz ścieżkach Viterbiego są łatwo interpretowalne.
- Proponowana procedura daje możliwość łatwego uogólnienia oraz modyfikacji.
- Zwiększenie liczby stanów oraz wymiaru danych wejściowych pozwala na poprawę jakości dopasowania oraz wzbogacenie zwracanych informacji.

Dotychczasowe doświadczenia oraz uzyskana w wyniku badań wiedza związana z opisywanym narzędziem, jakim jest HMM, pozwalają mieć także nadzieję na wykorzystanie go do konstrukcji wskaźnika wczesnego ostrzegania. Prognozowanie wydaje się być zadaniem trudniejszym do automatyzacji w porównaniu do identyfikacji punktów zwrotnych czy też historycznej analizy szeregów czasowych, ale w wielu przypadkach udawało się uzyskać



sygnały o zmianach w koniunkturze z wyprzedzeniem, co daje podstawy do dalszych badań w tym zakresie.

Kolejnym, wartym sprawdzenia pomysłem, jest weryfikacja hipotezy o przydatności współczynnika  $r_{HMM}$  w badaniach konwergencji, jako alternatywy do podejścia bazującego na HMM, ale operującego na uśrednieniach stanów ścieżek Viterbiego.

Oba kierunki dalszych badań są w trakcie realizacji, a wstępne wyniki będą zaprezentowane na konferencjach już w 2019 roku.

### **3. Pozostały dorobek naukowy**

#### **3.1. Pozostałe publikacje po uzyskaniu stopnia doktora**

Moje badania po uzyskaniu stopnia doktora prowadzone były wielotorowo. Łączyło je stosowanie nowoczesnych metod ekonometrycznych, matematycznych, informatycznych, bądź statystycznych do analiz i wnioskowania o charakterze ekonomicznym. Poniżej, opisane zostały wybrane publikacje, niewymienione jako powiązane tematycznie artykuły przedstawione do oceny jako osiągnięcie habilitacyjne. Publikacje zostały podzielone ze względu na tematykę.

##### **3.1.1. Pozostałe publikacje z analizami bazującymi na ukrytych modelach Markowa**

- [11] Bernardelli M., Dędyś M., *Ukryte modele Markowa w analizie wskaźników koniunktury w transporcie*. [w:] *Koniunktura w transporcie. Metodyka badań, wyniki, modele*, red. S. Dorosiewicz, Instytut Transportu Samochodowego, Warszawa, 2013, s. 62–73/126 s.

Opis wyników zastosowania procedury identyfikacji punktów zwrotnych w badaniach koniunktury w transporcie. Wyodrębnione zostały okresy oceniane przez respondentów jako lepszą lub gorszą sytuację gospodarczą w transporcie samochodowym zestawiono z fazami cyklu koniunkturalnego Polski i jej największych sąsiadów.

- [12] Bernardelli M., *Kryteria optymalizacyjne w procedurze wykorzystującej ukryte modele Markowa do analiz danych ekonomicznych*, *Rola informatyki w naukach ekonomicznych i społecznych. Innowacje i implikacje interdyscyplinarne*. red. Z. Zieliński, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Handlowej, Kielce, 2013, Tom 2, str. 43-53.

W artykule opisane zostały wyniki analiz związanych z wyborem kryterium optymalizacyjnego w procedurze doboru parametrów ukrytych modeli Markowa

wykorzystywanych do identyfikacji punktów zwrotnych cyklu koniunkturalnego w Polsce. Pod uwagę wzięte zostały kryteria informacyjne (AIC, BIC), maksimum funkcji wiarygodności oraz częstość uzyskiwania danego zestawu parametrów w symulacjach Monte Carlo. Badanie przeprowadzono na podstawie danych pochodzących z testu koniunktury w przemyśle prowadzonym przez IRG SGH.

- [13] Bernardelli M., *Parallel deterministic procedure based on hidden Markov models for the analysis of economic cycles in Poland*, "Roczniki" Kolegium Analiz Ekonomicznych SGH, 2014, No. 34, Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa, str. 75-87.

Obliczenia związane z wyznaczeniem parametrów modeli HMM są dość czasochłonne, a czas obliczeń rośnie drastycznie wraz ze wzrostem liczby stanów, długości czy też wymiaru danych wejściowych. Przyspieszenie można osiągnąć wykonując obliczenia równoległe. W artykule podany został sposób na zrównoleglenie części obliczeń związanych z symulacjami Monte Carlo, a pomysł pomyślnie zweryfikowany w eksperymentach numerycznych, w których przeprowadzono testy porównujące czas obliczeń w zależności od liczby dostępnych rdzeni procesorów.

- [14] Bernardelli M., *The economic situation in Poland through the prism of the situation in the enterprises on the basis of the business tendency survey*. [w:] *Enterprises in unstable economy*, red. B. Prusak, Gdańsk University of Technology, Gdańsk, 2015, s. 109–136/248 s.

Respondenci badań ankietowych testu koniunktury w przemyśle prowadzonego przez IRG SGH, odpowiadają na pytania o aktualny i przewidywany (wg respondentów) stan przedsiębiorstw. Wykorzystanie HMM i ścieżek Viterbiego pozwoliło na poddanie w wątpliwość przydatności opinii pytanych na temat przyszłości. O ile odpowiedzi na większość pytań związanych z aktualną sytuacją wydają się korelować z danymi referencyjnymi pochodzącymi m.in. z baz OECD, o tyle próby prognozy nie mają już takiej trafności.

### 3.1.2. Konstrukcja i zastosowanie algorytmów

- [15] Bernardelli M., *Method of QR decomposition's fast updates for linear regression models*, "Roczniki" Kolegium Analiz Ekonomicznych SGH, 2012, No. 27, Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa, str. 55-68.

Propozycja algorytmu szybkich aktualizacji dekompozycji QR, który dla dużych wolumenów danych zmieniających się w czasie rzeczywistym daje dopasowanie

parametrów regresji liniowej umożliwiając predykcję. Algorytm może znaleźć zastosowanie m.in. na rynkach finansowych, takich jak Forex czy giełdy kryptowalut.

- [16] Bernardelli M., *Overlapping Multigrid Methods as an Efficient Approach for Solving the Black-Scholes Equation*, Quantitative Methods in Economics, 2015, Vol. XVI, No. 1, Warsaw University of Life Sciences Press, str. 25-36.

W artykule opisano propozycję modyfikację dwupoziomowej metody wielosiatkowej polegającą na dopuszczeniu nakładania się podobszarów. Metoda ta została wykorzystana do rozwiązania jednowymiarowego równania Blacka-Scholesa, bazując na niejawnym schemacie Eulera. Eksperymenty numeryczne potwierdziły wyższość proponowanej metody w stosunku do klasycznej metody wielosiatkowej polegającą na skróceniu czasu obliczeń, oszczędności pamięci i łatwości zrównoleglania, a przede wszystkim większej dokładności aproksymacji rozwiązania.

- [17] Bernardelli M., *Correction of deviations from the probability distribution of exam results*, Edukacja w Dyskursie, 2015, No. 3, Akademia Pomorska w Słupsku, Słupsk, str. 171-186.

Próg zaliczenia podstawowej matury z języka polskiego ustalony jest na 30%. Według statystyk publikowanych przez Centralną Komisję Egzaminacyjną w okolicy tej wartości widoczne są znaczne odchylenia od teoretycznego rozkładu prawdopodobieństwa, spowodowane brakiem obiektywności sprawdzających matury osób. W artykule zaproponowano metodę wyznaczenia korekty odchyień wykorzystującą lokalną wielomianową interpolację. Analizy przeprowadzone dla wyników matur z lat 2012-2014 pokazują, że liczba osób, które napisały egzamin maturalny na poziomie, który nie powinien być podstawą do jego zaliczenia, w skali kraju jest wyższa od faktycznie rejestrowanej aż o 6-12 tysięcy.

- [18] Bernardelli M., Kowalczyk B., *Optimal Allocation of the Sample in the Poisson Item Count Techniques*, Acta Universitatis Lodzianis. Folia Oeconomica, 2018, nr 335(3)/2018, str. 35-47. DOI: 10.18778/0208-6018.335.03.

Pośrednie metody ankietowania stanowią podstawowe narzędzie stosowane w przypadku pytań drażliwych. Artykuł nawiązuje do jednej z takich metod i dotyczy optymalnej alokacji próby pomiędzy grupę badaną i kontrolną. Problem jest stosunkowo łatwy, w przypadku gdy alokacji dokonuje się w oparciu o estymatory metodą momentów, ale nie jest trywialny dla estymacji metodą największej wiarygodności (NW), gdy drażliwa zmienna badana ma charakter ukryty i jest zmienną

nieobserwowalną. Tymczasem estymacja metodą NW ma lepsze własności i w związku z tym większe znaczenie praktyczne. Do określenia optymalnej alokacji próby w oparciu o estymatory NW wykorzystane zostały symulacje Monte Carlo oraz iteracyjny algorytm EM.

- [19] Bernardelli M., *Metoda ustalania norm klasyfikacyjnych na klasy sportowe w konkurencjach lekkoatletycznych*, "Roczniki" Kolegium Analiz Ekonomicznych SGH, 2018, No. 53, Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa, str. 11-28.

W artykule przedstawiono propozycję metody ustalania norm klasyfikacyjnych na klasy sportowe w konkurencjach lekkoatletycznych, która odzwierciedla specyfikę każdej konkurencji, jakość wyników w ostatnich latach oraz ogólnie pojętej konkurencyjności na arenie międzynarodowej, a przede wszystkim dostosowuje ocenę poziomu sportowego do polskich realiów. Procedura bazuje na kwantylach rozkładu prawdopodobieństwa dopasowanego do danych historycznych pochodzących z Europy, świata oraz Polski. Pełna parametryzowalność procedury pozwala na niezbędną do zachowania równowagę pomiędzy jakością uzyskiwanych wyników sportowych oraz uchwyceniem aktualnego poziomu sportowego w konkretnej konkurencji. Od nowego cyklu olimpijskiego metoda zostanie wdrożona przez Polski Związek Lekkiej Atletyki.

### 3.1.3. Systemy bonus-malus

- [20] Topolewski M., Bernardelli M., *Optymalizacja reguł przejścia systemu bonus-malus o składkach  $Q$ -optymalnych*, "Roczniki" Kolegium Analiz Ekonomicznych SGH, 2015, No. 37, Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa, str. 229-252.

Systemy bonus-malus są narzędziem różnicowania składek w procesie oceny ryzyka a posteriori stosowanym w ubezpieczeniach komunikacyjnych. W literaturze przedmiotu dobrze opisane są narzędzia analizy systemów oraz kryteria wyznaczania składek. Stosunkowo mało miejsca poświęca się natomiast optymalizacji reguł przejścia pomiędzy klasami systemu bonus-malus. W artykule zaproponowany został zachłanny algorytm optymalizujący reguły przejścia systemów bonus-malus dla portfeli ubezpieczonych charakteryzujących się funkcją struktury ryzyka o różnych parametrach.

- [21] Topolewski M., Bernardelli M., *Improving global elasticity of bonus-malus system*, Quantitative Methods in Economics, 2017, Vol. XVIII, No. 1, Warsaw University of Life Sciences Press, str. 120-133.

Kolejny artykuł wykorzystujący algorytm optymalizacji reguł przejścia systemu bonus-malus, przy czym jako funkcje celu użyte zostały elastyczność według definicji Loimaranta oraz globalna elastyczność wprowadzona przez De Prila. Eksperymenty numeryczne zostały przeprowadzone dla systemów o różnej wielkości, dla portfeli o odwrotnej funkcji struktury ryzyka Gaussa z wybranych parametrach.

- [22] Bernardelli M., *Implementacja metody badania własności reguł przejścia systemów bonus-malus w Apache Spark*, "Roczniki" Kolegium Analiz Ekonomicznych SGH, 2018, No. 50, Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa, str. 95-17.

Celem artykułu była prezentacja dokładnego algorytmu do badania systemów bonus-malus z punktu widzenia reguł przejścia. W algorytmach aproksymacyjnych istniało podejrzenie nieoptymalności uzyskiwanych rozwiązań. Dzięki wykorzystaniu Apache Spark oraz paradygmatu MapReduce, możliwe okazało się skonstruowanie równoległego, efektywnego podejścia o pełnej skalowalności. Implementacja uwzględnia możliwość ustawienia takich parametrów jak liczba klas systemu bonus-malus oraz liczba roszczeń.

#### 3.1.4. Big data

- [23] Bernardelli M., Dędyś M., *Cheater detection in Real Time Bidding system - panel approach*, "Roczniki" Kolegium Analiz Ekonomicznych SGH, 2015, No. 39, Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa, str. 11-23.

Propozycja skutecznej metody wykrywania prób oszustw w systemie Real Time Bidding (RTB). Na metodę składają się dwa różne modele ekonometryczne, jeden przeznaczony do klasyfikacji użytkowników, a drugi do odróżniania rzeczywistych stron internetowych od tych specjalnie spreparowanych przez oszustów. Prezentowane modele są ze sobą ściśle powiązane i znajdują zastosowanie tam, gdzie kluczowe jest szybkie filtrowanie ruchu z tego generowanego przez boty internetowe.

- [24] Bernardelli M., *Econometric modeling of panel data using parallel computing with Apache Spark*, "Roczniki" Kolegium Analiz Ekonomicznych SGH, 2016, No. 41, Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa, str. 189-202.

Apache Spark zawiera wiele algorytmów do modelowania ekonometrycznego. W bibliotece brakuje jednak metod dedykowanych wielkim zbiorom danych o panelowym charakterze. W artykule przedstawiona jest implementacja wyznaczania

estymatora fixed effects przy użyciu modelu programowania MapReduce. Przedstawione zostały dwa popularne podejścia: transformacja within oraz least squares dummy variables method (LSDV).

- [25] Bernardelli M., *Predicting hourly Internet traffic in the RTB system – panel approach*, "Roczniki" Kolegium Analiz Ekonomicznych SGH, 2017, No. 47, Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa, str. 5-17.

W artykule opisano panelowy model ekonometryczny pozwalający na kontrolę w systemie RTB kosztów, związanych z ruchem zapytań internetowych. Takie podejście pozwala na rozłożenie kosztów na cały dzień, zamiast wydawania ich od razu na początku dnia. Nietypowo w modelu panelami są godziny, a limity wydatków są wyznaczone na podstawie danych historycznych. Na podstawie symulacji komputerowych model z efektami stałymi sprawdza się lepiej od klasycznego modelu regresji liniowej.

- [26] Bernardelli M., *Big data recommendation problems in e-commerce solutions for small business*, Research on Enterprise in Modern Economy – Theory and Practice, 2017, No. 3/2017 (22), Warsaw University of Life Sciences Press, str. 65-76.

Inteligentne systemy rekomendacji znacząco przyczyniają się do wzrostu sprzedaży, ale wymagają na ogół rozbudowanej infrastruktury komputerowej i specjalistycznej wiedzy. W artykule opisano implementację algorytmu rekomendacyjnego, który nie jest może tak efektywny jak bardziej zaawansowane metody, ale dzięki swojej prostocie i małym wymaganiom sprzętowym odpowiada potrzebom małych firm działających na rynku e-commerce.

- [27] Bernardelli M., Lipiński Ł., *Anonimowość w Internecie – identyfikacja płci użytkowników na podstawie historii odwiedzanych stron internetowych*, "Roczniki" Kolegium Analiz Ekonomicznych SGH, 2018, No. 53, Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa, str. 147-162.

W artykule przedstawiono metodę identyfikacji płci użytkowników Internetu, wykorzystującą dane z profili użytkowników zawierających adresy stron internetowych i częstotliwości odwiedzin. Zaproponowane podejście łączy w sobie analizę leksykalną słów z domen internetowych, sztuczne sieci neuronowe, wyrafinowaną matematycznie wektorową reprezentację profili użytkowników oraz regresję logistyczną jako główny klasyfikator. Skuteczność metody została potwierdzona na podstawie symulacji

komputerowych wykonanych z wykorzystaniem 10 milionów profili polskich użytkowników, osiągając 82% odsetek poprawnych klasyfikacji. Metoda może być wykorzystywana w spersonalizowanym marketingu jako źródło oszczędności w postaci zmniejszenia niepotrzebnych wydatków na źle ukierunkowaną reklamę.

### 3.1.5. Analiza konwergencji

- [28] Bernardelli M., Próchniak M., Witkowski B., *Cycle and Income-Level Convergence in the EU Countries: An Identification of Turning Points Based on the Hidden Markov Models*, "Roczniki" Kolegium Analiz Ekonomicznych SGH, 2017, No. 47, Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa, str. 18-31.

W badaniu opisanym w artykule pozytywnie zweryfikowana została hipoteza o konwergencji  $\beta$ , przy czym okazało się, że zbieżność  $\beta$  zachodziła w różnym tempie między punktami zwrotnymi w ścieżkach wzrostu gospodarczego krajów Unii Europejskiej, zidentyfikowanymi na podstawie HMM. Punkty zwrotne (w latach 2008 i 2013) uwzględniono jako załamania strukturalne do modelu konwergencji typu  $\beta$ . Według wyliczeń, najwolniejsza zbieżność  $\beta$  była w podokresie 2008–2012, czyli w trakcie globalnego kryzysu.

- [29] Bernardelli M., Próchniak M., Witkowski B., *Konwergencja dochodowa: mocne i słabe strony istniejących podejść*, Kwartalnik Kolegium Ekonomiczno-Społecznego "Studia i Prace", 2017, No. 3 (31)/2017, Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa, str. 71-86.

Przeglądowy opis aktualnego stanu wiedzy na temat konwergencji wraz z próbą określenia kwestii, których rozwiązanie wydaje się kluczowe dla dalszego rozwoju analiz nad procesami zbieżności, w tym określenie zależności pomiędzy wieloma istniejącymi typami konwergencji, m.in.  $\beta$ ,  $\rho$  czy  $\gamma$ , jak również wyjaśnienie rozbieżności wynikających z analizy konwergencji warunkowej, będących skutkiem trudności z arbitralnym doбором czynników wzrostu do stosowanego modelu, lub też niejednoznacznie potwierdzaną w literaturze adekwatnością procedur bayesowskiego uśredniania oszacowań. Jako ostatni kluczowy problem zidentyfikowano kwestię uwzględnienia niestabilności procesów wzrostu gospodarczego w czasie. Jako rozwiązanie zaproponowano wykorzystanie metod opartych na ukrytych łańcuchach Markowa.

- [30] Bernardelli M., Próchniak M., Witkowski B., Konwergencja dochodowa w krajach UE: ujęcie miesięczne, pr. zb. pod red. Konrada Walczyka, "Prace i Materiały Instytutu Rozwoju Gospodarczego", 2018, Warszawa, No. 100, str. 89-116.

W artykule opisano wyniki badań nad hipotezą o konwergencji typu  $\beta$  dla całej grupy UE-28 na szacunkach poszczególnych zmiennych w ujęciu miesięcznym. Oszacowania tempa konwergencji uzyskano na podstawie ekstrapolowanych danych z użyciem miesięcznych wartości wskaźnika nastrojów gospodarczych pochodzących z badań ankietowych. Hipoteza konwergencji  $\beta$  na podstawie danych miesięcznych została pozytywnie zweryfikowana, ale okazało się, że zbieżność zachodziła w różnym tempie między punktami zwrotnymi, zidentyfikowanych z wykorzystaniem HMM. Dodatkowo zaobserwowano duże odchylenia oszacowań dla ekstrapolowanych miesięcznych danych w stosunku do wyników opartych na rocznych wartościach szeregów czasowych, co pozwala na stwierdzenie, że miesięczne ujęcie daje pełniejszy obraz ścieżek wzrostu gospodarczego w krajach UE.

Poza autorstwem lub współautorstwem wymienionych publikacji, jestem również współredaktorem naukowym zeszytów "Roczników" Kolegium Analiz Ekonomicznych SGH o numerach 30 (rok 2013), 34 (rok 2014), 39 (rok 2015), 41 (rok 2016), 47 (rok 2017) oraz 53 (rok 2018). Zeszyty zawierają recenzowane publikacje wybranych wystąpień z corocznych konferencji *Modelowanie danych panelowych: teoria i praktyka*. Od roku 2015 (numery 3-5) zajmuję także stanowisko redaktora statystycznego czasopisma *Edukacja w Dyskursie*, wydawanego przez Akademię Pomorską w Słupsku.

Brałem też udział w tłumaczeniu na język polski podręcznika Aczel A.D., Sounderpandian J., „Statystyka w zarządzaniu”, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2017. Mojego autorstwa są przekłady trzech rozdziałów: Dobór próby i rozkłady statystyk z próby (rozdział 5), Kontrola i poprawa jakości (rozdział 13) oraz Analiza wielowymiarowa (rozdział 17).

### **3.2. Statystyka dorobku naukowego**

1. Mój dorobek publikacyjny po uzyskaniu stopnia doktora obejmuje (przygotowane samodzielnie lub we współautorstwie):
  - 31 artykułów w czasopismach naukowych (wszystkie o zasięgu międzynarodowym lub krajowym), w tym 16 w języku angielskim,
  - współredakcję naukową 6 monograficznych edycji *Roczników KAE SGH*.



Ponadto, obecnie złożone do publikacji (w recenzji) są:

- 2 artykuły, w tym jeden w języku angielskim.
2. Parametryczną ocenę mojego dorobku naukowego stanowią obecnie następujące miary<sup>6</sup>:
- Indeks Hirscha: 4 (wg Google Scholar), 3 (wg BazEkon).
  - Łączna liczba punktów MNiSW za dorobek publikacyjny: 309, w tym:
    - za publikacje w czasopismach naukowych: 248,
    - za rozdziały w monografiach i redakcje: 53.
3. Łączna liczba referatów wygłoszonych na konferencjach (co najmniej o zasięgu krajowym): 48 w tym<sup>7</sup>:
- na konferencjach międzynarodowych: 23,
  - na konferencjach krajowych: 25.
4. Liczba sporządzonych recenzji badań i artykułów naukowych: 18, w tym:
- 1 recenzja artykułu dla czasopisma z listy A MNiSW:
    - Post-communist Economies (1),
  - 8 recenzji artykułów dla czasopism z listy B MNiSW:
    - Przegląd statystyczny (1 recenzja),
    - Studia Ekonomiczne PAN (1 recenzja),
    - International Journal of Management and Economics (1 recenzja),
    - Metody Ilościowe w Badaniach Ekonomicznych (1 recenzja),
    - „Roczniki” Kolegium Analiz Ekonomicznych SGH (3 recenzje),
    - e-mentor (1 recenzja).
  - Inne recenzje
    - Narodowe Centrum Nauki, Konkurs Opus, Nr 237381, Panel HS4 (1 recenzja),
    - Journal of Banking and Financial Economics (7 recenzji),
    - Econometric Research in Finance (1 recenzja).

---

<sup>6</sup> Zob. Załącznik nr 3a przygotowany przez Bibliotekę SGH.

<sup>7</sup> Pełen wykaz zawarto w Załączniku nr 4, punkt II I).

### 3.3. Udział w projektach badawczych

W 2012 roku odbyłem dwumiesięczny staż naukowo-badawczy w Institut für Energietechnik w Laboratory for Energy Conversion w ETH Zurich pod okiem dziekana prof. dr. Rezy S. Abhari'ego. Moja praca w Szwajcarii określona zbiorczo *Economic Analysis of RES Growth Potential in Poland*, dotyczyła zarządzania ryzykiem związanym z budową elektrowni wiatrowych oraz optymalizacją umiejscowienia farm wiatrowych w Polsce. Analizy uwzględniały regulacje prawne oraz sytuację finansowo-ekonomiczną i były prowadzone z wykorzystaniem dedykowanego oprogramowania WindSeeker oraz jednego z najszybszych klastrów komputerowych na świecie będącego własnością Politechniki w Zurychu. Wyniki przeprowadzonych przeze mnie analiz scenariuszowych dla naszego kraju prezentowałem m.in. na koordynowanych przez Ambasadę Szwajcarii prelekcjach w Narodowym Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej oraz Urzędzie Marszałkowskim Województwa Mazowieckiego w Warszawie. Wystąpienia te przyczyniły się do uruchomienia pilotażowego projektu *Systematic Planning for Development of Wind Energy in Lubelskie*. Projekt miał na celu m.in. identyfikację miejsc nadających się pod względem ekonomicznym na budowę farm wiatrowych w regionie województwa lubelskiego. W projekcie odpowiedzialny byłem m.in. za kalibrację parametrów modeli oraz wykonanie obliczeń, które stanowiły kluczowy element dla określenia potencjalnych obszarów inwestycyjnych oraz wieloletniego planowania na poziomie decydentów. W ramach projektu, 10 września 2014 r. w Lublinie, zorganizowana została konferencja *NEO – Nowa Energia dla Lubelskiego*, a następnie 17-18 lutego 2015 r. w Zurychu warsztat *NEO Implementation & Execution Workshop*, którego byłem współorganizatorem, jak również przewodniczyłem sesji *Regulations linked with economy*.

W latach 2011-2014 realizowany był kolejny z projektów, w którym brałem udział. Celem finansowanego przez Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego *Narodowego Programu Foresight* było opracowanie narzędzi i wdrożenie systemu cyklicznej oceny potencjału naukowo-technologicznego pozwalającego na kształtowanie polityki naukowej i naukowo-technologicznej Polski. Wspólnie z dr. hab. Bartoszem Witkowski, prof. SGH, byliśmy głównymi wykonawcami zadań polegających na stworzeniu modelu ekonometrycznego oraz opracowaniu mechanizmów gromadzenia i weryfikacji danych wskazujących na potencjał określonych kierunków badań naukowych, technologii i obszaru technologii pilotowych. Postać funkcyjna zaproponowanego przez nas modelu to klasyczna funkcja produkcji Cobba-Douglasa, w której każdy z czynników wytwórczych jest określony osobnym równaniem cząstkowym będącym rozbudowaną makroekonomiczną funkcją, która w sposób bezpośredni

lub pośredni (na przykład poprzez czynniki kapitału lub zatrudnienia) jest uzależniona od poziomu rozwoju technologii w danym sektorze gospodarki w danym regionie. Praktyczne zastosowanie modelu zostało zweryfikowane na podstawie danych z pilotażowego panelu eksperckiego, a wdrożenie wyników opisane w raporcie *NPF – wdrożenie wyników. Metoda określania endogenicznego potencjału regionu i kraju w oparciu o model matematyczno-statystyczno-ekonometryczny. Tom 2: Model dynamiki rozwoju ekonomicznego kraju i regionów w sytuacji wdrażania poszczególnych kierunków badań/technologii i rozwijania obszarów inteligentnej specjalizacji. Raport finalny, uwzględniający rezultaty oceny eksperckiej oraz weryfikacji i interpretacji modelu*. Wyniki prezentowałem m.in. w Ministerstwie Nauki i Szkolnictwa Wyższego oraz na konferencji *Economic Challenges in Enlarged Europe* w Tallinie (16-18 czerwca 2013 r.) w wystąpieniu pt. *The impact of innovative R&D expenditures on regional development: Polish foresight program perspective*.

W VII konkursie Narodowego Banku Polskiego na projekty badawcze najwyższej ocenionym zgłoszeniem okazał się projekt pt. *Antycykliczny bufor kapitałowy polskiego sektora bankowego – propozycja optymalnej jego wielkości i analiza zmian w czasie z wykorzystaniem złożonego wskaźnika wczesnego ostrzegania*, w którego wykonaniu mój udział szacowany był na 40%. Zaproponowana przeze mnie, nowa metoda oparta na cyklicznym porównywaniu określonych wartości z obszaru ekonomii i finansów z wzorcem wyznaczonym na podstawie znanych danych zaobserwowanych przed kryzysami bankowymi, pozwala na, alternatywny do już istniejących metod, sposób monitorowania sytuacji gospodarki i sektora bankowego, dając z odpowiednio dużym wyprzedzeniem, sygnały ostrzegające o jej pogorszeniu. Metoda cechuje się wysoką elastycznością jeżeli chodzi o wykorzystanie danych, jak również możliwość kalibracji parametrów. Opis metody wraz z analizą empiryczną opublikowane zostały w *Materiałach i Studiach NBP* (no 331/2018), a prezentowane m.in. na VI Ogólnopolskiej Konferencji *Modelowanie danych panelowych: teoria i praktyka* w wystąpieniu pt. *Wskaźnik wczesnego ostrzegania dla sektora bankowego*.

Projekt najbardziej zbliżony w tematyce do cyklu artykułów, przedstawionych do oceny jako osiągnięcie habilitacyjne, to grant Narodowego Centrum Nauki *Ukryte modele Markowa w analizie zbieżności poziomu dochodów i konwergencji cyklicznej ze szczególnym uwzględnieniem punktów zwrotnych*, realizowany wspólnie z dr. hab. Mariuszem Próchniakiem, prof. SGH oraz dr. hab. Bartoszem Witkowskim, prof. SGH. Podstawą badań prowadzonych w ramach tego grantu jest opisywana w poprzednich rozdziałach procedura bazująca na HMM oraz ścieżkach Viterbiego. Badania z tego grantu zaowocowały dotychczas

m.in. publikacjami [7], [8], [28] i [29], jak również ośmioma wystąpieniami na konferencjach naukowych (w tym pięcioma na konferencjach międzynarodowych). W trakcie procesu recenzyjnego znajduje się aktualnie jeszcze jeden artykuł, zaś już zaakceptowane zostały trzy kolejne wystąpienia na konferencjach naukowych.

Z pozostałych projektów, których byłem jednym z wykonawców warto wymienić następujące:

- *Optymalizacja poziomu i struktury rezerw w walutach obcych oraz zadłużenia zagranicznego względem stabilności makroekonomicznej* pod kierownictwem dr. hab. Łukasza Goczka. Projekt finansowany przez Narodowy Bank Polski, w ramach którego opracowałem metodę optymalizacji oraz jej zastosowanie do uogólnienia teoretycznego modelu dotyczącego rezerw walutowych i zadłużenia zagranicznego.
- *Morfa* – projekt realizowany w latach 2007-2013 z funduszy Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka. Jako ekspert numeryczny współtworzyłem pakiet Morfa – innowacyjne środowisko obliczeniowe, pozwalające m.in. na definiowanie nowych klas modeli ekonometrycznych wraz z estymacją ich parametrów.
- *Stworzenie systemu prognozowania rozwoju przestępczości jako elementu budowania strategii bezpieczeństwa i porządku publicznego* pod kierownictwem prof. dr. hab. Brunona Hołysta. Projekt finansowany ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach 7. konkursu projektów z obszaru bezpieczeństwa i obronności państwa. Jako wykonawca byłem odpowiedzialny m.in. za opracowanie danych oraz metod prognozowania rozwoju przestępczości, jak również wyznaczenie prognoz dla wybranych kategorii przestępstw.
- *Anti-Bot and Trolls Shield (ABTSHIELD)* – projekt firmy Edge NPD, uznanej w 2017 r. jako jedną ze 100 najwybitniejszych innowatorów w Europie Środkowej i Wschodniej. Finansowanie projektu zapewnia grant firmy Google, a sam projekt zawiązany jest z możliwością badania ruchu w Internecie na poziomie wydawców i reklamodawców. Moja rola w projekcie dotyczyła eksperckiego opracowania potencjału metod i algorytmów do filtrowania ruchu w Internecie oraz detekcji botów i trolli internetowych.

#### 4. Dorobek dydaktyczny

Istotną część mojej pracy zawodowej stanowi działalność dydaktyczna. Składają się na nią prowadzenie zajęć oraz opieka naukowa nad studentami, jak również tworzenie nowej oraz koordynacja istniejących ofert dydaktycznych.

Od 2011 roku wypromowałem 41 prac licencjackich oraz 14 prac magisterskich<sup>8</sup>. W swoim dorobku mogę również wymienić opiekę naukową nad trzema doktorantami w roli promotora pomocniczego. Pierwsza z prac (w języku angielskim) pt. *Oszacowanie wpływu zmian wymogów zagregowanego kapitału bankowego na decyzje dotyczące portfela kredytowego (dowody empiryczne dla banków brytyjskich)*, zakończyła się 28 czerwca 2018 r. nadaniem Kazeemowi Olayimikowi Salaamowi stopnia doktora przez Radę Wydziału Zarządzania Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie. Promotorem doktoratu była prof. dr hab. Małgorzata Iwanicz-Drozdowska. Jeden z kluczowych rozdziałów tej pracy zawierał analizę empiryczną obejmującą ekonometryczne modelowanie mające na celu potwierdzenie stawianych hipotez badawczych. Pod moim okiem udało się skonstruować kilkanaście modeli regresyjnych, które dostarczyły unikatowych informacji na temat zachowań na rynku bankowym w okresie przed i po kryzysie.

Druga z rozpraw doktorskich pt. *Wspieranie stabilności finansowej za pomocą antycyklicznych rozwiązań w regulacjach bankowych* przygotowana przez mgr Annę Kozłowską pod kierunkiem naukowym prof. dr hab. Małgorzaty Iwanicz-Drozdowskiej w Kolegium Zarządzania i Finansów Szkoły Głównej Handlowej w Warszawie, uzyskała już jedną pozytywną recenzję (z wnioskiem o wyróżnienie). Praca składa się z pięciu rozdziałów, z których dwa „mają wyraźnie charakter empiryczny i stanowią najbardziej oryginalną część rozprawy (prezentacja założeń autorskiego indeksu presji finansowej oraz jego ewaluacja)”<sup>9</sup>. Podczas pisania tych dwóch wspomnianych rozdziałów doktorantka w znacznym stopniu korzystała z mojej pomocy i doświadczenia ekonometrycznego.

Trzeci z doktorantów, mgr Norbert Paska, pisze pracę pt. *Zastosowanie uogólnionych liniowych modeli mieszanych w taryfikacji ubezpieczeń komunikacyjnych* w Kolegium Analiz Ekonomicznych Szkoły Głównej Handlowej w Warszawie z prof. SGH, dr. hab. Bartoszem Witkowskim jako promotorem. W styczniu 2019 r. prace nad rozprawą zostały uznane za na

---

<sup>8</sup> Pelen wykaz zawarto w Załączniku nr 4, punkt III J).

<sup>9</sup> Cytat z recenzji dr hab. Moniki Wieczorek-Kosmali, prof. UE.

tyle zaawansowane, by uzyskać zgodę na otwarcie przewodu doktorskiego<sup>10</sup>. Praca dotyczy klasy modeli GLMM. Ze względu na fakt, iż dostępne oprogramowanie nie oferuje bibliotek służących do automatycznej selekcji parametrów tych modeli, konieczne jest samodzielne opracowanie nietrywialnych algorytmów (wraz z optymalnymi kryteriami stopu) oraz ich implementacja. Mój mentoring w tym zakresie wynika z posiadania specjalistycznej wiedzy informatycznej oraz umiejętności jej zastosowania w ekonometrii.

Od 2018 roku jestem opiekunem Studenckiego Koła Naukowego Zarządzania w Sporcie, zaś od 2010 roku opiekunem największej organizacji studenckiej w SGH, a mianowicie Klubu Uczelnianego Akademickiego Związku Sportowego Szkoły Głównej Handlowej w Warszawie. Pełnię jednocześnie funkcję Prezesa tej organizacji.

Od 2014 roku jestem współkoordynatorem (z dr Anną Decewicz) przedmiotu *Ekonometria*, będącego podstawowym na większości kierunków studiów licencjackich SGH. Jestem również autorem i koordynatorem następujących przedmiotów na studiach licencjackich:

- *Wprowadzenie do metod numerycznych*,
- *Wychowanie fizyczne – ćwiczenia z różnych obszarów kultury fizycznej* (wersja polskojęzyczna) oraz *Physical Education – classes on different aspects of physical culture* (wersja anglojęzyczna),

oraz studiach magisterskich:

- *Metody numeryczne* (wersja polskojęzyczna) oraz *Numerical methods* (wersja anglojęzyczna),
- *Podstawy analizy danych w e-biznesie*.

W latach 2011-2012 w ramach programu Global SGH stworzyłem od podstaw program oraz materiały do przedmiotów *Mathematical Analysis* oraz *Algebra*., które do tej pory są prowadzone na poziomie licencjackim (w języku angielskim).

Od 2009 roku regularnie przepracowuję wiele godzin ponad obowiązujące mnie pensum prowadząc Konwersatorium dla doktorantów oraz wiele przedmiotów na studiach licencjackich i magisterskich, w tym:

- *Mathematics* (w języku angielskim) – wykłady i ćwiczenia,
- *Matematyka* – ćwiczenia,

---

<sup>10</sup> Szczegółowe informacje w Załączniku nr 4, punkt III K).

- *Ekonometria* – laboratorium,
- *Mathematical Analysis* (w języku angielskim) – wykłady i ćwiczenia,
- *Algebra* (w języku angielskim) – wykłady i ćwiczenia,
- *Metody numeryczne* – laboratorium,
- *Numerical methods* (w języku angielskim) – laboratorium,
- *Wprowadzenie do metod numerycznych* – laboratorium,
- *Algebra i Analiza Matematyczna* – ćwiczenia,
- *Podstawy analizy danych w e-biznesie* – laboratorium,
- *Budowa i eksploatacja baz danych* – laboratorium.

W roku 2009 stworzyłem i od tamtego czasu jestem opiekunem dwóch specjalności międzykierunkowych *Badania operacyjne i decyzje*, jednej na studiach pierwszego, a drugiej na studiach drugiego stopnia.

Wielokrotnie prowadziłem szkolenia z modelowania ekonometrycznego oraz nauki obsługi programów komputerowych i programowania m.in. dla Głównego Urzędu Statystycznego (Analiza szeregów czasowych), Urzędu Komunikacji Elektronicznej (Programowanie w środowisku R), Narodowego Banku Polskiego (Analiza i interpretacja wyników badań ankietowych, Matlab – dobre praktyki programowania, Statystyczna analiza i prezentacja danych, Badania statystyczne i analiza danych, Implementacja nowych i zaawansowanych rozwiązań pakietu SAS w tworzeniu programów do obróbki i analizy danych ankietowych, Modele panelowe w środowisku STATA, Zaawansowane programowanie w środowisku R).

Kilkukrotnie korzystałem z okazji do nauki i zdobywania nowych doświadczeń w ramach wyjazdów w celach edukacyjnych w programie Erasmus+. W 2016 roku prowadziłem zajęcia dydaktyczne ze studentami z przedmiotu *Sampling and data analysis* na Uniwersytecie w Alicante (Hiszpania), w roku 2017 z przedmiotu *Ekonometria stosowana* na Lebanese American University w Bejrucie (Liban).

Szykowałem także prelekcje dla licealistów, m.in. wykład z podstaw ekonometrii i badań operacyjnych dla uczniów I LO im. Króla Kazimierza Wielkiego w Olkuszu w ramach programu Klasa Akademicka SGH oraz wystąpienie nt. „Real Time Bidding” w ramach Wykładów Otwartych na SGH. Dla jeszcze młodszego grupy docelowej, miałem prelekcję pt. „Matematyka w sporcie, grach i zabawach” na 4. Festiwalu Matematyki organizowanym przez Gazetę Wyborczą.

## 5. Dorobek organizacyjny

Działalność organizacyjna na Uczelni oraz poza nią zajmuje mi znaczną część czasu. Na kadencję 2015-2016 oraz 2016-2020 zostałem wybrany na członka Senatu Uczelni jako przedstawiciel niesamodzielnych pracowników naukowych. W latach 2016-2020 jestem również członkiem Rady Kolegium Analiz Ekonomicznych SGH.

W 2016 roku zostałem wybrany na członka kolegium elektorskiego Szkoły Głównej Handlowej w Warszawie i uczestniczyłem w procedurze wyboru władz SGH będąc dwukrotnie sekretarzem i raz wiceprzewodniczącym komisji wyborczej.

W latach 2013-2014 byłem członkiem Komisji ds. wyboru uczestników projektu *Rozwój nauki – rozwojem regionu – stypendia i wsparcie towarzyszące dla mazowieckich doktorantów* powołanej przez Departament Edukacji Publicznej i Sportu Urzędu Marszałkowskiego Województwa Mazowieckiego w Warszawie.

Od 2012 roku jestem współorganizatorem corocznej Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej Modelowanie Danych Panelowych: Teoria i Praktyka. W 2019 roku odbędzie się już ósma jej edycja, a w uznaniu wysokiego poziomu merytorycznego od wielu lat honorowy patronat obejmuje Komitet Statystyki i Ekonometrii PAN. Recenzowane publikacje wybranych wystąpień z tej konferencji są publikowane w zeszytach "Roczników" Kolegium Analiz Ekonomicznych SGH, których to jestem współredaktorem naukowym.

W latach 2014 oraz 2017 byłem również członkiem komitetu organizacyjnego uznanej w środowisku akademickim oraz ubezpieczeniowym Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej Zagadnienia Aktuarialne: Teoria i Praktyka. W 2016 roku natomiast, współorganizowałem Ogólnopolską Konferencję „Ubezpieczenia – branża wielkich możliwości”.

Po stażu naukowo-badawczym odbytym w 2012 roku w Laboratory for Energy Conversion w ETH Zurich przez wiele lat współpracowałem z tamtejszym ośrodkiem. Moja praca w Szwajcarii dotycząca zarządzania ryzykiem związanym z budową elektrowni wiatrowych oraz optymalizacją umiejscowienia farm wiatrowych w Polsce zaowocowała pilotażowym projektem *Systematic Planning for Development of Wind Energy in Lubelskie* realizowanym w latach 2012-2014, zakończonym w Zurychu w 2015 r. dwudniowym warsztatem badawczym NEO Implementation & Execution Workshop, którego byłem współorganizatorem.

Duża część mojej działalności organizacyjnej związana jest ze sportem, przede wszystkim akademickim. W Szkole Głównej Handlowej w Warszawie od 2015 roku piastuję stanowisko



Kierownika Centrum Wychowania Fizycznego i Sportu, koordynując pracę 19 pracowników dydaktycznych oraz dwóch na stanowisku administracyjnym. W 2016 roku swoją działalność organizacyjną w zakresie sportu akademickiego rozszerzyłem na poziom województwa, będąc wybranym na członka Zarządu Akademickiego Związku Sportowego Warszawa na kadencję 2016-2020, oraz poziom krajowy zostając członkiem Rady Ekonomicznej Akademickiego Związku Sportowego na lata 2017-2018 oraz członkiem Zarządu Akademickiego Związku Sportowego na lata 2018-2019. Co więcej, na lata 2017-2020 zostałem powołany na Przewodniczącego Komisji do Spraw Biegów Ulicznych i Przełajowych Polskiego Związku Lekkiej Atletyki, najstarszego polskiego stowarzyszenia sportowego.

Swoją wiedzę i umiejętności informatyczne wykorzystuję także na polu organizacyjnym. Od wielu lat prowadzę stronę internetową "Roczników" Kolegium Analiz Ekonomicznych, jak również odpowiadam za indeksowanie w bazie RePEc czterech czasopism wydawanych przez Kolegium Analiz Ekonomicznych SGH. Dodatkowo w latach 2017-2018 byłem głównym wykonawcą w projekcie organizacyjnym *Działalność Upowszechniająca Naukę: Stworzenie i udostępnienie w sieci Internet elektronicznego repozytorium artykułów naukowych opublikowanych w "Pracach i Materiałach Instytutu Rozwoju Gospodarczego SGH"*.

## **6. Nagrody i wyróżnienia**

Za swoją działalność organizacyjną otrzymałem czterokrotnie nagrodę Jego Magnificencji Rektora SGH. W 2013 była to nagroda zbiorowa II stopnia, w 2016 nagroda indywidualna III stopnia, zaś w latach 2017 i 2018 nagroda indywidualna II stopnia.

## **Literatura cytowana**

1. Abberger, K., Nierhaus, W. (2010), *Markov-switching and the Ifo business climate: the Ifo business cycle traffic lights*, Journal of Business Cycle Measurement and Analysis, 2, 1-13.
2. Cappé O., Moulines E., Rydén T. (2005), *Inference in Hidden Markov Models*, Springer Series in Statistics, New York.
3. Chauvet M., Hamilton J. D. (2005), *Dating business cycle turning points*, NBER Working Paper no. 11422, <http://www.nber.org/papers/w11422>.
4. Drozdowicz-Bieć M. (2008), *Od recesji do boomu. Wahania cykliczne polskiej gospodarki 1990-2007*, w: „Koniunktura gospodarcza – 20 lat doświadczeń Instytutu

- Rozwoju Gospodarczego SGH”, pr. zb. pod red. E. Adamowicz, „Prace i Materiały Instytutu Rozwoju Gospodarczego SGH”, Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa.
5. Drozdowicz-Bieć M. (2012), *Cykle i wskaźniki koniunktury*, Poltext, Warszawa.
  6. Hamilton J. D. (1994), *Time series analysis*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
  7. Lhermitte S., Verbesselt J., Verstraeten W.W., Coppin P. (2011), *A comparison of time series similarity measures for classification and change detection of ecosystem dynamics*, “Remote Sensing of Environment”, vol. 115(12), pp. 3129–3152.
  8. Monfort, M., Cuestas, J.C., Ordonez, J. (2013), *Real convergence in Europe: a cluster analysis*, *Economic Modelling*, 33, 689–694, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.econmod.2013.05.015>.
  9. Mucha, M. (2012), *Mechanizm dywergencji gospodarczej w strefie*, *Ekonomista*, 4, 487–498.
  10. Phillips K. L. (1991), *A two-country model of stochastic output with changes in regime*, *Journal of International Economics*, no. 31, s. 121–142.
  11. Podgórska M., Śliwka P., Topolewski M., Wszolek M. (2002), *Łańcuchy Markowa w teorii i zastosowaniach*. Oficyna Wydawnicza SGH.
  12. Serra J., Arcos J.L. (2014), *An Empirical Evaluation of Similarity Measures for Time Series Classification*, *Knowledge-Based Systems*, vol. 67, pp. 305–314.

Michał Bernardelli