

METODY ILOŚCIOWE
W BADANIACH EKONOMICZNYCH

QUANTITATIVE METHODS
IN ECONOMICS

Vol. XVII, No. 2

Warsaw University of Life Sciences – SGGW
Faculty of Applied Informatics and Mathematics
Department of Econometrics and Statistics

METODY ILOŚCIOWE
W BADANIACH EKONOMICZNYCH

**QUANTITATIVE METHODS
IN ECONOMICS**

Volume XVII, No. 2

Warsaw 2016

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief: Bolesław Borkowski

Deputy Editor-in-Chief: Hanna Dudek

Theme Editors:

Econometrics: Bolesław Borkowski

Multidimensional Data Analysis: Wiesław Szczesny

Mathematical Economy: Zbigniew Binderman

Analysis of Labour Market: Joanna Landmessser

Financial Engineering: Grzegorz Koszela

Statistical Editor: Wojciech Zieliński

Technical Editors: Jolanta Kotlarska, Elżbieta Saganowska

Language Editor: Agata Kropiwek

Native Speaker: Yochanan Shachmurove

Editorial Assistant: Monika Krawiec

SCIENTIFIC BOARD

Peter Friedrich (University of Tartu, Estonia)

Paolo Gajo (University of Florence, Italy)

Vasile Glavan (Moldova State University, Moldova)

Francesca Greselin (The University of Milano-Bicocca, Italy)

Jirawan Kitchaicharoen (Chiang Mai University, Thailand)

Yuriy Kondratenko (Black Sea State University, Ukraine)

Vassilis Kostoglou (Alexander Technological Educational Institute of Thessaloniki, Greece)

Robert Kragler (University of Applied Sciences, Weingarten, Germany)

Karol Kukuła (University of Agriculture in Krakow, Poland)

Alexander N. Prokopenya (Brest State Technical University, Belarus)

Yochanan Shachmurove (The City College of The City University of New York, USA)

Mirbulat B. Sikhov (al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan)

Ewa Syczewska (Warsaw School of Economics, Poland)

Achille Vernizzi (University of Milan, Italy)

Andrzej Wiatrak (University of Warsaw, Poland)

Dorota Witkowska (University of Lodz, Poland)

ISSN 2082 – 792X

© Copyright by Department of Econometrics and Statistics WULS – SGGW
(Katedra Ekonometrii i Statystyki SGGW)

Warsaw 2016, Volume XVII, No.2

The original version is the paper version

Journal homepage: qme.sggw.pl

Published by Warsaw University of Life Sciences Press

SPIS TREŚCI

Elżbieta Badach, Piotr Cymanow – Zastosowanie taksonomii wrocławskiej do oceny poziomu rozwoju społeczno – gospodarczego karpackich gmin górskich ONW	7
Elżbieta Badach, Monika Ziolo – Wykorzystanie wybranych metod WAP w ocenie relacji pomiędzy stanem infrastruktury drogowej a bezpieczeństwem na drogach w Polsce	16
Jan Gadomski, Lech Kruś – Dwukryterialna ocena następstw polityki ograniczenia emisji CO ₂ dla rozwoju gospodarczego Polski	26
Wiesław Grygierzec – O pewnym problemie Mayera sterowania optymalnego w przypadku stochastycznym	37
Monika Jaworska – Analiza dystansu Polski do krajów Unii Europejskiej pod względem ochrony środowiska naturalnego	46
Lech Kruś, Irena Woroniecka-Leciejewicz – Analiza gry monetarno – fiskalnej na przykładzie gospodarki polskiej	54
Lidia Luty – Rolnictwo ekologiczne – rozwój w wybranych krajach Unii Europejskiej	65
Lidia Luty, Monika Ziolo – Zróżnicowanie odnawialnych źródeł energii w krajach Grupy Wyszehradzkiej	75
Wojciech Młynarski, Artur Prędko – Zastosowanie metody DEA w ocenie efektywności gospodarowania nadleśnictw – orientacja na produkty	86
Łukasz Satoła, Lidia Luty – Poziom wyposażenia w infrastrukturę komunalną a sytuacja finansowa gmin	101
Piotr Sulewski – Pojęcie miary odejścia od równomierności oraz jej wpływ na testowanie niezależności w tablicach dwudzielczych średnich rozmiarów	111
Andrzej Szuwarzyński – Ocena efektywności działalności badawczo – rozwojowej w krajach OECD	123
Tadeusz Trzaskalik – Interaktywna metoda satysfakcjonujących poziomów kryteriów w wielokryterialnym programowaniu dynamicznym	134
Dorota Witkowska – Propozycja oceny efektywności inwestycyjnej rynków funduszy emerytalnych	149
Piotr Wójcik – Dojazdy do pracy a konwergencja regionalna w Polsce	160

ZASTOSOWANIE TAKSONOMII WROCŁAWSKIEJ DO OCENY POZIOMU ROZWOJU SPOŁECZNO – GOSPODARCZEGO KARPACKICH GMIN GÓRSKICH ONW

Elżbieta Badach, Piotr Cymanow

Katedra Statystyki i Ekonometrii, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
e-mail: rrbadach@cyfronet.pl

Streszczenie: Celem niniejszego opracowania jest uzyskanie diagnozy dotyczącej poziomu rozwoju społeczno-gospodarczego w gminach górskich położonych na terenie polskiej części Karpat. Dane wyjściowe stanowiły wyniki ankiet przeprowadzonych z udziałem władz samorządowych i liderów lokalnych na obszarze 44 gmin (stanowiących populację generalną), zlokalizowanych na obszarze województw małopolskiego, śląskiego i podkarpackiego. Badanie miało na celu wyodrębnienie grup gmin podobnych pod względem poziomu rozwoju społeczno-gospodarczego oraz znalezienie potencjalnych przyczyn sprzyjających uzyskaniu określonego poziomu tego rozwoju.

Słowa kluczowe: gminy górskie ONW, rozwój lokalny, taksonomia wrocławska

WSTĘP

Specyficzne uwarunkowania społeczno-gospodarcze determinujące odmienną funkcjonowanie peryferyjnych obszarów górskich wskazują na konieczność dokonania bardziej szczegółowej analizy w zakresie poziomu rozwoju tych obszarów w celu zastosowania skutecznych narzędzi służących do poprawy warunków życia ich mieszkańców.

Polityka regionalna Unii Europejskiej koncentruje się w dużej mierze na poprawie funkcjonowania obszarów problemowych, do których zaliczane są również tereny charakteryzowane jako Obszary o Niekorzystnych Warunkach Gospodarowania (ONW). Wśród nich na szczególną uwagę zasługują gminy zaliczane jako ONW górskie – w warunkach polskich Karpat są to 44 jednostki

zlokalizowane na terenie trzech województw – małopolskiego, śląskiego i podkarpackiego.

Akcentowana wielokrotnie istotna trudność prowadzenia efektywnej produkcji rolniczej (skorelowana z niekorzystnym układem warunków przyrodniczych) determinuje tworzenie się tzw. obszarów problemowych [Bański 2006]. Stwarza to konieczność dokonania identyfikacji problemów lokalnych i stworzenia określonych scenariuszy rozwojowych dostosowanych do specyfiki konkretnego terenu [Kłodziński 2006].

Niektórzy badacze stawiają znak równości w relacjach zachodzących pomiędzy funkcją produkcyjną i pozaprodukcyjną (niekomercyjną) rolnictwa górskiego, utożsamiając rolę tego obszaru gospodarki z kompleksem oddziaływań pozbawionych charakteru rynkowego [Czudec 2009].

Ważną niekorzystną cechą przeważającej części gmin górskich jest znaczące zróżnicowanie wewnętrzne, oznaczające wysoki poziom zagospodarowania turystycznego na terenie o niskich parametrach rozwoju gospodarczego – przekładające się na niski potencjał rozwojowy [Gorzela 2007]. Równocześnie jednak liczni autorzy podkreślają, iż istotność funkcji pozagospodarczych obszarów górskich zwiększa się dynamicznie pod wpływem czynników postępu cywilizacyjnego, co generuje popyt na usługi zlokalizowane na przedmiotowych obszarach [Wilkin 2010].

Specyficzne uwarunkowania społeczno-gospodarcze, determinujące odmiennosć funkcjonowania peryferyjnych obszarów górskich, wskazują na konieczność dokonania bardziej szczegółowej analizy w zakresie poziomu rozwoju tych obszarów w celu zastosowania skutecznych narzędzi służących do poprawy warunków życia ich mieszkańców.

METODYKA

Badane obiekty (gminy) scharakteryzowane zostały za pomocą 10 zaprezentowanych w dalszej części opracowania zmiennych, które stanowią wybrane wskaźniki poziomu rozwoju społeczno-gospodarczego tych gmin. Macierz danych wymiaru 44x10 stanowi punkt wyjścia analizy, której celem było wyodrębnienie grup obiektów podobnych pod względem zespołu rozpatrywanych cech. Posłużono się w tym celu metodą taksonomii wrocławskiej, należącej do grupy taksonomicznych metod dendrytowych, opierających się na pojęciach z zakresu teorii grafów¹. Taksonomia wrocławska jest metodą analizy stosowaną z powodzeniem do łączenia obiektów (zmiennych) w grupy jednorodne pod względem n cech (wymiarów) [Ćwiakała-Małys, Nowak 2005].

Ze względu na różny zakres zmienności wykorzystanych w badaniu elementów, należy zastosować ich standaryzację. Pozwala ona sprowadzić zmienne

¹ Graf $G(\Omega, \Gamma)$ jest to zbiór wierzchołków Ω wraz z ich odwzorowaniem Γ w tym samym zbiorze [Gabiński 1992].

do jednakowej skali i uzyskać tym samym ich porównywalność. W tym celu dane wejściowe zebrane w macierzy wymiaru $N \times L$, gdzie:

N – ilość obiektów poddanych analizie,

L – ilość zmiennych uwzględnionych w badaniu

przekształca się według wzoru:

$$z_{(i)} = \frac{x_{(i)} - \bar{x}}{s}$$

gdzie: \bar{x} – średnia wartość cechy w analizowanej próbie,

s – odchylenie standardowe z próby.

W przypadku zaniechania tej czynności analiza byłaby obciążona, a o jej wynikach przesądzałyby zmienne o największym zakresie wartości.

Dla wystandaryzowanych zmiennych wyznacza się następnie macierz odległości między obiektami, która stanowi bazę pozwalającą przystąpić do budowy grafu zwanego dendrytem wrocławskim. Konstrukcji dokonuje się w dwóch etapach [Grabiński 1992].

1. W każdym wierszu (ewentualnie kolumnie) macierzy odległości szuka się najmniejszego elementu. Otrzymaną parę obiektów łączy się ze sobą, otrzymując w ten sposób graf niezorientowany², w którym długości krawędzi wskazują na stopień podobieństwa pomiędzy jednostkami odpowiadającymi poszczególnym wierzchołkom.
2. Sprawdza się spójność grafu. Graf jest spójny, jeżeli każde dwa różne jego wierzchołki są połączone nieprzerwanym ciągiem wiązań. Jeśli graf nie jest spójny, to poszczególne jego składowe (podgrafy spójne) łączy się ze sobą w miejscu wyznaczonym przez minimalną odległość pomiędzy jednostkami – wierzchołkami, należącymi do łączonych składowych. Postępowanie takie kontynuuje się aż do otrzymania grafu spójnego, nazywanego dendrytem wrocławskim i wyznaczającego szukane uporządkowanie klasyfikowanych jednostek.

Dendryt stanowi punkt wyjścia dla dokonania podziału zbioru obiektów na k podzbiorów, które skupiają jednostki podobne pod względem zespołu badanych cech. Następuje to poprzez podział dendrytu polegający na odrzuceniu $k-1$ najdłuższych wiązań. Wybór liczby k stanowi najbardziej dyskusyjny etap analizy. W literaturze opisywane są liczne metody prowadzące do ustalenia liczby grup. W pewnych sytuacjach wybór liczby k bywa także przyjęty z góry przez prowadzących badania.

Po wyodrębnieniu grup obiektów podobnych można dokonać wyboru reprezentanta każdej z grup. Powinien to być element o możliwie dużym

² Graf niezorientowany jest to taki graf, w którym wierzchołki są łączone liniami (wiązaniami) bez zaznaczonego kierunku.

podobieństwie do pozostałych obiektów grupy niewybranych za reprezentanta. Poza tym powinno się zmierzać do tego, aby wyłonione elementy reprezentujące poszczególne grupy charakteryzowały się małym podobieństwem między sobą.

Dokonanie podziału zbioru wierzchołków (obiektów) na k podzbiorów daje podstawy do twierdzenia, iż każda z wyłonionych grup jest bardziej jednorodna niż cała zbiorowość.

Z uwagi na założenia metody, zadbać należy o to, aby zmienne wybrane do charakterystyki obiektów nie były ze sobą silnie skorelowane, ponieważ to zaburzałoby analizę i zniekształcało uzyskany obraz. Zmienne silnie skorelowane zdominowałyby pozostałe i wywierałyby decydujący wpływ na dokonywane podziały.

WYNIKI

Punkt wyjścia przeprowadzonej analizy stanowiły wyniki badań ankietowych przeprowadzonych w 2014 r. Odbywały się one z udziałem wójta i sekretarza gminy oraz pracowników referatu rolnictwa i Gminnego Ośrodka Pomocy Społecznej w każdej z 44 gmin górskich położonych na obszarze klasyfikowanym jako obszary o niekorzystnych warunkach gospodarowania (ONW).

Każda z gmin została opisana za pomocą 10 zmiennych:

X_1 – odsetek gospodarstw domowych egzystujących poniżej minimum socjalnego,

X_2 – odsetek gospodarstw domowych egzystujących na granicy minimum socjalnego,

X_3 – odsetek gospodarstw domowych dobrze i bardzo dobrze sytuowanych,

X_4 – udział gospodarstw rozwojowych w ogólnej liczbie gospodarstw rolnych³,

X_5 – odsetek gospodarstw rolnych potencjalnie rozwojowych,

X_6 – odsetek gospodarstw wygaszających produkcję⁴,

X_7 – odsetek gospodarstw rolnych upadających⁵,

X_8 – udział gospodarstw porzuconych,

X_9 – udział gruntów porzuconych w powierzchni gruntów rolnych,

X_{10} – udział powierzchni gruntów zalesionych i zakrzaczonych w powierzchni gruntów rolnych.

Celem analizy jest uzyskanie podziału badanej zbiorowości na jednorodne podgrupy skupiające gminy o zbliżonym poziomie rozwoju społeczno-gospodarczego, a jednocześnie poszukujące rozwiązania podobnych problemów związanych z zespołem uwarunkowań geograficznych i społeczno-gospodarczych.

³ Za gospodarstwo rozwojowe uznano gospodarstwo inwestujące i posiadające następcę.

⁴ Gospodarstwa nie utrzymujące inwentarza, powoli porzucające ziemię.

⁵ Gospodarstwa nieinwestujące od lat, bez inwentarza, z ziemią odlogowaną, z produkcją rolniczą w zaniku.

Ze względu na ograniczoną objętość niniejszego opracowania pominięto prezentację wektora wartości wytypowanych zmiennych dla poszczególnych gmin, z tych samych powodów nie zamieszczono też macierzy odległości.

Tabela 1. Podstawowe charakterystyki zmiennych diagnostycznych wytypowanych do badania

Zmienna	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀
Średnia	18,6	25,01	12,1	7,18	13,6	20,4	15,6	9,55	26,1	23,3
Odchylenie	15	16,49	8,61	7,9	12,8	17,6	13,4	9,22	21,9	22,1
Współczynnik zmienności	0,81	0,659	0,71	1,1	0,94	0,86	0,86	0,97	0,84	0,95

Źródło: obliczenia własne

Podstawowe charakterystyki badanej zbiorowości względem wymienionych cech zawiera tabela 1. Wybrane do analizy zmienne nie są ze sobą skorelowane albo też wykazują jedynie słabą korelację (tab. 2). Obiekty uczestniczące w badaniu wykazują znaczne zróżnicowanie względem rozpatrywanych cech, co stanowi pożądaną właściwość w procedurze klasyfikacji (tabela 1).

Tabela 2. Współczynniki korelacji liniowej między wytypowanymi zmiennymi

	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀
X ₁	1	0,096	-0,387	-0,012	-0,107	0,023	-0,073	-0,041	0,047	0,268
X ₂	0,096	1	-0,378	-0,062	0,23	-0,071	0,234	-0,143	-0,098	-0,011
X ₃	-0,387	-0,378	1	0,237	-0,08	-0,261	-0,1	-0,218	-0,069	-0,222
X ₄	-0,012	-0,062	0,237	1	0,451	-0,355	-0,294	-0,233	-0,369	-0,193
X ₅	-0,107	0,23	-0,08	0,451	1	-0,289	-0,189	-0,108	-0,107	-0,087
X ₆	0,023	-0,071	-0,261	-0,355	-0,289	1	0,37	0,133	0,042	0,086
X ₇	-0,073	0,234	-0,1	-0,294	-0,189	0,37	1	0,139	0,103	0,081
X ₈	-0,041	-0,143	-0,218	-0,233	-0,108	0,133	0,139	1	0,399	0,102
X ₉	0,047	-0,098	-0,069	-0,369	-0,107	0,042	0,103	0,399	1	0,359
X ₁₀	0,268	-0,011	-0,222	-0,193	-0,087	0,086	0,081	0,102	0,359	1

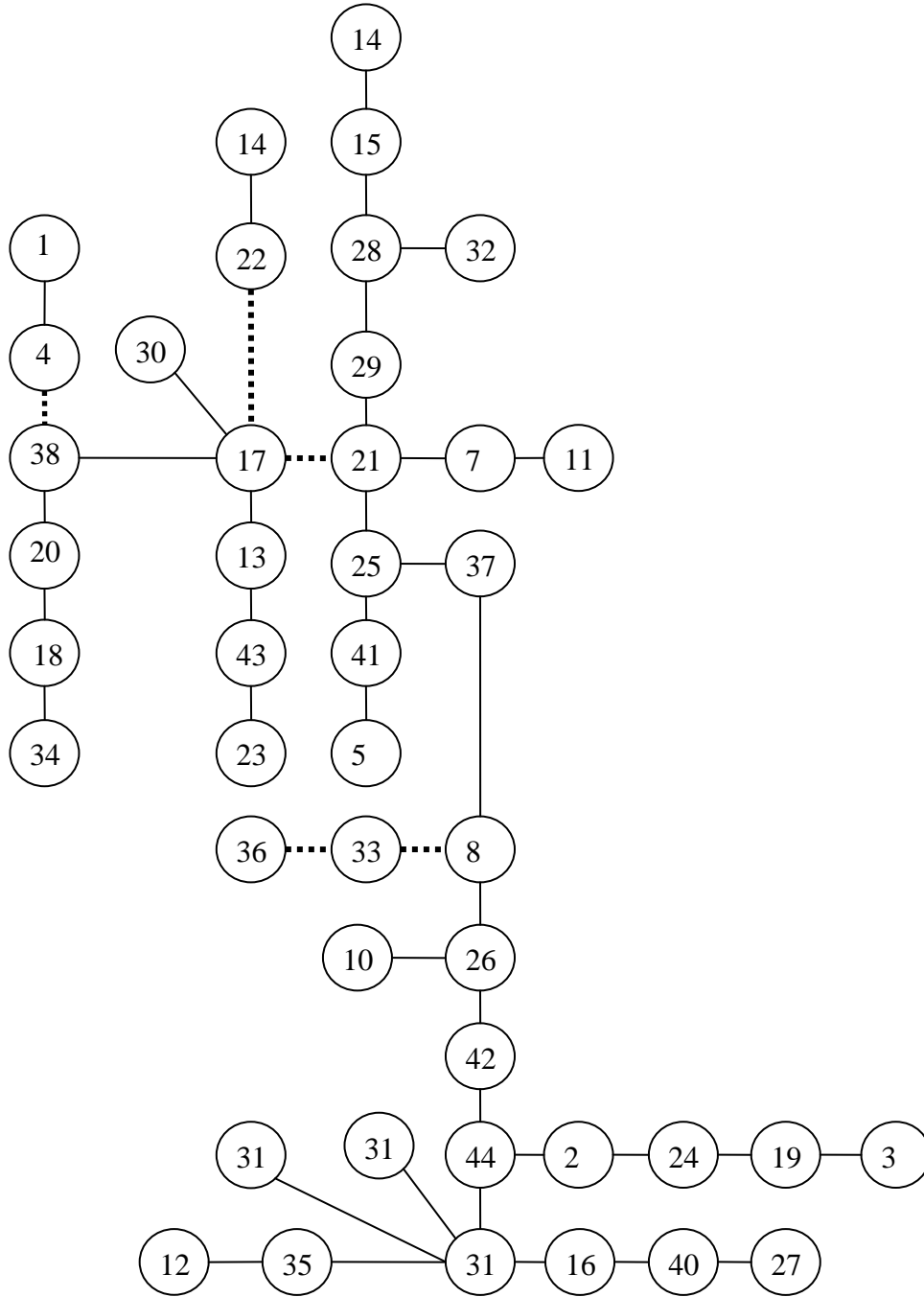
Źródło : obliczenia własne

Przy obliczaniu odległości obiektów zastosowano tzw. metrykę miejską. Odległość rozpatrywanych obiektów x i y w przypadku tej metryki dana jest wzorem:

$$d(x, y) = \sum_{i=1}^{10} |x_i - y_i|,$$

gdzie $x = (x_1, x_2, \dots, x_{10})$; $y = (y_1, y_2, \dots, y_{10})$

Rysunek 1. Dendryt wrocławski



Źródło: opracowanie własne

Na podstawie macierzy odległości zbudowano dendryt wrocławski przedstawiony na rys. 1. Numery umożliwiające identyfikację gminy na schemacie podano poniżej, przy prezentacji wyników klasyfikacji. Wiązania usuwane przy dokonywaniu podziału zaznaczono pogrubioną linią przerywaną. Po odrzuceniu 5 najdłuższych połączeń uzyskano 6 grup obiektów podobnych. Grupy są mocno zróżnicowane pod względem liczebności.

- Grupa 1: Rajcza (36)
- Grupa 2: Stryszawa (33)
- Grupa 3: Bukowina (1), Komańcza (4)
- Grupa 4: Kamienica (14), Łapsze Niżne (22)
- Grupa 5: Krościenko (17), Jordanów (13), Muszyna (18), Lubień (20), Milówka (23), Krynica-Zdrój (34), Ślemień (38), Poronin (30), Czarny-Dunajec (43)
- Grupa 6: Dobra (2), Biały Dunajec (3), Słopnice (5), Bystra-Sidzina (6), Cisna (7), Czarna (8), Czorsztyn (9), Istebna (10), Jabłonka (11), Jeleśnia (12), Koszarawa (15), Kościelisko (16), Lipnica Wielka (19), Lutowiska (21), Mszana Dolna (24), Niedźwiedź (25), Nowy Targ (26), Ochotnica Dolna (27), Łabowa (28), Piwniczna (29), Raba Wyżna (31), Rabka-Zdrój (32), Spytkowice (35), Szaflary (37), Tokarnia (39), Ujsoły (40), Uście Gorlickie (41), Węgierska Górka (42), Zawoja (44)

Średnie wartości rozpatrywanych cech dla gmin tworzących uzyskane w wyniku procedury skupiska prezentuje tabela 3.

Tabela 3. Średnie wartości rozpatrywanych zmiennych w grupach

	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀
Grupa 1	80	15	0	1	2	15	8	20	80	70
Grupa 2	30	30	10	10	30	0	0	10	85	80
Grupa 3	10	70	7,5	2,5	15	15	42,5	9,75	43	26,5
Grupa 4	50	20	10	5	5	47,5	20	5	20	7,5
Grupa 5	7,33	9,61	16,61	2,67	7,67	31,67	15,22	12,17	36,11	24,72
Grupa 6	18,07	27,21	11,69	9,17	15,83	16,34	14,34	8,66	18,41	20,14

Źródło : obliczenia własne

PODSUMOWANIE

Przedstawione wyniki badań wskazują na znaczące zróżnicowanie w poziomie rozwoju społeczno-ekonomicznego analizowanych gmin górskich. Istotnym czynnikiem sprzyjającym ożywieniu gospodarczemu obszarów problemowych jest bliskość tranzytowych szlaków komunikacyjnych. Potwierdzają to wyniki klasyfikacji; grupę 5 tworzą gminy zlokalizowane w większości w pobliżu węzłów skupiających drogi o znaczeniu międzynarodowym i krajowym. Zauważyć można iż średni odsetek gospodarstw domowych dobrze i bardzo dobrze sytuowanych jest tutaj największy. Jednocześnie we wspomnianej grupie udział gospodarstw rolnych uznawanych za potencjalnie rozwojowe jest praktycznie najniższy spośród wszystkich badanych grup. Świadczyć to może o przepływie kapitału z inwestycji w rolnictwie do sektora usług.

Z kolei najliczniejszą w zestawieniu grupę 6 stanowią gminy uznawane w większości za obszary atrakcyjne turystycznie. Cechą charakterystyczną jest tutaj niski średni udział gospodarstw porzuconych, a także mniejszy niż w innych grupach gmin udział powierzchni gruntów odłogowanych, co może sugerować, iż przestrzeń rolnicza w dużej mierze wykorzystywana jest dla realizacji celów rekreacyjno-turystycznych. Co istotne, w grupie tej zauważalny jest najwyższy odsetek gospodarstw rozwojowych wskazujący na znaczący potencjał w zakresie produkcji i sprzedaży artykułów spożywczych, w tym także wyrobów regionalnych i żywności ekologicznej dla potrzeb zwiększonego ruchu turystycznego w tych miejscowościach.

BIBLIOGRAFIA

- Bański J. (2006) *Geografia polskiej wsi*. PWE, Warszawa.
- Kłodziński M. (2006) *Rolnictwo a zrównoważony rozwój obszarów wiejskich*. [w:] Zegar J. (red.) *Z badań nad rolnictwem społecznie zrównoważonym*, 3, IRWiR, PAN, Warszawa, 17-25.
- Czudec A. (2009) *Ekonomiczne uwarunkowania rozwoju wielofunkcyjnego rolnictwa*. Wyd. UR Rzeszów, 9-10.
- Ćwiakła-Małys A., Nowak W. (2005) *Zarys metodologiczny analizy finansowej*. Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego, 56–63.
- Gorzela G. (2007) *Strategiczne kierunki rozwoju Polski Wschodniej*. [w:] *Ekspertyzy wykonane na zamówienie MRR na potrzeby Strategii Rozwoju Społeczno – Gospodarczego Polski Wschodniej do roku 2020*, 1, MRR, Warszawa.
- Grabiński T. (1992) *Metody taksonometrii*. Wydawnictwo AE w Krakowie.
- Wilkin J. (2010) *Wielofunkcyjność rolnictwa – kierunki badań, podstawy metodologiczne i implikacje praktyczne*. IRWiR PAN, Warszawa, 11-14.

**APPLICATION OF WROCLAW TAXONOMY IN ESTIMATION OF
THE LEVEL OF SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT OF LFA
CARPATHIAN MOUNTAIN COMMUNITIES**

Abstract: The aim of the study is to reach a diagnosis of the level of socio-economic development in mountain communities located in the Polish part of the Carpathians. The results of surveys carried out with the participation of local authorities and local leaders in the area of 44 communities located in Lesser Poland, Silesia and Podkarpackie Provinces constituted the output. The survey was designed to isolate groups of municipalities similar in terms of the level of socio-economic development and to identify potential causes conducive to achieving a certain level of development.

Keywords: mountain communities, local development, Wrocław taxonomy

WYKORZYSTANIE WYBRANYCH METOD WAP W OCENIE RELACJI POMIĘDZY STANEM INFRASTRUKTURY DROGOWEJ A BEZPIECZEŃSTWEM NA DROGACH W POLSCE

Elżbieta Badach, Monika Ziolo

Katedra Statystyki i Ekonometrii, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
e-mail: mziolo@ar.krakow.pl

Streszczenie: Podstawowym celem opracowania jest ocena zróżnicowania przestrzennego infrastruktury drogowej w Polsce z uwzględnieniem jej wpływu na liczbę wypadków na drogach. W analizie uwzględniono liczbę osób zabitych, rannych oraz liczbę kolizji drogowych. Przy ocenie infrastruktury drogowej uwzględniono zmienne charakteryzujące rodzaj i jakość dróg w układzie województw, obciążenie sieci dróg wojewódzkich, jak również przewozy ładunków i towarów.

Słowa kluczowe: infrastruktura drogowa, bezpieczeństwo na drogach, wielowymiarowa analiza porównawcza

WSTĘP

Tranzytowe położenie Polski umożliwia wzrost dochodów podmiotów gospodarczych związany z pełnieniem funkcji transportowych [Rogacki 2007]. Niewystarczająco rozwinięta infrastruktura drogowa hamuje niestety ten rozwój w wielu przypadkach stając się niebezpieczną dla mieszkańców, w konsekwencji powodując mniej lub bardziej zagrażające życiu wypadki.

Wyniki wielu badań wskazują, że dobrze rozwinięta infrastruktura drogowa pozwala zmniejszyć koszty transportu, magazynowania oraz kontaktów z kontrahentami. Ułatwia specjalizację, bo redukuje ryzyko nieterminowych dostaw. Sprzyja rozszerzeniu sieci sprzedaży towarów poza lokalne rynki, co pozwala przedsiębiorcom na osiągnięcie korzyści z dużej skali produkcji [Ciesielski, Szudrowicz 2001]. Ułatwia przepływ pracowników z rolnictwa do bardziej produktywnych sektorów. Umożliwia podejmowanie pracy poza miejscem zamieszkania pozwalając na szybkie pokonywanie nawet dużych odległości. Ludziom z małych miejscowości ułatwia dostęp do szerszej oferty edukacyjnej

[Chudzik, Więckowicz 1998]. Podnosi opłacalność pracy, bo tańsze staje się jej poszukiwanie, a po jej znalezieniu obniża koszty dojazdu. Ułatwia znalezienie pracy odpowiadającej kwalifikacjom pracownika, bo czyni opłacalnym poszukiwanie jej na znacznie większym obszarze. Za pośrednictwem wszystkich wymienionych kanałów poszerza możliwości zyskownego lokowania kapitału, a zwiększając zyski podnosi zarówno zdolność, jak i skłonność firm do inwestowania [Herrera, Pang 2005].

Mając na uwadze znaczenie dróg i wzrastające potrzeby transportowe istotnym jest śledzenie zmian zachodzących w infrastrukturze drogowej. Celem analizy było zbadanie zróżnicowania i dynamiki rozwoju infrastruktury drogowej w Polsce w układzie województw ze zwróceniem szczególnej uwagi na drogi szybkiego ruchu, oraz zagrożenie wypadkami. Postawiono również tezę, że w województwach z lepiej rozwiniętą infrastrukturą drogową wyższy jest dochód mieszkańców oceniany za pomocą wskaźnika dochodów per capita.

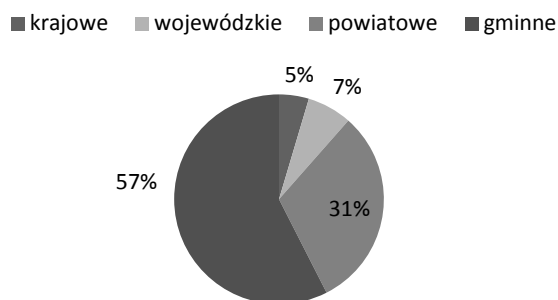
STAN INFRASTRUKTURY DROGOWEJ

Zgodnie z art. 2. Ustawy o drogach publicznych [Dz. U. 1985 Nr 14 poz. 60] drogi publiczne ze względu na funkcje pełnione w sieci drogowej dzielą się na następujące kategorie:

- drogi krajowe,
- drogi wojewódzkie,
- drogi powiatowe,
- drogi gminne.

Z czego zdecydowaną większość, bo około 58%, stanowią drogi gminne (rysunek 1).

Rysunek 1. Udział poszczególnych typów dróg tworzących ogólnopolską sieć dróg publicznych w 2014 roku



Źródło: opracowanie własne na podstawie GDDKIA

Długość dróg wojewódzkich w 2014 roku wynosiła 28 475,5 km, z czego 99,8% stanowiły drogi o nawierzchni twardej, 91,1% spośród 12 7743,2 km dróg powiatowych posiadało nawierzchnię twardą a w przypadku dróg gminnych odsetek ten wynosił 49,2% (247 243,2 km). W 2014 r. mieliśmy w Polsce niemal 280 tys. km dróg publicznych o twardej nawierzchni (tj. 89,7 km na 100 km² powierzchni kraju). Autostrad oraz dróg ekspresowych, od koniec 2014 r. było, odpowiednio, ponad 1070 km oraz blisko 738 km.

Pod względem dynamiki rozwoju sieci autostradowej Polska z 134% przyrostem liczby kilometrów autostrad w latach 2007-2014 zajmuje pierwsze miejsce wśród krajów europejskich. Natomiast sieć dróg ekspresowych wzrosła w tym samym czasie o 230%.

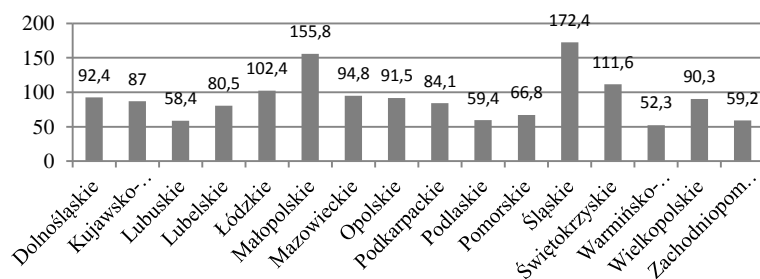
Tabela 1. Dynamika wzrostu liczby kilometrów autostrad w wybranych krajach europejskich w latach 2007-2014 w (%)

Kraj	Przyrost sieci autostrad
Polska	134%
Węgry	61%
Hiszpania	25%
Słowacja	15%
Czechy	12%
Niemcy	2%

Źródło: opracowanie własne na podstawie GUS Transport drogowy w Polsce w 2014, EU transport in figures statistical pocketbook 2015

Istotne znaczenie dla przewozów pasażerów i towarów ma gęstość dróg. Wykazuje ona znaczne zróżnicowanie w poszczególnych województwach. Największa gęstość sieci drogowej w Polsce, na 100 km² powierzchni, występuje na Śląsku (172,4 km) i w Małopolsce (155,8 km), a najniższa w warmińsko-mazurskim (52,3 km), lubuskim (58,4 km) zachodniopomorskim (59,2 km) (rysunek 2).

Rysunek 2. Gęstość sieci drogowej w poszczególnych województwach w Polsce (km/100 km²) w 2014 roku



Źródło: obliczenia własne na podstawie Transport drogowy w Polsce w 2014 roku

W przeliczeniu na 100 km² powierzchni w województwie śląskim jest ponad 3-krotnie więcej dróg niż w województwie warmińsko - mazurskim. Dysproporcje te wynikają przede wszystkim z różnic w gęstości zaludnienia w poszczególnych regionach.

W województwie śląskim jest zarejestrowana znacznie większa liczba samochodów niż w województwie warmińsko - mazurskim, a samochody są tam przeciętnie znacznie intensywniej używane. W rezultacie natężenie ruchu jest trzykrotnie mniejsze w województwie warmińsko - mazurskim.

MATERIAŁ I METODA ANALIZY

Podstawowym celem opracowania jest zaprezentowanie infrastruktury drogowej w Polsce i zestawienie tych informacji z danymi o wypadkach drogowych w celu zaprezentowania zróżnicowania przestrzennego badanych zjawisk. Przy ocenie infrastruktury drogowej uwzględniono zmienne charakteryzujące rodzaj i jakość dróg w układzie województw, obciążenie sieci dróg wojewódzkich czy średni dobowy ruch pojazdów jak również przewozy ładunków i towarów. Wszystkie zmienne opisujące infrastrukturę drogową zaklasyfikowano do grupy stymulant.

Do weryfikacji związku pomiędzy zmiennymi wykorzystano współczynnik korelacji liniowej Pearsona. Zmienne skorelowane na poziomie powyżej 0,7 zostały pominięte. Podczas doboru zmiennych uwzględniono również współczynnik względnej amplitudy wahań $A(W_j)$ w celu wyeliminowania cech quasi stałych. Dane rozpatrywano w układzie województw w roku 2014. Wskazano województwa gdzie infrastruktura drogowa jest najlepiej rozwinięta i grupę województw, które wymagają doinwestowania ze względu na złą jakość dróg skutkującą dużą liczbą osób zabitych i rannych. W analizie wykorzystano następujące zmienne:

- X₁ - drogi krajowe na 100 km² powierzchni,
- X₂ - drogi wojewódzkie na 100 km² powierzchni,
- X₃ - drogi powiatowe na 100 km² powierzchni,
- X₄ - drogi gminne 100 km² powierzchni,
- X₅ - drogi ekspresowe na 100 km² powierzchni,
- X₆ - autostrady na 100 km² powierzchni,
- X₇ - średni dobowy ruch pojazdów,
- X₈ - ładunki nadane do przewozu w mln t/km,
- X₉ - przewozy pasażerów w komunikacji miejskiej na mieszkańca,
- X₁₀ - nakłady na drogi publiczne w tys. zł na km drogi.

Tabela 2. Podstawowe statystyki opisowe analizowanych zmiennych opisujących infrastrukturę drogową w 2014 roku

Zmienne	Średnia	Minimum	Maksimum	Współczynnik zmienności (%)
X1	6,21	4,21	9,47	22,99
X2	9,31	6,15	11,84	17,25
X3	41,22	30,22	52,89	15,94
X4	77,29	35,24	141,74	38,41
X5	0,27	0,01	0,98	124,23
X6	0,16	0,00	0,49	95,40
X7	3416,69	189,00	5523,00	29,19
X8	8388,31	4335,00	17809,00	53,66
X9	78,17	25,34	209,54	62,88
X10	100,35	33,42	233,22	67,63

Źródło: opracowanie własne

W przypadku badania bezpieczeństwa na drogach spośród danych opisujących liczbę wypadków, kolizji, liczbę zabitych i rannych po przeprowadzeniu analizy merytorycznej i statystycznej pozostały trzy zmienne. Wszystkie zmienne uznano za destymulanty.

X₁ - ofiary śmiertelne na 100 tys. ludności,

X₂ - ranni na 100 pojazdów,

X₃ - liczba wypadków drogowych na 100 tys. ludności,

X₄ - ofiary śmiertelne na 100 tys. pojazdów.

Tabela 3. Podstawowe statystyki opisowe analizowanych zmiennych przedstawiające liczbę wypadków na drogach

Zmienne	Średnia	Minimum	Maksimum	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności (%)
X ₁	8,7	5,4	10,6	1,47	16,95
X ₂	160,5	78,0	268,9	53,13	33,09
X ₃	89,1	50,0	159,2	26,92	30,23
X ₄	12,7	8,7	16,5	2,11	16,66

Źródło: obliczenia własne

Analiza zróżnicowanych zmiennych wymagała zastosowania metody, która umożliwia porównywanie cech o różnych mianach. W tym celu wykorzystano jedną z metod wielowymiarowej analizy porównawczej – metodę unitaryzacji zerowanej (MUZ) dla której formuła normalizacyjna dla stymulant jest następująca [Kukuła 2000]:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_i x_{ij}}{\max_i x_{ij} - \min_i x_{ij}}, \text{ gdy } X_j \in \{S\}, \quad (1)$$

w przypadku normowania destymulant zastosowano następującą formułę:

$$z_{ij} = \frac{\max_i x_{ij} - x_{ij}}{\max_i x_{ij} - \min_i x_{ij}}, \text{ gdy } X_j \in \{D\}, \quad (2)$$

Zastąpienie zbioru cech, charakteryzujących dany obiekt, zmienną syntetyczną (zmienną agregatową Q_i) będącą sumą wszystkich unormowanych cech pozwala określić stan zjawiska za pomocą jednej liczby.

Umożliwia to hierarchizację zbioru obiektów analizowanych, tworzenie grup obiektów podobnych, a tym samym przeprowadzenie badań porównawczych pod względem osiągniętego poziomu rozwoju.

W tabeli 4 zaprezentowano rankingi województw sporządzone dla wytypowanych zmiennych. Pierwszy przedstawia układ województw pod względem rozwoju infrastruktury drogowej, drugi natomiast uwzględnia bezpieczeństwo na drogach oceniane za pomocą danych o liczbie wypadków i kolizji.

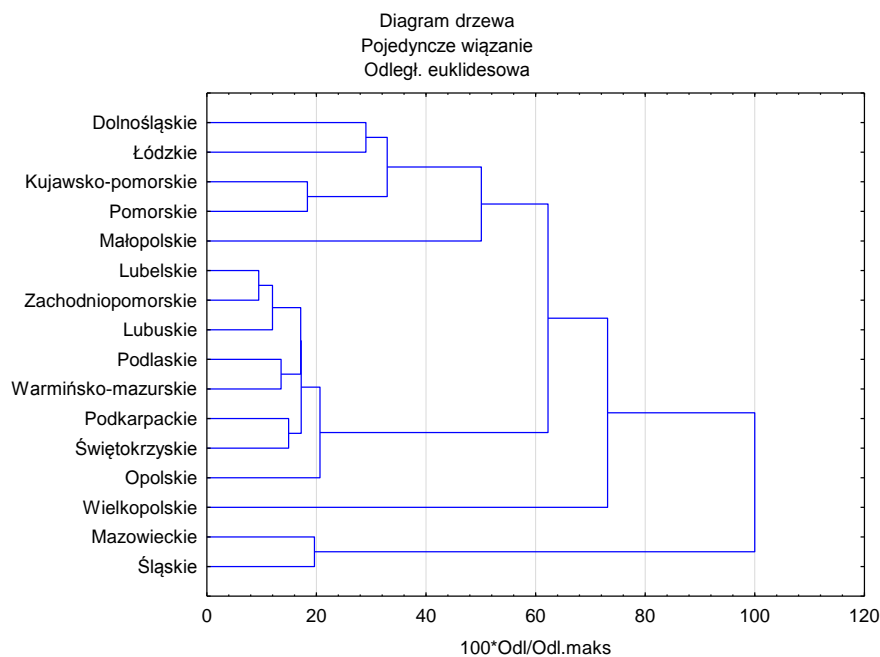
Tabela 4. Rankingi województw ze względu na zróżnicowani infrastruktury drogowej i bezpieczeństwo na drogach w 2014 roku

Lp.	Województwo	Wskaźnik infrastruktury drogowej Q_i	PKB per capita w zł	Lp.	Województwo	Wskaźnik wypadków drogowych Q_i
1	ŚLĄSKIE	7,53	42 830	1	WIELKOPOLSKIE	3,08
2	MAZOWIECKIE	5,53	64 790	2	ŚLĄSKIE	3,02
3	DOLNOŚLĄSKIE	5,88	44 961	3	KUJAWSKO-POMORSKIE	2,89
4	MAŁOPOLSKIE	5,03	34 107	4	PODKARPACKIE	2,76
5	WIELKOPOLSKIE	4,61	41 285	5	LUBUSKIE	2,70
6	ŁÓDZKIE	4,47	36 750	6	ŁÓDZKIE	2,46
7	ŚWIĘTOKRZYSKIE	4,01	29 552	7	DOLNOŚLĄSKIE	2,19
8	KUJAWSKO-POMORSKIE	3,91	32 596	8	MAZOWIECKIE	2,09
9	POMORSKIE	3,51	37 822	9	MAŁOPOLSKIE	2,09
10	LUBUSKIE	3,50	32 795	10	ZACHODNIOPOMORSKIE	2,08
11	OPOLSKIE	3,22	31 771	11	OPOLSKIE	1,86
12	PODKARPACKIE	3,39	26 801	12	PODLASKIE	1,86
13	ZACHODNIOPOMORSKIE	2,20	33 485	13	POMORSKIE	1,71
14	WARMIŃSKO-MAZURSKIE	2,18	28 635	14	ŚWIĘTOKRZYSKIE	1,23
15	PODLASKIE	2,01	28 485	15	WARMIŃSKO-MAZURSKIE	0,69
16	LUBELSKIE	1,89	26 919	16	LUBELSKIE	0,35

Źródło: obliczenia własne

W celu zobrazowania grup województw podobnych pod względem rozwoju infrastruktury drogowej wykorzystano metodę Warda.

Rysunek 3. Grupowanie województw ze względu na zróżnicowani infrastruktury drogowej metodą Warda w 2014 roku



Źródło: obliczenia własne

W analizie grupowanie metodą Warda województwa najlepsze (śląskie, mazowieckie) i najgorsze (lubelskie, podlaskie, warmińsko-mazurskie i zachodniopomorskie) z rankingu znalazły się w tych samych grupach. Województwo wielkopolskie zakwalifikowano do osobnej grupy ze względu na stosunkowo słabo rozwiniętą sieć drogową, natomiast czwarte miejsce pod względem przewozu towarów.

Zaobserwowano również bardzo silny związek pomiędzy rozwojem infrastruktury drogowej a dochodami na mieszkańca w poszczególnych województwach. Współczynnik korelacji r był na poziomie 0,84, co wskazuje na silną zależność między badanymi zmiennymi.

Ocena zróżnicowania infrastruktury drogowej za pomocą wielowymiarowej analiza statystycznej wskazuje, że województwa śląskie, mazowieckie i małopolskie mają najlepiej rozwiniętą infrastrukturę drogową w Polsce podczas gdy jest ona najslabiej rozwinięta w województwach zachodniopomorskim, warmińsko-mazurskim, lubelskim, podlaskim. Sieć dróg krajowych i wojewódzkich jest najbardziej zagęszczona na 100 km² w województwach śląskim i dolnośląskim. Dróg powiatowych jest stosunkowo najwięcej

w województwach świętokrzyskim, śląskim i łódzkim a dróg gminnych w województwie śląskim i małopolskim. Najkrótsza sieć autostrad przebiega w województwach warmińsko-mazurskim, podlaskim, świętokrzyskim i lubelskim. Wydatki na drogi publiczne były bardzo zróżnicowane. Największe dofinansowanie na km drogi, bo aż powyżej 200 tys., uzyskały województwa lubuskie i podkarpackie. Związane to było przede wszystkim z inwestowaniem w drogi szybkiego ruchu. Następne w kolejności były śląskie i łódzkie z kwotą około 180 tys., natomiast dolnośląskie i kujawsko-pomorskie otrzymały około 100 tys. na km drogi. W pozostałych województwach kwota ta była niższa niż 70 tys.

W przypadku rankingu uwzględniającego poziom wypadków, im wyższa pozycja w rankingu, tym mniej poszkodowanych na drogach tego województwa. Pomimo bardzo dużego natężenia ruchu w województwie śląskim odnotowano tam najmniej ofiar śmiertelnych (6 osób) w przeciwieństwie do województwa lubelskiego gdzie na 100 tys. ludności zginęło przeciętnie, w 2014 roku, 12 osób. Największą liczbę ofiar śmiertelnych zaobserwowano w województwach wschodnich - lubelskim, podlaskim i warmińsko - mazurskim. Wynika to z braku dróg szybkiego ruchu i autostrad na tych terenach. Ponadto wysoki wskaźnik śmiertelności można zaobserwować w województwach mazowieckim i łódzkim, które cechują się jednymi z największych przewozów pasażerów i towarów.

Liczba osób rannych na 100 wypadków była najwyższa w województwach świętokrzyskim i dolnośląskim.

Zaobserwowano również bardzo silny ujemny związek pomiędzy rozwojem infrastruktury drogowej a liczbą wypadków w poszczególnych województwach. Współczynnik korelacji Spearmana był na poziomie $-0,6$, co wskazuje na silną zależność między badanymi zmiennymi. Oznacza to, że w województwach o dobrze rozwiniętej infrastrukturze drogowej mniejsza jest liczba ofiar śmiertelnych, wypadków i kolizji na drogach. Na wysokim poziomie znajduje się wskaźnik korelacji rang pomiędzy poziomem infrastruktury a dochodami na głowę mieszkańca w poszczególnych województwach ($r_s 0,84$). Można więc wnioskować, iż poziom infrastruktury wpływa na zwiększenia dochodów ludności mieszkającej w pobliżu intensywnie rozwiniętej infrastruktury drogowej.

ZAKOŃCZENIE

Niski poziom rozwoju infrastruktury drogowej w Polsce ogranicza korzyści, jakie mogłaby ona przynieść. Polskie drogi są jednymi z najintensywniej wykorzystywanych do przewozu dóbr w całej Unii. Nasz kraj znajduje się w pierwszej piątce krajów, gdzie tonaż przewożonych towarów jest największy. Bardzo intensywne użytkowanie dróg powoduje ich zły stan techniczny. W dobrym stanie znajduje się jedynie 55% dróg krajowych i tylko 29% dróg samorządowych.

Niestety poziom bezpieczeństwa na naszych drogach odbiega znacznie od poziomu bezpieczeństwa pozostałych krajów UE [Kaliński 2013]. Podstawowe wskaźniki bezpieczeństwa ruchu (śmiertelność i koncentracja ofiar śmiertelnych) są w Polsce kilkakrotnie wyższe niż w Szwecji, Holandii, czy Wielkiej Brytanii. Bardzo wolno przekształca się mocno zaniedbana i w wielu przypadkach nie odpowiadająca standardom bezpieczeństwa, infrastruktura drogowa. Ponadto na polskich drogach jest zbyt dużo pojazdów w złym stanie technicznym.

Przeprowadzona wielowymiarowa analiza statystyczna zróżnicowania infrastruktury drogowej wskazuje, że województwa śląskie, mazowieckie i małopolskie mają najlepiej rozwiniętą infrastrukturę drogową w Polsce, podczas gdy jest ona najslabiej rozwinięta w województwach zachodniopomorskim, warmińsko - mazurskim, lubelskim i podlaskim.

Zaobserwowano również bardzo silny związek pomiędzy rozwojem infrastruktury drogowej a liczbą rannych i ofiar śmiertelnych w poszczególnych województwach. Z analizy struktury wypadków wynika, że należy inwestować w drogi szybkiego ruchu i autostrady w województwach wschodnich, gdzie liczba ofiar śmiertelnych jest najwyższa.

Aby inwestycje w infrastrukturę były opłacalne, powinno się ich dokonywać przede wszystkim na terenach gęsto zaludnionych. Pomimo tego, że sieć drogowa w województwie śląskim jest przeszło trzykrotnie gęstsza niż w województwie warmińsko-mazurskim, to natężenie ruchu w tym pierwszym województwie jest przeciętnie dwukrotnie wyższe i to tam (oraz na innych gęsto zaludnionych terenach) powinny być w pierwszej kolejności kontynuowane najważniejsze inwestycje drogowe.

BIBLIOGRAFIA

- Chudzik B., Więckowicz Z. (1998) Wyposażenie w infrastrukturę techniczną obszarów wiejskich makroregionu południowo zachodniego Polski. V Konferencja naukowa: Infrastruktura techniczna wsi - ku integracji europejskiej. S. C Drukpol, Kraków-Szczucin.
- Ciesielski M., Szudrowicz A. (2001) *Ekonomika transportu*. A E Poznań.
- EU transport in figures statistical pocketbook 2015.
- Herrera S., Pang G. (2005) *Efficiency of Infrastructure: The Case of Container Ports*. World Bank, Policy Research Working Paper.
- Kaliński J. (2013) *Autostrady na EURO 2012*. Kwartalnik Kolegium Ekonomiczno-Społecznego. Studia i Prace, 1, Oficyna Wydawnicza Szkoła Główna Handlowa w Warszawie.
- Kukuła K. (2000) *Metoda unitaryzacji zerowanej*. PWN.
- Mały rocznik statystyczny Polski 2014.
- Rogacki H. (2007) *Geografia społeczno – gospodarcza Polski*. PWN S.A., Warszawa.
- Transport drogowy w Polsce w 2014 roku. GUS.

Załoga E. (2007) Ekonomiczne i społeczne wyzwania współczesnego transportu. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, 454.

**APPLICATION OF MSA SELECTED METHODS IN THE
ASSESSMENT OF RELATIONSHIP BETWEEN STATE ROAD
INFRASTRUCTURE AND SAFETY ON ROADS IN POLAND**

Abstract: This article attempts to assess the diversity of road infrastructure in Poland in terms of regional. The article takes into account the length of roads, expenditures on public roads, the volume of passenger and freight transport, and traffic congestion in individual provinces. The data obtained were compared with information on road safety including the number of accidents and people injured on the roads. Conducted multivariate statistical analysis of road infrastructure diversity indicates that the Slaskie voivodship, Mazowieckie and Malopolskie have the most developed infrastructure of roads in Poland while it is the least developed in the Zachodniopomorskie, Warmia and Mazury, Lubelskie, Podlasie. It was also observed a very strong relationship between the development of road infrastructure and the number of injuries and deaths in individual provinces. From the analysis of the structure of accidents that you should invest in highways and motorways in the eastern provinces where the number of deaths is highest.

Keywords: road infrastructure, road safety, multivariate statistical analysis

DWUKRYTERIALNA OCENA NASTĘPSTW POLITYKI OGRANICZENIA EMISJI CO₂ DLA ROZWOJU GOSPODARCZEGO POLSKI

Jan Gadomski, Lech Kruś

Instytut Badań Systemowych, Polska Akademia Nauk
e-mail: jan.gadomski@ibspan.waw.pl, krus@ibspan.waw.pl

Streszczenie: Analizowane są skutki ograniczenia emisji CO₂ dla rozwoju gospodarczego Polski. Narzędziem analizy jest model składający się z czterech sektorów produkujących odpowiednio: energię, nieenergetyczne nakłady pośrednie, dobra konsumpcyjne, dobra inwestycyjne, jak również z sektorów konsumpcji oraz wymiany z zagranicą. W każdym z sektorów rozpatrywane są różne technologie ze względu na ich efektywność ekonomiczną oraz emisyjność. Uwzględniono handel pozwoleniami i handel zagraniczny. Optymalizacja uwzględnia dwa sprzeczne cele: maksymalizację konsumpcji oraz minimalizację emisji CO₂.

Słowa kluczowe: modelowanie ekonomiczne, konwersja technologii, optymalizacja, optymalizacja wielokryterialna, emisja gazów cieplarnianych

WPROWADZENIE

Celem pracy jest analiza procesu konwersji technologicznej w gospodarce polskiej będącej następstwem polityki ograniczenia emisji CO₂.

Zdecydowana większość analiz dotyczących gospodarki polskiej została opracowana przy użyciu modeli CGE, takich jak, na przykład, [Antoszewski 2015, Boratyński 2012]. Modele tego typu mają jednak słabe strony. W modelowaniu sektora wytwarzania energii przy użyciu modeli CGE nie jest uwzględniony fakt, że sektor ten jest daleki od modelu doskonałej konkurencji, zatem stosowanie neoklasycznych funkcji produkcji jest niewskazane, ponieważ nie przewidują one możliwości pracy w zakresie technicznej nieefektywności. Innym uproszczeniem stosowanym w modelach CGE jest założenie kontinuum technologii produkcji. W rzeczywistości liczba dostępnych technologii jest ograniczona, a ich

hybrydyzacja możliwa tylko w ograniczonym zakresie. Inny zarzut dotyczy ignorowania faktu, że zdolności produkcyjne są rzadko wykorzystywane w pełni.

Proponujemy inne podejście. Analiza wpływu polityki ograniczenia emisji CO₂ na rozwój gospodarczy Polski jest przeprowadzona za pomocą modelu, w którym nacisk położono na wybór technologii produkcji w wyróżnionych sektorach oraz na aspekt ilościowy. Model nie wskazuje na narzędzia realizacji celów, ogranicza się do wyznaczenia wielkości optymalnych. Rozwiązanie zagadnienia następuje przy użyciu optymalizacji dwukryterialnej. Model wykorzystany w tym badaniu jest rozwinięciem wcześniejszego modelu, patrz [Gadomski i in. 2015]. Po Wprowadzeniu przedstawia się opis opracowanego modelu, metodę analizy wielokryterialnej, wyniki symulacji i uwagi końcowe.

MODEL MAKROEKONOMICZNY

Przed transformacją gospodarka rozwija się przy ustalonej stopie inwestowania stosując tańsze, lecz brudniejsze technologie. Wprowadzenie limitów emisji, liczby pozwoleń na emisję oraz handel tymi pozwoleńiami wymusza zmianę stosowanych technologii. Założono, że wybór technologii produkcji rozpoczyna się w 2010 r. Związek między polityką ograniczania emisji CO₂ a rozwojem gospodarczym Polski jest modelowany za pomocą modelu makroekonomicznego, w którym wyróżniono cztery sektory produkcyjne. Uwzględniono ponadto jeden sektor konsumujący i jeden sektor wymiany z zagranicą odpowiadający za eksporty i importy sektorów produkcyjnych oraz obsługę długu zagranicznego/dochodów z aktywów zagranicznych, jak również handel pozwoleńiami na emisję CO₂. Przyjęto następującą konwencję oznaczeń. Litery *E*, *M*, *C* i *I* oznaczają odpowiednio sektory produkujące: *E* – energię zużywaną przez wszystkie sektory produkujące i sektor konsumujący oraz wymieniane z zagranicą, *M* – sektor produkujący materiały i surowce (poza energią) zużywane w sektorach produkcyjnych oraz wymieniane z zagranicą, *C* – sektor produkujący dobra (bez energii) konsumowane w sektorze konsumującym oraz wymieniane z zagranicą, *I* – sektor wytwarzający dobra inwestycyjne kupowane przez sektory produkcyjne dla zwiększenia zasobów środków trwałych, oraz wymieniane z zagranicą.

Poza sektorem *E*, który ma do wyboru trzy technologie, pozostałe sektory produkcyjne wybierają spośród dwóch technologii. Technologie sektora *E* są interpretowane w następujący sposób: pierwsza technologia to dotychczas stosowana najtańsza, ale najbrudniejsza; druga technologia to zmodernizowana stara technologia z ewentualnym uzupełnieniem o technologię nuklearną, oraz trzecia najczystsza, lecz najdroższa, oparta na odnawialnych źródłach energii.

Sektor konsumujący uzyskuje dochód brutto z funkcjonowania sektorów produkcyjnych, który powiększony/pomniejszony przez sprzedaż nadwyżki pozwoleń ponad emisję/zakup brakujących pozwoleń na emisję, oraz dochody z aktywów zagranicznych/koszty obsługi długu zagranicznego, tworzy dochód

dyspozycyjny. Ten ostatni generuje popyty konsumpcyjny i inwestycyjny. Popyt konsumpcyjny jest dzielony w ustalonych proporcjach na popyt na dobra konsumpcyjne (bez energii) oraz energię zużywane w sektorze konsumującym.

W każdym z sektorów E , M , C i I podaż jest równa popytowi, krajowe deficyty są pokrywane importem, a nadwyżki są przeznaczane na eksport. Przyjęto ceny stałe i stałą proporcję cen krajowych i zagranicznych.

W sektorach produkcyjnych o indeksie i , $i = M, E, C, I$; j -ta technologia produkcji, $j = 1, 2, 3$; jest opisana przez następujące parametry: γ_{ij} - produktywność kapitału; δ_{ij} - stopa deprecjacji środków trwałych; α_{ij} - zużycie dóbr wytwarzanych w sektorze M na jednostkę produkcji; β_{ij} - zużycie dóbr wytwarzanych w sektorze E na jednostkę produkcji; μ_{ij} - jednostkowa emisja CO₂ towarzysząca produkcji. Parametry te mogą przyjmować egzogenicznie ustalone zmienne wartości.

Zdolność produkcyjna Q_{ijt} w roku t , $t=t_0, \dots, T$; jest opisana za pomocą następującej zależności:

$$Q_{ijt} = \gamma_{ij} K_{ijt-1}; \quad (1)$$

gdzie: K_{ijt-1} - zasób kapitału związanego z j -tą technologią w i -tym sektorze pod koniec roku $t-1$; t_0 - rok początkowy okresu symulacji, przyjęto, że $t_0=2010$ r.; T - rok końcowy okresu symulacji, przyjęto, że $T=2090$ r. Zależność (1) jest jednoczynnikową funkcją produkcji, co jest następstwem założenia, że w analizowanym okresie siła robocza występuje w obfitości.

Produkcja X_{ijt} wytworzona przy użyciu j -tej technologii w sektorze i -tym w roku t jest nie większa od zdolności produkcyjnych związanych z j -tą technologią w i -tym sektorze: $0 \leq X_{ijt} \leq Q_{ijt}$. Produkcja całkowita sektora i w roku t jest sumą produkcji uzyskanych przy użyciu dostępnych w tym sektorze technologii:

$$X_{it} = X_{i1t} + X_{i2t} + X_{i3t}. \quad (2)$$

Zasób środków trwałych (kapitału) pod koniec roku t jest powiększana przez poniesione w roku t inwestycje I_{ijt} w j -tą technologię w sektorze i -tym, oraz pomniejszany przez deprecjację $K_{ijt-1}\delta_{ij}$ środków trwałych:

$$K_{ijt} = K_{ijt-1}(1 - \delta_{ij}) + I_{ijt}, \quad (3)$$

Wytwarzaniu produkcji X_{ijt} w sektorze i -tym przy użyciu j -tej technologii towarzyszy emisja CO₂ w ilości S_{ijt} danej wzorem:

$$S_{ijt} = \mu_{ij} X_{ijt}. \quad (4)$$

Całkowita emisja CO₂ *i*-tego sektora S_{it} , oraz całkowita emisja kraju S_t w roku t są równe odpowiednio:

$$S_{it} = S_{i1t} + S_{i2t} + S_{i3t}, \quad S_t = S_{Et} + S_{Mt} + S_{ICt} + S_{It}. \quad (5)$$

Zależności od (1) do (5) opisują krajową podaż i związaną z nią emisję CO₂.

Popyt na produkcję sektora E jest kształtowany przez popyt produkcyjny wszystkich sektorów produkcyjnych, popyt na energię sektora konsumpcyjnego oraz saldo wymiany zagranicznej. Z równości podaży i popytu sektora E wynika następująca zależność:

$$X_{E1t} + X_{E2t} + X_{E3t} = \sum_{i=E,M,C,I} \sum_{j=1,2,3} \beta_{ij} X_{ijt} + \lambda \rho_t \cdot Y_t^d + WZ_{Et}, \quad (6)$$

gdzie: Y_t^d - dochód dyspozycyjny, zdefiniowany poniżej; $\rho_t \cdot Y_t^d$ - przeznaczona na konsumpcję część dochodu dyspozycyjnego, wielkość wynikowa; λ - stały współczynnik, $0 < \lambda < 1$, określający udział wydatków na energię w wydatkach sektora konsumującego; WZ_{Et} - saldo wymiany z zagranicą sektora E w roku t .

Popyt na produkcję sektora wytwarzającego dobra pośrednie (bez energii) M jest kształtowany przez popyt produkcyjny wszystkich sektorów i saldo wymiany zagranicznej. W związku z tym:

$$X_{M1t} + X_{M2t} = \sum_{i=E,M,C,I} \sum_{j=1,2,3} \alpha_{ij} X_{ijt} + WZ_{Mt}, \quad (7)$$

gdzie WZ_{Mt} oznacza saldo wymiany zagranicznej produktami sektora M w roku t .

Wytworzony dochód Y_t jest równy produkcji globalnej wszystkich sektorów pomniejszonej o wydatki materialne:

$$Y_t = \sum_{i=E,M,C,I} \sum_{j=1,2,3} [1 - (\alpha_{ij} + \beta_{ij})] X_{ijt}, \quad (8)$$

Dochód dyspozycyjny Y_t^d jest równy dochodowi Y_t powiększonemu o saldo handlu pozwoleniami na emisję oraz dochody z aktywów zagranicznych lub pomniejszone przez koszt obsługi długu zagranicznego:

$$Y_t^d = Y_t + P_t(N_t - S_t) + r \cdot D_{t-1}, \quad (9)$$

gdzie N_t - liczba pozwoleń na emisję w roku t , S_t - emisja całkowita w roku t , P_t - cena jednostki pozwoleń na emisję w roku t , niewykorzystane pozwolenia są sprzedawane gdy $N_t - S_t > 0$, a brakujące pozwolenia muszą zostać kupione, gdy $N_t - S_t \leq 0$; r - stopa procentowa, D_t - dług pod koniec roku t związany z wymianą z zagranicą wyrażający się wzorem:

$$D_t = D_{t-1} - \sum_{i=E,M,C,I} WZ_{it}; \quad (10)$$

dług D_t może przyjmować wartości dodatnie lub ujemne.

Popyt na produkcję sektora C jest kształtowany przez część dochodu dyspozycyjnego przeznaczanego na zakup dóbr C i saldo wymiany zagranicznej. Z równości podaży i popytu wynika zależność:

$$X_{C1t} + X_{C2t} = (1 - \lambda)\rho_t Y_t^d + WZ_{Mt}, \quad (11)$$

gdzie $(1 - \lambda)\rho_t Y_t^d$ oznacza krajowy popyt na dobra sektora C .

Popyt na produkcję sektora I jest kształtowany przez część dochodu dyspozycyjnego przeznaczanego na zakup dóbr inwestycyjnych i saldo wymiany zagranicznej. Z równości podaży i popytu wynika zależność:

$$X_{I1t} + X_{I2t} = (1 - \rho_t)Y_t^d + WZ_{It}, \quad (12)$$

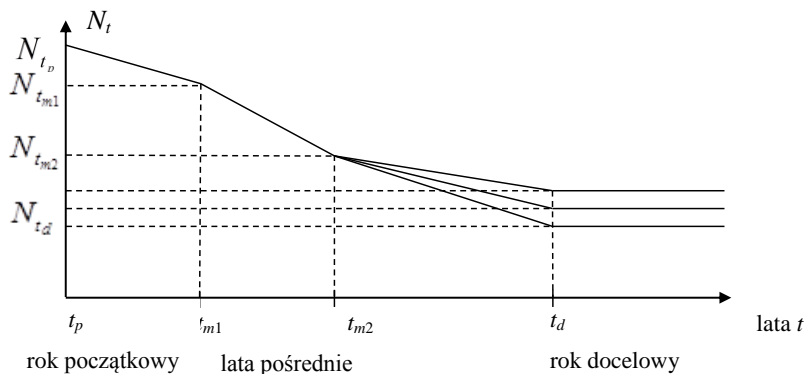
gdzie wyrażenie $(1 - \rho_t)Y_t^d$ oznacza część dochodu dyspozycyjnego przeznaczanego na inwestycje. Ponadto, zachodzi równość:

$$\sum_{i=E,M,C,I} \sum_{j=1,2,3} I_{ijt} = (1 - \rho_t)Y_t^d. \quad (13)$$

OPTYMALIZACJA DWUKRYTERIALNA

Zakładamy, że obniżenie emisji CO₂ jest wprowadzane w UE w ten sposób, że Komisja UE przyznaje poszczególnym krajom zmniejszającą się w czasie liczbę pozwoleń na emisję. Przyjęto przedziałami liniową trajektorię obniżania liczby pozwoleń (rysunek 1), przy której osiągnięte są określone poziomy emisji w latach pośrednich i roku docelowym. Emisja w poszczególnych latach może się różnić od trajektorii pozwoleń, ponieważ prowadzony jest handel pozwoleniami.

Rysunek 1. Trajektorja pozwoleń na emisję; rok początkowy $t_0 = 2010$, lata pośrednie $t_{m1} = 2020$, $t_{m2} = 2030$, rok docelowy $t_d = 2050$



Źródło: opracowanie własne

Liczby pozwoleń N_{t_0} w roku początkowym oraz $N_{t_{m1}}$ i $N_{t_{m2}}$ w latach pośrednich są określone zgodnie z ustaleniami KE. Liczba pozwoleń N_{t_d} w roku docelowym jest traktowana jako zmienna podlegająca przyszłym ustaleniom i traktowana jako kryterium optymalizacji rozpatrywane równorzędnie z kryterium zdyskontowanej konsumpcji. W rezultacie, rozpatrywane jest zagadnienie optymalizacji dwukryterialnej, w której pierwszym kryterium jest zdyskontowana konsumpcja w rozpatrywanym przedziale czasu, jako miernik dobrobytu; drugim kryterium jest liczba pozwoleń w roku docelowym, reprezentująca dążenie UE zmniejszania emisji. Pierwsze kryterium jest maksymalizowane, drugie – minimalizowane. Zależności modelu mają charakter afiniczny. Mogą więc być przedstawione w postaci:

$$A \cdot x \leq b, \quad (14)$$

gdzie x jest wektorem zmiennych decyzyjnych, A macierzą współczynników, b wektorem ograniczeń. Wektor x obejmuje wszystkie zmienne wymienione w opisie modelu oraz liczbę pozwoleń na emisję w roku docelowym.

$$x^T = (X_{E1t}, X_{E2t}, X_{E3t}, X_{M1t}, X_{M2t}, X_{C1t}, X_{C2t}, X_{I1t}, X_{I2t}, I_{E1t}, I_{E2t}, I_{E3t}, I_{M1t}, I_{M2t}, I_{C1t}, I_{C2t}, I_{I1t}, I_{I2t}, WZ_{E1t}, WZ_{M1t}, WZ_{M2t}, WZ_{C1t}, N_{t_d}). \quad (15)$$

Zmienne modelu, poza zmiennymi $WZ_{E1t}, WZ_{M1t}, WZ_{M2t}, WZ_{C1t}$ są nieujemne.

Oznaczmy przez $y(x)=[y_1(x), y_2(x)]$ wektor rozpatrywanych kryteriów, gdzie y_1 oznacza zdyskontowaną konsumpcję, a y_2 liczbę pozwoleń w roku docelowym. Zgodnie z relacjami modelu kryteria mogą być wyrażone w postaci:

$$y_i = c_i^T \cdot x + d_i, \quad (16)$$

gdzie $c_i, d_i, i=1,2$ są wektorami współczynników.

Kryteria mają charakter konfliktowy, dlatego rozpatrywane jest zadanie optymalizacji dwukryterialnej, w której poszukuje się zmiennych decyzyjnych spełniających ograniczenia modelu, które łącznie maksymalizują y_1 i minimalizują y_2 . Ograniczenia modelu określają zbiór dopuszczalnych zmiennych decyzyjnych w wektorowej przestrzeni wartości zmiennych. Relacje modelu określają zbiór \mathbf{Y} osiągalnych wartości kryteriów w przestrzeni wyników \mathbf{R}^2 . Poszukujemy Pareto-optimalnych rozwiązań w tym zbiorze. Zbiór \mathbf{Y} nie jest określony jawnie. Poszczególne punkty tego zbioru mogą być obliczane w symulacjach komputerowych. Poszukujemy wektorów zmiennych decyzyjnych, dla których osiągnęte są Pareto optymalne wektory kryteriów.

Wyznaczanie i analiza rozwiązań Pareto optymalnych realizowana jest z zastosowaniem metody punktu referencyjnego [Wierzbicki i in. 2000], wykorzystującej idee funkcji osiągnięcia aproksymującej porządek. Zgodnie z tym podejściem, osoba wykonująca analizę podaje punkty referencyjne w przestrzeni kryteriów. Dla każdego punktu referencyjnego system komputerowy wyznacza

rozwiązanie Pareto optymalne w zbiorze \mathbf{Y} . Można w ten sposób wygenerować reprezentację zbioru rozwiązań Pareto optymalnych.

Rozwiązania reprezentujące Pareto optymalny brzeg zbioru \mathbf{Y} są wyznaczone przez wielokrotne, dla różnych punktów referencyjnych, rozwiązywanie zadania optymalizacji:

$$\max_{x \in \mathbf{X}_0} [s(y(x), y^*)] \quad (17)$$

gdzie: \mathbf{X}_0 - jest zbiorem dopuszczalnych zmiennych, zdefiniowanym przez relacje modelu, $y^* = (y_1^*, y_2^*)$ - punktem referencyjnym (aspiracji) w przestrzeni kryteriów \mathbf{R}^2 , $s(y, y^*)$ - funkcją osiągnięcia aproksymującą porządek.

Zastosowano odpowiednią funkcję osiągnięcia oraz zaproponowano przekształcenie powyższego zadania do zadania programowania liniowego rozwiązywanego wielokrotnie [Gadomski, Kruś, Nahorski 2015].

WYNIKI SYMULACJI

Wyniki optymalizacji dwukryterialnej dla rozpatrywanego czterosektorowego modelu gospodarki Polski przedstawiono w tabeli 1, oraz na kolejnych rysunkach. Rok 2010 przyjęto za rok startowy. Założono, że przed rokiem startowym gospodarka rozwijała się w warunkach równowagi długookresowej, zachowującej proporcje między sektorami. Nasza analiza koncentruje się na okresie przejściowym, w którym następują zmiany technologii, przy różnych założeniach dotyczących postępu technicznego.

Tabela 1. Wyniki wybranych wariantów optymalizacji wielokryterialnej

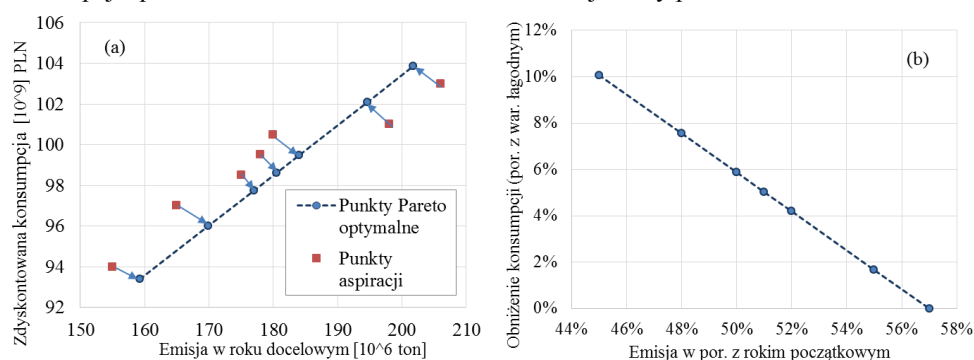
Wariant	Punkty aspiracji		Punkty Pareto optymalne					
	Emisja w roku docelowym [10 ⁶ ton]	Zdyskontowana konsumpcja [10 ⁹] PLN	Emisja w por. z rokiem początkowym	Emisja w roku docelowym [10 ⁶ ton]	Zdyskontowana konsumpcja [10 ⁹] PLN	Obniżenie konsumpcji w por. z war.	Obniżenie konsumpcji w %. (por. z war. łagodnym)	Skumulowana konsumpcja [10 ⁹] PLN
1 restrykcyjny	155	94,0	45%	159,3	93,4	10,46	10,07%	230,7
2	165	97,0	48%	169,9	96,0	7,84	7,55%	241,1
3	175	98,5	50%	177,0	97,7	6,10	5,87%	248,1
4 pośredni	178	99,5	51%	180,5	98,6	5,23	5,03%	251,6
5	180	100,5	52%	184,1	99,5	4,36	4,20%	255,0
6	198	101,0	55%	194,7	102,1	1,74	1,68%	265,5
7 łagodny	206	103,0	57%	201,7	103,8	0,00	0,00%	272,5

Źródło: opracowanie własne

Emisja gazów cieplarnianych w Polsce w roku 2005 wyniosła 353,9 mln ton CO₂eq [Olecka i in. 2014]. Ścieżka zmniejszanej liczby pozwoleń jest określona zgodnie z rysunkiem 1. Liczby pozwoleń w latach pośrednich 2020 i 2030 zostały przyjęte odpowiednio na poziomie 79% i 57% emisji w roku 2005, zgodnie z dyrektywami UE, co odpowiada redukcji emisji odpowiednio o 21% i 43%.

Liczba pozwoleń w roku docelowym jest minimalizowana przy jednoczesnej maksymalizacji zdyskontowanej konsumpcji w rozpatrywanym przedziale czasu. Dla zakładanych punktów referencyjnych, zaznaczonych kwadratami na rysunku 2, obliczono odpowiadające im rozwiązania Pareto optymalne (niezdominowane). Punkty te określają reprezentację brzegu Pareto (zaznaczonego linią przerywaną) zbioru \mathbf{Y} osiągalnych wartości kryteriów. Wartości kryteriów określone przez punkty powyżej tej linii nie są osiągalne. Liczbowe wyniki optymalizacji przedstawia tabela 1.

Rysunek 2. (a) Reprezentacja zbioru rozwiązań Pareto optymalnych, (b) Obniżenie konsumpcji spowodowane dostosowaniem do obniżanej liczby pozwoleń



Źródło: opracowanie własne

Na rysunku 3 przedstawiono wybrane wyniki symulacji (dla scenariuszy łagodnego i restrykcyjnego) podstawowych wielkości makroekonomicznych: (a) PKB, (b) konsumpcji, (c) inwestycji, (d) emisji CO_2 . W obu wariantach zmiany są skupione w początkowym okresie, w którym dochodzi do wyboru czystszych technologii we wszystkich sektorach (z wyjątkiem sektora *I*). Uzyskane wyniki obejmują również wielkości zdolności produkcyjnych, produkcji, inwestycji w sektorach w rozbięciu na poszczególne technologie, jak również wielkości eksportów i importów sektorów produkcyjnych.

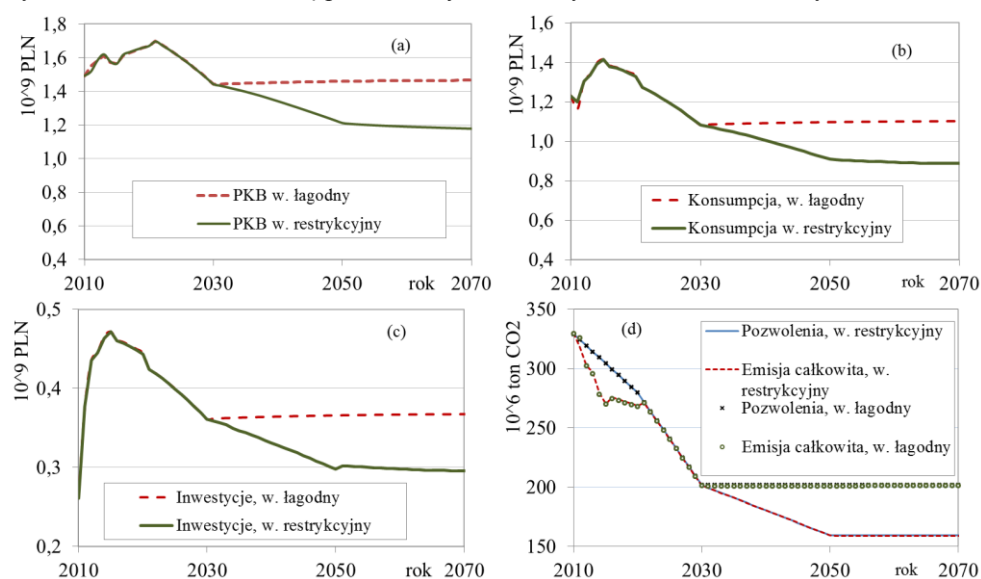
Dla oczekiwanego obniżenia emisji jest niezwłoczna wymiana technologii. Szczegółowe wyniki obliczeń pokazują, jak optymalna wymiana powinna przebiegać w czasie w poszczególnych sektorach. Stosowanie nowych technologii jest uwarunkowane wysokimi cenami pozwoleń na emisję.

Wyniki te wskazują, że po okresie intensywnego wzrostu gospodarczego następuje okres recesji poprzedzający okres stagnacji. Należy podkreślić, że omawiane tu wyniki są uzyskane przy założeniu braku postępu technicznego. Przeprowadzono również nieprezentowane tu badanie uwzględniające postęp techniczny, którego wydźwięk jest mniej pesymistyczny.

Na rysunku 3 (d) przedstawiono trajektorie pozwoleń oraz całkowite emisje w wariantach łagodnym i restrykcyjnym. Całkowite emisje w poszczególnych latach różnią się od liczby pozwoleń przyznanych na te lata ze względu na

uwzględniony w modelu handel tymi pozwoleniami. Obliczenia te pozwoliły na oszacowanie kosztu ograniczenia emisji CO₂ w kategoriach obniżenia konsumpcji przedstawiane w tabeli 1 oraz na wykresie, patrz rysunek 2 (b). Wyróżniono trzy warianty: łagodny, zakładający obniżenie emisji do poziomu 57% emisji z roku początkowego, pośredni (obniżenie emisji do poziomu 51% emisji roku początkowego) i restrykcyjny (obniżenie emisji do poziomu 45% emisji roku początkowego). Warto zwrócić uwagę, że przejście od wariantu łagodnego do restrykcyjnego powoduje spadek konsumpcji o 10%.

Rysunek 3. Kształtowanie się podstawowych zmiennych makroekonomicznych



Źródło: opracowanie własne

Wymagane obniżenie emisji zgodnie z trajektorią przyznawanych pozwoleń zakłóca dotychczasowy wzrost gospodarczy, ale po okresie zmian technologii, gospodarka powraca do wzrostu z nową ścieżką równowagi.

PODSUMOWANIE

Dla realizacji postawionego celu opracowano makroekonomiczny model gospodarki polskiej, w którym sektory produkcyjne mają do wyboru po kilka technologii produkcji. Decyzje o wielkościach produkcji, wykorzystaniu technologii i zdolności produkcyjnych, jak również o kształtowaniu się wymiany handlowej z zagranicą są podejmowane w wyniku rachunku optymalizacji dwukryterialnej, w której jednocześnie z maksymalizacją konsumpcji minimalizowana jest emisja CO₂. Opracowano odpowiedni algorytm obliczeniowy wykorzystujący metodę punktu referencyjnego, w którym zadanie optymalizacji jest rozwiązywane wielokrotnie przy użyciu standardowego solwera liniowego.

Wyniki symulacji pozwalają na oszacowanie, jakie są koszty dostosowania gospodarki do koniecznej redukcji gazów cieplarnianych.

Zastosowana metoda obejmująca model i narzędzie optymalizacji mogą być wykorzystane do wielowariantowych analiz uwzględniających różne technologie i ich ewolucje.

BIBLIOGRAFIA

- Gadomski J., Kruś L., Nahorski Z. (2015) A multicriteria model for analysis of the impact of EU GHG limiting policies on economic growth: the case of Poland. Instytut Badań Systemowych PAN, Raport Badawczy RB/23/2015, Warszawa.
- Antoszewski M., Boratyński J. et al. (2015) CGE Model PLACE. MF Working Paper Series, Ministry of Finance, Republic of Poland, 22.
- Boratyński J. (2012) Historical Simulations with a Dynamic CGE Model: Results for an Emerging Economy. Ecomod 2012 Conference, Seville.
- Gadomski J., Kruś L., Nahorski Z. (2014) A Multicriteria Model for Analysis of the Impact of GHG Limiting Policies on Economic Growth, The Case of Poland. Systems research Institute of PAS, Working Paper RB/37/2014, Warszawa.
- Central Statistical Office, Republic of Poland (2011) Input-Output Table at basic Prices in 2010.
- Olecka A., Bebkiewicz K., Dębski B. et al. (2014) National Inventory Report 2014. GHG Inventories for Poland for the years 1988-2011. The National Centre of Emission Management, Warsaw, Poland (in Polish).
- Roberts B. M. (1994) Calibration procedure and the Robustness of CGE Models: Simulations with a Model for Poland. Economics of Planning, 189-210, Kluwer Academic Publishers.
- Wierzbicki A. P., Makowski M., Wessels J. (2000) Model-based Decision Support Methodology with Environmental Applications. Kluwer Academic Press, Dordrecht, Boston.

BICRITERIA ANALYSIS OF THE CONSEQUENCES OF THE CO₂ EMISSION CURBING POLICY IN POLAND

Abstract: Paper presents the bicriteria analysis of the impact of the limits of the allowances for CO₂ emissions on economic growth of Poland. The long-term model is presented, which consists of four production sectors, which produce: energy, intermediary goods, consumer goods and investment goods, respectively, as well as the consumption sector and the foreign trade sector. In each production sector different technologies are considered. Trade in goods and the emission allowances are accounted for. Contradictory goals are considered: the consumption maximization, and minimization of gaseous emissions.

Keywords: economic modelling, multisector models, optimization, multicriteria optimization, emissions of the greenhouse gases

O PEWNYM PROBLEMIE MAYERA STEROWANIA OPTYMALNEGO W PRZYPADKU STOCHASTYCZNYM

Wiesław Grygierzec

Katedra Statystyki i Ekonometrii, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
e-mail: rrgrgie@cyf-kr.edu.pl

Streszczenie: Rozważamy problem stochastycznego sterowania optymalnego dla układu opisywanego poprzez stochastyczne równanie różniczkowe typu Ito. Układy takie bywają też nazywane jako *modele dyfuzyjne*. Źródłem niepewności w takich modelach jest *biały szum* który odzwierciedla oddziaływanie dużej ilości niezależnych sił losowych. W tej sytuacji problem sterowania polega na podejmowaniu na podstawie możliwie najnowszych informacji, odpowiednich decyzji spośród wszystkich możliwych w celu osiągnięcia zamierzonego celu. Kluczowa rolę odgrywa w tym zagadnieniu tzw. *funkcja wartości*, która w jakiś sposób charakteryzuje nam ewolucję w czasie minimalnej wartości funkcjonału kosztu. W niniejszym artykule autor udawania pewne własności funkcji wartości dla tzw. *problemu Mayera* czyli dla specjalnej postaci funkcjonału kosztu.

Słowa kluczowe: stochastyczne sterowanie optymalne, funkcja wartości, problem Mayera

WSTĘP

Niniejszy artykuł jest poświęcony przedstawieniu pewnych własności funkcji wartości dla problemu stochastycznego sterowania optymalnego. Wiele zjawisk przyrodniczych pojawiających się w zastosowaniach jest modelowane za pomocą równań różniczkowych postaci

$$\frac{dx}{dt} = b(t, x(t)) + v(t) \quad (1)$$

gdzie $x(t) \in R^n$, tzn. $x = (x_1(t), \dots, x_n(t))$ opisuje stan układu w chwili t natomiast $v(t)$ reprezentuje nieznane zakłócenie. Kiedy takie zakłócenie ma nieregularny i nieprzewidywalny charakter naturalnym jest przyjęcie procesu stochastycznego w postaci:

$$v(t) = \sigma(t, x(t)) \frac{dw}{dt},$$

gdzie $\frac{dw}{dt}$ to zapis formalny pochodnej czasowej procesu Wienera, która jak wiadomo nie istnieje w sensie klasycznym ale jako tzw. pochodna dystrybucyjna, czyli jest to tzw. biały szum. W notacji stochastycznej równanie (1) zapisujemy jako

$$dx(t) = b(t, x(t))dt + \sigma(t, x(t))dw(t).$$

Rozważamy następujący stochastyczny układ ze sterowaniem opisujący ewolucje funkcji stanu $y(t) \in R^d$

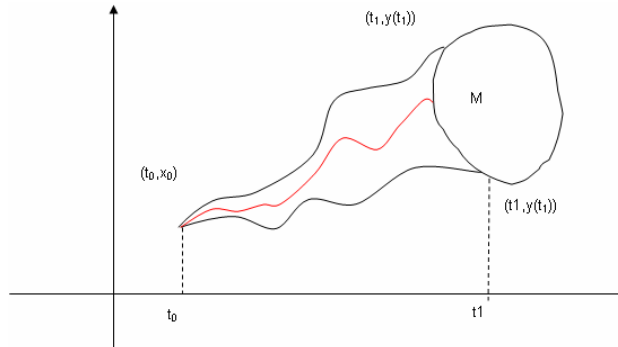
$$\begin{cases} dy(t) = f(t, y(t), u(t))dt + \sigma(t, y(t), u(t))dW(t), & s \in (t_0, T] \\ y(t_0) = x_0 \end{cases} \quad (2)$$

gdzie (t_0, x_0) są ustalone. Zakładamy, że dana jest określona przestrzeń probabilistyczna z filtracją $(\Omega, F, \{F_t\}_{t \geq t_0}, P)$, na której jest zdefiniowany standardowy proces Wienera $\Omega(\tau)$, natomiast $\alpha(t) = \alpha(t, \omega)$ jest sterowaniem w chwili τ zależnym od parametru losowego $\omega \in \Omega$.

Założmy że spełnione są warunki gwarantujące istnienie jednoznacznego rozwiązania $y(t) = y(t; t_0, x_0, u)$ układu (2). Problem sterowania związany jest z zadaniem zbiorem $M \subset R^d$ oraz deterministyczną funkcją $g(t, x)$ określona na brzegu ∂M tego zbioru, tzn.

$$g : [t_0, \infty) \times \partial M \rightarrow R \quad (3)$$

Rysunek 1. Problem Mayera



Źródło: opracowanie własne

oraz z tzw. *momentem stopu* t_1 , czyli *momentem Markowa*, który zdefiniowany jest w sposób następujący. Jako zbiór sterowań dopuszczalnych przyjmujemy tylko takie sterowania $u(t)$, które w skończonym czasie przeprowadzają wektor stanu $\psi(\tau)$ do zbioru M p.n., tzn. istnieje taki (losowy) moment $t_1 = t_1(\omega)$, *moment stopu*, że $y(t_1) \in M$

$$t_1 = \inf\{t > t_0, y(t; t_0, x_0, u) \in M \text{ p.n.}\}. \quad (4)$$

W dalszej części naszego artykułu zasadniczą rolę będzie odgrywać tzw. *funkcja wartości* v :

$$v(t_0, x_0) = \inf_{u \in U_{t_0, x_0}} Eg(t_1, y(t_1; t_0, x_0, u)), \quad (5)$$

gdzie przez U_{t_0, x_0} oznaczamy zbiór sterowań dopuszczalnych dla warunku początkowego (t_0, x_0) . Zagadnienie sterowania optymalnego z powyżej zdefiniowaną funkcją wartości nazywamy *problemem Mayera* dla sterowania optymalnego.

W teorii sterowania optymalnego rozważa się dwa zasadnicze podejścia: Podejście Pontryagina, które opiera się o *zasadę maksimum*¹ oraz podejście Bellmana czyli oparte o *programowanie dynamiczne*. W tym ostatnim poszukuje się tzw. *funkcji wartości*, która ma tutaj kluczowe znaczenie i wykazanie pewnych jej własności jest właśnie przedmiotem niniejszego artykułu. Podobne zagadnienie w sytuacji deterministycznej jest przedstawione np. książce [Fleming, Rischel 1975]. Również monografie [Fleming, Soner 1993] oraz [Yong, Zhou 1999] są

¹ Grygierzec W. (2012) O jednolitym podejściu do rachunku wariacyjnego i sterowania optymalnego. *Metody Ilościowe w Badaniach Ekonomicznych*, XIII/1.

poświęcone problemom m.in. własności funkcji wartości. Podejście przedstawione w niniejszej pracy jest bliskie tzw. twierdzeniu weryfikacyjnemu chociaż nie całkowicie się z nim pokrywa, stanowi istotny wkład w lepsze zrozumienie i poszukiwanie rozwiązań optymalnego sterowania.

OZNACZENIA I DEFINICJE

Zmienna losowa, proces stochastyczny

Przypomnijmy, dla użytku czytelnika podstawowe definicje i właściwości dotyczące procesów stochastycznych z których będziemy korzystali w dalszej części. Niech Ω będzie niepustym zbiorem, F σ -algebrą jego podzbiorów; Π miara probabilistyczna na Ω ($P: F \rightarrow [0,1]$). Trójkę (Ω, F, P) standardowo nazywamy *przestrzenią probabilistyczną*. Funkcję $x: \Omega \rightarrow R^d$, mierzalną względem F nazywamy *zmienną losową* o wartościach w R^d .

Oznaczmy przez $I = [0, T], T \leq \infty$ przedział domknięty w R . *Procesem stochastycznym* x nazwiemy rodzinę zmiennych losowych $\{x(t)\}_{t \in I}$ czasami oznaczanych jako x_t . Formalnie zatem proces stochastyczny to funkcja dwóch zmiennych:

$$x: I \times \Omega \rightarrow R^d,$$

mierzalna względem drugiej zmiennej dla dowolnego $t \in I$. Przy ustalonym $\omega \in \Omega$, funkcję $t \rightarrow x(t, \omega)$ nazwiemy trajektorią procesu x_t . Proces stochastyczny nazywamy ciągłym jeżeli $x(\cdot, \omega)$ jest ciągły jako funkcja t , dla prawie wszystkich $\omega \in \Omega$. Rodzinę $\{F_t\}_{t \in I}$ σ -algebr nazywamy *filtracją* jeżeli dla $s \leq t, s, t \in I$ zachodzi:

$$F_s \subset F_t \subset F.$$

Układ $(\Omega, F, \{F_t\}_{t \in I}, P)$ nazywamy *przestrzenią probabilistyczną z filtracją*. Proces stochastyczny x_t nazywamy *F_t -adaptowanym* jeżeli dla dowolnego $t \in I$, $\omega \rightarrow x_t(\omega)$ jest F_t -mierzalna. Niech będzie dany dowolny proces stochastyczny x_t oraz niech F_t będzie najmniejszą σ -algebrą generowaną przez $x_s; s \leq t$, wówczas x_t jest adaptowany do F_t ; Dla $t \in I$, oznaczamy $F_t^x = \sigma(x_s : s \leq t)$, najmniejszą σ -algebrę względem której x_s jest mierzalny dla $s \leq t$. Jest ona nazywana σ -algebrą generowaną przez x do chwili t , zatem można ją uważać za "historie" zmiennej losowej x_t .

Warunkowa wartość oczekiwana, Martyngały

Własności wartości oczekiwanej dla trajektorii optymalnej są przedmiotem niniejszego artykułu, przypomnijmy w związku z tym dla wygody czytelnika

najważniejsze definicje. *Warunkowa wartość oczekiwana* zmiennej losowej x pod warunkiem zdarzenia A zdefiniowana jest jako:

$$E(x|A) = \frac{1}{P(A)} \int_A x(\omega) dP.$$

Warunkową wartość oczekiwaną zmiennej losowej x pod warunkiem σ -ciała $G \subset F$ nazywamy zmienną losową $E(x|G)$ spełniającą warunki:

- (1) $E(x|G)$ jest G -mierzalna
- (2) dla dowolnego $A \in G$ zachodzi

$$\int_A E(x|G)(\omega) dP(\omega) = \int_A x(\omega) dP(\omega).$$

Adaptowany proces stochastyczny $x_t, t \in I$ nazywamy *martyngałem* (*podmartyngałem, nadmartyngałem*) względem filtracji F_t jeżeli:

- (1) x_t całkowalny dla dowolnego $t \in I$,
- (2) $x_s = E(x_t | F_s)$ p.n. (odp. \leq, \geq) dla dowolnego $s, t \in I, s \leq t$.

Proces Wienera, Całka stochastyczna Ito

Niech dana będzie przestrzeń probabilistyczna z filtracją $(\Omega, F, \{F_t\}_{t \in I}, F, P)$ proces stochastyczny $w_t = (w_1, \dots, w_d)$ nazwiemy *procesem ruchu Browna* albo *procesem Wienera* w R^d jeżeli jest ciągłym procesem Gaussowskim o niezależnych przyrostach, tzn.

- (1) $w_0 = 0$ p.n. (prawie na pewno)
- (2) dla dowolnego $0 \leq s < t$ zmienna losowa $w_t - w_s$ jest niezależna od F_s ,
- (3) przyrosty $w_t - w_s$ mają rozkład normalny, tzn. $N(0, (t-s)I_d)$, gdzie I_d jest macierzą jednostkową w R^d .

Jeżeli filtracja $\{F_t\}$ nie jest zadana w sposób jawny, możemy uważać, że jest to właśnie filtracja $\{F_t^w\}$, czyli generowana przez proces Wienera w_t i wówczas warunek (2) odpowiada warunkowi:

- (2') proces w_t posiada niezależne przyrosty tzn. dla $t < s < r < u$, $(w_t - w_s)$ oraz $(w_u - w_r)$ są niezależne.

Można pokazać, że gęstość prawdopodobieństwa w_t wyraża się wzorem:

$$p(t, x) = (2\pi)^{-d/2} \exp\left\{-|x|^2 / (2t)\right\}$$

Przypomnijmy dla wygody czytelnika definicje całki stochastycznej Ito. Przedstawiamy jedynie zasadniczą ideę natomiast osoby zainteresowane bardziej szczegółowym opisem zachęcamy do sięgnięcia do standardowych pozycji książkowych takich jak [Ikeda, Watanabe 1989] czy [Kartzas, Shreve 1991].

Konstrukcje całki stochastycznej Ito $I(f)_t = \int_0^t f_s dW_s$ rozpoczniemy od zdefiniowania zbioru funkcji dla których jest ona poprawnie określona. Dla $T > 0$ przez $L^2_F(0, T; R)$ oznaczamy zbiór wszystkich mierzalnych procesów $\phi(\tau; !)$ adaptowanych do filtracji $\{F_t\}_{t \geq 0}$ o skończonej normie

$$\|f\|_T^2 = E \left\{ \int_0^T f(t, \omega) dt \right\} < \infty.$$

Krok I. Definiujemy całkę najpierw dla procesów schodkowych postaci:

$$f_t(\omega) = \sum_{i=0}^{n-1} \xi_i(\omega) \chi_{[t_i, t_{i+1})}(t),$$

dla danego podziału: $0 = t_0 < t_1 < \dots < t_n = T$, przedziału $[0, T]$ gdzie ξ_i jest F_{t_i} mierzalna, $E(\xi_i^2) < \infty$, natomiast $\chi_{[t_i, t_{i+1})}(t)$ jest funkcją charakterystyczną odcinka $[t_i, t_{i+1})$. Całka stochastyczna procesu schodkowego jest zdefiniowana jako

$$\int_0^t f_s dW_s = \sum_i \xi_i(\omega) (W_{t_{i+1} \wedge t}(\omega) - W_{t_i \wedge t}(\omega)).$$

Dowodzi się prawdziwość tożsamości izometrycznej:

$$E \left(\left| \int_0^t f_s dW_s \right|^2 \right) = E \int_0^t |f_s|^2 ds,$$

oraz nierówności Barkholdera-Davisa-Gundy:

$$E \sup_{0 \leq t \leq T} \left| \int_0^t f_s dW_s \right|^p \leq c_p E \left(\int_0^T |f_s|^2 ds \right)^{p/2},$$

gdzie c_p jest stałą zależną od $T > 0$ oraz $p > 0$.

Krok II. Rozszerzamy definicję poprzez przejście graniczne na adaptowane procesy stochastyczne spełniające:

$$E \int_0^T |x_s(\omega)|^2 ds < \infty. \quad (6)$$

Krok III. Kolejne rozszerzenie definicji całki poprzez tzw. lokalizację na klasę wszystkich adaptowanych procesów spełniających

$$P \left\{ \int_0^T |x_s(\omega)|^2 ds < \infty \right\} = 1. \quad (7)$$

Całka stochastyczna Ito jest poprawnie zdefiniowana jeżeli zachodzi warunek (7), jeżeli zachodzi silniejszy warunek (6) wówczas jest ona martyngałem.

PROBLEM STEROWANIA OPTYMALNEGO MAYERA

Stochastyczny układ ze sterowaniem

Problem sterowania będzie polegał na minimalizacji wartości oczekiwanej pewnego funkcjonału *funkcji stanu* oraz *procesu sterowania*. Funkcja stanu to proces stochastyczny $y(t) \in R^d$, o wartościach w R^d opisywany przez następujące stochastyczne równanie różniczkowe typu Ito:

$$dy(t) = f(t, y(t), u(t))dt + \sigma(t, y(t), u(t))dW(t), s \in [t_0, T],$$

które będziemy rozumieli jako równanie całkowe

$$y(t) = y(t_0) + \int_{t_0}^t f(t, y(t), u(t))dt + \int_{t_0}^t \sigma(t, y(t), u(t))dW_t \quad (8)$$

gdzie $u(t) \in U$ jest parametrem czyli sterowaniem zastosowanym w chwili t przyjmującym wartości z pewnego zbioru $U \subset R^n$, ograniczonego oraz domkniętego. Oznaczmy przez $Q = [0, T] \times R^d$.

Przyjmujemy następujące założenia: niech funkcje

$$f : Q \times U \rightarrow R^d,$$

$$\sigma : Q \times U \rightarrow R^d \times R^d,$$

będą ciągłe oraz niech $f(\cdot, \cdot, v)$, $\sigma(\cdot, \cdot, v)$ będą klasy $C^1(Q)$. Zakładamy, że istnieje pewna stała $C > 0$, taka, że:

$$(1) |f_t| + |f_x| + |\sigma_t| + |\sigma_x| \leq C,$$

$$(2) |f(t, x, v)| + |\sigma(t, x, v)| \leq C(1 + |x| + |v|),$$

gdzie f_t, f_x oznaczają odpowiednie pochodne cząstkowe $\frac{\partial f}{\partial t}$ oraz $\frac{\partial f}{\partial x}$, $|\sigma|$ jest normą operatorową σ również σ_t, σ_x są pochodnymi cząstkowymi funkcji σ o wartościach macierzowych.

Z ogólnej teorii stochastycznych równań różniczkowych wiadomo, że przy powyższych założeniach równanie (8) ma dokładnie jedno rozwiązanie $y(t) \in L^2(\Omega; C(0, T; R^d))$, gdzie

$$L^2(\Omega; C(0, T; R^d)) = \{x_t : E \sup_{t \in [0, T]} |x_t|^2 < \infty\}.$$

Kryterium do minimalizacji - Problem Mayera

Rozważamy rodzinę stochastycznych problemów Cauchy'ego indeksowana po $(s, x) \in [0, T] \times R^d$:

$$\begin{cases} dy(t) = f(t, y(t), u(t))dt + \sigma(t, y(t), u(t))dW(t), t \in (s, T] \\ y(s) = x, (s, x) \text{ dowolne} \end{cases} \quad (9)$$

oraz funkcję (3) $g(t, x) \in C^1([0, \infty) \times \partial M; R)$, niech $y(t; s, x, u)$ będzie trajekcją rozwiązania (9) oraz t_1 będzie momentem zatrzymania (4). Zbiór sterowań dopuszczalnych

$$U_{s,x} = \{u : [0, \infty) \times \Omega \rightarrow U \mid F_t - \text{adaptowane}, t_1(s, x, u(\cdot)) < \infty \text{ p.n.}\} \quad (10)$$

Powiemy, że y^* jest trajekcją optymalną a (y^*, u^*) parą optymalną jeżeli

$$v(t_0, x_0) = \inf_{u \in U_{t_0, x_0}} Eg(t_1, y(t_1; t_0, x_0, u)) = Eg(t_1, y^*(t_1; t_0, x_0, u^*)). \quad (11)$$

WŁASNOŚCI FUNKCJI WARTOŚCI

Przy powyższych założeniach prawdziwe są następujące twierdzenia.

Twierdzenie 1

Proces $v(t, y(t))$ jest podmartyngalem dla $t \in [t_0, t_1]$ tzn.

$$v(s, y(s)) \leq E[v(t, y(t)) \mid F_s] \text{ p.n.}$$

dla $t_0 \leq s \leq t \leq t_1$.

Dowód. Zauważmy najpierw, że z definicji (5) funkcji wartości wynika

$$\begin{aligned} v(s, y(s)) &= \text{ess inf}_{u \in U_{s, y(s)}} E[g(t_1, y(t_1, s, y(s), u)) \mid F_s] \\ v(t, y(t)) &= \text{ess inf}_{u \in U_{t, y(t)}} E[g(t_1, y(t_1, t, y(t), u)) \mid F_t] \end{aligned} \quad (12)$$

oraz, że

$$v(s, y(s)) = E[v(s, y(s)) \mid F_s] = E[v(s, y(s)) \mid F_t]$$

Ustalmy dowolne $u \in U_{t_0, x_0}$, wówczas dla dowolnego $t > s > t_0$ z jednoznaczności rozwiązania $y(t)$ po Ścieszkach dla potoku $y(t)$ rozwiązania SDE wynika własność Markowa czyli

$$y(t; t_0, x_0, u) = y(t; s, y(s; t_0, x_0, u), u) \text{ dla dowolnego } s \geq t_0$$

z powyższego mamy

$$v(s, y(s, u)) = E[v(s, y(s, u)) \mid F_t] \leq E[g(t_1, y(t_1, u)) \mid F_t]$$

biorąc essinf

$$v(s, y(s, u)) \leq \text{ess inf}_{u \in U_{t, y(t)}} E[g(t_1, y(t_1, t, y(t), u)) \mid F_t] = v(t, y(t, u))$$

na koniec bierzemy obustronnie $E[\cdot \mid F_s]$.

Twierdzenie 2

y^* - trajektoria optymalna) $v(t, y(t)) \equiv \text{const p.w.}$

Dowód. Z definicji trajektorii optymalnej (11)

$$v(t_0, x_0) = Eg(t_1, y^*(t_1)),$$

natomiast z Twierdzenia 1 mamy

$$\begin{aligned} Eg(t_1, y^*(t_1)) &= v(t_0, x_0) \leq E[v(t, y^*(t)) | F_{t_0}] = Ev(t, y^*(t)) = \\ &= E \left[\underset{u \in U_{t, y^*(t)}}{\text{ess inf}} E[g(t_1, y^*(t_1)) | F_t] \right] \leq Eg(t_1, y^*(t_1)) \end{aligned}$$

Ponieważ na początku i na końcu ciągu nierówności mamy to samo wyrażenie zatem nierówności w środku można zamienić na równości.

WNIOSEK

Funkcja wartości jest na wszystkich trajektoriach rozwiązania układu (2) jest podmartyngałem, jedynie na *trajektorii optymalnej* jest stała prawie wszędzie względem miary probabilistycznej P i to jest najprostsze kryterium aby rozpoznać *parę optymalną* czyli *sterowanie optymalne* oraz *trajektorię optymalną*.

BIBLIOGRAFIA

- Fleming W. H., Rishel R. W. (1975) Deterministic and Stochastic Optimal Control. Springer-Verlag.
- Fleming W. H., Soner H. M. (1993) Controlled Markov Processes and Viscosity Solutions. Springer-Verlag.
- Hausmann U. G. (1986) A Stochastic Maximum Principle for Optimal Control of Diffusions. Pitman Research Notes in Mathematics, 151, Longman.
- Grygierzec W. (2012) O jednolitym podejściu do rachunku wariacyjnego i sterowania optymalnego. Metody Ilościowe w Badaniach Ekonomicznych, XIII/1.
- Kartzas I., Shreve S. E. (1991) Brownian Motion and Stochastic Calculus. (Graduate Texts in Mathematics), Springer-Verlag.
- Ikeda, N., Watanabe S. (1989) Stochastic Differential Equations and Diffusion Processes. 2nd Edition, North Holland-Kodansha, Amsterdam-Tokyo, 1989.
- Peng S. (1990) A general stochastic maximum principle for optimal control problems. SIAM Journal on Control and Optimization, 28 (4), 966-979.
- Pham H. (2009) Continuous-time Stochastic Control and Optimization with Financial Applications. Springer-Verlag.
- Szafirski B. (2012) Notes from seminar, not published.
- Yong J., Zhou X. Y. (1999) Stochastic Controls, Hamiltonian Systems and HJB Equations. Springer-Verlag.

**ABOUT SOME MAYER STOCHASTIC OPTIMAL CONTROL
PROBLEM**

Abstract: We consider optimal control problem of system which is covered by Ito's stochastic differential equation. Such systems are sometimes called *diffusion models*. The basic source of uncertainty in such models is white noise, which represents large numbers of independent random forces. The controller has to make relevant decision, based on the most update information among all the possible to achieve the best expected result relevant his goal. The key role play so called *value function* which represent in some sense evolution of minimal cost functional in time. In the present paper the author give some characterization of value function for the so called *Mayer problem* which correspond to special form of cost.

Keywords: stochastic optimal control, value function, Mayer problem

ANALIZA DYSTANSU POLSKI DO KRAJÓW UNII EUROPEJSKIEJ POD WZGLĘDEM OCHRONY ŚRODOWISKA NATURALNEGO

Monika Jaworska

Katedra Statystyki i Ekonometrii, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
e-mail: rtjawors@cyf-kr.edu.pl

Streszczenie: W pracy analizowano pozycję Polski pod względem, stanu środowiska naturalnego na tle krajów Unii Europejskiej. Badanie przeprowadzono w układzie krajów UE w latach 2000-2013. Podjęto próbę utworzenia rankingu państw określając poziom badanego zjawiska. Wybrano 8 cech diagnostycznych opisujących państwa pod względem stanu środowiska naturalnego. W celu uporządkowania obiektów posłużono się wskaźnikiem Perkala.

Słowa kluczowe: środowisko naturalne, wskaźnik Perkala, analiza wskaźnikowa

WSTĘP

Tradycyjnie pojmowany rozwój cywilizacji ludzkiej jest procesem powszechnie akceptowanym i pożądanym. Powoduje on, że człowiek posługuje się coraz bardziej zaawansowanymi technologiami, łatwiej może się przemieszczać i wymieniać informacje. Rewolucja technologiczna umożliwiła szybki wzrost liczby ludności na Ziemi. Efektem tych czynników jest rosnące zapotrzebowanie na zasoby naturalne oraz wzrastający negatywny wpływ na środowisko. Zjawiska związane z zanieczyszczeniem środowiska niekorzystnie oddziałują na nasze otoczenie, ale przede wszystkim powodują pogorszenie się stanu zdrowia ludzi. W szczególności, w tym zakresie należy wymieniać tzw. choroby cywilizacyjne, jak również spadek odporności organizmów zarówno fizycznej, jak i psychicznej. Celem opracowania jest porównanie stanu środowiska naturalnego krajów Unii Europejskiej oraz określenie miejsca Polski pod tym względem w strukturze europejskiej. Podstawą klasyfikacji jest miara syntetyczna wyznaczona na podstawie wybranych wskaźników określających stan środowiska krajów UE.

W badaniach wykorzystano wskaźnik Perkala, który pozwolił uporządkować badane obiekty pod względem stanu środowiska.

MATERIAŁ I METODA BADAWCZA

Przedmiotem badania były kraje Unii Europejskiej, które zostały scharakteryzowane przy pomocy wybranych cech opisujących stan środowiska. Przeprowadzona analiza obejmowała lata 200-2013. W badaniu posłużono się danymi Głównego Urzędu Statystycznego i Eurostatu. W celu przeprowadzania badania na dużej liczbie jednostek przestrzennych opisywanych przy pomocy wielu zmiennych diagnostycznych, wykorzystano metodę wielowymiarowej analizy porównawczej, w literaturze przedmiotu określana jako Z-scores, w polskiej literaturze znana jako wskaźnik Perkala¹ Wskaźnik ten cechuje przejrzystość i mała utrata informacji podczas agregacji zmiennych.²

Przeprowadzone badanie obejmowało:

- Określenie wyjściowego zestawu diagnostycznych przy wykorzystaniu kryteriów merytorycznych i formalno-statystycznych. Kryteria merytoryczne wymagają, aby dobierać zmienne reprezentujące wszystkie aspekty badanego zjawiska. Kryteria formalno-statystyczne wymagają określonego poziomu zróżnicowania wskaźników, a także niskiej korelacji pomiędzy cechami. Dobór cech diagnostycznych jest szczególnie ważny, gdyż od niego w znacznym stopniu zależą końcowe wyniki badania.³
- Standaryzację zmiennych prowadzącą do eliminacji jednostek miar dokonaną zgodnie ze wzorem:

$$z_{ik} = \frac{x_{nk} - \bar{x}}{S_k} \quad (1)$$

gdzie:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^m x_{ik}}{m} \quad k = 1, 2, \dots, n$$

¹ Smith D. (1972) Geography and social indicators. South African Geographical Journal; Parysek J. J., Wojtasiewicz L. (1979) Metody analizy regionalnej i metody planowania regionalnego. Stud. KPZK PAN; Chojnacki Z., Czyż T. (1991) Zróżnicowanie przestrzenne poziomu życia ludności. Biul. KPZ PAN.

² Sobala-Gwosdz A. (2004) The change in the rural standard of living during the transformation in the Podkarpackie Province. IGiGP, Warszawa.

³ Heffner K., Gibas P. (2007) Analiza ekonomiczno-przestrzenna. Akademia Ekonomiczna, Katowice; Nowak E. (1990) Metody taksonomiczne w klasyfikacji obiektów społeczno-gospodarczych. PWE, Warszawa.

$$S_k = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (x_{ik} - \bar{x})^2}{m}}$$

\bar{x} – średnia arytmetyczna k-tej zmiennej,

S_k – odchylenie standardowe k-tej zmiennej,

z_{ik} – standaryzowana wartość k-tej zmiennej w i-tym obiekcie,

m – liczba obserwacji.

Przedstawiona metoda jest rozwiązaniem często stosowanym w badaniach regionalnych. Zestandaryzowane zmienne tworzą macierz zmiennych opisujących wszystkie państwa UE.

- Zamiana destymulant na stymulanty. Stosując w badaniu bezwzorcowy wskaźnik syntetyczny dokonano zamiany destymulant na stymulanty mnożąc wartości zmiennych standaryzowanych będących destymulantami przez wartość -1.
- Wyznaczenie wskaźnika syntetycznego będącego sumą wartości standaryzowanych wartości cząstkowych według wzoru:

$$WP = \frac{\sum_{j=1}^n y_{ij}}{n} \quad (2)$$

gdzie: WP – wskaźnik Perkala,

y_{ij} – standaryzowana wartość j-tej cechy w i-tej jednostce, po uwzględnieniu zamiany destymulant na stymulanty,

n – liczba jednostek.

WYNIKI BADAŃ

Podstawą oceny stanu środowiska naturalnego krajów UE było osiem wskaźników:

X_1 - emisja tlenków siarki na 1 km² w tonach (D),

X_2 - emisja tlenku azotu na 1 km² w tonach (D),

X_3 - emisja CO₂ na 1 mieszkańca w tonach (D),

X_4 - odpady wytwarzane w kg na 1 mieszkańca (D),

X_5 - odpady składowane w kg na 1 mieszkańca (D),

X_6 - odpady spalane w kg na 1 mieszkańca (D),

X_7 - udział wydatków na ochronę środowiska w % PKB (S),

X_8 - udział energii ze źródeł odnawialnych w energii pierwotnej ogółem w % (S).

Dzięki wykorzystaniu wskaźnika Perkala uzyskano ogólny obraz przestrzennego zróżnicowania państw UE pod względem stanu ochrony środowiska. Na podstawie

otrzymanego wskaźnika syntetycznego przeprowadzono klasyfikację państw.

Tabela 1. Wartości miary syntetycznej dla krajów Unii Europejskiej w latach 2000, 2005 i 2013

Kraj	2000		2005		2013	
	WP	ranga	WP	ranga	WP	ranga
Austria	0,457	4	0,311	4	0,067	14
Belgia	-0,023	16	-0,161	21	-0,204	21
Bułgaria	-0,119	21	-0,222	22	0,382	5
Chorwacja	0,643	2	0,411	2	0,227	10
Cypr	-0,260	24	-0,275	23	0,090	13
Czechy	0,035	13	0,106	14	0,273	9
Dania	-0,493	27	-0,579	27	-0,323	26
Estonia	0,042	12	0,133	12	0,194	11
Finlandia	0,430	5	0,287	5	0,026	17
Francja	0,008	14	-0,064	17	-0,214	22
Grecja	-0,011	15	-0,125	20	-0,226	23
Hiszpania	-0,163	23	-0,066	18	0,049	16
Holandia	-0,366	26	0,127	13	-0,366	27
Irlandia	-0,312	25	-0,363	25	-0,149	20
Litwa	0,277	8	0,242	7	0,530	1
Luxemburg	-0,042	18	-0,387	26	-0,287	25
Łotwa	0,652	1	0,792	1	0,509	2
Malta	-2,228	28	-1,492	28	-1,905	28
Niemcy	-0,082	20	-0,077	19	-0,254	24
Polska	0,425	6	0,202	8	0,316	6
Portugalia	0,471	3	0,337	3	0,418	4
Rumunia	0,230	10	0,141	11	0,446	3
Słowacja	0,311	7	0,285	6	0,297	7
Słowenia	-0,053	19	0,154	10	0,120	12
Szwecja	0,269	9	0,177	9	0,282	8
Węgry	-0,157	22	0,082	16	-0,074	18
Wielka Brytania	-0,028	17	-0,283	24	-0,131	19
Włochy	0,070	11	0,084	15	0,061	15

Źródło: obliczenia własne

Podstawą uzyskania grup obiektów podobnych były przedziały utworzone przy wykorzystaniu następującego schematu:

I grupa (poziom wysoki) złożona z obiektów, dla których:

$$WP \in \left(\frac{1}{3} \left(\min_i WP + 2 \max_i WP \right), \max_i WP \right],$$

II grupa (poziom średni) złożona z obiektów, dla których:

$$WP \in \left(\frac{1}{3} \left(2 \min_i WP + \max_i WP \right), \frac{1}{3} \left(\min_i WP + 2 \max_i WP \right) \right],$$

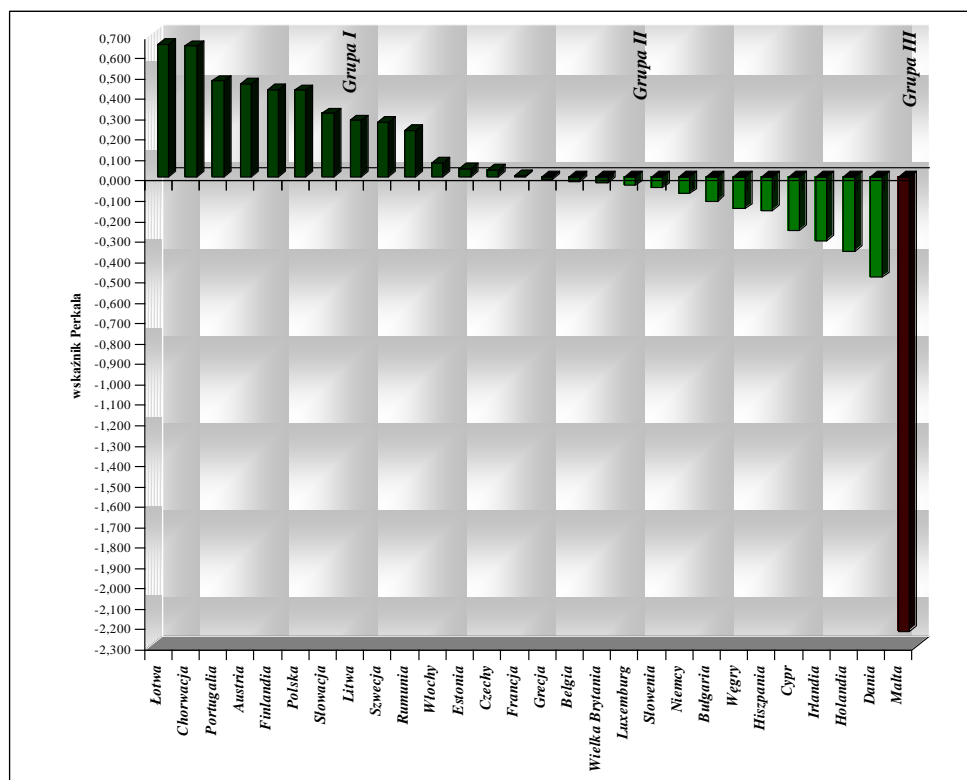
III grupa (poziom niski) złożona z obiektów, dla których:

$$WP \in \left(\min_i WP; \frac{1}{3} \left(2 \min_i WP + \max_i WP \right) \right)^4.$$

W pierwszym badanym okresie najlepsze wyniki osiągnęły: Łotwa, Chorwacja i Portugalia, które również w kolejnych analizowanych latach, zdecydowanie wyprzedzały pozostałe kraje pod względem poziomu ochrony środowiska.

W pierwszym okresie grupa państw charakteryzujących się średnim poziomem stanu środowiska liczyła 10 państw. Były nimi kolejno: Luksemburg, Słowenia, Niemcy, Bułgaria, Węgry, Hiszpania, Cypr, Irlandia, Holandia i Dania (rysunek 1). Jedynie Malta znalazła się w trzeciej grupie o najniższym poziomie rozwoju pod względem badanego zjawiska, które to miejsce utrzymuje w kolejnych okresach badawczych.

Rysunek 1. Ranking krajów UE na podstawie wartości miary syntetycznej w roku 2000

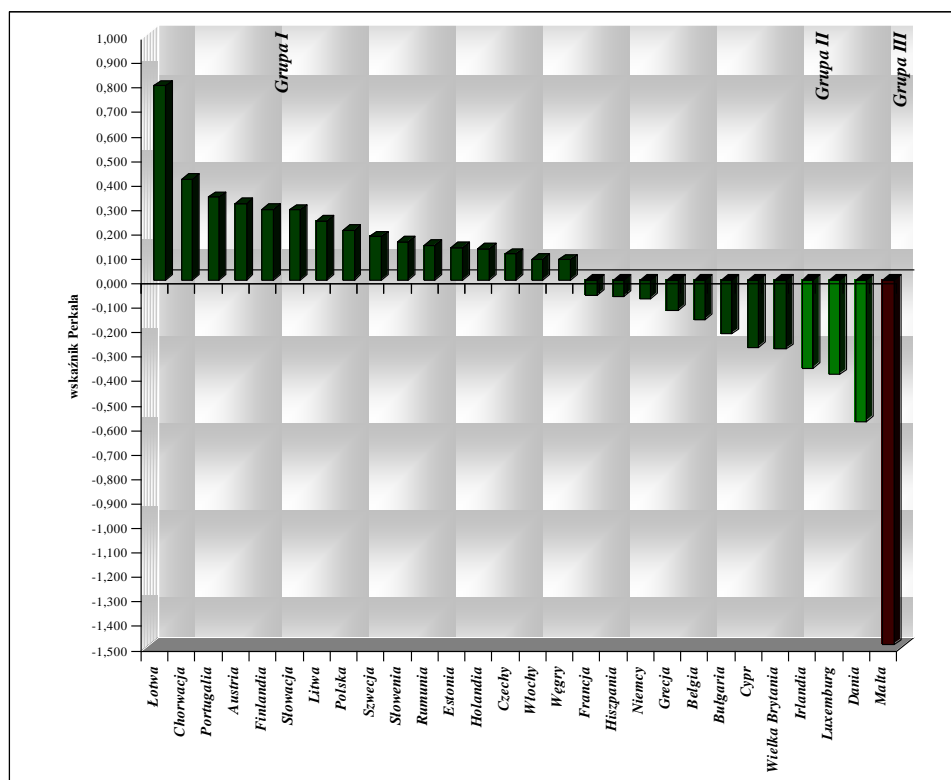


Źródło: opracowanie własne

⁴ Kukuła K. (1993) Próba waloryzacji województw ze względu na zagospodarowanie turystyczne oraz środowisko naturalne. Folia Turistica, 4.

W drugim okresie badawczym do państw o średnim poziomie rozwoju zaklasyfikowano w większości te same jednostki, zmieniła się jednak kolejność państw. Do grupy I awansowały Węgry i Holandia. Belgia i Wielka Brytania odnotowały spadek, pozostając jednak w grypie I, której liczebność zwiększyła się w porównaniu do pierwszego okresu badawczego (17 obiektów w roku 2000; 24 w roku 2005).

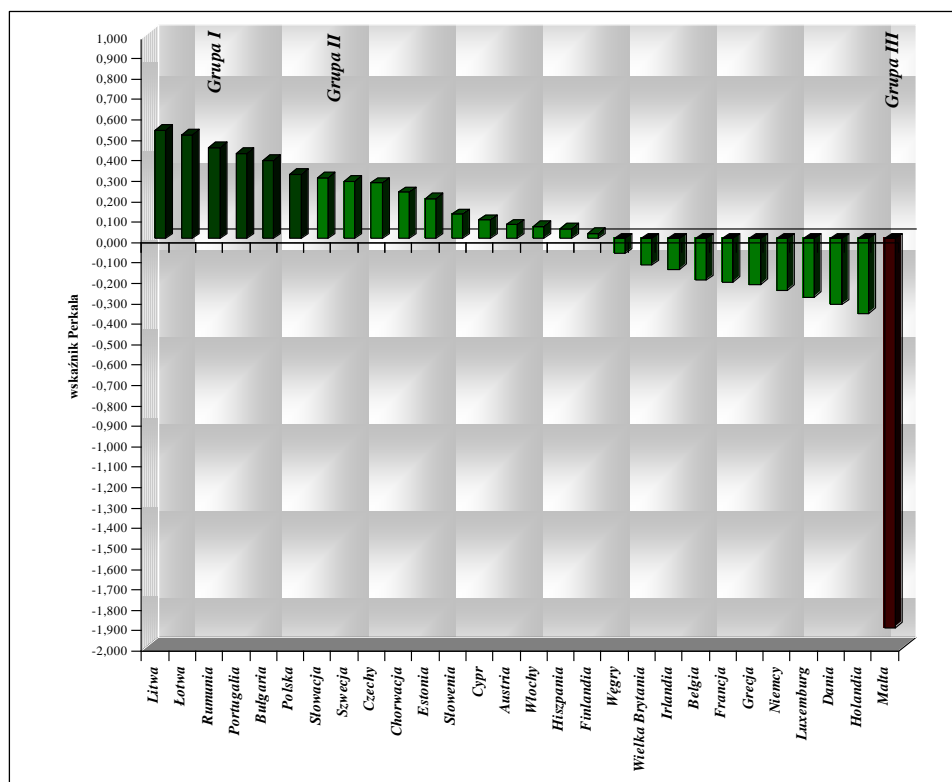
Rysunek 2. Ranking krajów UE wartości miary syntetycznej w roku 2005



Źródło: opracowanie własne

W roku 2013 można zaobserwować zwiększoną ilość obiektów charakteryzujących się średnim poziomem badanej cechy. W grupie tej znalazło się 21 państw i w tej grupie obserwuje się najwięcej zmian w zajmowanych przez poszczególne państwa miejscach.

Rysunek 3. Ranking krajów UE na podstawie wartości miary syntetycznej w roku 2013



Źródło: opracowanie własne

PODSUMOWANIE

Przeprowadzona analiza w trzech okresach badawczych pozwoliła na przedstawienie stanu środowiska w krajach Unii Europejskiej, jak również określeniu pozycji Polski w tych rankingach. Badania wykazały dysproporcje pomiędzy krajami, dzielące państwa UE na trzy kategorie. Najlepszym stanem środowiska wykazały się niezmiennie we wszystkich okresach: Łotwa, Chorwacja i Portugalia.

Uporządkowanie państw UE przeprowadzone przy wykorzystaniu miary syntetycznej wskazuje, że Polska zajmowała w początkowym i końcowym okresie badawczym szóstą pozycję w rankingu. W roku 2005 odnotowała spadek w stosunku do poprzedniego okresu o 2 miejsca.

Grupę o przeciętnym poziomie tworzyło w kolejnych okresach 10, 3, 21 obiektów. W skład grupy trzeciej, jednoelementowej we wszystkich badanych latach wchodziła tylko Malta.

Przeprowadzone badania wskazują, że wskaźnik Perkala jest narzędziem interesującym, umożliwiającym ocenę poziomu zjawiska w jednostkach przestrzennych.

BIBLIOGRAFIA

- Chojnacki Z., Czyż T. (1991) Zróżnicowanie przestrzenne poziomu życia ludności. Biul. KPZ PAN.
- Heffner K., Gibas P. (2007) Analiza ekonomiczno-przestrzenna. Akademia Ekonomiczna, Katowice.
- Kukuła K. (1993) Próba waloryzacji województw ze względu na zagospodarowanie turystyczne oraz środowisko naturalne. Folia Turistica, 4.
- Nowak E. (1990) Metody taksonomiczne w klasyfikacji obiektów społeczno-gospodarczych. PWE, Warszawa.
- Parysek J. J., Wojtasiewicz L. (1979) Metody analizy regionalnej i metody planowania regionalnego. Stud. KPZK PAN.
- Smith D. (1972) Geography and social indicators. South African Geographical Journal.
- Sobala - Gwosdz A. (2004) The change in the rural standard of living during the transformation in the Podkarpackie Province. IGiGP, Warszawa.

ANALYSIS DISTANCE POLISH TO EUROPEAN UNION COUNTRIES IN TERMS OF THE ENVIRONMENT

Abstract: The study analyzed the position of Polish terms, the state of the environment in European Union countries. The survey was conducted in the EU countries in the period 2000-2013. You attempted to create a ranking of countries in terms of the environment. 8 selected diagnostic features describing the state in terms of the environment. In order to sort the objects were used one of the methods of multidimensional comparative analysis.

Keywords: environment, multidimensional analysis

ANALIZA GRY MONETARNO - FISKALNEJ NA PRZYKŁADZIE GOSPODARKI POLSKIEJ

Lech Krus, Irena Woroniecka-Leciejewicz

Instytut Badań Systemowych PAN

e-mail: Lech.Krus@ibspan.waw.pl, Irena.Woroniecka@ibspan.waw.pl

Streszczenie: Artykuł przedstawia wyniki analizy policy mix z wykorzystaniem niekooperacyjnej gry między władzami fiskalnymi i monetarnymi oraz modelu makroekonomicznego opartego na koncepcji nowej syntezy neoklasycznej. Dokonano estymacji modelu dla Polski w latach 2000-2014. Przeprowadzono szereg symulacji z wykorzystaniem modelu oraz systemu komputerowego wyznaczającego wypłaty gry. Przeanalizowano alternatywne policies mix w stosunku do realizowanych w przeszłości polityk: monetarnej i fiskalnej. Wyznaczono i przeanalizowano optymalne strategie odpowiedzi oraz strategie równowagi Nasha.

Słowa kluczowe: gra monetarno-fiskalna, model makroekonomiczny, równowaga Nasha, Pareto optymalność

WPROWADZENIE

Praca dotyczy problemu wyboru policy mix oraz analizy wzajemnych interakcji decyzyjnych między władzami fiskalnymi (rządem) a władzami monetarnymi (bankiem centralnym) z zastosowaniem metod modelowania komputerowego, teorii gier oraz metod optymalizacji wielokryterialnej. Policy mix stanowi w tym ujęciu kombinację polityki fiskalnej i monetarnej o określonym stopniu restrykcyjności/ekspansywności każdej z nich.

Istnieje szeroka literatura dotycząca interakcji polityk monetarnych i fiskalnych omówiona w [Krus, Woroniecka 2015b]. W tej pracy przedstawiamy tylko wybrane pozycje. Blinder [1983], a następnie Bennett i Loayza [2001] rozpatrywali prostą grę z władzami monetarnymi i fiskalnymi jako graczami, z których każdy ma dwie strategie: restrykcyjną i ekspansywną. Pokazali, że niezależne decyzje tych władz mogą prowadzić do równowagi Nasha, która nie jest Pareto optymalna, co stanowi argument za koordynacją polityk. Nordhaus [1994]

przedstawił głębszą analizę gry monetarno-fiskalnej opartej na prostym modelu w aspekcie równowagi Nasha i jej Pareto optymalności. Powyższe prace stanowiły punkt startowy i inspirację do dalszych badań. Dixit i Lambertini [2001], Lambertini i Rovelli [2003] zwracali uwagę na rolę wiarygodności graczy i dyscypliny fiskalnej w grze monetarno-fiskalnej. Monografia [Marszałek 2009] zawiera przegląd modeli gier opisujących interakcje między bankiem centralnym a rządem. Dixit i Lambertini [2001], Lambertini i Rovelli [2003] rozpatrywali równowagę Nasha, a także równowagę Stackelberga, gdy jeden z decydentów jest liderem. Wojtyła [1996], Jakóbiak [2013] zajmowali się problematyką niezależności banku centralnego i aspektami koordynacji polityki. Darnault, Kutos [2005], Stawska [2014] analizowali policy mix w Polsce z wykorzystaniem danych statystycznych. Libich i in. [2014] przedstawili porównanie wybranych krajów w tzw. przestrzeni przywództwa monetarnego/fiskalnego (*monetary vs fiscal leadership space*); Polska jest zlokalizowana w jej centralnej części.

Niestety nie ma publikacji poświęconych interakcjom polityki fiskalnej i monetarnej w ujęciu stricte modelowym teorii gier dla przypadku Polski. Stanowiło to przesłankę do podjęcia badań w zakresie teorii gier, modelowania makroekonomicznego oraz metod optymalizacji wielokryterialnej stosowanych do analizy problemu policy mix, których wyniki prezentowane są w tej pracy.

Celem tych badań jest analiza efektywności decyzji w obszarze policy mix na podstawie analizy stanów równowagi Nasha, Pareto-optymalności rozwiązań oraz wpływu priorytetów władz fiskalnych i monetarnych na wybór polityki makroekonomicznej. Uzyskane wyniki mogą stanowić asumpt do odpowiedzi na pytanie: czy i w jakich warunkach wybór policy mix poprzez niezależne od siebie władze monetarne i fiskalne prowadzi do efektywnych ekonomicznie decyzji, a kiedy niezbędna jest koordynacja.

Przedmiotem prezentowanej w niniejszym artykule analizy jest gra niekooperacyjna, w której władze monetarne i fiskalne odgrywają rolę graczy, zwana grą monetarno-fiskalną. Strategie władz fiskalnych oznaczają strategie polityki budżetowej różniące się stopniem restrykcyjności/ekspansywności, mierzonym poziomem deficytu budżetowego w relacji do PKB. Analogicznie strategie władz monetarnych oznaczają strategie polityki pieniężnej o różnej restrykcyjności, charakteryzowanej przez wysokość realnej stopy procentowej. Tak więc stopień restrykcyjności poszczególnych strategii jest odzwierciedlany przez wartości instrumentów prowadzonej polityki. Zarówno władze fiskalne jak i monetarne starają się osiągnąć swoje cele ekonomiczne: rząd dąży do osiągnięcia pożądanego (planowanego) wzrostu gospodarczego, a celem banku centralnego jest osiągnięcie pożądanego poziomu inflacji (celu inflacyjnego). Zakłada się, że władze fiskalne i monetarne podejmują decyzje niezależnie, a stan równowagi Nasha w takiej grze może być utożsamiany z wyborem określonej policy mix.

W celu analizy powyższej gry zbudowano model makroekonomiczny, który został oszacowany na podstawie danych dla Polski w latach 2000-2014. Model zaimplementowano w systemie komputerowym obliczającym wyniki gry.

Przeprowadzono eksperymenty symulacyjne, w których wyznaczano i analizowano wypłaty graczy dla różnych, alternatywnych polityk monetarnych i fiskalnych.

Prezentowane prace stanowią kontynuację wcześniejszych badań autorów [Kruś, Woroniecka 2015a, Woroniecka 2015].

W kolejnych rozdziałach przedstawia się: matematyczne sformułowanie gry, opis zbudowanego makroekonomicznego modelu NNS-GMF, wyniki estymacji modelu, analizę gry monetarno-fiskalnej, podsumowanie i bibliografię.

MATEMATYCZNE SFORMUŁOWANIE GRY

Relacje między władzami fiskalnymi i monetarnymi są opisane za pomocą gry niekooperacyjnej w postaci strategicznej, która obejmuje:

- i. Dwóch graczy $i=1,2$: władze fiskalne i władze monetarne.
- ii. Dla każdego gracza $i=1,2$ określony jest zbiór Ω^i strategii. Strategie władz fiskalnych dotyczą polityki budżetowej. Instrumentem tej polityki jest poziom deficytu budżetowego w relacji do PKB (oznaczony przez b). Strategie władz monetarnych dotyczą polityki pieniężnej, której instrumentem jest poziom realnej stopy procentowej (oznaczony przez r). Niech Ω oznacza iloczyn Kartezjański tych zbiorów strategii: $\Omega = \Omega^1 \times \Omega^2$.
- iii. Dla każdego gracza $i=1, 2$, jest zdefiniowana funkcja $h^i: \Omega \rightarrow \mathbf{R}$, która określa wypłatę gracza i przy określonych strategiach podjętych przez obydwu graczy. Wypłata władz fiskalnych jest mierzona jako wzrost PKB i oznaczona przez y , gdzie $y=h^1(b, r)$. Wypłata władz monetarnych mierzona jest jako poziom inflacji oznaczony przez p , gdzie $p=h^2(b, r)$. Funkcje h^i , $i=1, 2$, są zdefiniowane przez relacje modelu makroekonomicznego.
- iv. Dla każdego gracza $i=1, 2$, jest określona relacja preferencji na zbiorze osiągalnych wypłat. Zakłada się, że każdy gracz chce osiągnąć zakładany cel: władze fiskalne – pożądany poziom wzrostu PKB, a władze monetarne – pożądany poziom inflacji.

Wypłaty gry w formie dyskretnej przedstawione są w tabeli 1. Strategie władz fiskalnych oznaczają strategie polityki budżetowej – od skrajnie restrykcyjnej w pierwszym wierszu do skrajnie ekspansywnej w ostatnim. Jako miernik stopnia restrykcyjności/ekspansywności polityki fiskalnej przyjęto poziom deficytu budżetowego w relacji do PKB. Analogicznie, strategie władz monetarnych oznaczają strategie polityki pieniężnej – od skrajnie restrykcyjnej w pierwszej kolumnie do skrajnie ekspansywnej w ostatniej, przy czym jako wyznacznik restrykcyjności polityki monetarnej przyjęto wysokość realnej stopy procentowej. Wypłaty zostały oznaczone w następujący sposób: y_{ij} - wypłata władz fiskalnych (tempo wzrostu PKB) w przypadku, gdy rząd stosuje strategię fiskalną F_i , a bank centralny strategię monetarną M_j , p_{ij} - wypłata władz monetarnych (inflacja) w tej samej sytuacji strategicznej. Symbolem b_i oznaczono deficyt

budżetowy w relacji do PKB, charakteryzujący i -tą strategię fiskalną, natomiast r_j - realną stopę procentową przypisaną j -tej strategii pieniężnej.

Tabela 1. Gra monetarno-fiskalna – tablica wypłat

Tablica wypłat		Bank centralny - polityka monetarna			
		← restrykcyjna		ekspansywna →	
		Strategia monetarna M_1 (stopa proc. r_1)	Strategia monetarna M_2 (stopa proc. r_2)	...	Strategia monetarna M_n (stopa proc. r_n)
Rząd – polityka fiskalna ekspansywna restrykcyjna	Strategia fiskalna F_1 (deficyt budżetowy b_1)	P_{11} Y_{11}	P_{12} Y_{12}	...	P_{1n} Y_{1n}
	Strategia fiskalna F_2 (deficyt budżetowy b_2)	P_{21} Y_{21}	P_{22} Y_{22}	...	P_{2n} Y_{2n}
	
	Strategia fiskalna F_m (deficyt budżetowy b_m)	P_{m1} Y_{m1}	P_{m2} Y_{m2}	...	P_{mn} Y_{mn}

Źródło: opracowanie własne

MODEL MAKROEKONOMICZNY NNS-GMF

Opracowano rekurencyjny model makroekonomiczny NNS-GMF oparty na koncepcji modelu nowej syntezy neoklasycznej (New Neoclassical Synthesis – NNS). Model ten, odzwierciedlając wpływ instrumentów polityki makroekonomicznej na gospodarkę, umożliwia analizę rozpatrywanej gry monetarno-fiskalnej.

Podstawowy model nowej syntezy neoklasycznej [Galí 2009, s. 2–3] zbudowany jest wokół trzech zależności uznawanych za kluczowe w opisie mechanizmu transmisji impulsów polityki pieniężnej: krzywej IS, krzywej Phillipsa i reguły Taylora. W celu odzwierciedlenia wpływu również polityki fiskalnej, model NNS-GMF uwzględnia lukę wydatków budżetowych. W modelu ze względu na jego rekurencyjny charakter wprowadzono dodatkowo zmienne opóźnione. Równania rekurencyjnego modelu NNS-GMF są następujące:

Równanie luki produkcji odzwierciedla międzyokresową wersję krzywej IS i opisuje funkcję zagregowanego popytu opartą na optymalnych decyzjach reprezentatywnego konsumenta. Równanie to ma następującą postać:

$$x_t = \alpha_0 + \alpha_1 x_{t-1} + \alpha_2 (r_t - \pi_t^e - r_t^n) + \alpha_3 g_t, \tag{1}$$

gdzie: $x_t = y_t - y_t^n$, $g_t = G_t - G_t^n$ (1a)

lub: $x_t = \ln y_t - \ln y_t^n$, $g_t = \ln G_t - \ln G_t^n$. (1b)

Luka produkcji x_t zdefiniowana jest jako odchylenie między bieżącą produkcją realną y_t a jej poziomem potencjalnym (naturalnym) y_t^n w stanie równowagi z doskonale elastycznymi cenami. Luka produkcji jest uzależniona od

swojej wartości opóźnionej oraz od luki stopy procentowej, tzn. odchylenia realnej stopy procentowej od poziomu naturalnego r_t^n , przy czym realna stopa procentowa została obliczona jako różnica: nominalna stopa procentowa r_t (WIBOR 1M) minus oczekiwana inflacja π_t^e . W modelu uwzględniono wpływ realnych wydatków budżetowych G_t w kategoriach luki, tzn. odchylenia od wartości naturalnej G_t^n . Naturalne poziomy produktu, stopy procentowej i wydatków budżetowych zostały wyznaczone jako trendy długookresowe z wykorzystaniem filtra Hodricka-Prescotta. Luka produkcji x_t i luka wydatków budżetowych g_t są definiowane w modelu w dwóch wersjach: jako odchylenie bezwzględne od wartości naturalnej (równanie 1a) lub jako odchylenie logarytmów (równanie 1b). *Równanie inflacji (neokeynesowska krzywa Phillipsa)* przedstawia funkcję zagregowanej podaży opartą na decyzjach cenowych przedsiębiorstwa w warunkach niedoskonałej konkurencji (model Calvo). Inflacja zależy od inflacji oczekiwanej π_t^e i luki produkcji x_t .

$$\pi_t = \beta_0 + \beta_1 \pi_{t-1}^e + \beta_2 x_t. \quad (2)$$

Równanie inflacji oczekiwanej uzależnia oczekiwania inflacyjne od ich opóźnionej wartości oraz bieżącej inflacji. Ma ono postać:

$$\pi_t^e = \delta_0 + \delta_1 \pi_{t-1}^e + \delta_2 \pi_t. \quad (3)$$

Równanie stopy procentowej (reguła Taylora) stanowi regułę wyznaczania przez bank centralny nominalnej stopy procentowej w odpowiedzi na odchylenie bieżącej inflacji od wyznaczonego celu inflacyjnego π^* oraz na zmiany bieżącej koniunktury (luki produkcji). Równanie to ma następującą postać:

$$r_t = \varphi_0 + \varphi_1 r_{t-1} + \varphi_2 (\pi_{t-1} - \pi_{t-1}^*) + \varphi_3 x_{t-1}. \quad (4)$$

WYNIKI ESTYMACJI MODELU

Wykonano estymację czterech wariantów modelu: dwa pierwsze warianty zawierające regułę Taylora: wariant 1 (równania 1, 1a, 2, 3, 4), wariant 2 (równania 1, 1b, 2, 3, 4) oraz dwa kolejne bez reguły Taylora: wariant 3 (równania 1, 1a, 2, 3), wariant 4 (równania 1, 1b, 2, 3). W tej pracy przedstawiono wyniki dotyczące wariantu 3, pozostałe warianty modelu są omówione w innych publikacjach autorów [Kruś, Woroniecka 2015b]. W estymacji modelu NNS-GMF jako układu równań współzależnych, z zastosowaniem potrójnej metody najmniejszych kwadratów na podstawie danych kwartalnych 2000-2014 dla Polski wykorzystano pakiet ekonometryczny GRETL. Nazwy zmiennych zawarto w tabeli 2. Jako źródła danych wykorzystano dane GUS, NBP, Ipsos, serwis Money.pl.

Oszacowane równania modelu NNS-GMF (wariant 3) przedstawiono w tabeli 3. Odchylenia standardowe dla oszacowanych współczynników podane są w nawiasach. Wyniki estymacji wskazują na dość dobre dopasowanie do danych statystycznych, szczególnie w przypadku równania 3 model objaśnia zmienność

oczekiwanej inflacji w ponad 90 procentach (R^2). Gorszą jakością dopasowania uzyskano dla równań luki produkcji i inflacji (niższe wartości R^2). Należy jednak zaznaczyć, że również w tych równaniach wszystkie zmienne objaśniające istotnie statystycznie wpływają na zmienne objaśniane. Do błędów estymacji przyczynia się uproszczenie modelu, który nie uwzględnia wpływu czynników zewnętrznych, a jedynie wpływ polityki ekonomicznej.

Tabela 2. Zestawienie zmiennych wykorzystanych w estymacji modelu

Nazwa zmiennej	Objaśnienie
luka_prod	Luka produkcji na podstawie PKB (ceny stałe)
inflacja	Inflacja, na podstawie wskaźnika cen konsumpcyjnych
oczekiwana_infl	Inflacja oczekiwana
luka_WIBOR	Luka stopy procentowej
luka_wyd	Luka wydatków publicznych
odch_od_celu_infl	Odchylenie inflacji od celu inflacyjnego
zmienna_1	Zmienna opóźniona o jeden okres (kwartał)

Źródło: opracowanie własne

Tabela 3. Oszczone równania modelu (wariant 3)

Równanie 1	
luka_prod = 0,0274 + 0,6853 luka_prod_1 - 0,4343 luka_WIBOR + 0,1353 luka_wyd	
(0,1195) (0,0841) (0,1241) (0,0622)	
Wsp. determ. R-kwadrat	0,645211 Skorygowany R-kwadrat 0,624743
Równanie 2	
inflacja = 0,5210 + 0,7670 oczekiwana_infl_1 + 0,3755 luka_prod	
(0,1908) (0,0584) (0,0937)	
Wsp. determ. R-kwadrat	0,759751 Skorygowany R-kwadrat 0,750686
Równanie 3	
oczekiwana_infl = -0,1594 + 0,1748 oczekiwana_infl_1 + 0,8673 inflacja	
(0,1026) (0,0607) (0,0773)	
Wsp. determ. R-kwadrat	0,941506 Skorygowany R-kwadrat 0,939298

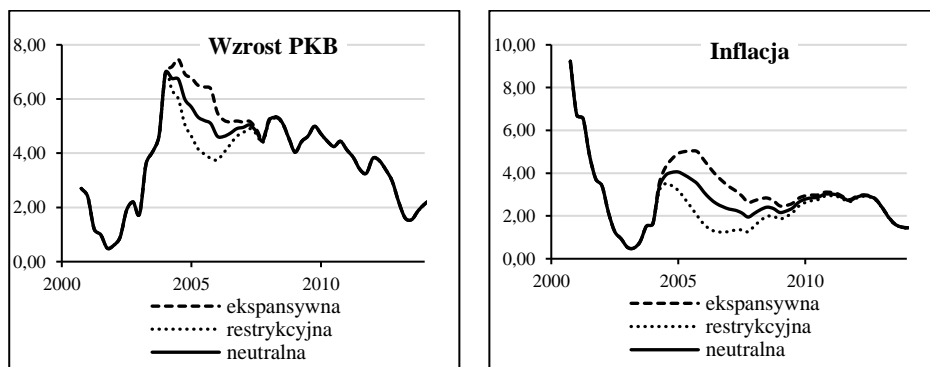
Źródło: opracowanie własne

Rysunek 1 przedstawia przebiegi w czasie wzrostu PKB i inflacji dla dwóch wariantów zmiany polityki mix trwającej 2 lata od początku 2004 roku w porównaniu z polityką neutralną (bez zmian instrumentów): 1. na bardziej ekspansywną: realna stopa procentowa jest o 1 punkt procentowy niższa, a deficyt budżetowy w relacji do PKB o 1 punkt procentowy wyższy w stosunku do wartości historycznych; 2. na bardziej restrykcyjną: realna stopa procentowa o 1 punkt procentowy wyższa, a deficyt budżetowy o 1 punkt procentowy niższy.

Okresowe zastosowanie bardziej ekspansywnej polityki spowodowałoby wzrost dynamiki PKB, ale także nasilenie inflacji w porównaniu do wariantu neutralnego, odwrotnie niż w przypadku przejścia na politykę bardziej restrykcyjną od faktycznie stosowanej w przeszłości. Po pewnym czasie następuje wygaszenie

skutków zmiany policy mix; obserwujemy zbieżność wykresów PKB i inflacji dla alternatywnych wariantów polityk i polityki neutralnej, przy czym trochę wolniej przebiega ten proces w przypadku inflacji.

Rysunek 1. Alternatywne do historycznej policy mix. Model (wariant 3)



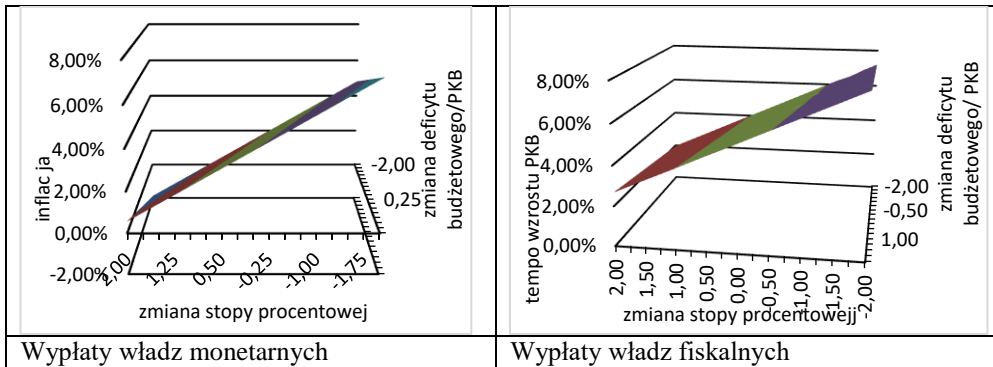
Źródło: opracowanie własne

ANALIZA GRY MONETARNO-FISKALNEJ

Oszacowane równania modelu NSN-GMF zostały zaimplementowane w formie algorytmu obliczeniowego. Algorytm ten jest częścią zbudowanego systemu komputerowego wykorzystanego do przeprowadzenia symulacji i analizy wyników gry w interakcyjny sposób. W wybranym okresie (od początku 2004 roku) wprowadza się impuls w postaci zmiany nastawienia policy mix trwający osiem kwartałów. Wyniki gry obliczane są dla zmian względnego deficytu i stopy podatkowej w dopuszczalnym przedziale [+2,-2] punkty procentowe w stosunku do wartości historycznych.

Miernikami efektów zmian policy mix są: wzrost PKB i inflacja po upływie 8 kwartałów począwszy od zmiany instrumentów. Rysunek 2 przedstawia wypłaty: władz fiskalnych i monetarnych w zależności od instrumentów. Inflacja jest na niskim poziomie, gdy stosowana jest kombinacja obu restrykcyjnych polityk. Wzrost ekspansywności polityki fiskalnej i monetarnej prowadzi do wzrostu inflacji z jednej strony i do przyspieszenia wzrostu gospodarczego z drugiej.

Rysunek 2. Wypląty władz monetarnych i fiskalnych. Model (wariant 3)



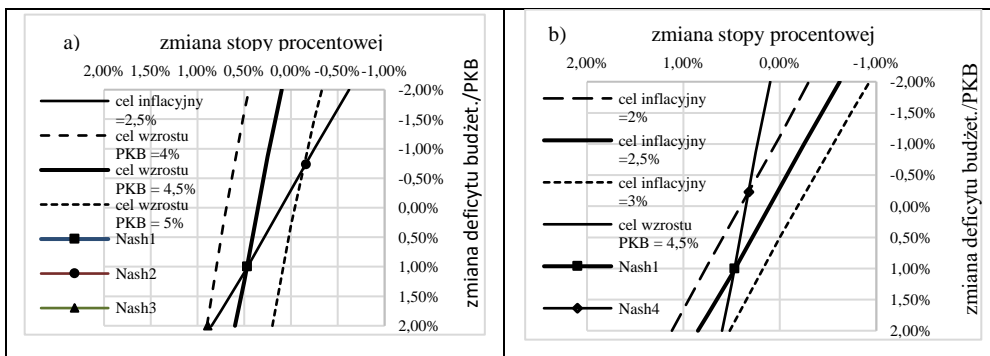
Źródło: opracowanie własne

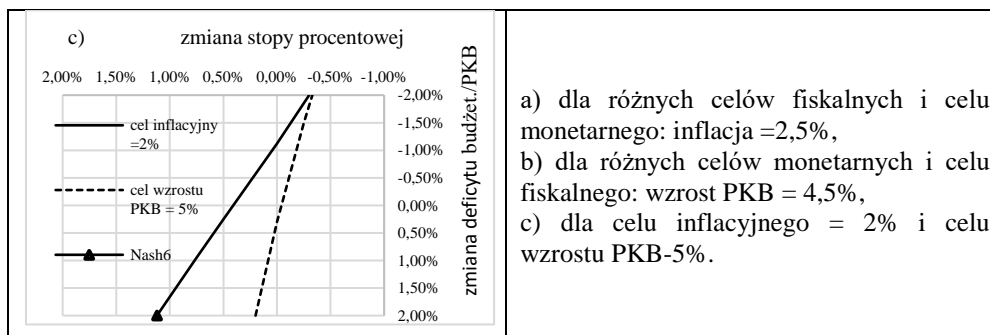
Przyjmijmy, że władze fiskalne i monetarne zakładają osiągnięcie określonych celów. Władze fiskalne próbują osiągnąć wzrost PKB na poziomie y^s , a władze monetarne zakładają osiągnięcie celu inflacyjnego p^s . Niech Ω oznacza zbiór dopuszczalnych par strategii (b, r) . Optymalne strategie graczy w grze niekooperacyjnej (strategie najlepszych odpowiedzi) mogą być wyznaczone jako rozwiązania następujących problemów optymalizacji:

Min $|h^2(b, r) - p^s|$ ze względu na $r \in \Omega^2$, rozwiązywanego dla wszystkich $b \in \Omega^1$, w przypadku władz monetarnych, oraz problemu:

Min $|h^1(b, r) - y^s|$ ze względu na $b \in \Omega^1$, rozwiązywanego dla wszystkich $r \in \Omega^2$, w przypadku władz fiskalnych.

Rysunek 3. Strategie najlepszych odpowiedzi. Model (wariant 3)





Źródło: opracowanie własne

Przykłady strategii najlepszych odpowiedzi są przedstawione na rysunku 3. Zauważmy, że bardziej ekspansywna polityka fiskalna prowadzi do bardziej restrykcyjnej polityki banku centralnego, który stara się ograniczyć wzrost inflacji przewyższający założony cel inflacyjny. Przy wyższym deficycie budżetowym zakładana inflacja może być utrzymana przy odpowiednio wyższych stopach procentowych. Analogicznie, w odpowiedzi na bardziej restrykcyjną politykę fiskalną bank centralny stosuje mniej restrykcyjną politykę monetarną z niższymi stopami procentowymi. Równowagi Nasha (np. Nash 1, 2, 4) znajdujące się w punktach przecięcia strategii najlepszych odpowiedzi w obszarze dopuszczalnych zmian instrumentów, są jednocześnie Pareto optymalne. Zauważmy, że mogą również wystąpić przypadki, gdy równowagi Nasha nie są Pareto optymalne. Rysunek 3c przedstawia przykład nadmiernie ambitnych w danej sytuacji gospodarczej, celów władz monetarnych i fiskalnych: inflacja = 2%, wzrost PKB = 5%. W tym przypadku punkt równowagi Nasha istnieje dla kombinacji skrajnie ekspansywnej polityki fiskalnej i odpowiadającej jej restrykcyjnej polityki monetarnej w obszarze dopuszczalnym. Nie jest to rozwiązanie Pareto optymalne, dlatego wskazana jest wtedy koordynacja polityk.

PODSUMOWANIE

Praca przedstawia wybrane wyniki badań dotyczących analizy interakcji polityk fiskalnej i monetarnej z wykorzystaniem teorii gier i optymalizacji wielokryterialnej. W ramach tych badań zbudowano dynamiczny model makroekonomiczny NNS-GMF oszacowany dla warunków gospodarki Polski. Sformułowano niekooperacyjną grę monetarno-fiskalną, w której wypłaty graczy, odpowiednio władz fiskalnych i monetarnych wyznaczone są z wykorzystaniem tego modelu. Opracowano system komputerowy pozwalający na wyznaczanie wypłat gry w przeprowadzanych symulacjach oraz na obliczenia optymalizacyjne.

Analiza gry dotyczyła: wyboru strategii najlepszych odpowiedzi, zbadania równowag Nasha i ich Pareto optymalności. Sformułowano w tym celu i rozwiązywano odpowiednie zadania optymalizacji. Przenalizowano wyniki dla

różnych celów władz monetarnych i fiskalnych: inflacji i wzrostu PKB. W szczególności zbadano policy mix alternatywne do realizowanych w przeszłości. Wskazano na różne możliwe sytuacje strategiczne: pierwszą, gdy wybór policy mix utożsamiany z równowagą Nasha oznacza rozwiązanie Pareto optymalne, oraz drugą, gdy równowaga Nasha prowadzi do nieefektywnych decyzji. Zależy to od uwarunkowań makroekonomicznych oraz celów ustanowionych przez władze monetarne i fiskalne. Wykorzystując powyższy system komputerowy można określić dla jakich celów władz monetarnych i fiskalnych zachodzą te dwie jakościowo różne sytuacje strategiczne. W szczególności można pokazać, kiedy nadmiernie ambitne cele władz monetarnych i fiskalnych prowadzą do nieefektywnych równowag Nasha, gdy wskazana jest koordynacja polityk.

BIBLIOGRAFIA

- Bennett H., Loayza N. (2000) Policy Biases when the Monetary and Fiscal Authorities have Different Objectives. Central Bank of Chile Working Papers, 66.
- Blinder A. S. (1983) Issues in the Coordination of Monetary and Fiscal Policy [w:] Monetary Policy in the 1980s, Federal Reserve Bank of Kansas City, 3-34.
- Darnault N., Kutos P. (2005) Poland's policy mix: fiscal or monetary leadership? ECFIN Country Focus, 2(1), 1-6.
- Dixit A., Lambertini L. (2001) Monetary-Fiscal Policy Interactions and Commitment versus Discretion in a Monetary Union. European Economic Review, 45, 977-987.
- Gali J. (2009) The New Keynesian Approach to Monetary Policy Analysis: Lessons and New Directions. <http://www.crei.cat/people/gali/jg09cfs.pdf>
- Jakóbiak W. (2013) Koordynacja polityki pieniężnej i fiskalnej. Prace i Materiały Instytutu Rozwoju Gospodarczego Szkoły Głównej Handlowej, 92, 73-88.
- Kruś L., Woroniecka-Leciejewicz I. (2015a) Fiscal-Monetary Game Analyzed with Use of a Dynamic Macroeconomic Model. [w:] B. Kamiński et al. (Eds.) GDN 2015, Springer LNBIP, 218, 199-208.
- Kruś L., Woroniecka-Leciejewicz I. (2015b) Analiza policy mix z wykorzystaniem metod teorii gier i optymalizacji wielokryterialnej na podstawie modelu nowej syntezy neoklasycznej dla warunków Polski. RB/42/2015, IBS PAN, Warszawa.
- Lambertini L., Rovelli R. (2003) Monetary and fiscal policy coordination and macroeconomic stabilization. A theoretic analysis. Bolonia.
- Libich J., Nguyen D., Stehlik P. (2014) Monetary Exit and Fiscal Spillovers. MPRA, 1-32.
- Marszałek P. (2009) Koordynacja polityki pieniężnej i fiskalnej jako przesłanka stabilności poziomu cen. PWN, Warszawa.
- Nash, J. F. (1951) Non-cooperative Games. Annals of Mathematics, 54 (2), 286-295.
- Nordhaus W. D. (1994) Policy Games: Coordination and Independence in Monetary and Fiscal Policies, Brookings Papers on Economic Activity, 2, 139-215.
- Stawska J. (2014) Wpływ policy-mix na wzrost gospodarczy i poziom bezrobocia w Polsce, *Finanse. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego*, 804, Rynki Finansowe, Ubezpieczenia 67, 667-677.

- Wojtyna A. (1996) Niezależność banku centralnego a teoretyczne i praktyczne aspekty koordynacji polityki pieniężnej i fiskalnej. *Bank i Kredyt*, 6.
- Woroniecka-Leciejewicz I. (2015) Equilibrium strategies in a fiscal-monetary game. A simulation analysis. *Operations Research & Decisions*, 25 (2), 75-100.
- Woroniecka-Leciejewicz I. (2010) Decision interactions of monetary and fiscal authorities in the choice of policy mix. *Journal of Organizational Transformation and Social Change*: 7 (2), 189-210.

ANALYSIS OF THE MONETARY-FISCAL GAME IN THE CASE OF POLAND

Abstract: Analysis of the policy mix is presented using a noncooperative game and a macroeconomic model formulated on the basis of the New Neoclassical Synthesis concept. The game describes interactions of the fiscal and monetary authorities. The model has been estimated for the Poland in 2000–2014. Simulations have been made using the model and the constructed computer based system calculating payoffs of the game. The fiscal and monetary policies alternative to the historical ones are shown and analyzed. The best response strategies and the Nash equilibria are derived and discussed.

Keywords: fiscal monetary game, macroeconomic modeling, Nash equilibrium, Pareto optimality

ROLNICTWO EKOLOGICZNE – ROZWÓJ W WYBRANYCH KRAJACH UNII EUROPEJSKIEJ

Lidia Luty

Katedra Statystyki i Ekonometrii, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
e-mail: rrdutka@cyf-kr.edu.pl

Streszczenie: W ostatnich latach zarówno na świecie jak i w Europie obserwujemy dynamiczny rozwój rolnictwa ekologicznego. Przyczyniły się do tego wprowadzone już na początku lat 90. ubiegłego wieku precyzyjne uregulowania prawne. W Polsce jak i w wielu innych krajach, integracja z Unią Europejską (UE) stworzyła większe możliwości finansowego wspierania tego rolnictwa. Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie dynamiki wybranych charakterystyk rolnictwa ekologicznego w latach 2005-2014 w krajach, które wraz z Polską w 2004 roku wstąpiły do UE. Analizy prowadzono na podstawie danych pochodzących z raportów The World of Organic Agriculture. Badania wykazały, że rozwój rolnictwa ekologicznego w badanych krajach jest zróżnicowany. Zmiany w analizowanych procesach miały charakter ciągły, co pozwoliło określić tendencje rozwojowe i dokonać ich ekstrapolacji.

Słowa kluczowe: rolnictwo ekologiczne, miary dynamiki, model tendencji rozwojowej, zróżnicowanie regionalne

WSTĘP

Rolnictwo ekologiczne, jako system gospodarowania wykorzystujący naturalne procesy zachodzące w gospodarstwie rolnym wpisuje się w model ekorozwoju, który jak pisze Kozłowski [2002] polega na optymalnym wykorzystaniu zasobów i walorów środowiska przyrodniczego, ale zgodnie z zasadami jego naturalnego funkcjonowania. Odgrywa ono także szczególną rolę w urzeczywistnianiu idei rozwoju zrównoważonego ze względu na funkcję, jaką pełni w zarządzaniu zasobami przyrody [Golinowska 2013].

Rolnictwo ekologiczne, mimo że jako forma produkcji rolniczej pojawiło się w latach dwudziestych minionego wieku, okres swojego dynamicznego

rozwoju zarówno na świecie jak i w Europie zanotowano w ostatnich kilkunastu latach. W roku 2005 światowa powierzchnia gruntów wykorzystywanych przez rolnictwo ekologiczne kształtowała się na poziomie 29 mln ha, w roku 2014 wynosiła już 43,7 mln ha¹. Największy udział w strukturze ekologicznych użytków na świecie miała Australia i Oceania (39,7%), a po niej Europa (26,6%). Największa ilość producentów ekologicznych zlokalizowanych jest na kontynencie europejskim. Najmniej rozwinięte, w porównaniu do innych kontynentów, jest rolnictwo ekologiczne w Afryce.

Świat upatruje w rolnictwie ekologicznym jedną z wielu alternatyw produkcyjnych dla rolnictwa [Runowski 2009]. Jak pisze Komorowska [2014] wpływ na rozwój produkcji rolniczej wytwarzanej metodami ekologicznymi ma wzrost popytu na produkty ekologiczne. Wynika to z rosnących oczekiwań konsumentów w zakresie jakości i walorów prozdrowotnych żywności.

W Unii Europejskiej obowiązują przepisy w zakresie rolnictwa ekologicznego oraz instrumenty finansowe stymulujące rozwój tego rolnictwa i rynku jego produktów. Przesłanką wsparcia rolnictwa ekologicznego w UE było stymulowanie działań ukierunkowanych na rozwój rolnictwa zrównoważonego w celu zapewnienia bezpieczeństwa żywności i bezpieczeństwa środowiskowego [Dembek i in. 2004]. Poszczególne kraje realizują zróżnicowane strategie rozwoju w zakresie rolnictwa ekologicznego. W wielu państwach, na co wskazuje Brodzińska [2014] głównym determinantem rozwoju rolnictwa ekologicznego jest poziom wsparcia finansowego, tym samym jego zmiany mogą w znaczący sposób wpływać na jego rozwój. W UE ostatnie zmiany w tym zakresie wynikają z rozporządzeń Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) z grudnia 2013 r. w sprawie wsparcia rozwoju obszarów wiejskich przez Europejski Fundusz Rolny na rzecz Rozwoju Obszarów Wiejskich.

Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie tempa rozwoju wybranych charakterystyk rolnictwa ekologicznego w latach 2005-2014 w krajach, których akcesja do UE była w 2004 roku (UE-10). Ponadto, wykorzystując metodę ekstrapolacji modeli tendencji rozwojowych wyznaczono prognozy wybranych zjawisk.

MATERIAŁ I METODA ANALIZY

Analizę obejmującą lata 2005-2014 prowadzono w oparciu o dane wtórne dostępne z raportów The World of Organic Agriculture.

Badanie obejmuje:

- ocenę intensywności zmian zjawiska poprzez zastosowanie miar przyrostów

$$\Delta y_{t/t-c} = y_t - y_{t-c}, \text{ indeksów: } i_{t/t-c} = \frac{y_t}{y_{t-c}}$$

¹ <http://www.organic-world.net> [dostęp 05.09.2016].

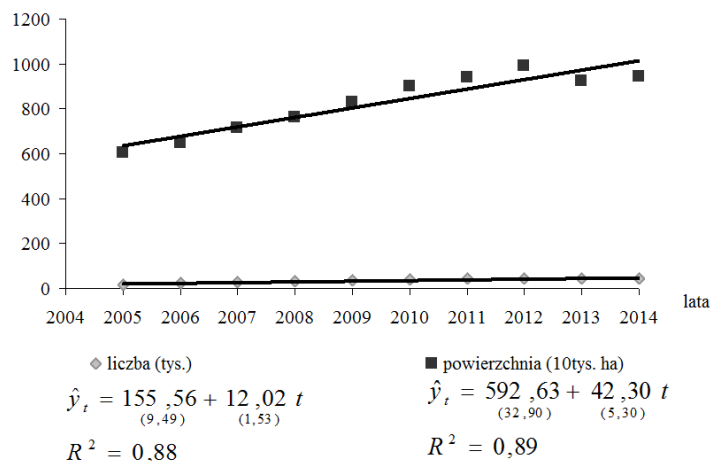
gdzie: y_1, y_2, \dots, y_n - realizacje zmiennej obserwowanej w czasie t ($t=1, 2, \dots, n$), stała c ($c \in N$),

- ustalenie kierunku i szybkości zmian – wyznaczenie modeli tendencji rozwojowej postaci: $y_t = \alpha_0 + \alpha_1 t + \xi_t$, gdzie: y_t - realizacje zmiennej obserwowanej w czasie t ($t=1, 2, \dots, n$), ξ_t - składnik losowy;
- ekstrapolację trendów - wskazanie przewidywanych wartości opisywanego zjawiska z podaniem błędów (ex ante) wyznaczonych prognoz.

WYNIKI BADAŃ

W latach 2005-2014 w krajach UE zarówno liczba, jak i powierzchnia gospodarstw ekologicznych wykazywała na ogół ciągły wzrost o czym świadczą dopasowane modele tendencji rozwojowej (rysunek 1). Powierzchnia gospodarstw ekologicznych, w tych latach wzrosła średnio z roku na rok o 423 tys. ha, a ich liczba o 12 tys. Jedyny spadek tych charakterystyk odnotowano w 2013 roku w porównaniu do roku 2012, był on na poziomie 5%. Wynikało to zapewne z wcześniej prowadzonych konsultacji, a konsekwencji istotnych zmian unijnej polityce rolnej na lata 2014-2020 [Mickiewicz i in. 2015].

Rysunek 1. Liczba, powierzchnia gospodarstw ekologicznych w UE w latach 2005-2014 z wyznaczonymi trendami ($t=1, 2, \dots, 10$)

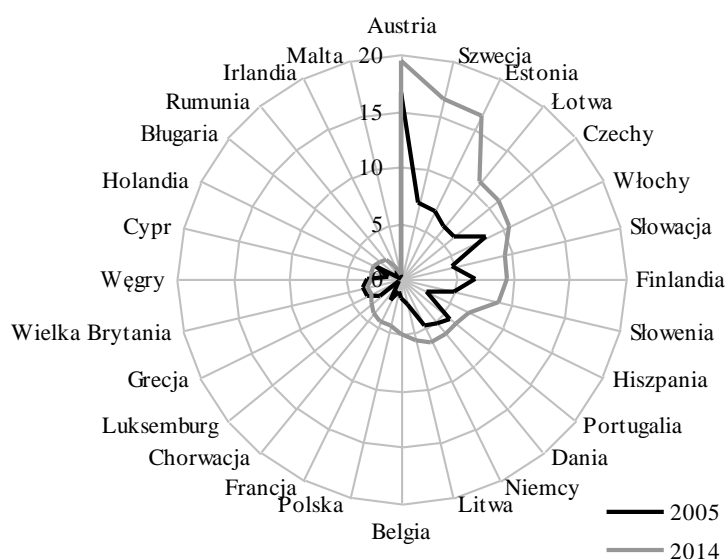


Źródło: opracowanie własne

Udział powierzchni gospodarstw ekologicznych w powierzchni gospodarstw rolnych w prawie wszystkich państwach UE na przestrzeni lat 2005-2014 wzrósł (spadł jedynie w: Wielkiej Brytanii, Grecji, na Węgrzech) i charakteryzuje się

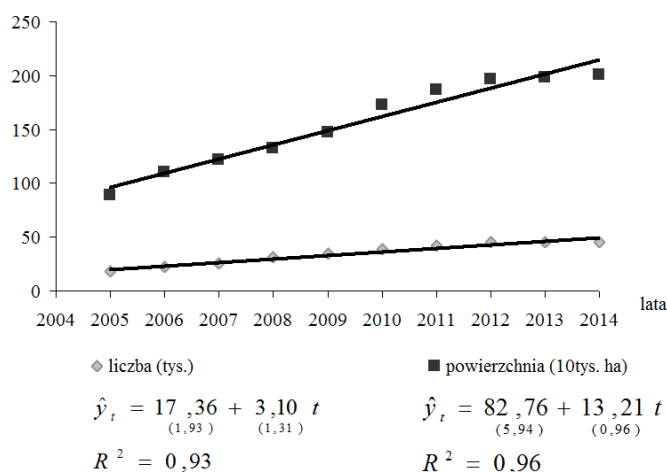
dużym zróżnicowaniem (rysunek 2). W analizowanym okresie nastąpiły nieznaczne zmiany w rankingu krajów UE według tego wskaźnika. W czołówce, w tym rankingu w roku 2014 znalazły się: Austria, Szwecja, Estonia z udziałem ponad 15%. W Polsce udział ten był i jest wciąż na niskim poziomie. W roku 2005 wynosił zaledwie 1,1%. Systematycznie w kolejnych latach rósł i w 2014 wynosił 4,3%.

Rysunek 2. Udział powierzchni gospodarstw ekologicznych krajów UE w powierzchni gospodarstw rolnych w roku 2005 i 2014



Źródło: opracowanie własne

W roku 2005 we wszystkich krajach UE-10 było 17,7 tys. gospodarstw ekologicznych, a ich łączna powierzchnia wynosiła 887,2tys. Z roku na rok wielkości te systematycznie wzrastały i w roku 2014 były ponad dwukrotnie większe (rysunek 3). I tak, w rok po akcesji Polski do UE co dziesiąte gospodarstwo ekologiczne UE zlokalizowane było w jednym z państw UE-10, a udział ich powierzchni w powierzchni gospodarstw ekologicznych w całej UE wynosił 14,75%. Z roku na rok systematycznie wskaźniki te rosły (wyjątek rok 2013, gdy liczba gospodarstw spadała o 6%) i osiągnęły w roku 2014 wartość odpowiednio: 17,1% i 21,1%.

Rysunek 3. Liczba i powierzchnia gospodarstw ekologicznych w krajach UE-10 w latach 2005-2014 z wyznaczonymi trendami ($t = 1, 2, \dots, 10$)

Źródło: opracowanie własne

Wykorzystując dopasowane modele tendencji rozwojowych (rysunek 1, 3) z dużą dokładnością (o czym świadczą oszacowane błędy prognoz) możemy wnioskować, że w 2016 roku liczba gospodarstw ekologicznych w UE przekroczy 300tys. (z tego ponad 55tys. w UE-10), a ich powierzchnia będzie wynosiła ponad 11mln ha (z tego ponad 241tys. w UE-10) (tabela 1).

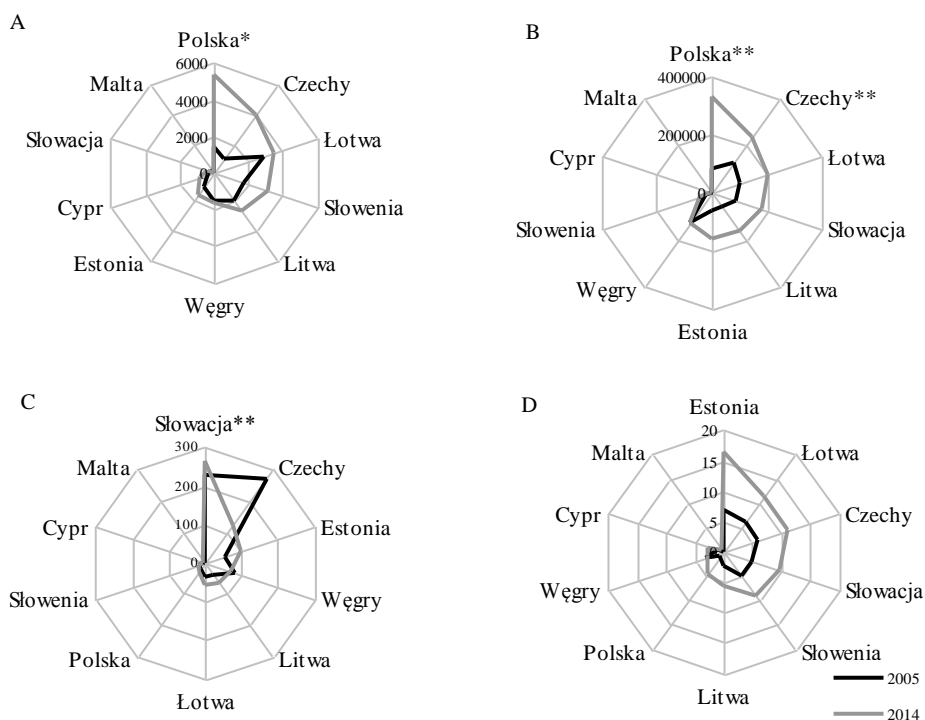
Tabela 1. Prognozy liczby (tys.), powierzchni (10 tys. ha) gospodarstw ekologicznych UE-10, UE i ich błędy (ex ante)

Rok		Liczba		Powierzchnia	
		UE-10	UE	UE-10	UE
2015	Liczba	51	288	228,11	1057,92
	Błąd średni	3,43	16,82	10,53	58,32
	Błąd względny [%]	6,67	5,85	4,61	5,51
2016	Liczba	55	300	241,32	1100,21
	Błąd średni	3,59	17,63	11,03	61,14
	Błąd względny [%]	6,59	5,88	4,57	5,56

Źródło: opracowanie własne

W latach 2005 – 2014 tempo zmian liczby, powierzchni, średniej powierzchni oraz udział powierzchni w powierzchni gospodarstw ogółem gospodarstw ekologicznych w krajach UE-10 kształtowało się na różnym poziomie (rysunek 4, tabela 2).

Rysunek 4. Liczba (A), powierzchnia w ha (B), średnia powierzchnia w ha (C), udział powierzchni w powierzchni gospodarstw rolnych ogółem (D) gospodarstw ekologicznych państw UE-10



*wartość należy zwiększyć pięciokrotnie; **wartość należy zwiększyć dwukrotnie;

Źródło: opracowanie własne

Najwięcej gospodarstw ekologicznych spośród krajów UE-10 w badanych latach było w Polsce, ich przyrost na przestrzeni tych lat był największy (o 498193ha). Z kolei najmniej gospodarstw ekologicznych w badanych latach było w takich krajach jak: Malta, Cypr i Słowacja.

Największą powierzchnię zagospodarowywaną metodami ekologicznymi w 2005 roku miały Czechy (255 tys. ha), gdy w Polsce 160 tys. ha. W dziesięć lat po akcesji do UE w Polsce powierzchnia gospodarstw zwiększyła się czterokrotnie, a w Czechach tylko o 85%. W roku 2014 w stosunku do roku 2005 w dziewięciu krajach UE-10 zwiększyła się o co najmniej 75%. Jedynie na Węgrzech odnotowano spadek powierzchni gospodarstw ekologicznych (o 3%).

W 2014 roku średnia powierzchnia gospodarstwa ekologicznego zarówno w UE-10 jak i UE była największa na Słowacji, wynosiła 525 ha, gdy w Polsce kształtowała się na poziomie 22 ha. W obu tych krajach, wzrosty względne tych średnich w porównaniu do roku 2005 były na tym samym poziomie. Znacząco (o 55%)

w badanych latach spadła średnia powierzchnia gospodarstw ekologicznych w Czechach, która i tak plasowała ten kraj pod względem tego wskaźnika na drugim miejscu w UE-10.

Tabela 2. Przyrosty ($\Delta y := \Delta y_{2014/2005}$) i indeksy ($i := i_{2014/2005}$): liczby, powierzchni (ha) i średniej powierzchni (ha) gospodarstw ekologicznych w krajach UE-10

Kraj	Liczba		Powierzchnia		Średnia powierzchnia		Udział	
	Δy	i	Δy	i	Δy	i	Δy	i
Cypr	441	2,45	2189	2,29	-0,36	0,94	1,54	2,38
Czechy	2956	4,10	217681	1,85	-146,39	0,45	5,14	1,86
Estonia	540	1,53	95818	2,60	41,19	1,70	9,47	2,40
Litwa	759	1,42	99846	2,55	28,32	1,79	3,36	2,45
Łotwa	617	1,21	99208	1,95	22,01	1,61	5,09	1,83
Malta	3	1,50	20	2,40	1,40	1,60	0,19	2,38
Polska	19317	3,65	498193	4,12	2,80	1,13	3,17	3,93
Słowacja	147	1,75	90101	2,00	65,44	1,14	4,71	1,98
Słowenia	1327	1,77	17738	1,75	-0,14	0,99	4,09	1,84
Węgry	129	1,08	-3735	0,97	-8,57	0,90	-0,35	0,88

Źródło: opracowanie własne

Udział powierzchni zagospodarowywanej metodami ekologicznymi w powierzchni gospodarstw rolnych ogółem w latach 2005-2014 w prawie wszystkich krajach UE-10 zwiększył się. Spadł tylko na Węgrzech, z 3% w 2005 roku do 2,7 w 2014. Największy przyrost tego wskaźnika zanotowano w Estonii, a najniższy na Malcie.

Tabela 3. Indeksy ($i_{t/t-1}$) w latach 2005-2014 ($t=1, 2, \dots, 10$) liczby gospodarstw ekologicznych w krajach UE-10

Kraj	$i_{2/1}$	$i_{3/2}$	$i_{4/3}$	$i_{5/4}$	$i_{6/5}$	$i_{7/6}$	$i_{8/7}$	$i_{9/8}$	$i_{10/9}$
Cypr	1,00	1,00	1,00	2,57	1,00	1,00	1,05	0,88	1,04
Czechy	1,18	1,41	1,43	1,47	1,30	1,02	1,02	0,86	1,00
Estonia	1,17	1,05	1,04	1,03	1,09	1,08	0,99	0,96	1,05
Litwa	1,30	1,00	1,21	0,96	1,00	1,00	0,96	0,96	1,02
Łotwa	1,44	1,00	1,03	0,95	0,90	0,98	1,01	0,98	1,00
Malta	2,50	2,80	1,00	0,31	1,08	0,79	1,64	0,67	0,75
Polska	1,28	1,29	1,27	1,14	1,20	1,14	1,11	0,98	1,03
Słowacja	1,58	1,06	1,30	1,08	1,00	0,99	1,00	0,80	0,95
Słowenia	1,20	1,00	1,04	1,02	1,07	1,08	1,14	0,94	1,14
Węgry	1,00	1,16	1,25	0,96	0,95	0,95	1,12	0,71	1,08

Źródło: opracowanie własne

Zmiany liczby oraz powierzchni gospodarstw ekologicznych w krajach UE-10 w kolejnych latach po akcesji do UE charakteryzowało zróżnicowane tempo (tabela 3, 4). Większe przyrosty tych charakterystyk miały miejsce w pierwszych latach po akcesji. Kierunek tych zmian wykazywał na ogół tendencję wzrostową. Wyjątek stanowi rok 2013, kiedy to we wszystkich krajach w stosunku do 2012 nastąpił spadek liczby gospodarstw ekologicznych, przy nie zmniejszającej się ich powierzchni. Spadła jedynie powierzchnia gospodarstw ekologicznych na Łotwie i na Słowacji. Z kolei w kolejnym roku, w obu tych krajach odnotowano wzrost tej wielkości.

Tabela 4. Indeksy ($i_{t/t-1}$) w latach 2005-2014 ($t = 1, 2, \dots, 10$) powierzchni gospodarstw ekologicznych w krajach UE-10

Kraj	$i_{2/1}$	$i_{3/2}$	$i_{4/3}$	$i_{5/4}$	$i_{6/5}$	$i_{7/6}$	$i_{8/7}$	$i_{9/8}$	$i_{10/9}$
Cypr	1,17	1,17	1,00	1,54	1,00	1,00	1,10	1,10	0,90
Czechy	1,10	1,11	1,09	1,17	1,12	1,03	1,02	1,01	1,00
Estonia	1,22	1,09	1,10	1,09	1,19	1,18	1,08	1,05	1,03
Litwa	1,50	1,25	1,01	1,06	1,11	1,06	1,03	1,06	0,99
Łotwa	1,44	1,00	1,07	0,99	1,04	1,11	1,06	0,95	1,10
Malta	1,43	0,60	1,00	2,19	0,91	0,95	1,62	1,00	0,91
Polska	1,43	1,25	1,10	1,17	1,42	1,17	1,09	1,01	0,98
Słowacja	1,33	0,98	1,19	1,03	1,20	0,96	1,00	0,95	1,14
Słowenia	1,14	1,09	1,02	0,98	1,04	1,05	1,09	1,10	1,07
Węgry	0,95	1,00	1,00	1,14	0,91	0,97	1,05	1,00	0,95

Źródło: opracowanie własne

Na podstawie dopasowanych trendów (tabela 5) wnioskujemy, że największe średnioroczne wzrastały powierzchnie gospodarstw ekologicznych w Polsce, Czechach, Estonii, Litwie, Słowacji i Łotwie. Możemy prognozować, że w najbliższych latach w prawie wszystkich państwach UE-10 powierzchnia gospodarstw ekologicznych będzie wzrastała.

Tabela 5. Trendy powierzchni (tys. ha) gospodarstw ekologicznych w krajach UE-10² oszacowane na podstawie danych z lat 2005-2014 ($t = 1, 2, \dots, 10$) z prognozami na 2016 rok

Kraj	Trend	Prognoza [względny błąd]
Cypr	$\hat{y}_t = 1,52 + 0,29t$, $R^2 = 0,88$ (0,24) (0,04)	5,00 [8,75%]
Czechy	$\hat{y}_t = 241,59 + 27,23t$, $R^2 = 0,92$ (18,11) (2,92)	568,38 [5,92%]
Estonia	$\hat{y}_t = 46,21 + 11,46t$, $R^2 = 0,98$ (3,74) (0,60)	183,70 [3,78%]
Litwa	$\hat{y}_t = 75,96 + 10,11t$, $R^2 = 0,90$ (7,43) (1,20)	197,29 [7,00%]
Łotwa	$\hat{y}_t = 118,10 + 8,74t$, $R^2 = 0,86$ (7,86) (1,27)	223,00 [6,55%]
Malta*	$\hat{y}_t = 8,85 + 2,73t$, $R^2 = 0,73$ (3,62) (0,58)	41,60 [16,19%]
Polska	$\hat{y}_t = 97,62 + 63,63t$, $R^2 = 0,95$ (33,21) (5,35)	861,14 [7,17%]
Słowacja	$\hat{y}_t = 98,62 + 8,63t$, $R^2 = 0,81$ (9,12) (1,47)	202,17 [8,39%]
Słowenia	$\hat{y}_t = 22,35 + 1,69t$, $R^2 = 0,92$ (1,10) (0,18)	42,69 [4,79%]

* trend oszacowano dla danych w ha.

Źródło: opracowanie własne

WNIOSKI

W pierwszych latach po akcesji do UE w krajach UE-10 obserwujemy dynamiczny rozwój rolnictwa ekologicznego. Niewątpliwie istotnym czynnikiem wpływającym na ten fakt jest realizacja wspólnej polityki rolnej, która uwzględnia objęcie rolników ekologicznych określonym systemem dopłat. Zmiany regulacji tych dopłat wpływają na tempo i kierunek rozwoju rolnictwa ekologicznego.

Przeprowadzone analizy umożliwiły wyciągnięcie następujących wniosków:

1. W całym badanym okresie we wszystkich analizowanych krajach wzrastała zarówno liczba, jak i powierzchnia gospodarstw ekologicznych.
2. Tempo rozwoju rolnictwa opartego na ekologicznych metodach wytwarzania było regionalnie zróżnicowane.
3. Najwyższy procentowy wzrost liczby gospodarstw ekologicznych w latach 2005-2014 nastąpił w Czechach, powierzchni – w Polsce, a średniej powierzchni – na Litwie. W prawie wszystkich państwach UE-10 (wyjątek –

² Nie wyznaczono trendu dla Węgier ze względu na niską wartość współczynnika determinacji.

Węgry) w badanych latach wzrósł udział powierzchni gospodarstw ekologicznych w powierzchni użytków rolnych ogółem. Wciąż jednak dla większości z nich nie przekracza 5%.

4. Zmiany powierzchni gospodarstw ekologicznych miały charakter ciągły, co pozwoliło określić tendencje tych zmian, a tym samym wyznaczyć prognozy.

BIBLIOGRAFIA

- Brodzińska K. (2014) Rolnictwo ekologiczne - tendencje i kierunki zmian. *Problemy Rolnictwa Światowego*, XXIV (3), 27-36.
- Dembek W., Dobrzyńska N., Liro A. (2004) Problemy zachowania różnorodności biologicznej na obszarach wiejskich w kontekście zmian wspólnej polityki rolnej. *Woda-Środowisko Obszary Wiejskie*, 11, 24-35.
- Golinowska M. (2013) Tendencje w rozwoju rolnictwa ekologicznego na świecie w latach 1999-2012. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 58 (3), 155-160.
- Komorowska D. (2014) Rozwój produkcji ekologicznej i rynku żywności ekologicznej na świecie. *Rocz. Nauk SERiA*, XVI (6), 254-261.
- Kozłowski S. (2002) *Ekorozwój. Wyzwanie XXI wieku*. PWN, Warszawa.
- Mickiewicz B., Prus P., Mickiewicz A. (2015) Analiza porównawcza instrumentów wsparcia WPR w ramach wieloletniej perspektywy finansowej 2014-2020 w stosunku do WPR 2007-2013. *Europa Regionum*, XXII, 211-226.
- Runowski H. (2009) Rolnictwo ekologiczne-rozwój czy regres? *Rocz. Nauk SERiA, Seria G*, 96 (4), 182-193.
- Willer H., Kichler L., *The World of Organic Agriculture – Statistics and Emerging Trends 2005-2015*. IFOAM, Bonn, FiBL, Frick.

ORGANIC FARMING – DEVELOPMENT OF SELECTED COUNTRIES OF THE EUROPEAN UNION

Abstract: We have observed in recent years dynamic development of organic farming both worldwide and in Europe. Contributed to this already in the early 1990s of the last century precise regulations. In Poland and in many other countries, integration with the European Union (EU) created greater opportunities for financial support of this type of agriculture. The aim of this paper is to present the dynamics of selected characteristics of organic farming in the years 2005-2014 in the countries, which along with Poland joined the EU in 2004. Analysis was carried out on the basis of the data from the reports of *The World of Organic Agriculture*. Studies showed that the development of organic farming in the countries is diverse. Changes in the analyzed processes were to be continuous, which allowed to determine the trends and make their extrapolation.

Keywords: organic farming, a measure of dynamics, model of development trend, regional diversity

ZRÓŻNICOWANIE ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII W KRAJACH GRUPY WYSZEHRADZKIEJ

Lidia Luty, Monika Ziolo

Katedra Statystyki i Ekonometrii, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
e-mail: mziolo@ar.krakow.pl

Streszczenie: Wyczerpywanie się zasobów konwencjonalnych źródeł energii spowodowało poszukiwania możliwości zwiększenia produkcji energii z odnawialnych źródeł. Celem artykułu jest zaprezentowanie zmian w strukturze odnawialnych źródeł energii wykorzystywanych w krajach Grupy Wyszehradzkiej. Na podstawie danych uzyskanych z Eurostatu przeprowadzono analizę zmian struktury pozyskiwania energii z wody, wiatru i biopaliw stałych na terenie Słowacji, Czech, Węgier i w Polsce w latach 2004-2014.

Słowa kluczowe: odnawialne źródła energii, Grupa Wyszehradzka, miernik dynamiki struktur

WSTĘP

Energia elektryczna ma obecnie szczególne znaczenie dla rozwoju społecznego i gospodarczego. Jeszcze kilkanaście lat temu uważano, że przez długie lata węgiel pozostanie naszym podstawowym paliwem, zapewniając bezpieczeństwo energetyczne oraz tanią energię elektryczną i ciepło. Odnawialne źródła energii, miały mieć znaczenie marginalne, a gaz ziemny stanowić miał uzupełnienie naszego bilansu energetycznego.

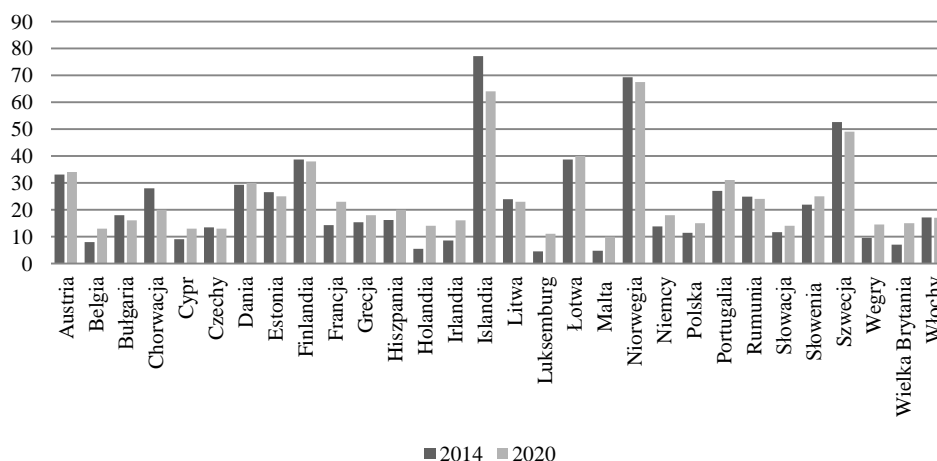
We wszystkich krajach Grupy Wyszehradzkiej, spada wartość energii pozyskanej z tradycyjnych zasobów – głównie paliw kopalnych (węgiel, ropy naftowej, gazu ziemnego). W Czechach w 2014 roku, było to prawie 30% w porównaniu z rokiem 2005, w Polsce 21% a na Węgrzech i Słowacji 9%. Rosnące wraz z rozwojem cywilizacyjnym zapotrzebowanie na energię, przy wyczerpywaniu się jej oraz towarzyszący ich zużyciu wzrost zanieczyszczenia środowiska naturalnego, powodują zwiększenie zainteresowania wykorzystaniem energii ze źródeł odnawialnych. Za zastosowaniem urządzeń wykorzystujących

odnawialne źródła energii przemawiają argumenty związane z ich opłacalnością ekonomiczną, efektywnością energetyczną, żywotnością, czy przyjaznością dla środowiska naturalnego.

Pierwsze uregulowania prawne odnoszące się do odnawialnych źródeł energii, wprowadzono już w 1997 roku w opublikowanym dokumencie Biała Księga Energia dla przyszłości – odnawialne źródła energii [Gostomczyk 2009]. Obserwując wyczerpywanie się źródeł konwencjonalnych oraz ich szkodliwość dla środowiska w dniu 23 kwietnia 2009 Parlament Europejski i Rada Europejska przyjęły dyrektywę (2009/28/WE) w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych [Markowski 2009]. W zapisach ustalono wspólne ramy dla promowania energii ze źródeł odnawialnych; obowiązkowe krajowe cele ogólne w odniesieniu do całkowitego udziału energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto i w odniesieniu do udziału energii ze źródeł odnawialnych w transporcie. Docelowy udział energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto w roku 2020 dla Polski wynosi 15% a dla całej Unii Europejskiej 20%.

W myśl zapisów dyrektywy energia ze źródeł odnawialnych oznacza energię pochodzącą z naturalnych powtarzających się procesów przyrodniczych, pozyskiwaną z odnawialnych niekopalnych źródeł energii (energię wody, wiatru, promieniowania słonecznego, geotermalną, fal, prądów i pływów morskich oraz energia wytwarzana z biopaliw stałych, biogazu i biopaliw ciekłych, a także energię otoczenia (środowiska naturalnego) wykorzystywaną przez pompy ciepła [Ginałski 2013].

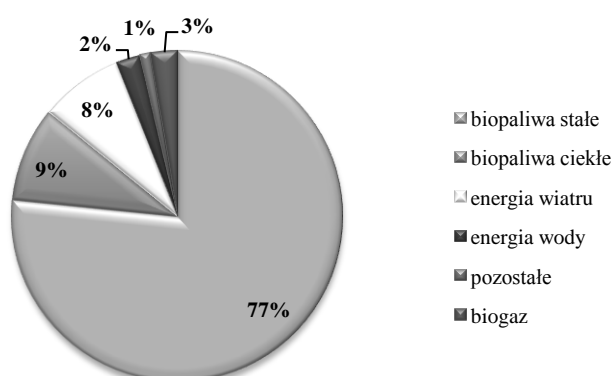
Rysunek 1. Udział energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto w krajach europejskich



Źródło: opracowanie własne

Spośród przedstawionych na rysunku 1 krajów Unii Europejskiej 11 krajów osiągnęło lub przekroczyło cel zapisany na 2020 rok, Chorwacja przekroczyła wyznaczony cel o 8% a Islandia o 13%. Na Islandii w 2014 roku, przeszło 77% energii pozyskiwano ze źródeł odnawialnych. W Polsce z kolei założenia do rozwoju energetyki odnawialnej zostały określone w dokumencie rządowym zatytułowanym: „Strategia rozwoju energetyki odnawialnej” (przyjętym przez Sejm w dniu 23 sierpnia 2001 roku) oraz w dokumentach: „Polityka energetyczna Polski do roku 2030” (przyjętym przez Radę Ministrów w dniu 10 listopada 2009 roku). W planie tym uwzględniono takie czynniki jak: krajowe zasoby poszczególnych odnawialnych źródeł energii i stan systemu elektroenergetycznego. Założono, że filarem zwiększenia udziału energii ze źródeł odnawialnych będzie energia elektryczna wiatru oraz biomasa (produkty z rolnictwa i leśnictwa, odpady z rolnictwa, leśnictwa i przemysłu produkcji żywności oraz nieprzetworzone odpady drzewne i korkowe) [Czubakowski 2009] a także energia wodna (rysunek 2). Marginalne znaczenie odgrywać miała energetyka słoneczna ale ona właśnie razem z energetyką wiatrową charakteryzują się największym rocznym przyrostem rzędu 20-25%.

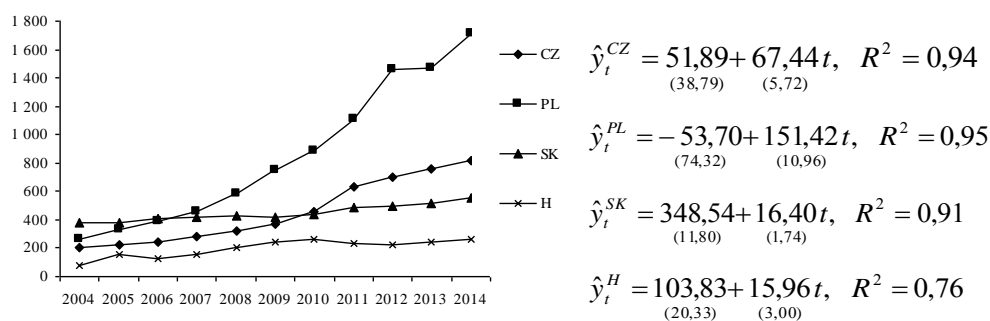
Rysunek 2. Udział poszczególnych nośników energii odnawialnej w pozyskaniu energii ze źródeł odnawialnych w Polsce w 2014 roku



Źródło: opracowanie własne na podstawie GUS

Podobne dokumenty przygotowały pozostałe kraje Unii Europejskiej dodając zapisy odnoszące się do udziału energii ze źródeł odnawialnych w całkowitym zużyciu energii. W Czechach udział energii pozyskiwanej z OZE, w porównaniu z 2004 rokiem wzrósł o 7,5% i był on najwyższy spośród prezentowanych krajów. Polska, Węgry i Słowacja zwiększyły tą wartość w 2014 roku o około 5%.

Rysunek 3. Przebieg zmian energii wytwarzanej ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto w krajach Grupy Wyszehradzkiej w latach 2004-2014 (w ktoe) z dopasowanymi modelami trendów liniowych ($t=1, 2, \dots, n$)



Źródło: obliczenia własne

W latach 2004-2014 z roku na rok wartość energii wytwarzanej ze źródeł odnawialnych rosła średnio w przypadku Polski o 151 tys. ktoe. Drugie pod względem tej wielkości były Czechy gdzie każdego roku wytwarzano o 67 tys. ktoe więcej, podobne ilości energii z OZE wytwarzano na Słowacji i Węgrzech i było to około 16 tys. ktoe wzrostu rocznie.

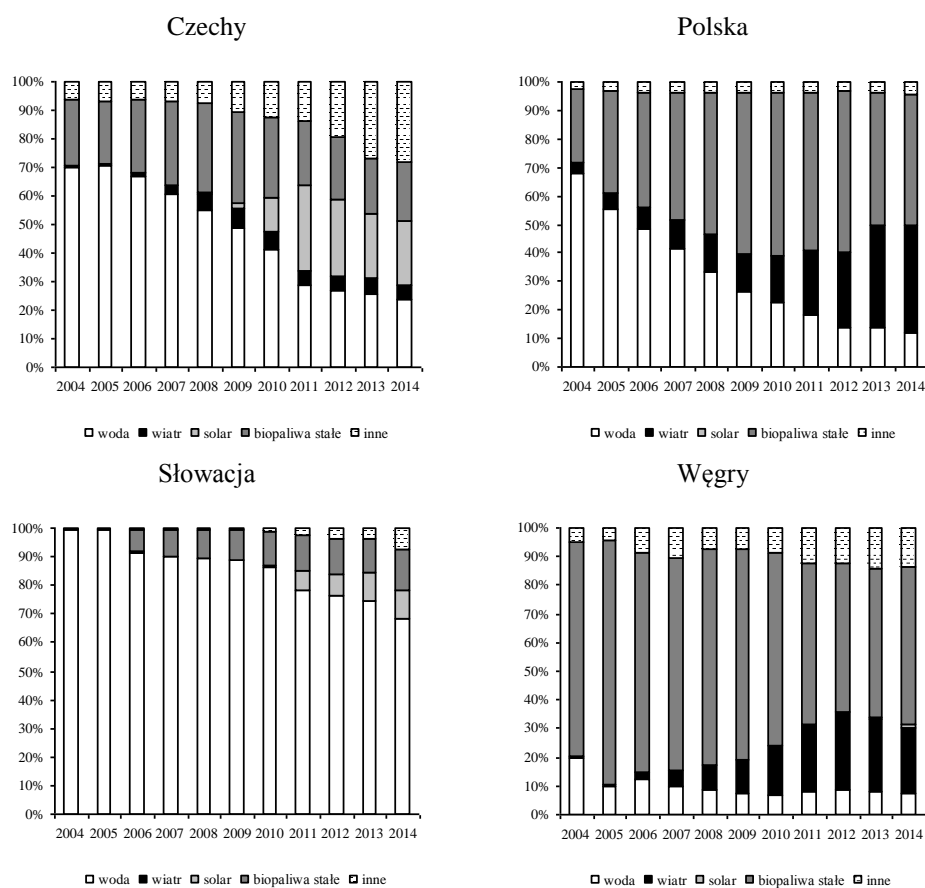
ZNACZENIE ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII

W celu zapewnienia możliwości wykonania przyjętych założeń Unia Europejska wprowadziła wiele mechanizmów, które mają na celu wspieranie rozwoju produkcji energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych na poziomie krajowym. Należą do nich: pomoc inwestycyjna, zwolnienia podatkowe, a także zwrot podatków oraz dotowanie ceny płaconej producentowi (dotacja do ceny hurtowej).

Można wskazać również wady pozyskiwania energii z tego typu źródeł obejmujące duże koszty inwestycyjne, cykliczność dzienną w przypadku energii słonecznej, hałas w przypadku energii pozyskiwanej z wiatru czy konieczność zalania dużych obszarów, związana z wykorzystaniem energii wody. Skutkiem czego są przesiedlenia ludzi i niszczenie naturalnych siedliska lądowych dla roślin i zwierząt. Konsekwencją tych działań są również lokalne zmiany klimatyczne. Wskazując pozytywny wpływ OZE na środowisko należy wymienić ochronę powietrza atmosferycznego i klimatu, co jest związana ze zmniejszeniem kosztów związanych z produkcją energii w elektrowniach konwencjonalnych, poprawę jakości życia mieszkańców, ograniczenie konsekwencji wzrostu cen energii i jej nośników dla odbiorców końcowych (zwłaszcza gospodarstw domowych i małych i średnich przedsiębiorstw), poprawę bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej i ciepła, w szczególności na terenach o słabo rozwiniętej infrastrukturze sieciowej

i w sytuacji rosnącego zużycia energii, wsparcie przeobrażeń gospodarczych na terenach wiejskich i unowocześnienie rolnictwa, rozwój infrastruktury energetycznej i kształtowanie postaw prosumenckich u mieszkańców, rozwój przedsiębiorstw związanych z sektorem energetyki odnawialnej (firm produkcyjnych i usługowych), wykorzystanie regionalnych zasobów OZE, związane z rozwojem lokalnego i regionalnego rynku oraz ze wzrostem przychodów mieszkańców i samorządów, a także powstaniem nowych, trwałych miejsc pracy związanych z produkcją i obsługą urządzeń.

Rysunek 4. Udział poszczególnych nośników energii odnawialnej w pozyskaniu energii ze źródeł odnawialnych w krajach Grupy Wyszehradzkiej w 2014 roku



Źródło: obliczenia własne

Należy jednak zauważyć, że niektóre z zasobów energii odnawialnej są bilansowo znaczące, ale też w większym zakresie już teraz wykorzystane, np. biomasa (w szczególności leśna) czy energetyka wodna. Więcej uwagi i środków należy poświęcić tym rodzajom zasobów i technologiom OZE, które stosunkowo

najszybciej rozwijać się będą w krajach UE w latach 2014-2020 [Delhaute 2016]. Chodzi tu przede wszystkim o energię wiatru, promieniowania słonecznego i biogazu.

Uwzględniając powyżej wymienione argumenty kraje europejskie, w tym również kraje Grupy Wyszehradzkiej, systematycznie zwiększają udział OZE, jak również dywersyfikują źródła pozyskiwania energii odnawialnej.

W analizowanej grupie propozycje zmian w czeskiej koncepcji energetycznej obejmują zwiększanie do roku 2030 produkcji energii elektrycznej ze źródeł jądrowych oraz spadek udziału węgla w wytwarzaniu energii do ok. 11-21%. Pomimo znaczących inwestycji w energię jądrową, Czechy poczyniły także istotne zmiany dywersyfikując źródła energii odnawialnej. Początkowo największe znaczenie odgrywały tam elektrownie wodne, w 2004 roku pozyskiwano z nich 70% energii. Po zmianach w 2014 roku zaobserwowano podobny udział, w granicach 20%, energii pozyskiwanej z wody, słońca i pozostałych źródeł (głównie biopaliwa płynne).

W przypadku Polski można zaobserwować spadek udziału energii pozyskiwanej z wody na rzecz biopaliw stałych. W przedstawianym czasie znacznie wzrosła zainteresowanie energią pozyskiwaną z wiatru, z 1 % w 2004 roku do 22% w roku 2014. Na Słowacji energia odnawialna pozyskiwana jest głównie z wody co w 2004 roku stanowiło 99%. Po wejściu Słowacji do Unii Europejskiej zaczęto pozyskiwać energię z biopaliw stałych i energii słonecznej osiągając odpowiednio poziom 14% i 9% w roku 2014. Biopaliwa stałe stanowiły 74% źródła energii odnawialnej w 2004 roku na Węgrzech. W 2014 roku ich odsetek zmniejszył się o 20%, rząd węgierski zaczął pozyskiwać energię z wiatru i pozostałych źródeł energii odnawialnej. W związku z wejściem krajów Grupy Wyszehradzkiej do Unii Europejskiej można było zaobserwować zwiększenie pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych. Jednak każdy z analizowanych krajów wybrał własne sposoby pozyskiwania energii wynikające z ukształtowania terenu i położenia geograficznego jak również przyjętego narodowego planu pozyskiwanie energii ze źródeł odnawialnych.

MATERIAŁ I METODA ANALIZY

Analizę obejmującą lata 2004-2014 prowadzono w oparciu o dane pozyskane z Głównego Urzędu Statystycznego, Eurostatu i Urzędów Statystycznych prezentowanych krajów. Rozważane szeregi czasowe opisują udział poszczególnych typów odnawialnych źródeł energii w całości wykorzystywanych OZE.

W celu określenia tempa zmian struktury odnawialnych źródeł energii utworzonej przez m składowych opisanej odpowiednio w okresie t oraz $t+\tau$ wektorami:

$$S_t = [\alpha_{1t} \quad \alpha_{2t} \quad \dots \quad \alpha_{mt}] \quad (1)$$

$$S_{t+\tau} = [\alpha_{1(t+\tau)} \quad \alpha_{2(t+\tau)} \quad \dots \quad \alpha_{m(t+\tau)}] \quad (2)$$

zastosowano miernik określony następująco [Kukuła 1989]:

$$v_{t,t+\tau} = \frac{\sum_{j=1}^m |\alpha_{j(t+\tau)} - \alpha_{jt}|}{2} \quad (3)$$

Wartości miernika zmian w wykorzystywanych źródłach energii odnawialnej określa stopień zmian struktury w okresie od $t+\tau$ do t . Miernik ten przybiera wartości z przedziału $\langle 0,1 \rangle$, przy czym większa jego wartość oznacza większe zmiany w strukturze.

Przeciętne wartości miernika wyznaczono zgodnie ze wzorem:

$$\bar{v} = \frac{\sum_{t=1}^n v_{t,t+1}}{n-1} \quad (4)$$

Stopień koncentracji zjawiska dla państw Grupy Wyszehradzkiej oszacowano wykorzystując miernik postaci [Kukuła 1989]:

$$K_i = \frac{(m + \sqrt{m}) \cdot W_i - \sqrt{m} - 1}{m - 1} \quad (5)$$

gdzie $W_i = \left(\sum_{j=1}^m a_{ij}^2 \right)^{1/2}$ oznacza współczynnik specjalizacji [Szyrmer 1975].

Miara K_i przyjmuje wartości z przedziału $[0, 1]$. Niska wartość tego miernika świadczy o równomiernym rozkładzie zjawiska.

Badanie obejmuje także ocenę intensywności zmian zjawiska poprzez zastosowanie miar przyrostów $(y_t - y_{t-1})$, indeksów $\left(\frac{y_t}{y_{t-1}} \right)$ oraz ustalenie przeciętnego tempa zmian zjawiska jako średniej geometrycznej indeksów zgodnie z formułą:

$$\bar{i} = \sqrt[n-1]{\frac{y_n}{y_1}} \quad (6)$$

gdzie: y_1, y_2, \dots, y_n - oznaczają realizacje zmiennej obserwowanej w czasie t ($t=1, 2, \dots, n$).

Tabela 1. Wybrane mierniki dynamiki wybranych źródeł energii odnawialnej dla państw Grupy Wyszehradzkiej

Rok	Źródła energii											
	woda				wiatr				biopaliwa stałe			
	CZ	PL	SK	H	CZ	PL	SK	H	CZ	PL	SK	H
	$\dot{i}_{t/t-1}$											
2004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2005	1,07	1,04	1,00	1,01	1,77	1,75	1,24	2,41	0,99	1,82	1,33	2,32
2006	1,06	1,02	1,00	1,00	2,30	1,60	1,12	2,93	1,30	1,31	91,75	0,72
2007	1,05	1,01	1,00	1,02	2,95	1,61	1,02	2,39	1,32	1,29	1,20	1,21
2008	1,02	1,02	1,01	1,05	1,99	1,63	0,99	2,14	1,21	1,43	1,09	1,28
2009	1,03	1,01	0,96	1,06	1,34	1,36	0,77	1,69	1,19	1,46	1,03	1,21
2010	1,03	1,02	1,02	1,00	1,19	1,46	0,78	1,53	1,07	1,20	1,23	0,96
2011	0,99	1,01	1,00	1,03	1,08	1,72	1,07	1,25	1,13	1,21	1,13	0,75
2012	1,02	1,00	1,00	1,01	1,12	1,54	1,04	1,09	1,08	1,33	1,06	0,87
2013	1,05	1,00	1,01	1,03	1,11	1,36	1,36	1,00	0,93	0,83	0,94	1,07
2014	1,00	1,01	1,00	1,03	1,05	1,23	1,00	1,00	1,18	1,15	1,35	1,19
$\frac{Y_{2014}}{Y_{2004}}$	50,91	26,59	5,19	3,89	40,61	641,20	0,13	60,08	122,76	721,58	78,50	88,06
$\frac{\dot{i}_{2014}}{\dot{i}_{2004}}$	1,35	1,15	1,01	1,25	53,47	65,08	1,28	127,15	3,53	11,92	305,33	2,51
$\bar{\dot{i}}$	1,03	1,01	1,00	1,02	1,49	1,52	1,02	1,62	1,13	1,28	1,77	1,10

Źródło: obliczenia własne

W latach 2004-2014 inwestycje w elektrownie wodne w krajach Grupy Wyszehradzkiej rosły na podobnym poziomie. Porównując kolejny rok do roku poprzedniego nie przekraczały 7%, a średnioroczne tempo zmian nie przekraczało 3%. W porównaniu do 2004 roku w 2014 wartość energii pozyskiwanej z wody wzrosła, w Czechach o 35%, na Węgrzech 25%, w Polsce 15%, a na Słowacji tylko 1%. Uwzględniając wartości bezwzględne w Czechach wyprodukowano o 50,91 ktoe więcej w roku 2014 niż w roku początkowym podczas gdy na Węgrzech było to tylko 3,89 ktoe.

Najbardziej dynamicznie rozwijały się elektrownie wiatrowe, z czego najintensywniej w pierwszych latach po przystąpieniu krajów do Unii Europejskiej. Na Węgrzech wartość pozyskanej energii z elektrowni wiatrowych do 2008 roku podwajała się z roku na rok. Podobna sytuacja wystąpiła w Czechach gdzie największe wzrosty odnotowano do 2008 roku. Pod względem wartości energii pozyskiwanej z odnawialnych źródeł energii w Polsce w porównaniu z 2004 energia z wiatru, której potencjał szacuje się na 10% obecnego zapotrzebowania na energię elektryczną, wzrosła o 641,2 ktoe, co stanowiło najwyższą wartość spośród analizowanych krajów [Lewandowski 2007].

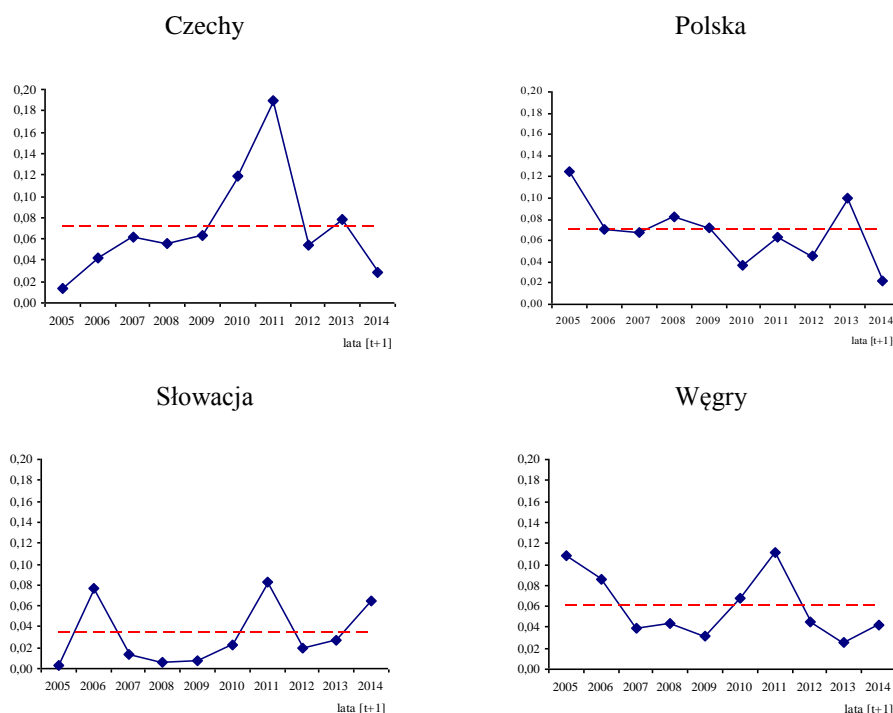
W przypadku produkcji energii z biopaliw stałych największa zmiana pod względem wartości nastąpiła w Polsce, w porównaniu z rokiem 2004 produkcja wzrosła o 721,58 ktoe. Drugie w kolejności były Czechy które z biopaliw stałych wyprodukowały o 122,76 ktoe energii więcej w porównaniu z 2004 rokiem. Najistotniejsze wzrosty zaobserwowano w 2006 roku na Słowacji, produkcja

energii z biopaliw stałych wzrosła w 2006 roku do 31,6 ktoe z 0,34 ktoe w 2005. W pozostałych krajach największe zmiany nastąpiły tuż po ich przystąpieniu do Unii Europejskiej w roku 2005. Na Węgrzech było to nawet 132%, w Polsce w 82% a na Słowacji 33%.

Obserwując zmiany w strukturze odnawialnych źródeł energii w latach 2004-2014 można zaobserwować, że największe nastąpiły w 2011 roku, w Czechach na Słowacji i Węgrzech, po wdrożeniu dyrektywy dotyczącej odnawialnych źródeł energii z 2009 roku. Średnio były one najwyższe w Czechach i w Polsce jednak przeciętna wartość miernika nie przekraczała 8%. Odpowiednio na Węgrzech było to 6% a na Słowacji 4% (rysunek 5).

Współczynnik koncentracji wskazuje, że najbardziej równomierny rozkład zjawiska wystąpił w Czechach gdzie w 2014 roku źródła energii odnawialnej były najbardziej zdywersyfikowane. Przeciętny poziom zaobserwowano w Polsce i na Węgrzech. Na Słowacji działania podjęte w kierunku zróżnicowania źródeł energii odnawialnej przyniosły efekt w postaci zmniejszenia energii pozyskiwanej z wody z 99% do 70%.

Rysunek 5. Przebieg zmian wartości miernika dynamiki struktury odnawialnych źródeł energii $v_{t,t+1}$ w latach 2004-2014 z wskazaną jego przeciętną wartością



Źródło: obliczenia własne

ZAKOŃCZENIE

Wydobycie węgla kamiennego w krajach Grupy Wyszehradzkiej a zwłaszcza w Polsce stale spada, z poziomu 97,9 mln ton w roku 2005 do 73,2 mln ton w roku 2014. Polska w coraz większym stopniu uzależnia się od zewnętrznych nośników energii, o czym świadczą rosnący import węgla (z 3,3 mln ton w 2005 do 13,6 mln ton w roku 2013; 21% krajowego wydobycia), przy bardzo niewielkim wzroście eksportu. Oznacza to również utratę miejsc pracy w sektorze energetycznym oraz pogorszenie bilansu wymiany handlowej. W odpowiedzi na coraz wyższe ceny energii, zarówno samorządy, jak i indywidualni konsumenci, sami inicjują działania na rzecz rozwoju energetyki prosumenckiej i racjonalizacji zużycia energii (z wykorzystaniem lokalnie dostępnych odnawialnych zasobów energii).

Z uwagi na strefy geograficzne, klimatyczne i geologiczne oraz aktywność gospodarczą zasoby energii odnawialnej w krajach Grupy Wyszehradzkiej są zróżnicowane rodzajowo i przestrzennie (regionalnie), ale obiektywnie duże w skali nie tylko potrzeb energetycznych poszczególnych krajów, ale też całej UE oraz generalnie w niewielkim tylko zakresie wykorzystane.

W związku z wejściem krajów Grupy Wyszehradzkiej do Unii Europejskiej i wymogami dotyczącymi zwiększenia udziału energii pozyskiwanej ze źródeł odnawialnych w całkowitym bilansie wytwarzanej energii można było zaobserwować zwiększenie pozyskiwania energii ze źródeł przyjaznych środowisku. Niektóre z zasobów mających znaczący udział w strukturze odnawialnych źródeł energii, są już teraz w większym zakresie wykorzystane i trudno będzie przy obecnej technologii zwiększać ich udział, np. biomasa w Polsce (w szczególności leśna) czy energetyka wodna. Dlatego konieczna jest dywersyfikacja i poszukiwanie nowych rozwiązań. Współczynnik koncentracji wskazuje, że najbardziej równomierny rozkład zjawiska wystąpił w Czechach, gdzie w 2014 roku źródła energii odnawialnej były najbardziej zdywersyfikowane. Obserwując zmiany w strukturze odnawialnych źródeł energii w latach 2004-2014 można zauważyć, że największe nastąpiły w 2011 roku, w Czechach na Słowacji i Węgrzech, po wdrożeniu dyrektywy dotyczącej odnawialnych źródeł energii z 2009 roku.

Każdy z analizowanych krajów wybrał własne sposoby pozyskiwania energii wynikające z ukształtowania terenu i położenia geograficznego. Czechy i Słowacja głównie pozyskiwały energię z wody. Polska i Węgry z biopaliw stałych. W analizowanym okresie wszystkie kraje podjęły działania w celu zdywersyfikowania źródeł energii odnawialnej. Po 2009 roku i wejściu dyrektywy unijnej promującej energię wiatru i słońca w Polsce i na Węgrzech zaczęto inwestować w elektrownie wiatrowe. Czechy i Słowacja z kolei zainwestowały środki otrzymane z Unii Europejskiej w pozyskiwanie energii słonecznej.

BIBLIOGRAFIA

- Czubakowski E. (2009) Odnawiane źródła energii, wykorzystanie proekologicznych źródeł energii. Włocławek, EXPOL, 49.
- Delhaute C., Gargani F., Papaefthymiou G. (2016) Study on regulatory matters concerning the development of the North Sea offshore energy potential. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 243.
- Ginalski Z. (2013) Odnawialne źródła energii w gospodarstwach rolnych. CDR, Radom.
- Gostomczyk W. (2009) Odnawialne źródła energii, technologia, legislacja, ekonomika. EKSPERT-SITR, Koszalin, 161.
- GUS (2015) Energia ze źródeł odnawialnych w 2014 roku. Warszawa.
- Kukuła K. (1989) Statystyczna analiza strukturalna i jej zastosowanie w sferze usług produkcyjnych dla rolnictwa. Zeszyty Naukowe AE w Krakowie, Seria specjalna: Monografie, 89, Kraków.
- Lewandowski W. M. (2012) Proekologiczne odnawialne źródła energii. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, 128, Warszawa.
- Markowski A. (2009) Współspalanie biomasy w kotłach energetyki zawodowej. [w:] Kalotka J. (red.) Odnawialne źródła energii. Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji - PIB, 155, Radom.
- Ochmańska M., Jaroszewski J. (2006) Rodzaje biomasy i możliwości jej wykorzystania. CDR Zarzeczewo, 26.
- <http://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-press-releases/-/8-17022014-AP>
- National Renewable Energy Action Plan (Slovak Republic). Ministry of Economy and Construction of the Slovak Republic.

**IMPORTANCE OF RENEWABLE SOURCES OF ENERGY
IN THE VISEGRAD COUNTRIES**

Abstract: The aim of this article is to present the changes in the structure of renewable energy sources used in the countries of the Visegrad Group in the years 2004-2014. After entering the Visegrad Group countries to the European Union we could have seen an increase in energy production from environmentally friendly sources. The Czech Republic and Slovakia mainly extracted energy from water. Poland and Hungary from solid biofuels. After 2009 and the entrance of the EU directive promoting wind and sun energy in Poland and Hungary it was began to invest in wind power. The Czech Republic and Slovakia, in turn, invested the funds in obtaining solar energy.

Keywords: renewable energy, Visegrad group, indicator of the dynamics of structures

ZASTOSOWANIE METODY DEA W OCENIE EFEKTYWNOŚCI GOSPODAROWANIA NADLEŚNICTW – ORIENTACJA NA PRODUKTY¹

Wojciech Młynarski

Zakład Zarządzania Zasobami Leśnymi, Instytut Badawczy Leśnictwa

e-mail: w.mlynarski@ibles.waw.pl

Artur Prędko

Katedra Ekonometrii i Badań Operacyjnych,

Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie

e-mail: predkia@uek.krakow.pl

Streszczenie: Celem pracy jest ocena efektywności finansowej i zasobów gospodarczych nadleśnictw w Polsce Południowej w 2012 roku za pomocą metody DEA. W ramach analizy efektywności finansowej, określono maksymalne, potencjalne przychody ze sprzedaży drewna dla poszczególnych nadleśnictw przy danych kosztach. Z kolei, przy przeprowadzaniu analizy efektywności zasobów gospodarczych, próbowano określić maksymalną ilość drewna, możliwą technologicznie do pozyskania przy danych zasobach. Szczególną uwagę poświęcono jednostkom uznanym za skrajnie nieefektywne, dla których przeprowadzono analizę za pomocą tzw. wzorców efektywności. Dodatkowo, w celu wprowadzenia rankingu wśród jednostek efektywnych i uszczegółowienia interpretacji miar efektywności, wykorzystano model nadefektywności.

Słowa kluczowe: gospodarka leśna, efektywność techniczna, metoda DEA

¹ Publikacja została sfinansowana: (a) przez MNiSW, w ramach dotacji na prowadzenie badań naukowych lub prac rozwojowych oraz zadań z nimi związanych, służących rozwojowi młodych naukowców oraz uczestników studiów doktoranckich, (b) ze środków przyznanych Wydziałowi Zarządzania Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie, w ramach dotacji na utrzymanie potencjału badawczego.

WSTĘP

Efektywność jest jednym z podstawowych pojęć związanych z oceną działalności podmiotów gospodarczych. Dotyczy ona m.in. skuteczności procesu przekształcania nakładów (czynników produkcji) w efekty (produkty). Ocena efektywności w leśnictwie stanowi duże wyzwanie z uwagi na mnogość zasad i celów stawianych gospodarstwu leśnemu, określonych w Ustawie o lasach [1991]. Ponadto, „nadleśnictwa prowadzą działalność gospodarczą na zasadzie samodzielności finansowej i pokrywają koszty działalności z własnych przychodów” [Ustawa 1991, art. 50]. Wymusza to na gospodarstwie leśnym poszukiwanie sposobów, które pozwolą na osiągnięcie najkorzystniejszego (optymalnego) stosunku między poniesionymi nakładami a osiągniętymi efektami [Klocek i Płotkowski 2010].

Głównym celem pracy jest ocena efektywności finansowej i zasobów gospodarczych nadleśnictw w Polsce Południowej w 2012 roku za pomocą metody DEA² (*Data Envelopment Analysis*). W badaniu uwzględniono 110 jednostek, podlegających administracyjnie czterem Regionalnym Dyrekcjom Lasów Państwowych (RDLP Wrocław, Katowice, Kraków i Krosno). Na potrzeby sporządzenia analiz wykorzystano materiały źródłowe pochodzące przede wszystkim z baz danych Systemu Informatycznego Lasów Państwowych (SILP). W szczególności, skorzystano ze sprawozdań finansowo - gospodarczych, takich jak: bilans, rachunek zysków i strat oraz LPIR-1 (informacja roczna o działalności nadleśnictw). Dodatkowo, z bazy SILP oraz stron internetowych nadleśnictw, uzyskano podstawowe informacje dotyczące warunków gospodarowania analizowanych jednostek (powierzchnia leśna, skład gatunkowy oraz udział siedliskowych typów lasu).

Cele szczegółowe pracy, służące realizacji celu głównego, zorientowane są na produkty. W ramach analizy efektywności finansowej, określono maksymalne, potencjalne przychody ze sprzedaży drewna dla poszczególnych nadleśnictw przy danych kosztach. Z kolei, przy przeprowadzaniu analizy efektywności zasobów gospodarczych, próbowano określić maksymalną ilość drewna, możliwą technologicznie do pozyskania przy danych nakładach (zasobach). Szczególną uwagę poświęcono jednostkom uznanym za skrajnie nieefektywne, dla których przeprowadzono analizę za pomocą tzw. wzorców efektywności (zob. część empiryczna pracy). Dodatkowo, w celu wprowadzenia rankingu wśród jednostek efektywnych i uszczegółowienia interpretacji miar efektywności, wykorzystano model nadefektywności (*super-efficiency model*) – zob. np. [Guzik 2009, rozdział 8; Andersen i Petersen 1993].

² W języku polskim używa się nazwy *Analiza obwiedni (otoczki) danych* – zob. [Welfe i in. 2002].

ORIENTACJA NA PRODUKTY - UZASADNIENIE

Samodzielność finansowa zmusza nadleśnictwa do poszukiwania rozwiązań prowadzących z jednej strony do wzrostu przychodów a z drugiej do obniżenia kosztów produkcji. Wobec tego w analizie efektywności gospodarstw leśnych istotna jest zarówno orientacja na nakłady (koszty), jak i na produkty (przychody). W pracy [Młynarski i Prędko 2016] badano efektywność wspomnianych 110 nadleśnictw w orientacji na nakłady, czyli określono maksymalną możliwą redukcję nakładów (kosztów), przy utrzymaniu danego poziomu odpowiednio: pozyskanego drewna i przychodu ze sprzedaży drewna. Kierowano się naczelną zasadą funkcjonowania nadleśnictw, gdzie pozyskanie drewna ma na celu głównie samofinansowanie jednostki oraz jej działań edukacyjnych i proekologicznych.

Posiadanie informacji o potencjalnych możliwościach gospodarstwa leśnego, może stanowić jeden z warunków optymalnego gospodarowania zasobami leśnymi [Płotkowski 2001]. Z punktu widzenia finansowej i gospodarczej efektywności gospodarstwa leśnego, poza oszczędnym wykorzystaniem zasobów, czy redukcją kosztów (orientacja na nakłady), można także zwiększyć pozyskanie drewna w nadleśnictwie, co pociąga za sobą wzrost przychodów z jego sprzedaży (orientacja na produkty).

Należy jednak pamiętać, że istnieją ograniczenia mające wpływ na wielkość pozyskania drewna, które wynikają z celów i zasad wielofunkcyjnej i zrównoważonej gospodarki leśnej. Konieczność ochrony lasów, trwałości użytkowania i powiększania zasobów leśnych oraz wypełniania przez lasy funkcji produkcyjnej i pozaprodukcyjnych (ekologicznych i socjalnych), znajduje odzwierciedlenie w sporządzanych dla nadleśnictw Planach Urządzenia Lasu (PUL), w których określa się rozmiar pozyskania drewna (etat cięć) na okres 10 lat.

Przyjmuje się, że przeciętny roczny rozmiar pozyskania drewna w Polsce oscyluje w granicach 55% przyrostu rocznego drzewostanów [Ministerstwo Środowiska 2009]. Zdaniem Piszcza i Janusz [2012] stopniowe zwiększanie pozyskania do 60%, lub nawet 65%, nadal w pełni realizowałoby zasadę reprodukcji rozszerzonej (relacja między przyrostem a pozyskaniem drewna), nie odbijając się negatywnie na stanie lasu i środowiska przyrodniczego oraz bez szkody dla realizacji pozaprodukcyjnych funkcji lasu. Są oni również zdania, że zwiększenie podaży surowca nie powinno w chwili obecnej wpłynąć negatywnie na poziom uzyskiwanych przez gospodarstwo leśne cen i przychodów ze sprzedaży. Stąd autorzy niniejszej pracy postanowili zbadać potencjalne możliwości wybranych 110 nadleśnictw w odniesieniu do pozyskania drewna oraz przychodów z jego sprzedaży.

METODYKA BADAŃ

Do obliczenia wartości miernika efektywności finansowej i zasobów gospodarczych nadleśnictw oraz wzorców efektywności dla jednostek nieefektywnych wykorzystano model BCC zorientowany na produkty w postaci obwiedni (*the BCC output-oriented model in the envelopment form*, zob. [Banker i in. 1984]).

Na początek wprowadzono następujące oznaczenia:

n – liczebność grupy producentów,

m – liczba nakładów stosowanych w procesie produkcyjnym,

s – liczba produktów wytworzonych w procesie produkcyjnym,

$\mathbf{x}_j = [x_{1j}, \dots, x_{mj}]$ – wektor ilości nakładów zużytych przez j -tą jednostkę,

$\mathbf{y}_j = [y_{1j}, \dots, y_{sj}]$ – wektor ilości efektów wytworzonych przez j -tą jednostkę, gdzie $j \in \{1, \dots, n\}$.

Wspomniany model BCC ma postać:

$$\theta_o \rightarrow \text{MAX} \quad (1)$$

$$\mathbf{x}_o \geq \sum_{j=1}^n \lambda_{jo} \mathbf{x}_j, \quad \theta_o \mathbf{y}_o \leq \sum_{j=1}^n \lambda_{jo} \mathbf{y}_j, \quad \sum_{j=1}^n \lambda_{jo} = 1,$$

$$\theta_o \in \mathbf{R}, \quad \lambda_{jo} \geq 0, \quad j = 1, \dots, n \text{ (zmienne decyzyjne)}.$$

W praktyce obiekt o jest zwykle jednym z danych n obiektów, tzn. $o \in \{1, \dots, n\}$. Programy liniowe w DEA rozwiązuje się więc zwykle n razy tzn. tyle, ile jest obiektów w grupie.

Optymalna wartość funkcji celu θ_o^* programu (1) jest miarą efektywności danej jednostki. Wartość miary równa 1 oznacza, iż obiekt jest w pełni efektywny. W przeciwnym wypadku miernik ten określa stopień nieefektywności obiektu. Poziom efektywności danej jednostki wyznacza się poprzez porównanie jej z innymi obiektami z grupy, stąd miara ta ma charakter względny. Porównanie to następuje za pośrednictwem optymalnych wartości *zmiennych intensywności* λ_{jo}^* , $j = 1, \dots, n$, niezbędnych do konstrukcji tzw. wzorca efektywności, czyli wektora idealnych nakładów i produktów dla danego obiektu o postaci:

$$\left(\sum_{j=1}^n \lambda_{jo}^* \mathbf{x}_j, \sum_{j=1}^n \lambda_{jo}^* \mathbf{y}_j \right).$$

W niniejszej pracy wykorzystano również różnice pomiędzy optymalnymi wartościami lewych i prawych stron warunków ograniczających modelu (1) związanych z nakładami, zwane *luzami* – dalsze szczegóły w części empirycznej pracy.

W ramach analizy metodą DEA efektywna jest zwykle pewna podgrupa jednostek, która rozpina tzw. „otoczkę danych”, stąd polska nazwa metody (zob. przypis 2). Wszystkie te jednostki mają wartość miary równą 1. W celu wprowadzenia wśród nich rankingu (rozróżnienia) wykorzystuje się modele nadefektywności (*the super-efficiency models*). W niniejszej pracy skorzystano

z jednego z nich, będącego odpowiednikiem wcześniej wprowadzonego modelu (1) (zob. np. [Andersen i Petersen 1993]).

$$\theta_{o,ef} \rightarrow \text{MAX} \quad (2)$$

$$\mathbf{x}_o \geq \sum_{j \neq o} \lambda_{jo} \mathbf{x}_j, \theta_{o,ef} \mathbf{y}_o \leq \sum_{j \neq o} \lambda_{jo} \mathbf{y}_j, \sum_{j \neq o} \lambda_{jo} = 1,$$

$$\theta_{o,ef} \in \mathbf{R}, \lambda_{jo} \geq 0, j = 1, \dots, n \text{ (zmiennne decyzyjne)}.$$

Jest on bardzo podobny do modelu wyjściowego. Pomijając w sumowaniu jednostkę efektywną o mierzymy jej odległość od otoczki wypukłej utworzonej przez *pozostałe* jednostki³. Im mniejsza wartość optymalna⁴ $\theta_{o,ef}^*$ (miara nadefektywności) tym odległość jest większa, a obiekt jest istotniejszy dla badanej grupy, czyli wyżej w rankingu - szczegóły w części empirycznej pracy.

WYBRANE ZESTAWY NAKŁADÓW I EFEKTÓW ORAZ POGRUPOWANIE NADLEŚNICTW

Prawidłowa identyfikacja zmiennych reprezentujących nakłady i efekty jest istotnym etapem w analizie efektywności nieparametryczną metodą DEA. W niniejszej pracy wyodrębniono dwa ich zestawy w zależności od rodzaju danych, którymi dysponowano. Po pierwsze, posłużono się wybranymi kategoriami finansowymi z zestawień bilansowych nadleśnictw analizując ich efektywność pod tym kątem. Po drugie, użyto również dane dotyczące wybranych kategorii zasobów nadleśnictw, w celu zbadania efektywności wykorzystania zasobów gospodarczych. Na możliwość wyrażania nakładów i efektów w jednostkach naturalnych i wartościowych w gospodarstwie leśnym zwracał uwagę m.in. Marszałek [1974].

W wyniku tego analizę efektywności gospodarowania nadleśnictw podzielono na dwa rodzaje efektywności: finansową i zasobów gospodarczych. W procesie produkcji leśnej wyrażeniem efektywności zasobów gospodarczych są nakłady materialne (czynniki produkcji) w relacji do efektu materialnego. Efektywność finansowa polega natomiast na transformacji nakładów niematerialnych (kosztów) w produkt końcowy (efekt), który jest przychodem z gospodarki leśnej.

W zależności od przyjętego rodzaju efektywności, zaproponowane zestawy nakładów i efektów są następujące:

1. Zestaw nakładów i efektów – efektywność finansowa:

$$x_1 - \text{koszty pozyskania drewna [zł]},$$

³ W przypadku jednostek nieefektywnych, wartość miary efektywności jest identyczna w modelach (1) i (2).

⁴ W przypadku tej wersji modelu nadefektywności wartość miary może nie istnieć (zob. np. [Cooper i in. 2006, s. 310]).

- x_2 – koszty zagospodarowania lasu [zł],
- x_3 – koszty Służby Leśnej [zł],
- x_4 – pozostałe koszty działalności administracyjnej [zł],
- y – przychody ze sprzedaży drewna [zł].

2. Zestaw nakładów i efektów – efektywność zasobów gospodarczych:

- x_1 – powierzchnia ogólna nadleśnictwa [ha],
- x_2 – zatrudnienie ogółem w nadleśnictwie [liczba osób],
- x_3 – zapas na powierzchni leśnej [m^3],
- y – ilość pozyskanego drewna [m^3].

Szerszy opis kategorii nakładów i efektów z obu zestawów, wraz z uzasadnieniem ich wyboru można znaleźć w pracy [Młynarski i Prędkie 2016].

W niniejszej pracy wprowadzono dodatkowo grupowanie nadleśnictw w celu uwzględnienia uwarunkowań (technologii produkcji), w jakich gospodarują nadleśnictwa i spełnienia założenia o jednorodności technologicznej, przyjmowanego na gruncie metodyki DEA. Wykorzystano podział zaproponowany przez Kocela [2004] ze względu na strukturę Typów Siedliskowych Lasu⁵ (TSL). Pozwoliło to na wyodrębnienie trzech kategorii nadleśnictw: „górkich”, „wyzynnych” i „nizinnych”, w zależności od procentowego udziału odpowiednich siedliskowych typów lasu w nadleśnictwie (zob. tabela 1).

Tabela 1. Pogrupowanie nadleśnictw

Kategoria	Nazwa	Kryterium Kocela	Liczba	DEA	Liczba
I	Nadleśnictwa „górkie”	udział siedlisk górskich powyżej 50%	36	Nadleśnictwa „wyzynno-górkie”	50
II	Nadleśnictwa „wyzynne”	udział siedlisk wyzynnych powyżej 50%	14		
III	Nadleśnictwa „nizinne”	udział siedlisk nizinnych powyżej 50%	63	Nadleśnictwa „nizinne”	63

Źródło: opracowanie własne

Zgodnie z praktyczną regułą stosowaną na gruncie metodyki DEA, liczba jednostek gospodarczych w badanej grupie powinna być ponad trzykrotnie większa od łącznej liczby nakładów i efektów (zob. np. [Cooper i in. 2006, s. 106]). W przeciwnym wypadku istnieje możliwość uzyskania rezultatów

⁵ Typ siedliskowy lasu – podstawowa jednostka w systemie klasyfikacji siedlisk leśnych, obejmująca powierzchnie leśne o zbliżonych warunkach siedliskowych wynikających z żyzności i wilgotności gleb, podobieństw cech klimatu oraz ukształtowania terenu i budowy geologicznej (zob. [Instrukcja 2003]).

zdegenerowanych w tym sensie, że wszystkie jednostki zostaną uznane za efektywne⁶. Liczba nadleśnictw „wyzynnych” nie spełnia tego kryterium, w związku z tym dokonano połączenia dwóch kategorii nadleśnictw „wyzynnych” i „górkich” w jedną kategorię nadleśnictw „wyzynno-górkich”.

W pierwszym etapie doboru obiektów badań, sumaryczna liczba nadleśnictw wyniosła 113, z czego do nadleśnictw „wyzynno-górkich” zakwalifikowano 50 jednostek, a do nadleśnictw „nizinnych” 63 obiekty (zob. tabela 1). Jednak, w następnym etapie analizy danych skorygowano liczbę nadleśnictw o jednostki, których rozmiar zadań odbiegał znacząco od średniej dla Państwowego Gospodarstwa Leśnego Lasy Państwowe (PGLLP). Spośród nadleśnictw „wyzynno-górkich” z dalszych badań usunięto trzy nadleśnictwa: Ujsoły, Węgierska Górka i Wisła zlokalizowane na terenie RDLP Katowice. Zostało to podyktowane wystąpieniem na ich terenie zjawisk kłęskowych, które w badanym okresie przyczyniły się do przekroczenia rozmiaru niektórych zadań w zakresie gospodarki leśnej o kilkaset procent. W efekcie do dalszej analizy przyjęto ostatecznie 110 nadleśnictw, z podziałem na nadleśnictwa „wyzynno-górkie” (48) i nadleśnictwa „nizinne”(62).

WYNIKI BADAŃ I ICH INTERPRETACJA

W tabeli 2 przedstawiono wyniki zbiorcze w postaci wybranych statystyk, w odniesieniu do wartości miary efektywności finansowej i zasobów, w podziale na odpowiednie kategorie nadleśnictw.

Tabela 2. Wybrane statystyki wartości miary efektywności finansowej i zasobów gospodarczych

Statystyki	Nadleśnictwa nizinne		Nadleśnictwa wyzynno-górkie	
	Ef. finansowa	Ef. zasobów	Ef. finansowa	Ef. zasobów
Średnia	1,1739	1,1974	1,1787	1,2729
Odchylenie	0,2033	0,1918	0,1983	0,2594
Maximum	1,7461	1,9754	1,8675	2,0305
Wsp. rang	0,5279*		0,2714*	
Wsp. kor. lin.	0,5378*		0,2094*	

*Wykorzystano wartości miar nadefektywności uzyskane z modelu (2), w celu ustalenia bardziej jednoznacznego rankingu.

Źródło: opracowanie własne

⁶ Jest to sytuacja podobna jak w modelach parametrycznych, gdy liczba obserwacji jest zbliżona do liczby parametrów będących przedmiotem estymacji.

Statystyki dotyczące efektywności finansowej kształtowały się na podobnym poziomie w obu grupach nadleśnictw. Jedyne zakres zmienności w przypadku nadleśnictw „wyzynno-górskich” był nieznacznie większy⁷. Przykładowo, średnia efektywność finansowa nadleśnictw „nizinnych” wyniosła 1,1739 w roku 2012. Oznacza to, że nadleśnictwa „nizinne” mogłyby osiągnąć przy obecnym poziomie kosztów średnio o 17,39% większe przychody ze sprzedaży drewna.

W obu kategoriach nadleśnictw średnia efektywność zasobów jest niższa niż średnia efektywność finansowa. Przy obecnym poziomie zasobów nadleśnictwa „nizinne” oraz „wyzynno-górskie” są w stanie średnio zwiększyć ilość pozyskanego drewna odpowiednio o 19,74% i 27,29%. Widoczna jest więc również różnica w średniej efektywności zasobów pomiędzy kategoriami, co nie miało miejsca w przypadku efektywności finansowej.

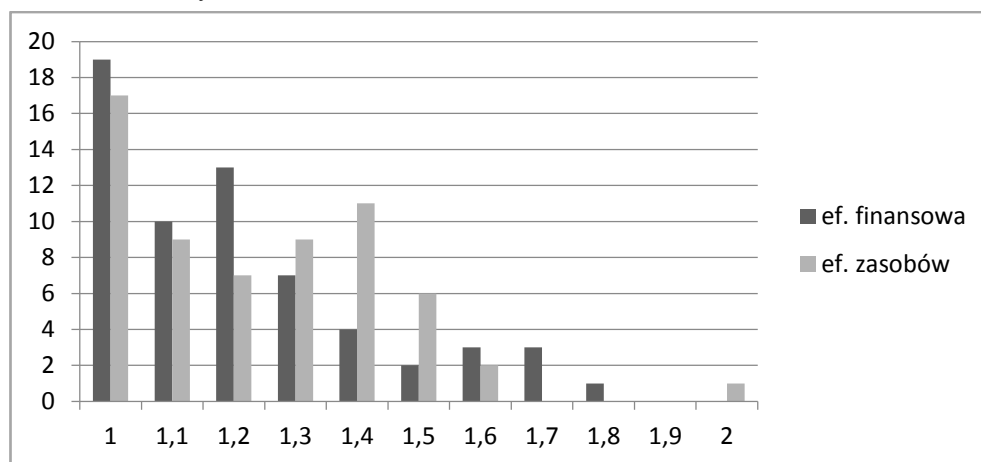
W przypadku nadleśnictw „nizinnych” występuje istotnie dodatnia korelacja liniowa Pearsona i rang (ale nie silnie dodatnia) pomiędzy efektywnością finansową a zasobów. Sytuacja ta nie ma miejsca w nadleśnictwach „wyzynno-górskich”, co świadczy o odmiennej zależności pomiędzy sferą finansową a zasobową. Zdaniem autorów wpływ na taki stan rzeczy mogą mieć różnice technologiczne występujące pomiędzy jednostkami z wyróżnionych kategorii. Zaobserwowany fakt świadczy więc o słuszności podziału nadleśnictw na dwie odrębne grupy.

Wszelkie interpretacje należy jednak traktować z dużą ostrożnością, ze względu na znaczącą wartość odchylenia w stosunku do zakresu zmienności miernika. Dotyczy to obu kategorii nadleśnictw oraz rodzajów efektywności. Stąd, warto również przeanalizować miary efektywności dla wszystkich obiektów w danej grupie za pomocą histogramu ich wartości, ponieważ zbiorcze statystyki mogą okazać się mylące (zob. rysunki 1-2).

W kategorii nadleśnictw „nizinnych” istnieje stosunkowo liczna frakcja nadleśnictw efektywnych zarówno od strony finansowej jak i zasobów – odpowiednio 19 (30,64%) i 17 (27,42%) obiektów na 62 nadleśnictwa. Ponadto, nadleśnictwa „nizinne” są w większości bardziej efektywne finansowo niż od strony zasobów. Przykładowo, aż 67,74% nadleśnictw „nizinnych” (42 obiekty) przy obecnych kosztach nie byłoby w stanie zwiększyć przychodu ze sprzedaży drewna o więcej niż 20%. Podczas gdy jedynie 53,22% nadleśnictw „nizinnych” (33 obiekty) przy obecnym poziomie zasobów nie byłaby w stanie zwiększyć ilości pozyskanego drewna więcej niż o 20%. Ponad połowa obiektów jest więc wysoce efektywna zarówno od strony finansowej jak i zasobów. Natomiast liczba obiektów odstających (skrajnie nieefektywnych), o wartości miernika przekraczającej 1,5, jest stosunkowo niewielka.

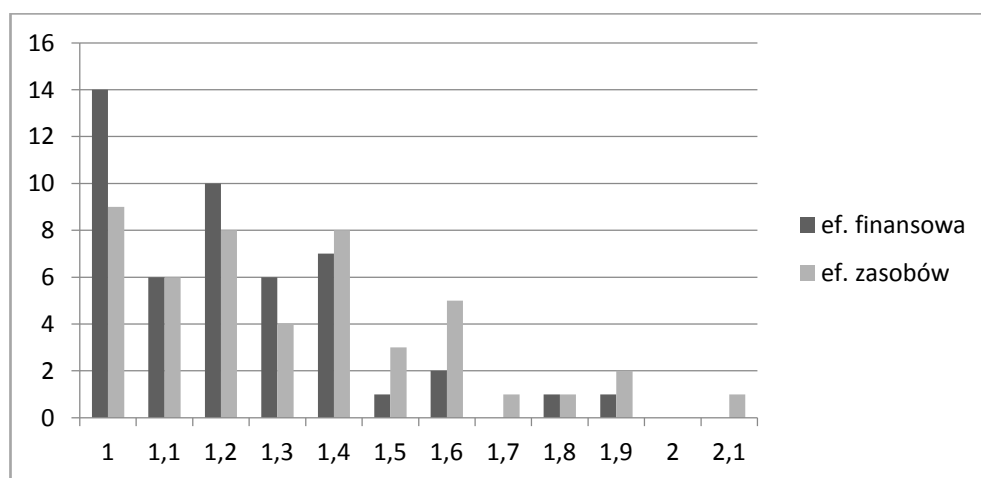
⁷ Warto przypomnieć, że na mocy konstrukcji, dolną wartością zakresu miary efektywności zorientowanej na produkty jest jedynka osiągnięta dla obiektów efektywnych.

Rysunek 1. Histogramy miar efektywności finansowej i technicznej nadleśnictw „nizinnych”



Źródło: opracowanie własne

Rysunek 2. Histogramy miar efektywności finansowej i technicznej nadleśnictw „wyzynno-górskich”



Źródło: opracowanie własne

W przypadku nadleśnictw „wyzynno-górskich” (48 jednostek) znaczący jest jedynie odsetek obiektów efektywnych finansowo (29,16% - 14 jednostek). Od strony zasobów efektywne jest tylko 9 nadleśnictw (18,75%). Podobnie jak w przypadku nadleśnictw „nizinnych”, większa jest efektywność jednostek od strony finansowej niż zasobów. Przykładowo, aż 62,50% nadleśnictw „wyzynno-górskich” (30 obiektów) przy obecnych kosztach nie byłoby w stanie zwiększyć przychodu ze sprzedaży drewna o więcej niż 20%. Podczas, gdy jedynie 47,92%

nadleśnictw „nizinych” (23 obiekty) przy obecnym poziomie zasobów nie byłaby w stanie zwiększyć ilości pozyskanego drewna więcej niż o 20%. Dla nadleśnictw „wyzynno-górskich” jedynie pod kątem finansowym ponad połowa obiektów jest wysoce efektywna, a odsetek obiektów odstających (skrajnie nieefektywnych), o wartości miernika przekraczającej 1,5, jest stosunkowo niewielki. W przeciwieństwie do nadleśnictw „nizinych”, sytuacja taka nie występuje w odniesieniu do efektywności zasobów nadleśnictw „wyzynno-górskich”.

W niniejszej pracy przeanalizowano również wzorce efektywności dla obiektów skrajnie nieefektywnych, w celu określenia potencjalnych zmian w ilościach nakładów i efektów prowadzących do osiągnięcia pełnej efektywności przez te jednostki (tabela 3).

Tabela 3. Wyniki dotyczące obiektów skrajnie nieefektywnych

	Nadleśnictwa nizinne		Nadleśnictwa wyzynno-górskie	
	Ef. finansowa	Ef. zasobów	Ef. finansowa	Ef. zasobów
Obiekt i wartość jego miary	Katowice – 1,7461	Olkusz – 1,9754	Cisna – 1,8675	Kołaczyce – 2,0305
Wzorzec	Głogów Młp.(47,59%) Kolbuszowa (5,21%) Mielec (10,60%) Miękinia (36,60%)	Olesno (6,36%) Prudnik (46,46%) Zawadzkie (44,54%) Oleśnica Śl.(2,64%)	Gromnik (4,53%) Lesko (42,92%) Zdroje (52,55%)	Nowy Targ (27,88%) Ustroń (27,88%) Zdroje (44,24%)
Luzy	k. Służby Leśnej – 459319,18zł	Brak	k. pozysk. drewna – 764820,18zł poz. k. admin. – 527524,42zł	pow. nadl. – 1102,4ha

Źródło: opracowanie własne

Wśród nadleśnictw „nizinych” największą nieefektywnością finansową charakteryzuje się Nadleśnictwo Katowice, które przy obecnym poziomie kosztów mogłoby osiągnąć o 74,61% większe przychody ze sprzedaży drewna. Świadczy o tym istnienie wzorca efektywności finansowej będącego planem pośrednim pomiędzy zaobserwowanymi planami wykonalnymi dla czterech nadleśnictw (procenty w nawiasach określają udział poszczególnych planów wykonalnych w planie pośrednim). Dodatkowo, w przypadku kosztów Służby Leśnej istnieje nawet możliwość ich obniżenia o około 459 319 zł (interpretacja luzu) i w dalszym ciągu osiągnięcia zwiększonych przychodów.

Najbardziej nieefektywnym nadleśnictwem „nizinnym” względem zasobów gospodarczych jest Nadleśnictwo Olkusz. Przy obecnej wielkości powierzchni, zatrudnienia oraz zapasu na powierzchni leśnej mogłoby by ono potencjalnie⁸ pozyskać o 97,54% więcej drewna. Ponownie świadczy o tym istnienie pośredniego planu wykonalnego (zwanego wzorcem efektywności zasobów), na który składają się plany zaobserwowane odpowiednich czterech nadleśnictw (zob. kol. 3 tabeli 3). Ich udział procentowy w planie pośrednim podano tak jak poprzednio w nawiasie⁹. W tym przypadku nie ma możliwości dodatkowego obniżenia żadnego z zasobów i jednocześnie osiągnięcia zwiększonego pozyskania drewna (brak luzów).

W przypadku nadleśnictw „wyzynno-górskich” najbardziej nieefektywnym nadleśnictwem od strony finansowej i zasobów jest odpowiednio Nadleśnictwo Cisna oraz Nadleśnictwo Kołaczyce. W pierwszym przypadku istnieje możliwość zwiększenia przychodów ze sprzedaży drewna o 86,75%. Natomiast w drugim przypadku można by potencjalnie zwiększyć pozyskanie drewna o 103,05%. Wzorce (plany pośrednie) potwierdzające wykonalność tych zamierzeń można znaleźć w odpowiednich miejscach kol. 4 i 5 tabeli 3. W odniesieniu do Nadleśnictwa Cisna istnieje dodatkowa możliwość obniżenia kosztów pozyskania drewna (o 764820,18 zł) oraz pozostałych kosztów administracyjnych (o 527524,42 zł). Natomiast w przypadku Nadleśnictwa Kołaczyce zwiększone pozyskanie drewna można by uzyskać nawet przy powierzchni mniejszej o 1102,4 ha niż obecnie.

Jak wspomniano w części trzeciej pracy, dla obiektów efektywnych obliczono również tzw. miarę nadefektywności za pomocą modelu (2) – uzyskane wyniki zestawiono w tabeli 4. Rezultaty uporządkowano wg rosnącej wartości miary w ramach obu kategorii nadleśnictw oraz rodzajów efektywności.

Na wstępie warto zauważyć, że część jednostek jest efektywna zarówno od strony finansowej, jak i zasobów gospodarczych – po siedem nadleśnictw w obu kategoriach (wyróżnione grubą czcionką). W przypadku części nadleśnictw ich miara nadefektywności nie istnieje (zob. przypis 4) – oznaczenie „x” w tabeli 4. W praktyce znaczy to, iż ich zaobserwowane plany wykonalne są na tyle specyficzne, że nakłady¹⁰ tych obiektów nie mogą zostać odtworzone za pomocą planów pośrednich utworzonych z pozostałych jednostek. W literaturze przedmiotu określa się takie obiekty mianem wyspecjalizowanych (zob. np. [Pasewicz i Świtłyk 2010, s. 88]), traktując je jako jednostki nietypowe (*outliers*). Prowadzić to może w konsekwencji do usunięcia ich z badanej grupy, w celu zachowania założenia o jednorodności technologii (zob. np. [Wilson 1995]).

⁸ Jest to wielkość teoretyczna, wynikająca z użytej metodyki, którą należałoby skonfrontować z Planem Urządzenia Lasu dla tego nadleśnictwa.

⁹ Są to wartości optymalne zmiennych intensywności z modelu (1) zamienione na wielkości procentowe.

¹⁰ Interpretacja w orientacji na produkty.

W orientacji na produkty, im mniejsza wartość miary nadefektywności tym obiekt jest wyżej w rankingu (zob. koniec części trzeciej pracy), przy czym najwyżej umieszcza się jednostki, dla których wartość miary nie istnieje. Warto przypomnieć, że dla obiektów nieefektywnych wartość miary nadefektywności jest równa zwykłej mierze efektywności (zob. przypis 3). Oznacza to, że szeregując obiekty wg wartości nadefektywności uzyskujemy bardziej szczegółowy ranking¹¹.

Tabela 4. Wartości miary nadefektywności obliczone dla nadleśnictw efektywnych

Nadleśnictwa „nizinne”				Nadleśnictwa „wyzynno-górskie”			
ef. finansowa		ef. zasobów		ef. finansowa		ef. zasobów	
Dębica	x	Kolbuszowa	x	Brzesko	x	Krzyszowice	x
Mielec	x	Mielec	x	Krzyszowice	x	Nowy Targ	x
Niepołomice	x	Niepołomice	x	Kołaczyce	x	Zdroje	0,9047
Stary Sącz	x	Przemków	x	Myślenice	0,5617	Henryków	0,9340
Świętoszów	x	Kędzierzyn	0,7513	Gromnik	0,7862	Bystrzyca Kl.	0,9401
Złotoryja	0,8289	Milicz	0,8263	Zdroje	0,8754	Lądek Zdrój	0,9552
Olesno	0,8567	Oleśnica Śl.	0,8835	Lądek Zdrój	0,8882	Walbrzych	0,9593
Milicz	0,8647	Dąbrowa T.	0,8923	Henryków	0,9029	Kamienna G.	0,9720
Miękinia	0,8999	Olesno	0,8976	Bystrzyca Kl.	0,9394	Ustroń	0,9881
Lubliniec	0,9062	Prudnik	0,9116	Kamienna G.	0,9453	-	-
Głogów Młp.	0,9095	Dębica	0,9443	Walbrzych	0,9475	-	-
Kolbuszowa	0,9174	Opole	0,9457	Lesko	0,9708	-	-
Kłobuck	0,9570	Turawa	0,9684	Jawor	0,9765	-	-
Bolesławiec	0,9631	Zawadzkie	0,9772	Dynów	0,9803	-	-
Oborniki Śl.	0,9670	Świętoszów	0,9828	-	-	-	-
Oleśnica Śl.	0,9762	Namysłów	0,9832	-	-	-	-
Herby	0,9775	Kluczbork	0,9907	-	-	-	-
Koszęcin	0,9838	-	-	-	-	-	-
Namysłów	0,9860	-	-	-	-	-	-

Źródło: opracowanie własne

¹¹ W dalszym ciągu istnieje frakcja obiektów nieuporządkowanych, dla których wartość miary nie istnieje. Stąd, w literaturze przedmiotu często wykorzystuje się tu model nadefektywności pochodzący od modelu CCR (zob. [Charnes i in. 1978]), w którym wartość tej miary zawsze istnieje. Należy jednak pamiętać, że narzuca się wtedy silnie założenie o globalnie stałych efektach skali.

Warto zaznaczyć, że sama wartość miary nadefektywności (o ile istnieje) również niesie pewną informację. Biorąc przykładowo pod uwagę Nadleśnictwo Złotoryja z kategorii nadleśnictw „nizinnych”, które jest najwyżej w rankingu z punktu widzenia efektywności finansowej (pomijając pięć nadleśnictw wyspecjalizowanych), jego wartość odpowiedniej miary wynosi 0,8289. Oznacza to, że pozostałe jednostki, wykorzystując obecne wielkości kosztów tego nadleśnictwa, są w stanie wytworzyć plan pośredni, w którym przychód ze sprzedaży wyniesie jedynie 82,89% obecnej wartości przychodu Nadleśnictwa Złotoryja¹². Alternatywnie można też powiedzieć, że nadleśnictwo to pozostanie efektywne w przypadku zredukowania swojego obecnego przychodu ze sprzedaży drewna maksymalnie o 17,11% (1-0,8289) – zob. np. [Seiford i Zhu 1999, s. 178].

Innym interesującym przykładem jest „nizinne” Nadleśnictwo Kędzierzyn, które jest najwyżej w rankingu z punktu widzenia efektywności zasobów gospodarczych (pomijając ponownie cztery obiekty, dla których wartość miary nie istnieje). Wartość miary nadefektywności 0,7513 oznacza, że pozostałe jednostki, wykorzystując obecne wielkości zasobów gospodarczych (nakładów) tego nadleśnictwa, są w stanie wytworzyć plan pośredni, w którym pozyskanie drewna wyniesie jedynie 75,13% obecnego poziomu pozyskania występującego w Nadleśnictwie Kędzierzyn. Ponownie można też powiedzieć, że maksymalna możliwa redukcja obecnej ilości pozyskanego drewna, przy której nadleśnictwo to pozostanie efektywne wynosi 24,87% (1-0,7513). Analogicznie interpretuje się pozostałe wartości w tabeli 4, w szczególności te dotyczące nadleśnictw „wyzynno-górskich”.

ZAKOŃCZENIE

Zdaniem autorów, cel główny pracy, czyli analiza efektywności finansowej i zasobów gospodarczych nadleśnictw w Polsce Południowej w orientacji na produkty, został osiągnięty. W szczególności, przeanalizowano potencjalne możliwości tych jednostek w zakresie pozyskania drewna oraz przychodów z jego sprzedaży, przy danych odpowiednio zasobach gospodarczych i kosztach. Warto przypomnieć, że analiza efektywności w orientacji na nakłady, czyli badanie potencjalnych możliwości redukcji zasobów gospodarczych oraz kosztów nadleśnictw, przy danym odpowiednio pozyskaniu drewna i przychodach z jego sprzedaży, została przeprowadzona odrębnie w pracy [Młynarski i Prędko 2016]. Planuje się również przeprowadzenie analizy zmian efektywności finansowej i zasobów w czasie za pomocą indeksów Mälrmquista. Zamiarem autorów jest także zbadanie wpływu na oba rodzaje efektywności czynników egzogenicznych, pozostających poza kontrolą nadleśnictw, za pomocą odpowiedniego modelu tobitowego.

¹² Ów plan pośredni jest ponownie wzorcem (nad)efektywności, uzyskanym w wyniku rozwiązania programu (2) dla tego nadleśnictwa.

BIBLIOGRAFIA

- Andersen P., Petersen N. (1993) A Procedure for Ranking Efficient Units in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, 39 (10), 1261-1264.
- Banker R., Charnes A., Cooper W. (1984) Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in DEA. *Management Science*, 30 (9), 1078-1091.
- Charnes A., Cooper W., Rhodes E. (1978) Measuring the Efficiency of Decision Making Units. *European Journal of Operational Research*, 2 (6), 429-444.
- Cooper W., Seiford L., Tone K. (2006) *Introduction to Data Envelopment Analysis and Its Uses*. Springer, New York.
- Guzik B. (2009) *Podstawowe modele DEA w badaniu efektywności gospodarczej i społecznej*. Wyd. UE w Poznaniu, Poznań.
- Instrukcja zarządzania lasu. Załącznik do Zarządzenia nr 43 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z dnia 18 kwietnia 2003 r., <http://www.ekochart.pl/prawo/IUL1.pdf> [data dostępu: 19.07.2016].
- Klocek A., Płotkowski L. (2010) Ekonomiczne problemy zarządzania w Lasach Państwowych na tle innych krajów unijnych. *Leśnictwo i drzewnictwo polskie na tle leśnictwa krajów Unii Europejskiej*, Wyd. Świat, Warszawa, 33-45.
- Kocel J. (2004) Metoda określania jednostkowych kosztów standardowych prac leśnych na podstawie grupowania nadleśnictw o zbliżonych warunkach przyrodniczo-leśnych. *Leśne Prace Badawcze*, 3, 31-51.
- Marszałek T. (1974) Efektywność gospodarki leśnej. *Sylwan*, 118 (10), 8-16.
- Ministerstwo Środowiska (2009) *Gospodarka drewnem prowadzona przez Państwowe Gospodarstwo Leśne Lasy Państwowe*. Materiał informacyjny przygotowany na posiedzenie Sejmowej Komisji Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa, Warszawa, https://www.mos.gov.pl/fileadmin/user_upload/mos/srodowisko/lesnictwo/Gospodarka_drewnem_prowadzona_przez_Panstwowe_GospodarstwoLesne_Lasy_Panstwowe.pdf [data dostępu: 19.07.2016].
- Młynarski W., Prędko A. (2016) Ocena efektywności technicznej i finansowej wybranych nadleśnictw Lasów Państwowych za pomocą metody DEA. *Prace Naukowe UE we Wrocławiu* (w druku).
- Pasewicz W., Świtłyk M. (2010) Zastosowanie DEA do oceny efektywności technicznej działalności dydaktycznej uczelni publicznych w 2005 roku. *Folia Pomeranae Universitatis Technologiae Stetinensis, seria Oeconomica*, 280 (59), 87-98.
- Piszczyk M., Janusz A. (2012) Dystrybucja drewna a wolny rynek. [w:] *Przyrodnicze i gospodarcze aspekty produkcji oraz wykorzystania drewna – stan obecny i prognoza*. Zimowa Szkoła Leśna przy Instytucie badawczym leśnictwa IV sesja, Sękocin Stary, 142-152.
- Płotkowski L. (2001) Ekonomiczne aspekty zrównoważonej, wielofunkcyjnej gospodarki leśnej. *Zeszyty Naukowe Politechniki Lubelskiej*, 29, 117-133.
- Seiford L., Zhu J. (1999) Infeasibility of Super-efficiency Data Envelopment Analysis Models. *INFOR*, 37 (2), 174-186.
- Ustawa z 28 września 1991 r. o lasach. Tekst jednolity: Dz.U. z 2011 r. nr 12 poz. 59 z późniejszymi zmianami.

- Welfe A., Brzeszczyński J., Majsterek M. (2002) Słownik terminów metod ilościowych. PWE, Warszawa.
- Wilson P. (1995) Detecting Influential Observations in Data Envelopment Analysis. *Journal of Productivity Analysis*, 6, 27-45.

THE DEA METHOD IN EVALUATION OF OUTPUT-ORIENTED EFFICIENCY OF FOREST DISTRICTS

Abstract: The aim of this paper is to evaluate financial and economic resources efficiency of forest districts in the South Poland in 2012 by means of DEA. Within financial efficiency analysis, maximal potential lumber sales income for the forest districts at fixed costs was determined. Next, within economic resources efficiency analysis, the maximal amount of lumber is evaluated, which is technologically achievable at some fixed resources. Special attention was paid to extremely inefficient units, where an analysis using the so-called benchmarks of efficiency was performed. Additionally, in order to rank the units classified as efficient and to expand the interpretation of the efficiency measures, the super-efficiency model was employed.

Keywords: forestry, technical efficiency, Data Envelopment Analysis

POZIOM WYPOSAŻENIA W INFRASTRUKTURĘ KOMUNALNĄ A SYTUACJA FINANSOWA GMIN

Łukasz Satola, Lidia Luty

Katedra Statystyki i Ekonometrii, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
e-mail: lsatola@ar.krakow.pl; rr lutka@cyf-kr.edu.pl

Streszczenie: Celem artykułu jest próba wskazania relacji zachodzących pomiędzy poziomem rozwoju infrastruktury komunalnej, a sytuacją finansową gmin. Wykorzystując metodę unitaryzacji zerowanej skonstruowano syntetyczny wskaźnik kondycji finansowej gmin. Wyniki wskazują na istnienie słabych zależności pomiędzy poziomem rozwoju infrastruktury technicznej gmin, a ich sytuacją finansową. Wyższą dynamikę rozwoju szczególnie kosztownych obiektów infrastruktury komunalnej (sieć kanalizacyjna) wykazywały gminy o korzystniejszej sytuacji ekonomicznej.

Słowa kluczowe: infrastruktura komunalna, kondycja finansowa, gmina wiejska

WSTĘP

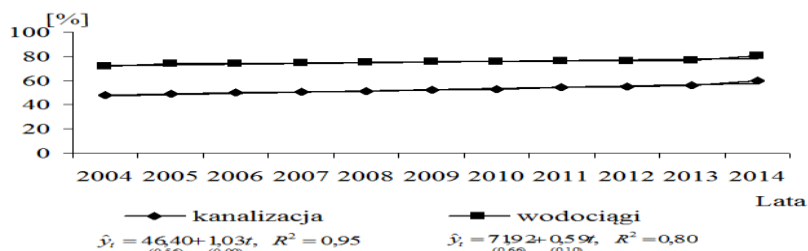
Pomimo różnic poglądów w zakresie roli oraz znaczenia infrastruktury technicznej dla procesów wzrostu i rozwoju gospodarczego wśród ekonomistów istnieje zgodność poglądów odnośnie faktu, że minimalne wyposażenie infrastrukturalne jest niezbędne, aby możliwe było lokalizacyjne oraz lokacyjne wykorzystanie danego terytorium [Ratajczak 1999]. Rozbudowa samych obiektów infrastruktury nie jest jednak warunkiem wystarczającym, aby na danym obszarze nastąpiły procesy rozwojowe, konieczne jest również wzmocnienie potencjału endogenicznego [por. Gorzelak 2009]. Pomiedzy rozwojem a zagospodarowaniem infrastrukturalnym mogą natomiast zachodzić wzajemne relacje, zgodnie z którymi wyższemu poziomowi rozwoju może towarzyszyć lepsza jakość poszczególnych komponentów infrastruktury. Dochodzi tu bowiem do istnienia swoistego sprzężenia zwrotnego, gdzie w lepiej zagospodarowanych infrastrukturalnie regionach chętniej lokalizowana jest działalność gospodarcza, która z kolei stanowi

dotatkowy popyt na tworzenie nowych lub modernizację istniejących obiektów infrastruktury technicznej.

Rozbudowa i eksploatacja urządzeń infrastrukturalnych jest kapitałochłonna i wymaga ponoszenia znaczących wydatków finansowych szczególnie w początkowej fazie [por. Alam 2010]. Ze względu na fakt, iż własność infrastruktury jest domeną głównie podmiotów sektora publicznego, to od ich kondycji finansowej zależy tempo zmian w tym zakresie. Podmiotami, które odpowiadają za większość urządzeń infrastrukturalnych stanowiących o atrakcyjności określonego obszaru jako miejsca lokalizacji podmiotów gospodarczych oraz życia ludności są jednostki samorządu terytorialnego, wśród których największe znaczenie mają gminy. Ich sytuacja finansowa determinuje między innymi możliwość podejmowania się realizacji projektów inwestycyjnych w obszarze infrastruktury komunalnej.

Celem artykułu jest próba wskazania relacji zachodzących pomiędzy sytuacją finansową jednostek samorządu terytorialnego szczebla gminnego, a poziomem rozwoju infrastruktury komunalnej. Wybór gmin jako obiektów badań został podyktowany faktem największego zakresu kompetencji tego szczebla samorządu w zakresie eksploatacji obiektów infrastruktury komunalnej.

Rysunek 1. Trend odsetka osób korzystających z infrastruktury wodociągowej i kanalizacyjnej w latach 2004-2014 ($t = 1, 2, 3, \dots, 11$) w województwie małopolskim



Źródło: opracowanie własne

W województwie małopolskim w okresie 11 lat (2004-2014) następował sukcesywny rozwój infrastruktury komunalnej (rysunek 1). Wciąż więcej mieszkańców posiadało dostęp do sieci wodociągowej niż kanalizacyjnej, tym niemniej tempo przyrostu sieci odprowadzającej ścieki było niemal dwukrotnie wyższe od instalacji dostarczającej wodę.

MATERIAŁ I METODA ANALIZY

Analizę obejmującą dynamikę wybranych elementów infrastruktury komunalnej w latach 2004-2014 prowadzono w oparciu o dane dostępne z Banku

Danych Lokalnych Głównego Urzędu Statystycznego. Rozważane szeregi czasowe opisują odpowiednio (y_t zmienna obserwowana w roku t):

- odsetek osób obsługiwanych przez sieć wodociągową,
 - odsetek osób obsługiwanych przez sieć kanalizacyjną,
- w gminach wiejskich województwa małopolskiego.

Badanie obejmuje analizę dynamiki tych wskaźników. Ponadto dokonano oceny sytuacji finansowej samorządów gmin wykorzystując skonstruowany syntetyczny miernik [por. Dziekański 2012]. Zbiór zmiennych charakteryzujących sytuację finansową gmin poddano weryfikacji merytorycznej oraz statystycznej (współczynnika zmienności na poziomie co najmniej 10%). Z szerokiej listy potencjalnych zmiennych wybrano następujące wskaźniki:

- X_1 - udział dochodów własnych w dochodach ogółem,
- X_2 - udział wydatków majątkowych w wydatkach ogółem,
- X_3 - obciążenie wydatków bieżących wydatkami na wynagrodzenia i pochodne,
- X_4 - wskaźnik samofinansowania,
- X_5 - udział zobowiązań ogółem w dochodach ogółem,
- X_6 - obciążenie dochodów ogółem wydatkami na obsługę zadłużenia.

Bazując na podstawie danych Ministerstwa Finansów z trzech lat (2012-2014) skonstruowano syntetyczny miernik oceny kondycji finansowej gminy (Q_i) jako średnią arytmetyczną syntetycznych mierników wyznaczonych dla każdego roku. W jednym badanym roku syntetyczny miernik wyznaczono wg wzoru [Kukuła 2000]:

$$Q_i^t = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k z_{ij}^t \quad (1)$$

gdzie: t – rok; k – liczba cech; z_{ij}^t - wartości unormowanej j cechy dla i gminy w roku t zgodnie z formułą,

$$z_{ij}^t = \begin{cases} \frac{x_{ij}^t - \min_i x_{ij}^t}{\max_i x_{ij}^t - \min_i x_{ij}^t}, & \text{gdy } X_j \in S \\ \frac{\max_i x_{ij}^t - x_{ij}^t}{\max_i x_{ij}^t - \min_i x_{ij}^t}, & \text{gdy } X_j \in D \end{cases} \quad (2)$$

taką, że: x_{ij}^t - realizacja cechy j dla i gminy w roku t , S – zbiór stymulant, D – zbiór destymulant.

WYNIKI BADAŃ

Analiza danych obejmujących charakterystyki osób korzystających z sieci wodociągowych i kanalizacyjnych dowodzi, że coraz więcej mieszkańców obszarów wiejskich posiada dostęp do tego rodzaju infrastruktury komunalnej (tabela 1). Obecnie już połowa gmin wiejskich zapewnia dostęp do zbiorowego zaopatrzenia w wodę dla bez mała 70 % swoich mieszkańców. W wyraźnym stopniu zmniejszeniu ulegają różnice pomiędzy najlepiej, a najgorzej pod tym względem wyposażonymi gminami.

Przeciętna dostępność sieci kanalizacyjnej jest wyraźnie mniejsza w porównaniu do sieci zaopatrującej w wodę, tym niemniej również w tym zakresie dokonały się istotne zmiany. W największym stopniu zmniejszyła się liczba gmin w ogóle nie posiadających instalacji zbiorowego odprowadzania ścieków. Rozbudowę infrastruktury kanalizacyjnej realizowały również podmioty posiadające już w 2004 r. na swoim terytorium częściowo wykonaną sieć (np. tylko w niektórych miejscowościach wchodzących w skład gminy). Podobnie, jak w przypadku sieci wodociągowej, zmniejsza się różnica pomiędzy najlepiej wyposażonymi gminami, a tymi zajmującymi ostatnie pozycje w rankingu.

Tabela 1. Wybrane charakterystyki odsetka osób korzystających z infrastruktury wodociągowej i kanalizacyjnej w wybranych latach 2004-2014 w gminach wiejskich województwa małopolskiego

Sieć	Charakterystyki liczbowe	Lata					
		2004	2006	2008	2010	2012	2014
Wodociągowa	Wartość maksymalna	97,50	97,80	98,20	98,10	98,10	100,0
	Mediana	39,10	43,70	47,50	54,40	54,20	69,30
	Kwartył pierwszy	20,20	22,30	27,40	31,10	33,00	39,10
	Kwartył trzeci	81,60	82,00	82,70	83,70	84,30	90,90
	Współczynnik zmienności*	0,79	0,69	0,58	0,48	0,47	0,37
Kanalizacyjna	Wartość maksymalna	70,80	73,30	77,40	81,70	82,20	99,90
	Mediana	8,40	13,20	17,00	20,80	25,20	28,60
	Kwartył pierwszy	0,00	3,30	5,70	7,30	10,00	17,10
	Kwartył trzeci	20,20	25,50	28,60	33,30	40,50	49,20
	Współczynnik zmienności*	1,20	0,84	0,67	0,63	0,61	0,56

* oszacowano względem odchylenia ćwiartkowego.

Źródło: opracowanie własne

Przeprowadzona z zachowaniem 2-letnich odstępów analiza przyrostów dowodzi, że tempo rozbudowy instalacji sieciowych nie było jednolite w całym okresie badawczym (tabela 2). Szczególnie w przypadku sieci wodociągowych widać, że najwyższe wartości przyrostów odnotowano dla okresów 2012-2014 oraz 2006-2008. Sytuacja taka została spowodowana względami merytorycznymi.

Wymienione okresy były bowiem zbieżne z zakończeniem odpowiednich perspektyw finansowych związanych z wykorzystaniem dostępnych funduszy strukturalnych UE. Jednostki samorządu terytorialnego w celu rozliczenia przyznanych środków finansowych były zobligowane do zakończenia realizacji projektów inwestycyjnych w ustalonych terminach oraz do osiągnięcia zakładanych rezultatów w postaci poprawy poziomu wyposażenia w urządzenia wodociągowe oraz kanalizacyjne. Malejące wartości współczynników zmienności wskazują na stopniowe zmniejszanie się dysproporcji pomiędzy poszczególnymi gminami [por. Standar, Bartkowiak-Bakun 2014].

Tabela 2. Wybrane charakterystyki przyrostów odsetka osób korzystających z infrastruktury wodociągowej i kanalizacyjnej w latach 2004-2014 w gminach wiejskich województwa małopolskiego

Przyrosty	Sieć wodociągów					Sieć kanalizacyjna				
	Charakterystyki liczbowe									
	Wartość maksymalna	Mediana	Kwartyl pierwszy	Kwartyl trzeci	Współczynnik zmienności*	Wartość maksymalna	Mediana	Kwartyl pierwszy	Kwartyl trzeci	Współczynnik zmienności*
$y_{2006} - y_{2004}$	17,60	0,50	0,00	1,90	1,90	25,90	1,20	0,00	5,00	2,08
$y_{2008} - y_{2006}$	60,00	0,50	0,10	1,50	1,40	25,40	0,50	0,00	3,20	3,20
$y_{2010} - y_{2008}$	31,30	0,90	0,30	2,20	1,06	18,30	1,30	0,20	4,10	1,50
$y_{2012} - y_{2010}$	20,00	0,50	0,00	1,60	1,60	28,60	2,10	0,40	6,40	1,43
$y_{2014} - y_{2012}$	68,90	3,60	0,50	11,90	1,58	32,50	3,20	0,40	10,60	1,59

*oszacowano względem odchylenia ćwiartkowego.

Źródło: opracowanie własne

Kondycja finansowa gmin analizowana przez pryzmat wybranych wskaźników ulegała niewielkim zmianom (tabela 3). Nieznacznie wzrosła samodzielność dochodowa ilustrowana udziałem dochodów własnych w dochodach ogółem. W tym samym czasie nastąpił spadek udziału wydatków majątkowych w wydatkach ogółem, co mogło być spowodowane wyczerpywaniem się funduszy strukturalnych dostępnych w ramach okresu programowania 2007-2013. Jednostki samorządu terytorialnego nie angażowały w tak dużym stopniu własnych środków w kosztowne projekty inwestycyjne oczekując na fundusze europejskie z nowej perspektywy finansowej.

Najniższą zmiennością cechował się wskaźnik obciążenia wydatków bieżących wydatkami na wynagrodzenia i pochodne. Należy tu jednak zauważyć nieznaczny spadek tego wskaźnika wywołany ograniczaniem przez część gmin funduszy plac w rezultacie przekształceń sieci placówek edukacyjnych [por.

Milewska 2014]. Wskaźniki zadłużenia charakteryzowały się lekką tendencją malejącą, co może być traktowane jako pierwsze efekty wprowadzenia ograniczeń możliwości zadłużania się samorządów.

Tabela 3. Podstawowe charakterystyki kondycji finansowej gmin wiejskich województwa małopolskiego w latach 2012-2014

Rok	Charakterystyki liczbowe	Wskaźnik					
		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
2012	Mediana	0,283	0,189	0,505	0,938	0,316	0,085
	Kwartył pierwszy	0,209	0,137	0,478	0,722	0,206	0,057
	Kwartył trzeci	0,362	0,245	0,530	1,240	0,435	0,122
	Współczynnik zmienności*	0,271	0,287	0,051	0,276	0,363	0,382
2013	Mediana	0,302	0,168	0,506	1,079	0,325	0,087
	Kwartył pierwszy	0,241	0,118	0,482	0,844	0,201	0,050
	Kwartył trzeci	0,386	0,200	0,533	1,477	0,407	0,126
	Współczynnik zmienności*	0,239	0,246	0,050	0,293	0,318	0,436
2014	Mediana	0,325	0,169	0,495	0,984	0,304	0,059
	Kwartył pierwszy	0,239	0,112	0,464	0,791	0,179	0,041
	Kwartył trzeci	0,407	0,229	0,527	1,263	0,417	0,076
	Współczynnik zmienności*	0,258	0,346	0,063	0,239	0,392	0,296

* oszacowano względem odchylenia ćwiartkowego.

Źródło: opracowanie własne

Najlepszą kondycją finansową ze względu na oszacowany syntetycznych wskaźnik sytuacji finansowej gmin (Q_i) cechowały się jednostki zlokalizowane w sąsiedztwie uczęszczanych szlaków transportowych i wokół dużych ośrodków miejskich (Wielka Wieś, Koszyce, Szczurowa, Chelmiec, Zielonki), jak również leżące na terenie uprzemysłowionych powiatów (Trzyciąż, Bolesław) oraz aktywne w działalności turystycznej (Bukowina Tatrzańska), a także w dziedzinie drobnej przedsiębiorczości (Zembrzyce). Wśród gmin o najsłabszej kondycji finansowej dominowały jednostki peryferyjnie zlokalizowane (Kozłów, Książ Wielki, Rytró, Moszczenica), aczkolwiek znalazła się tam również gmina Wierzchosławice położona w bezpośrednim sąsiedztwie drugiego pod względem wielkości miasta regionu – Tarnowa. W tym przypadku o jej miejscu w zestawieniu zdecydowały głównie bardzo wysokie wskaźniki zadłużenia.

Czynnikiem, który silnie różnicował sytuację finansową gmin, była ich samodzielność w sferze dochodów, jak i wydatków [por. Zawora 2010, Głowicka-Wołoszyn, Wysocki 2016]. Wysoki udział dochodów własnych (X_1) świadczący o dużym poziomie samodzielności dochodowej wyraźnie determinował korzystny rezultat syntetycznej miary kondycji finansowej. Podobnie w zakresie samodzielności wydatkowej, na wysokich miejscach rankingu syntetycznego wskaźnika kondycji finansowej uplasowały się jednostki samorządu terytorialnego cechujące się wysokim udziałem wydatków majątkowych w wydatkach ogółem

(X_2). Rozkład syntetycznego miernika kondycji finansowej gmin cechował się prawostronną skośnością, co oznacza, że w zbiorowości przeważały licznie podmioty o przeciętnie niższych niż średnia arytmetyczna wartościach.

Obiekty lokalnej infrastruktury technicznej stanowią ważny składnik mienia komunalnego umożliwiającego gminom wykonywanie powierzonych im zadań [Łyszkiewicz 2016]. Inwestycje w rozbudowę obiektów infrastrukturalnych stanowią ponadto sposobność do uruchomienia lokalnych procesów rozwojowych jako rezultat po pierwsze samego przedsięwzięcia budowlanego, a po drugie w wyniku poprawy dostępności i atrakcyjności obszaru po zakończeniu inwestycji. Z punktu widzenia rozwoju określonej jednostki terytorialnej ważne jest, aby dominowały te drugie efekty, gdyż sprzyjają one trwałości procesu w przeciwieństwie do pierwszych, mających jedynie krótkotrwały charakter.

Tabela 4. Zróżnicowanie infrastruktury wodociągowej i kanalizacyjnej w 2014 roku w grupach gmin wiejskich ze względu na ocenę kondycji finansowej

Grupa	Kondycja finansowa	Przedziały zmienności		
		kondycji finansowej	odsetka osób korzystających z infrastruktury	
		Q_i	wodociągowej	kanalizacyjnej
I	dobra	0,551 – 0,687	39,10 – 95,20	10,90 – 75,80
II	przeciętna	0,415 – 0,551	4,60 – 100,00	0,00 – 99,90
III	słaba	0,279 – 0,415	4,00 – 99,90	0,00 – 81,80

Źródło: opracowanie własne

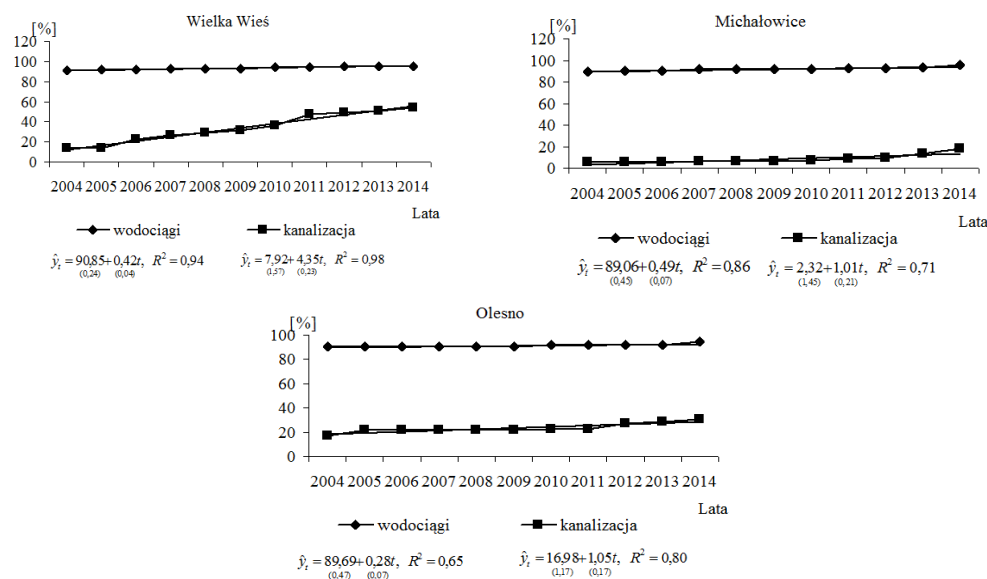
Obliczenie syntetycznego wskaźnika kondycji finansowej dało podstawę do podzielenia całej zbiorowości gmin wiejskich na trzy grupy (tabela 4). Jako kryterium podziału zastosowano wartość 1/3 rozstępu wartości syntetycznego miernika. Następnie w tych grupach dokonano oceny wyposażenia w infrastrukturę komunalną. Uzyskane wyniki nie dają podstawy do stwierdzenia istnienia jednoznacznej zależności pomiędzy kondycją finansową gmin, a poziomem rozwoju wybranych elementów infrastruktury technicznej. Dostrzeżono wprawdzie, że gminy o lepszej kondycji finansowej cechowały się średnio wyższymi wskaźnikami wyposażenia w sieci wodociągowe i kanalizacyjne, tym niemniej zróżnicowanie w poszczególnych jednostkach było w tym przypadku znaczące. W zasadzie w każdej grupie gmin występowały podmioty charakteryzujące się bardzo dobrą, jak i słabą dostępnością do urządzeń infrastruktury sieciowej. Polaryzacja była szczególnie duża w zbiorowości jednostek o słabej i przeciętnej kondycji finansowej.

Warto zaznaczyć, że w grupie podmiotów o dobrej kondycji ekonomicznej zakres zmienności wskaźników wyposażenia w urządzenia infrastrukturalne był relatywnie najniższy. Przyczyną takiej sytuacji był fakt, iż nawet najslabiej wyposażone infrastrukturalnie jednostki w tej grupie dysponowały na swoim terytorium rozwiniętą w pewnym zakresie siecią dostarczającą wodę czy

odprowadzającą ścieki. Nie znalazły się tam żadne gminy, w których nie byłoby w ogóle sieci wodociągowych czy kanalizacyjnych, bądź funkcjonujące tam urządzenia miały jedynie marginalny zakres oddziaływania. Wśród gmin o co najwyżej przeciętnej sytuacji finansowej nawet w ostatnim roku analizy występowały podmioty całkowicie pozbawione dostępu do sieci kanalizacyjnej, a także takie, na terenie których dostęp do sieci wodociągowej posiadało nie więcej niż 5% mieszkańców. Można stąd wyprowadzić wniosek, iż w gminach o lepszej sytuacji finansowej nie występują już jednostki bardzo słabo wyposażone infrastrukturalnie. Poziom ich wyposażenia jest zróżnicowany, tym niemniej dobra kondycja ekonomiczna umożliwiła im sukcesywną rozbudowę obiektów infrastruktury technicznej. Słaba sytuacja budżetowa gmin może natomiast wydatnie ograniczać zdolności do prowadzenia kosztownych inwestycji infrastrukturalnych.

W celu zilustrowania zmian, jakie następowały w wyposażeniu infrastrukturalnym poszczególnych jednostek samorządowych szczegółowej analizie poddano trzy wybrane gminy. Wybrane zostały te jednostki samorządu terytorialnego, które charakteryzowały się najwyższą w danej grupie wartością syntetycznego wskaźnika kondycji finansowej.

Rysunek 2. Przebieg zmian odsetka osób korzystających z infrastruktury wodociągowej i kanalizacyjnej w latach 2004-2014 ($t=1, 2, 3, \dots, 11$) w wybranych gminach



Źródło: opracowanie własne

Ze względu na fakt, iż gęstość sieci wodociągowej na początku okresu analizy była już dosyć wysoka, w tym zakresie pomiędzy gminami

reprezentującymi trzy grupy o różnej kondycji finansowej nie dostrzega się dużego zróżnicowania (rysunek 2).

Większe zmiany można dostrzec przy analizie dynamiki sieci kanalizacyjnej. W tym przypadku zarówno dynamika zmian, jak i różnice pomiędzy wybranymi gminami były znaczące. Najwyższą dynamikę rozbudowy sieci kanalizacyjnej wykazywała gmina Wielka Wieś, podczas gdy w innych jednostkach tempo było zdecydowanie wolniejsze. Inwestycje w rozwój sieci kanalizacyjnych należą do jednych z najbardziej kosztownych, a w konsekwencji obciążających budżet jednostek samorządu terytorialnego. Ich prowadzenie wymaga zatem dużego zaangażowania ze strony lokalnego budżetu, co jest możliwe do osiągnięcia pod warunkiem posiadania odpowiednio korzystnej sytuacji finansowej. W tej sytuacji widać zatem pewną zależność pomiędzy kondycją finansową gminy, a rozwojem infrastruktury technicznej. Okazało się, że pomimo podobnego stanu wyposażenia na początku analizowanego okresu gmina Wielka Wieś (o najlepszej kondycji finansowej) zdecydowanie szybciej rozwijała infrastrukturę niż gmina Olesno (reprezentująca jednostki cechujące się najslabszą kondycją finansową). Obserwacja ta potwierdza, iż gminy charakteryzujące się lepszą kondycją finansową są w stanie sprawniej realizować szczególnie kosztowne inwestycje infrastrukturalne (a do takich zalicza się sieć kanalizacyjną).

PODSUMOWANIE

W analizowanym okresie 11 lat widoczna jest znaczna poprawa poziomu wyposażenia gmin wiejskich w siećową infrastrukturę komunalną. Pomimo niższego zarówno początkowego, jak i końcowego udziału osób obsługiwanych przez sieć kanalizacyjną niż wodociągową, dynamika rozbudowy urządzeń odprowadzających ścieki była zdecydowanie wyższa w porównaniu do dostarczania wody. Wynika to z istnienia efektu bazy statystycznej – niskiego punktu odniesienia, co z kolei świadczyło o istnieniu początkowo dużej luki infrastrukturalnej w zakresie sieci kanalizacyjnej.

W ujęciu przestrzennym zaobserwowano proces konwergencji, czyli zmniejszania się różnic pomiędzy poszczególnymi gminami, co obrazują malejące systematycznie współczynniki zmienności. Jest to dowodem na to, że podmioty w najmniejszym stopniu zagospodarowane infrastrukturalnie na początku okresu rozwijały się dynamiczniej w stosunku do dobrze wyposażonych już w 2004 roku.

Dynamiczna analiza poziomu wyposażenia w infrastrukturę komunalną dowodzi, że gminy wiejskie województwa małopolskiego większą uwagę skupiały na rozbudowie sieci kanalizacyjnej. Związane było to z istniejącymi, dużymi brakami w tym zakresie oraz z dostępnością środków finansowych na wsparcie takich przedsięwzięć pochodzących głównie z funduszy strukturalnych UE.

Istnieją jedynie słabe relacje pomiędzy poziomem wyposażenia infrastrukturalnego gmin, a ich sytuacją finansową. Większą dynamikę realizacji

kosztownych inwestycji infrastrukturalnych ułatwia lepsza sytuacja ekonomiczna jednostki samorządu terytorialnego.

BIBLIOGRAFIA

- Alam M. (Ed.) (2010) *Municipal infrastructure financing: innovative practices from developing countries*. Commonwealth Secretariat, 2, London.
- Dziekański P. (2012) Wskaźnik syntetyczny działalności finansowej gmin wiejskich. *Zeszyty Naukowe SGGW w Warszawie, Ekonomika i Organizacja Gospodarki Żywnościowej*, 99, 229-241.
- Głowicka-Wołoszyn R., Wysocki F. (2016) Kondycja finansowa gmin wiejskich a źródła ich dochodów w województwie wielkopolskim. *Rocz. Nauk SERiA*, XVIII (1), 50-58.
- Gorzela G. (2009) Fakty i mity rozwoju regionalnego. *Studia Regionalne i Lokalne*, 2(36), 5-27.
- Kukuła K. (2000) *Metoda unitaryzacji zerowanej*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Łyszkiewicz M. (2016) *Gospodarowanie majątkiem komunalnym. Zasady, metody, strategie*, Wyd. CeDeWu, Warszawa.
- Milewska A. (2014) Determinanty zadłużenia jednostek samorządu terytorialnego – wybrane aspekty. *Nierówności społeczne a wzrost gospodarczy*, 40, 161-170.
- Ratajczak M. (1999) *Infrastruktura w gospodarce rynkowej*, Wyd. Akademii Ekonomicznej w Poznaniu.
- Standar A., Bartkowiak-Bakun N. (2014) Zmiany poziomu rozwoju gminnej infrastruktury technicznej w województwie wielkopolskim. *Journal of Agribusiness and Rural Development*, 4, 147-157.
- Zawora J. (2010) Samodzielność finansowa samorządów gminnych Podkarpacia. *Zesz. Nauk. SGGW, Ekonomika i Organizacja Gospodarki Żywnościowej*, 81, 137-145.

MUNICIPAL INFRASTRUCTURE EQUIPMENT AND THE FINANCIAL CONDITION OF MUNICIPALITIES

Abstract: The article attempts to identify the relations between the municipal infrastructure development, and the financial situation of municipalities. Zero unitarisation method was used to construction of synthetic indicator of the municipalities' financial condition. The results indicate a weak relationship between the levels of development of the technical infrastructure of municipalities and their financial situation. Higher dynamics of especially expensive objects of municipal infrastructure (sewage system) showed municipalities with better economic situation.

Keywords: municipal infrastructure, financial condition, rural municipality

POJĘCIE MIARY ODEJŚCIA OD RÓWNOMIERNOŚCI ORAZ JEJ WPŁYW NA TESTOWANIE NIEZALEŻNOŚCI W TABLICACH DWUDZIELCZYCH ŚREDNICH ROZMIARÓW

Piotr Sulewski

Instytut Matematyki, Akademia Pomorska w Słupsku
e-mail: piotr.sulewski@apsl.edu.pl

Streszczenie: Gdy hipoteza H_0 o niezależności cech jest słuszna, bardzo często wówczas — za sprawą małych próbek — rozkład statystyki testowej odbiega od rozkładu chi-kwadrat. Kwantylny rozkład chi-kwadrat nie jest zatem właściwą wartością krytyczną. Obecnie nie jest problemem wyznaczenie wartości krytycznej, lecz modelowanie H_0 . Modelowanie H_0 to wypełnianie tablic, w których wartości cechy przypisane wierszom są niezależne od wartości cechy przypisanej kolumnom. W pracy zdefiniowano miarę odejścia od równomierności (mn). Gdy H_0 jest słuszna, rozkład statystyki testowej zależy od mn. Wartość krytyczną należy ustalać z uwzględnieniem mn.

Słowa kluczowe: tablica dwudzielcza, test niezależności, miara nieprawdźliwości H_0 , metoda słupkowa, metoda Monte Carlo

WPROWADZENIE

W każdym popularnym podręczniku ze statystyki znajdują się informacje o m. in. takich testach, jak: niezależności, t Studenta, Kołmogorowa czy Behrensa - Fishera. Nie sposób nie zgodzić się zatem z tezą, że testy - obok wspomnianych wcześniej testów - są zapewne najczęściej stosowanymi narzędziami statystycznymi. Dane do testów niezależności aranżuje się w postaci tablic dwudzielczych $w \times k$ (TD).

Statystyka testowa ma asymptotyczny rozkład chi-kwadrat. Takie zdanie często pojawia się w literaturze statystycznej. W praktyce jednak bardzo często rozkład statystyki testowej nie podlega rozkładowi chi-kwadrat, co wynika z małych próbek. Rachunek prawdopodobieństwa nie oferuje metod pozwalających na wyznaczenie dokładnych rozkładów. Tak naprawdę, znajomość postaci analitycz-

nej tych rozkładów nie jest nam potrzebna. Jedyne, co chcemy znać, to wartości kwantyli z tzw. „ogona” tych rozkładów, najczęściej 90% i 95%. Do ich uzyskania służy metoda modelowania komputerowego Monte Carlo (MC), dzięki której można wyznaczać wartość kwantyla na podstawie 10^5 powtórzeń testu zgodności

Interesuje nas tutaj rozkład statystyki testowej, gdy hipoteza zerowa H_0 o niezależności cech jest słuszna. Przy obecnej wydajności komputerów nie stanowi problemu wyznaczenie kwantyla, lecz modelowanie H_0 . Modelowanie H_0 to wypełnianie takich TD, w których wartości cechy przypisanej wierszom są niezależne od wartości cech przypisanych kolumnom. Odpowiednia do takiego modelowania jest TD równomierna, o jednakowym prawdopodobieństwie przynależności do komórek. Jednak w modelowaniu nie można się ograniczyć tylko do niej. Zjawisko niezależności może wystąpić w każdej TD nierównomierniej, gdy prawdopodobieństwo według kolumn jest jednakowe we wszystkich wierszach lub prawdopodobieństwo według wierszy jest jednakowe we wszystkich kolumnach.

Do pokazania wpływu nierównomierności wypełnienia TD na wartość krytyczną wykorzystano najbardziej znaną i powszechnie stosowaną statystykę χ^2 . TD posiada ograniczenia w zakresie stosowania tej statystyki, która ma asymptotyczny rozkład chi-kwadrat z $(w-1)(k-1)$ stopniami swobody. W celu zniesienia tych ograniczeń zaproponowano wyznaczanie wartości krytycznych na podstawie symulacji komputerowych metodą MC. Także Lilliefors w teście Kołmogorowa dla rozkładu normalnego wyznaczał wartości krytyczne za pomocą symulacji, gdy parametry rozkładu były oszacowane z próby.

W [Sulewski 2016a] pokazano, że wartość krytyczna w teście niezależności dla TD 2×2 - gdy między cechami nie ma związku - zależy nie tylko od liczebności próby i poziomu istotności, ale także od stopnia nierównomierności danych. Artykuł obecny jest kontynuacją tamtych rozważań. TD nie są najmłodszym zagadnieniem, dlatego praca [Sulewski 2016a] miała charakter sondażowy, a ponieważ tematyka w niej zawarta została pozytywnie odebrana i zrecenzowana, autor postanowił pójść dalej i rozszerzył swoje badania na TD $w \times k$ ($w, k=2,3$) większe niż 2×2 .

Celem artykułu jest przypomnienie teorii dotyczącej testów niezależności dla TD, wprowadzenie miary nierównomierności danych oraz analiza wyników modelowania statystycznego. Analiza ta ujawniła, że - nawet gdy H_0 o niezależności cech jest słuszna - rozkład statystyki testowej w istotny sposób zależy od nierównomierności wypełnienia TD. Zatem wartość krytyczną należy ustalać z uwzględnieniem miary nierównomierności danych.

TABLICA DWUDZIELCZA

Tabela 1 przedstawia TD $w \times k$, która składa się z $w \cdot k$ wartości n_{ij} ($i=1,2,\dots,w$; $j=1,2,\dots,k$) rozkładu łącznego cech X i Y takich, że $\sum_{i=1}^w \sum_{j=1}^k n_{ij} = n$.

Tabela 1. Tablica dwudzielcza $w \times k$

Cecha X	Cecha Y				Razem
	Y_1	Y_2	...	Y_k	
X_1	n_{11}	n_{12}	...	n_{1k}	$n_{1\bullet}$
X_2	n_{21}	n_{22}	...	n_{2k}	$n_{2\bullet}$
..
X_w	n_{w1}	n_{w2}	...	n_{wk}	$n_{w\bullet}$
Razem	$n_{\bullet 1}$	$n_{\bullet 2}$	...	$n_{\bullet k}$	n

Źródło: opracowanie własne

Komórki TD $w \times k$ można także wypełnić prawdopodobieństwami p_{ij} ($i=1,2,\dots,w; j=1,2,\dots,k$) takimi, że $\sum_{i=1}^w \sum_{j=1}^k p_{ij} = 1$. W odniesieniu do tabeli 1 wartości te wyznaczone są ze wzoru $p_{i\bullet} = n_{i\bullet} / n$.

Liczebność oczekiwana komórki w i -tym wierszu i j -tej kolumnie wyznacza się ze wzoru

$$e_{ij} = \frac{n_{i\bullet} \cdot n_{\bullet j}}{n} = n \cdot p_{i\bullet} \cdot p_{\bullet j} \quad (i=1,2,\dots,w; j=1,2,\dots,k), \tag{1}$$

wówczas statystyka χ^2 dla TD $w \times k$ ma postać

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^w \sum_{j=1}^k \frac{(n_{ij} - e_{ij})^2}{e_{ij}} = n \sum_{i=1}^w \sum_{j=1}^k \frac{(p_{ij} - p_{i\bullet} \cdot p_{\bullet j})^2}{p_{i\bullet} \cdot p_{\bullet j}} = n \sum_{i=1}^w \sum_{j=1}^k \frac{p_{ij}^2}{p_{i\bullet} \cdot p_{\bullet j}} - n. \tag{2}$$

Przeprowadzając badanie populacji generalnej istotna jest nie tylko zależność istniejąca między cechami, ale także jej siła. Teorię poświęconą miarom siły związku można spotkać praktycznie w każdej książce statystycznej. Część z tych miar wykorzystuje statystykę χ^2 i są to współczynniki V Cramera, T Czuprowa oraz C Pearsona. Na szczególną uwagę zasługuje jednak asymetryczna miara siły związku między cechami, a mianowicie współczynnik τ Goodmana—Kruskala [Goodman, Kruskal 1979]. Niewątpliwym atutem tej miary jest także to, że ma swoje rozszerzenia dla tablic trójdzielczych [Gray, Williams 1975] oraz dla tablic czterodzielczych [D’Ambra, Crisci 2013].

Bazując na klasycznej definicji niezależności cech autor proponuje miarę nieprawdziwości H_0 przyjmującą postać

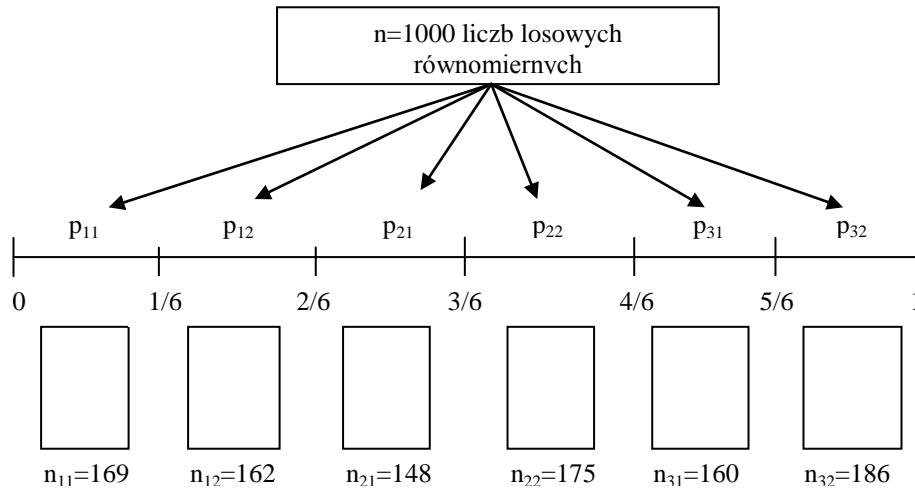
$$mu_{w \times k} = \sum_{i=1}^w \sum_{j=1}^k |p_{ij} - p_{i\bullet} \cdot p_{\bullet j}|. \tag{3}$$

Hipoteza zerowa H_0 — mówiąca o tym, że między cechami X i Y w TD $w \times k$ nie ma związku — jest słuszna, gdy $p_{ij} = p_{i\bullet} \cdot p_{\bullet j}$ ($i=1,2,\dots,w; j=1,2,\dots,k$). Zatem miara (3) przyjmuje wartość 0, gdy hipoteza zerowa H_0 jest słuszna. Im większe są wartości $mu_{w \times k}$, tym bardziej nieprawdziwa jest H_0 .

W pracy [Sulewski 2015] wartości krytyczne dla TD wyznaczano metodą MC. Pierwszym etapem tego procesu jest wypełnianie TD niezbędne do przeprowadzenia symulacji, którą wykonano metodą słupkową. W tym celu przedział $\langle 0;1 \rangle$ podzielono na $w \cdot k$ podprzedziałów o szerokościach równych wartościom prawdopodobieństw p_{ij} w taki sposób, że pierwszy podprzedział ma szerokość p_{11} , drugi - p_{12} , ..., k -ty - p_{1k} , ..., ostatni - p_{wk} . Aby uzyskać zerową wartość miary $mu_{w \times k}$ wielkości p_{ij} wyznaczono ze wzoru $p_{ij} = 1/(w \cdot k)$. Prawdopodobieństwa te spełniają oczywiście warunek normalizacji $\sum_{i=1}^w \sum_{j=1}^k p_{ij} = 1$.

Każda z n wygenerowanych liczb losowych równomiernych „wpada” do jednego z podprzedziałów i tym samym zostaje o jedną zwiększona liczba obiektów w odpowiadającej temu podprzedziałowi komórce TD. Wielkości n_{ij} spełniające równość $\sum_{i=1}^w \sum_{j=1}^k n_{ij} = n$ są liczebnością obiektów w poszczególnych komórkach TD. Rysunek 1 przedstawia schemat wypełniania komórek TD 3×2 dla liczebności próby $n=1000$ i miary $mu_{w \times k} = 0$, gdy $p_{ij} = 1/6$ dla każdego $i=1,2,3$; $j=1,2$. Tabela 2 prezentuje odpowiadającą temu schematowi TD 3×2 .

Rysunek 1. Schemat wypełniania komórek TD 3×2



Źródło: opracowanie własne

Tabela 2. Tablica dwudzielcza 3×2 otrzymana metoda słupkową

Cecha X	Cecha Y		Razem
	Y_1	Y_2	
X_1	169	162	331
X_2	148	175	323
X_3	160	186	346
Razem	477	523	1000

Źródło: opracowanie własne

MIARA NIERÓWNOMIERNOŚCI DANYCH

Wcześniejsze badania symulacyjne autora wykazały, że wartości krytyczne zależą od wartości prawdopodobieństw p_{ij} ($i=1,2,\dots,w$; $j=1,2,\dots,k$), dla których miara nieprawdopodobności H_0 (3) przyjmuje wartość zero (H_0 o niezależności cech jest słuszna). W związku z tym autor proponuje miarę nierównomierności danych dla TD w postaci:

$$mn_{w \times k} = w \cdot k \cdot \sum_{i=1}^w \sum_{j=1}^k \left(p_{ij} - \frac{1}{w \cdot k} \right)^2, \quad (4)$$

która - w zależności od rozmiaru TD - przyjmuje wartości w przedziale $\langle 0, d_{\max} \rangle$, gdzie $d_{\max} \leq 1$. W wyrażeniu (4) widoczne jest pewne podobieństwo do statystyki χ^2 (2).

WYZNACZANIE WARTOŚCI KRYTYCZNYCH

Istnieją pewne ograniczenia w zakresie stosowalności statystyki χ^2 dla TD, która ma asymptotyczny rozkład chi-kwadrat z $(w-1)(k-1)$ stopniami swobody. W odniesieniu do TD większych niż 2×2 ze statystyki χ^2 można korzystać, gdy liczebności oczekiwane (1) $e_{ij} > 1$ oraz gdy nie więcej niż 20% tych wartości jest mniejsze niż 5 [Yates, Moore, McCabe 1999, Shier 2004]. Natomiast zdaniem Cochran'a [1952] statystykę χ^2 dla TD większych niż 2×2 można stosować, gdy przynajmniej jedna z liczebności oczekiwanych $e_{ij} > 5$. W dobie coraz to szybszych komputerów można za pomocą stosownego oprogramowania znieść te ograniczenia i drogą symulacyjną — stosując metodę MC i uwzględniając nierównomierność wypełnienia TD - wyznaczyć wartości krytyczne. W celu uzyskania bardziej dokładnych wyników wartość krytyczną końcową cv_α wyznaczono jako wartość średnią kilkudziesięciu wyników, np. $n=50$. Algorytm wyznaczania wartości krytycznych dla TD jest następujący:

1. Sformułowanie hipotezy zerowej H_0 : nie ma związku między cechami.
2. Ustalenie rozmiaru TD, liczebności próby n i poziomu istotności α .

3. Wybór schematu prawdopodobieństw A lub B, gdy $w \neq k$.
4. Dla przyjętej wartości miary nierównomierności $mn_{w \times k}$, ustalenie wartości prawdopodobieństw p_{ij} ($i=1,2,\dots,w; j=1,2,\dots,k$), dla których miara nieprawdźliwości $mu_{w \times k} = 0$.
5. Wypełnianie TD metodą słupkową na podstawie wartości p_{ij} ($i=1,2,\dots,w; j=1,2,\dots,k$) ustalonych w kroku 4.
6. Wyznaczenie wartości statystyki χ^2 (2).
7. $R=10^5$ krotne powtórzenie pkt. 5 i 6.
8. Uporządkowanie w kolejności rosnącej wartości statystyk χ_i^2 ($i=1,\dots,R$).
9. Obliczenie wartości dystrybuant empirycznych $F_i^* = i/(R+1)$.
10. Ustalenie wartości krytycznej cv_1 jako i -tej statystyki pozycyjnej, dla której wartość dystrybuanty empirycznej wynosi $F_i^* = 1 - \alpha$ lub jest bardzo bliska tej wartości.
11. $u=50$ - krotne powtórzenie pkt. 5 - 10.
12. Wyznaczenie wartości krytycznej $cv_\alpha = (\sum_{i=1}^{50} cv_1) / 50$.

W dalszej części tego punktu wyznaczono wartości krytyczne dla TD $w \times k$ ($w, k=2,3,4$) większych niż 2×2 przy poziomie istotności $\alpha=0,05$ z uwzględnieniem miary nierównomierności danych (4) i liczebności próby n . Minimalną liczebność próby dla danej TD dobrano tak, aby prawdopodobieństwa brzegowe były różne od zera. Maksymalną liczebność próby ustalono tak, aby pokazać jak z jej wzrostem maleje wpływ nierównomierności danych w TD na wartość krytyczną. Związek między liczbą komórek $w \cdot k$ w analizowanych TD, a liczebnością próby n , określają zależności (5) z pewnym zaokrągleniem dla TD 3×2 oraz TD 3×3

$$\begin{aligned} n_1 &= w \cdot k \cdot 3,75; & n_2 &= w \cdot k \cdot 5; & n_3 &= w \cdot k \cdot 6,25; \\ n_4 &= w \cdot k \cdot 7,5; & n_5 &= w \cdot k \cdot 12,5; & n_6 &= w \cdot k \cdot 25. \end{aligned} \quad (5)$$

Stałe liczbowe występujące w (5) mają ścisły związek z liczebnością próby n dla TD 2×2 [Sulewski 2016b].

Wnioski jakie wynikają z uzyskanych wyników dla każdej analizowanej TD są takie same. Żeby ich nie powielać, zostaną one przedstawione na końcu tego punktu.

W celu uzyskania żądanej wartości miary nierównomierności $mn_{w \times k}$ (4), wartości prawdopodobieństw p_{ij} ($i=1,2,\dots,w; j=1,2,\dots,k$) - dla których miara nieprawdźliwości H_0 $mu_{w \times k} = 0$ - uzyskano ze wzorów:

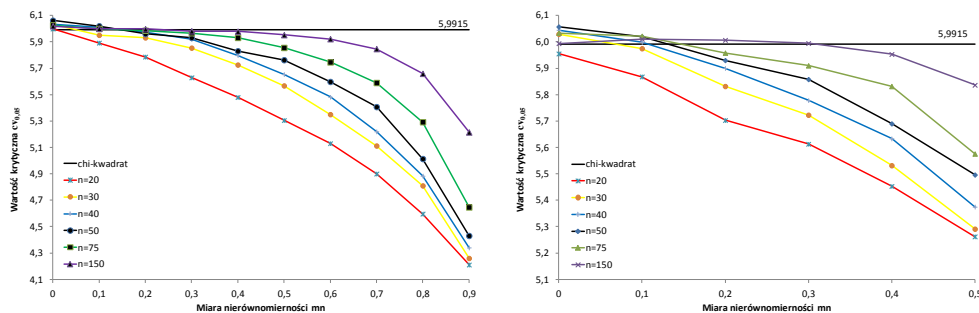
- TD 3×2 schemat A: $p_{i1} = 1/6 - q \cdot \Delta p$, $p_{i2} = 1/6 + q \cdot \Delta p$ ($i=1,2,3$),
- TD 3×2 schemat B: $p_{1j} = 1/6 - q \cdot \Delta p$, $p_{2j} = 1/6$, $p_{3j} = 1/6 + q \cdot \Delta p$ ($j=1,2$),

- TD 3×3: $p_{i1} = 1/9 - q \cdot \Delta p$, $p_{i2} = 1/9$, $p_{i3} = 1/9 + q \cdot \Delta p$ ($i = 1, 2, 3$),
gdzie $\Delta p = 10^{-3} / (w \cdot k)$ oraz $q \in \langle 0, 10^3 \rangle$.

Dla każdego z tych schematów wartość minimalna $mn_{w \times k} = 0$, natomiast wartości maksymalne to $mn_{3 \times 2} = 1$ (schemat A) i $mn_{3 \times 2} = 2/3$ (schemat B) oraz $mn_{3 \times 3} = 2/3$. Jeżeli $mn_{w \times k}$ przyjmuje wartość maksymalną, to nie można policzyć wartości statystyki (2), gdyż prawdopodobieństwa brzegowe są zerowe. Dlatego symulacje komputerowe przeprowadzono dla wartości $mn_{w \times k} \in \langle 0, \max \rangle$, gdzie $\max = 2/3$ dla TD 3×2 (schemat B) i 3×3 oraz $\max = 1$ dla TD 3×2 (schemat A). Dokładne wartości miary $mn_{w \times k}$, dla których korzystając z metody MC wyznaczono wartości krytyczne $cv_{0,05}$ to $mn_{3 \times 2} = 0, 0.1, \dots, 0.9$ (schemat A), $mn_{3 \times 2} = 0, 0.1, \dots, 0.5$ (schemat B) oraz $mn_{3 \times 3} = 0, 0.1, \dots, 0.6$.

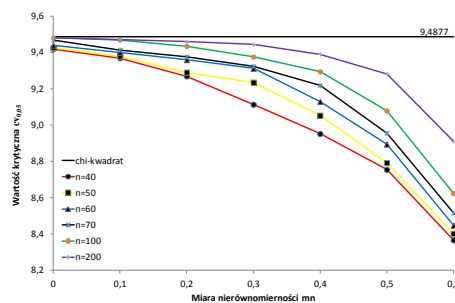
Otrzymane wartości krytyczne dla danej wartości miary $mn_{w \times k}$ oraz liczebności próby n przedstawiono graficznie na rysunkach 2 i 3.

Rysunek 2. Wartości krytyczne i wartości miary nierównomierności odnoszące się do schematu A (po lewej) i do schematu B (po prawej) w TD 3×2



Źródło: opracowanie własne

Rysunek 3. Wartości krytyczne i wartości miary nierównomierności w TD 3×3



Źródło: opracowanie własne

Z rysunków 2 i 3 wynika, że w TD dla danej liczebności próby n , wartość krytyczna $cv_{0,05}$ zmienia się wraz ze wzrostem stopni nierównomierności danych $mn_{w \times k}$ i przyjmuje najmniejsze wartości, gdy ta nierównomierność jest największa. Odchylenia od wartości krytycznej $\chi_{0,05;(w-1)(k-1)}^2$ wyznaczanej „rutynowo” z rozkładu chi-kwadrat są znaczne i maleją wraz ze wzrostem liczebności próby.

Do badań empirycznych niezbędny jest także wskaźnik kierunku zmiany nierównomierności (WKZN), którego zadaniem - dla tablic o różnej liczbie wierszy i kolumn - jest wskazanie odpowiedniego schematu prawdopodobieństw do wyznaczania wartości krytycznych. Schematowi A odpowiada WKZN w postaci m_A , natomiast schematowi B - WKZN w postaci m_B .

$$m_A = \sum_{j=1}^k \left| p_{\bullet j} - \frac{1}{k} \right|, \quad m_B = \sum_{i=1}^w \left| p_{i\bullet} - \frac{1}{w} \right| \quad (6)$$

Wskaźniki (6) przyjmują jednocześnie wartość zero, gdy dane w TD są rozłożone równomiernie. Przykładowe inne wartości tych wskaźników dla TD 3×2 przedstawia tabela 3.

Tabela 3. Wartości WKZN w tablicy dwudzielczej 3×2 prawdopodobieństw

$m_A = 0,5, m_B = 0$				$m_A = 1, m_B = 0$			
	Y_1	Y_2	Σ	1	Y_1	Y_2	Σ
X_1	1/12	1/4	1/3	X_1	0	1/3	1/3
X_2	1/12	1/4	1/3	X_2	0	1/3	1/3
X_3	1/12	1/4	1/3	X_3	0	1/3	1/3
Σ	1/4	3/4	1	Σ	0	1	1
$m_A = 0, m_B = 1$				$m_A = 0, m_B = 1,2$			
	Y_1	Y_2	Σ	1	Y_1	Y_2	Σ
X_1	0	0	0	X_1	0	0	0
X_2	1/12	1/12	1/6	X_2	1/30	1/30	1/15
X_3	5/12	5/12	5/6	X_3	7/15	7/15	14/15
Σ	1/2	1/2	1	Σ	1/2	1/2	1

Źródło: opracowanie własne

Jeżeli dla danych empirycznych przedstawionych w postaci TD $w \times k$ ($w \neq k$) $m_A \geq m_B$, to do wyznaczania wartości krytycznych należy skorzystać ze schematu A prawdopodobieństw. Jeżeli $m_A < m_B$, to należy skorzystać ze schematu B.

PRZYKŁADY LICZBOWE

Przykład 1

Wśród 1000 klientów PZU mieszkających w województwie Pomorskiem oceniono stopień opanowania języka ojczystego (cecha X) oraz wyniki w uczeniu się języka obcego (cecha Y). Uzyskane wyniki przedstawia TD 3×3 , wartości p_{ij} zapisano w nawiasach (tabela 4). Za pomocą statystyki χ^2 zbadano niezależność cech X i Y na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ z uwzględnieniem stopnia nierównomierności danych.

Tabela 4. Tablica dwudzielcza 3×3

Cecha X	Cecha Y			Razem
	Słabe	Przeciętne	Wysokie	
Niski	10 (0,050)	19 (0,095)	22 (0,110)	51 (0,255)
Przeciętny	9 (0,045)	47 (0,235)	12 (0,060)	68 (0,340)
Bardzo dobry	58 (0,290)	13 (0,065)	10 (0,050)	81 (0,405)
Razem	77 (0,385)	79 (0,395)	44 (0,220)	200 (1)

Źródło: dane umowne

Do wyznaczenia wartości krytycznych skorzystano z algorytmu opisanego w punkcie 4 i otrzymano następujące wyniki:

- H_0 : nie ma związku między cechami.
- $w = 3$, $k = 3$, $n = 200$, $\alpha = 0,05$, $mn_{3 \times 3} = 0,521$.
- Wartość $mn_{3 \times 3} = 0,521$ uzyskano dla indeksu nierównomierności $q = 884$.
Wartości prawdopodobieństw dla których $mn_{3 \times 3} = 0,521$ oraz $mu_{3 \times 3} = 0$ to:
 $p_{i1} = 0,013$; $p_{i2} = 0,111$; $p_{i3} = 0,209$ ($i = 1, 2, 3$).
- Wyznaczenie wartości krytycznej: $cv_{0,05} = \left(\sum_{i=1}^{50} cv1_i \right) / 50 = 9,267$.

Ponieważ wartość statystyki testowej $\chi^2 = 79,877$ jest większa od wartości krytycznej $cv_{0,05} = 9,267$, zatem są podstawy do odrzucenia H_0 . Wartość krytyczna odczytana z tablic rozkładu chi-kwadrat to $cv_{0,05;4} = 9,4877$.

Przykład 2

W populacji generalnej przeprowadzono badanie statystyczne. Uzyskane wyniki przedstawia TD 3×2 , wartości p_{ij} zapisano w nawiasach (tabela 5). Za pomocą statystyki χ^2 zbadano niezależność cech X i Y na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ wyznaczając wartość krytyczną testu trzema sposobami: (sposób 1) wartość krytyczną odczytano z tablic rozkładu chi-kwadrat; (sposób 2) wartość krytyczną wyznaczono symulacyjnie metodą MC bez uwzględnienia nierównomierno-

ści danych; (sposób 3) wartość krytyczną wyznaczono symulacyjnie metodą MC z uwzględnieniem nierównomierności danych.

Tabela 5. Tablica dwudzielcza 3×2

Cecha X	Cecha Y		Razem
	Y_1	Y_2	
X_1	13(0,121)	35(0,327)	48(0,449)
X_2	3(0,028)	38(0,355)	41(0,383)
X_3	3(0,028)	15(0,14)	18(0,168)
Razem	19(0,178)	88(0,822)	107(1)

Źródło: dane umowne

Do wyznaczenia wartości krytycznych skorzystano z algorytmu opisanego wcześniej i otrzymano następujące wyniki:

- H_0 : nie ma związku między cechami.
- $w=3, k=2, n=107, \alpha=0,05, mn_{3 \times 2}=0$ (sposób II), $mn_{3 \times 2}=0,615$ (sposób III).
- Ponieważ WKZN $m_A=0,645 > m_B=0,33$, więc do wyznaczania wartości krytycznej należy skorzystać ze schematu A prawdopodobieństw (sposób 3).
- Wartość $mn_{3 \times 2}=0$ uzyskano dla indeksu nierównomierności $q=0$ (sposób 2), wartość $mn_{3 \times 2}=0,615$ - dla indeksu nierównomierności $q=784$ (sposób 3). Wartości prawdopodobieństw dla których $mn_{3 \times 2}=mu_{3 \times 2}=0$ to: $p_{ij}=1/6$ ($i=1,2,3; j=1,2$). Wartości prawdopodobieństw dla których $mn_{3 \times 2}=0,615$ oraz $mu_{3 \times 2}=0$ to: $p_{i1}=0,036; p_{i2}=0,297$ ($i=1,2,3$).
- Wyznaczenie wartości krytycznych:

$$\text{(sposób 2) } cv_{0,05} = \left(\sum_{i=1}^{50} cv1_i \right) / 50 = 6,012,$$

$$\text{(sposób 3) } cv_{0,05} = \left(\sum_{i=1}^{50} cv1_i \right) / 50 = 5,849.$$

Sposób I. Statystyka testowa dla analizowanych danych wyznaczona ze wzoru (2) ma wartość $\chi^2 = 5,933$, a wartość krytyczna odczytana z tablic rozkładu chi-kwadrat to $cv_{0,05;2} = 5,991$. Ponieważ $\chi^2 < cv_{0,05;2}$, zatem nie ma podstaw do odrzucenia H_0 .

Sposób II. Wartość krytyczna wyznaczona symulacyjnie metodą MC bez uwzględnienia nierównomierności danych wynosi $cv_{0,05} = 6,012$ i jest większa od wartości statystyki $\chi^2 = 5,933$, zatem nie ma podstaw do odrzucenia H_0 .

Sposób III. Wartość krytyczna wyznaczona symulacyjnie metodą MC z uwzględnieniem nierównomierności danych wynosi $cv_{0,05} = 5,849$ i jest mniejsza od wartości statystyki $\chi^2 = 5,933$, zatem są podstawy do odrzucenia H_0 .

PODSUMOWANIE

W badaniu niezależności cech za pomocą TD $w \times k$ bardzo popularną i często stosowaną miarą jest zaproponowana przez Pearsona statystyka χ^2 . W celu zniesienia ograniczeń w stosowaniu tej statystyki wymienionych w pkt. 4, dla TD wartości krytyczne wyznaczono symulacyjnie. Godnym uwagi jest, że wartości krytyczne wyznaczone symulacyjnie metodą MC zależą nie tylko od liczebności próby i poziomu istotności, ale także od zaproponowanej w niniejszej pracy miary nierównomierności danych. Zbieżność rozkładu statystyki testowej do rozkładu chi-kwadrat jest tym wolniejsza, im bardziej nierównomierna jest TD. Oczywiście wraz ze wzrostem liczebności próby symulacyjne wartości krytyczne dążą do tych wyznaczonych z rozkładu chi-kwadrat.

Głównym przesłaniem tego artykułu jest to, że wartość krytyczną należy ustalać z uwzględnieniem miary nierównomierności wypełnienia TD.

BIBLIOGRAFIA

- Cochran W. G. (1954) Some Methods for Strengthening the Common χ^2 Tests. *Biometrics*, 10(4), 417 – 451.
- D’Ambra A., Crisci A. (2013) Multiple TAU decomposition in mean effect and interaction term. *SIS Statistical Conference, Advances in Latent Variables. Methods, Models and Applications*, Brescia.
- Goodman L. A., Kruskal W. H. (1979) Measures of Association for Cross Classifications. *Measures of Association for Cross Classifications. Springer Series in Statistics*, 2 – 34.
- Gray L. N., Williams J. S. (1975) Goodman and Kruskal’s tau b: multiple and partial analogs. *Proceedings of the Social Statistics Section, American Statistical Association*, 444 – 448.
- Shier R. (2004) The Chi-squared test for two-way tables. *Mathematics Learning Support Centre*.
- Sulewski P. (2015) Wyznaczanie obszaru krytycznego przy testowaniu niezależności w tablicach wielodzielczych. *Wiadomości Statystyczne*, 3, 1 – 18.
- Sulewski P., Drapella A. (2016a) Wpływ nierównomierności wypełnienia tablicy dwudzielczej 2×2 na wartość krytyczną statystyki testowej. *Wiadomości Statystyczne*, 4, 1-16.
- Sulewski P. (2016b) Moc testów niezależności w tablicy dwudzielczej większej niż 2×2 . *Przegląd Statystyczny*, oddana do druku.
- Yates D. S., Moore D. S., McCabe G. P. (1999) *The practice of statistics: TI-83 graphing calculator enhanced*. New York, W. H. Freeman.

**A CONCEPT OF DEPARTURE-FROM-UNIFORMITY MEASURE
AND ITS IMPACT ON THE TESTING FOR INDEPENDENCE
IN TWO-WAY CONTINGENCY TABLES
OF MEDIUM DIMENSIONS**

Abstract: Even when null hypothesis H_0 is true, test statistics may not follow the chi-square distribution. It takes place when the contingency table is filled with a small sample. The relevant quantile of the chi-square distribution is no longer a proper critical value. Again and again, also in this case, the Monte Carlo method turns out to be irreplaceable. Modeling H_0 means generating such tables in which values ascribed to rows are independent of values ascribed to columns. In paper a departure-from-uniformity measure mn was defined. When H_0 is true measure mn has a strong impact on distribution of the test statistics. So, determining test critical values one has to take mn into account.

Keywords: two-way contingency table, test of independence, untruthfulness measure, bar method, Monte Carlo method

OCENA EFEKTYWNOŚCI DZIAŁALNOŚCI BADAWCZO-ROZWOJOWEJ W KRAJACH OECD

Andrzej Szuwarzyński

Katedra Zarządzania, Politechnika Gdańska
e-mail: asz@zie.pg.gda.pl

Streszczenie: Działalność badawczo-rozwojowa jest istotną częścią polityki innowacyjnej. Ocenę tej działalności w krajach OECD przeprowadzono wykorzystując metodę DEA. Uwzględniono nakłady: poziom wykształcenia, współpracę nauki z biznesem i poziom wykorzystywania wiedzy w firmach oraz rezultaty: liczba publikacji, patentów i doktoratów oraz eksport sektorów wysokich technologii i indeks Hirsha. Zwrócono uwagę na problem zerowych wag oraz przesunięcia czasowego. Przedstawiono rekomendacje poprawy efektywności dla krajów nieefektywnych.

Słowa kluczowe: badania i rozwój, efektywność, Data Envelopment Analysis

WPROWADZENIE

W erze gospodarki opartej na wiedzy, zasoby naukowe i technologiczne odgrywają kluczową rolę w budowaniu przewagi konkurencyjnej. Zalicza się do nich zasoby ludzkie, finansowe, materialne i informacyjne [Bei i in. 2012]. Skuteczność polityki innowacyjnej, której częścią jest działalność badawczo-rozwojowa (B+R), wymaga wyposażenia decydentów w narzędzia umożliwiające pomiar i ocenę poziomu wykorzystania zasobów jak również osiągniętych rezultatów. Ocena efektywności działalności B+R identyfikuje najlepszych wykonawców w celach porównawczych, a także pozwala na wskazanie obszarów, w których konieczne jest wprowadzenie zmian poprawiających efektywność [Sharma, Thomas 2008]. W badaniach efektywności B+R jako podstawowe rezultaty przyjmuje się zwykle wiedzę naukową mierzoną liczbą publikacji i wiedzę technologiczną mierzoną liczbą patentów [Dosi i in. 2006, Guan, Zuo 2014]. Jako nakłady przyjmuje się zwykle wielkość środków finansowych na działalność B+R oraz liczbę osób zaangażowanych w tę działalność [Dosi i in.

2006, Chen i in. 2013]. Nieliczne publikacje podkreślają, że innowacyjność gospodarki polega nie tylko na inwestycjach w B+R, ale również na kapitale bazującym na wiedzy [Furman i in. 2002, OECD 2015, Dutta i in. 2015]. Tworzenie tego kapitału jest głównie wynikiem inwestycji w ludzi oraz budowania relacji instytucji badawczych z biznesem.

Celem artykułu jest ocena efektywności działalności B+R w krajach OECD z uwzględnieniem czynników charakteryzujących kapitał bazujący na wiedzy. W zaproponowanym modelu pominięto tradycyjne zasoby wykorzystywane w analizach, takie jak nakłady finansowe i liczba pracowników zaangażowanych w działalność B+R. Stosowany zwykle zestaw rezultatów, takich jak publikacje, patenty oraz eksport w sektorze wysokich technologii, uzupełniono o liczbę absolwentów uzyskujących doktorat oraz o ocenę jakości publikacji.

BADANIA EFEKTYWNOŚCI DZIAŁALNOŚCI BADAWCZO-ROZWOJOWEJ W LITERATURZE

Data Envelopment Analysis (DEA) jest metodą szeroko stosowaną w badaniach efektywności działalności B+R. W zależności od celu badania struktura stosowanych modeli jest zróżnicowana, zarówno w zakresie stosowanych algorytmów jak i zestawu nakładów i rezultatów. Jednym z przykładów jest ocena efektywności alokacji zasobów zaangażowanych w B+R w Chinach [Bei i in. 2012], gdzie jako nakłady przyjęto łączne wydatki na B+R i pełnoetatowy personel B+R. Natomiast jako rezultaty przyjęto artykuły i książki naukowe, patenty reprezentujące innowacyjne osiągnięcia technologiczne oraz wartość produkcji wyrobów wysoko technologicznych, odwzorowującą zdolność transformacji osiągnięć naukowych w korzyści ekonomiczne. Wyniki uzyskane za pomocą modelu CCR wykorzystano do analizy przyczyn nieefektywności alokacji zasobów i wskazania kierunków poprawy.

Bardziej złożony model pozwala na ocenę B+R w kontekście efektywności procesów innowacyjnych [Guan, Chen 2012, Guan, Zuo 2014]. Autorzy dokonali dekompozycji procesu innowacji na dwa podprocesy: tworzenia wiedzy (PTW) i komercjalizacji wiedzy (PKW). PTW wykorzystuje nakłady, którymi są liczba naukowców, wydatki krajowe brutto na B+R oraz zakumulowana wiedza. Rezultatami jest wiedza naukowa mierzona liczbą publikacji naukowych i wiedza technologiczna mierzona liczbą patentów, która jest zarazem nakładem dla PKW. Proces komercjalizacji wykorzystuje ponadto pierwotne nakłady ekonomiczne, takie jak liczba pracowników technicznych, liczba badaczy w instytucjach biznesowych oraz zakumulowana wcześniej wiedza. Rezultatami PKW są korzyści rynkowe: wartość dodana z wdrożonych patentów oraz wielkość eksportu z sektorów wysokich technologii. Zastosowano model Network-DEA pozwalający na połączenie rezultatów obu podprocesów.

Przykładem badań wykorzystujących łączone metody jest ocena projektów B+R oparta na strategicznej karcie wyników (*balanced scorecard*) i modelu DEA z ograniczeniami na wagi [Eilat i in. 2008]. Strategiczna karta wyników bazuje na czterech perspektywach: finansowej, klienta, wewnętrznych procesów biznesowych i rozwoju [Kaplan, Norton 2001]. Aby uwzględnić specyfikę ocenianych obiektów autorzy [Eilat i in. 2008] uzupełnili model o piątą perspektywę niepewności, która odgrywa w realizacji projektów badawczo-rozwojowych olbrzymią rolę. Do każdej z perspektyw przypisano zmienne, kierując się dwoma kryteriami: zgodności z podstawowym modelem strategicznej karty wyników oraz istotności dla jednostek B+R realizujących projekty.

Przykładem zastosowania metod wskaźnikowych może być próba systematycznego zbadania trajektorii rozwoju nauki i technologii w Japonii i Korei Południowej [Wong 2013]. W analizie wykorzystano takie miary, jak liczba artykułów naukowych i patentów oraz miary oddziaływania działalności badawczej (cytowania). Stwierdzono, że szczytowe osiągnięcia wzrostu liczby patentów wystąpiły 9-10 lat po szczytowych osiągnięciach w liczbie publikacji naukowych, co tłumaczone jest koniecznością zakumulowania zasobów wiedzy potrzebnych do opracowania nowatorskich rozwiązań technologicznych.

Standardowe modele DEA zakładają [Lee i in. 2016], że nakłady zużywane w danym czasie służą do produkcji rezultatów w tym samym okresie. Jednakże, w niektórych przypadkach nakłady poniesione w danym momencie mogą wpływać na rezultaty w późniejszym czasie. Jest to określane jako opóźnienie czasowe (*time lag*). Przykładem może być publikowanie artykułów naukowych, które są często wynikiem wysiłków badawczych trwających przez kilka lat. Nie ma jednoznacznej procedury ustalania wielkości opóźnienia czasowego i jest ono przyjmowane subiektywnie przez autorów badań. We wspomnianych badaniach efektywności alokacji zasobów [Bei i in. 2012] przyjęto czas opóźnienia równy dwa lata. Natomiast w badaniach systemów innowacji [Guan, Chen 2012, Guan, Zuo 2014], dla procesów tworzenia wiedzy przyjęto trzyletni okres opóźnienia, a dla procesów komercjalizacji wiedzy przyjęto okres jednego roku. Podobnie uwzględniane są opóźnienia w badaniach innych autorów [Furman i in. 2002].

STRUKTURA PROPONOWANEGO MODELU

Wskaźnik efektywności względnej dla konkretnego obiektu można określić, jako relację ważonych nakładów do ważonych rezultatów [Cooper, Seiford, Zhu 2011]. Przy ocenie zestawu obiektów o znacznym zróżnicowaniu, które konkurują o te same zasoby, bardziej właściwy jest model o zmiennych korzyściach skali (BCC). Natomiast, gdy porównywane obiekty są bardziej jednorodne, powinien być zastosowany model ze stałymi korzyściami skali (CCR) [Eilat i in. 2008].

Wykorzystano modele DEA-CCR i DEA-ARG zorientowane na rezultaty, ze stałymi korzyściami skali. Metoda DEA wykorzystuje programowanie liniowe do określania efektywności względnej zestawu obiektów zwanych jednostkami

decyzyjnymi (DMU – *Decision Making Units*). Pomiar efektywności bazuje na określaniu relacji między wieloma ważonymi nakładami i wieloma ważonymi rezultatami funkcjonowania DMU. Wagi przypisywane do poszczególnych nakładów i rezultatów są obliczane na podstawie danych. Model CCR (od nazwisk twórców Charnes, Cooper i Rhodes), ze stałymi korzyściami skali, pozwala na obliczenie efektywności technicznej [Charnes i in. 1978]. Wynik efektywności θ_o w modelu CCR zorientowanym na rezultaty, dla grupy odniesienia DMU_{*j*}, $j = 1, \dots, n$, jest obliczany dla rezultatów $(y_{rj}, r = 1, \dots, s)$ i nakładów $(x_{ij}, i = 1, \dots, m)$, co można zapisać [Cooper, Seiford, Zhu 2011]:

$$\min \theta_o = \sum_{i=1}^m v_i x_{io} \quad (1)$$

z warunkami:

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} \geq 0 \quad (2)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{ro} = 1 \quad (3)$$

$$u_r, v_i \geq 0 \quad r = 1, \dots, s \quad i = 1, \dots, m \quad (4)$$

gdzie: u_r – wagi rezultatów, v_i – wagi nakładów, s – liczba rezultatów, m – liczba nakładów, n – liczba DMU.

W obliczaniu wyników efektywności model CCR dopuszcza pełną elastyczność wag. Powoduje to, że niektóre nakłady i rezultaty mogą mieć przypisane zerowe wagi, co powoduje ich pominięcie w obliczeniach, przez co uzyskuje się nierealistyczne wyniki [Mecit, Alp 2013]. Wprowadzenie ograniczenia na wagi dla nakładów eliminuje ten problem. W modelu CCR, którego wyniki prezentowane są w następnej sekcji artykułu, wystąpił problem zerowych wag. Dla 34 krajów przy obliczaniu efektywności, aż w 14 przypadkach był uwzględniony tylko jeden nakład, w 16 przypadkach dwa nakłady a w 4 przypadkach trzy nakłady. Dla żadnego kraju nie były uwzględnione wszystkie. Powoduje to, że niektóre kraje (np. Grecja), mające często wartości rezultatów kilkukrotnie niższe od średniej, są w pełni efektywne, tylko dlatego, że w obliczeniach uwzględniony jest tylko jeden nakład. Stąd właśnie zdecydowano się na zastosowanie modelu z ograniczeniami na ważne nakłady. W rzeczywistych zastosowaniach pełna swoboda w ustalaniu wag jest zwykle niemożliwa do zaakceptowania, gdyż nie zapewnia wystarczającej siły dyskryminacji między porównywanymi DMU [Eilat i in. 2008]. Jednym ze sposobów rozwiązania tego problemu jest wprowadzenie ograniczenia na ważne nakłady i/ lub rezultaty (model *Assurance Region Global* – ARG) [Roll, Golany

1993, Eilat i in. 2008, Mecit, Alp 2013]. W niniejszej pracy wprowadzono jedynie warunki dla nakładów postaci:

$$L_i \leq \frac{v_i x_{ij}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq U_i \quad (5)$$

Granice L_i i U_i dla nakładów określa się na podstawie oceny eksperckiej. Wstępne oszacowanie można zrobić na podstawie wyników modelu CCR, przyjmując wartości średnie uzyskanych ważonych nakładów $v_i x_{ij}$ oraz wartość d , będącą stosunkiem wartości najwyższej do najniższej [Roll, Golany 1993]:

$$L_i = \frac{2 \times v_i x_{ij}}{1 + d} \quad U_i = \frac{2 \times d \times v_i x_{ij}}{1 + d}$$

Uzyskane z tych zależności wartości granic L_i oraz U_i z reguły muszą być korygowane ze względu na warunek, iż suma L_i nie może być większa od jedności a suma U_i musi być większa od jedności [Cooper i in. 2006]. Warunek (5) określa udział wirtualnego nakładu DMU $_j$ powiązany z nakładem i , czyli „znaczenie” przypisane do tego nakładu dla DMU $_j$, ograniczone do zakresu $[L_i, U_i]$.

Przyjęto cztery zmienne charakteryzujące nakłady (I) oraz pięć zmiennych charakteryzujących rezultaty (O), co ilustruje tabela 1.

Tabela 1. Opis zmiennych wykorzystanych w modelu

Zmienna	Rok	I/O	Opis
ABS_S_E	2010	I	Liczba absolwentów kierunków ścisłych i technicznych na 1 000 osób siły roboczej
U_W	2010	I	Udział osób w wieku 25-64 lata mających wyższe wykształcenie
ZAT_W	2010	I	Udział zatrudnienia w usługach intensywnie wykorzystujących wiedzę
WSP	2010	I	Udział firm współpracujących z instytucjami badawczymi
PAT_T	2013	O	Liczba patentów triadycznych na 1 000 osób siły roboczej
PUBL	2013	O	Liczba publikacji w międzynarodowych czasopismach na 1 000 osób siły roboczej
EXP	2014	O	Przychody z eksportu z sektorów wysokich technologii w tys. USD na 1 000 osób siły roboczej
DOK_S_E	2013	O	Liczba doktoratów z nauk ścisłych i technicznych na 1 000 osób siły roboczej
HIRSH	2014	O	Indeks Hirsha odniesiony do 1 000 osób siły roboczej

Źródło: opracowanie własne

Nakłady odwzorowują czynniki pośrednio wpływające na kształtowanie się wartości rezultatów. Liczba absolwentów kierunków ścisłych i technicznych oraz ogólny poziom wykształcenia wskazują na potencjał kadry B+R oraz przyszłych kandydatów na studia doktoranckie. Zaangażowanie biznesu we współpracę z jednostkami badawczymi pośrednio określa siłę jej istnienia, co przekłada się na

rozwój wiedzy technologicznej. Publikacje i patenty są podstawowymi rezultatami działalności B+R. Przyjęto liczbę patentów triadycznych, czyli uzyskanych w European Patent Office (EPO), Japanese Patent Office (JPO) oraz US Patent and Trademark Office (USPTO)) [Dosi i in. 2006], mających niekwestionowane znaczenie międzynarodowe. Liczba doktorów z nauk ścisłych i technicznych jest rezultatem działalności związanej z rozwojem nauki. Natomiast indeks Hirsha odzwierciedla siłę oddziaływania publikacji naukowych, a wielkość eksportu korzyści ekonomiczne uzyskiwane z patentowanych rozwiązań. Poza zmiennymi U_W, ZAT_W i WSP, które są wskaźnikami, wszystkie pozostałe zostały odniesione do 1 000 osób siły roboczej. Pozwala to na zminimalizowanie wpływu różnic w wielkościach badanych krajów jak również ich potencjału i wyników działalności B+R [Furman i in. 2002, Dosi i in. 2006]. Wprowadzenie wskaźników odniesionych do liczby 1 000 osób siły roboczej zapewnia porównywalność krajów, co umożliwia wykorzystanie modelu CCR.

Orientacja modelu na rezultaty pozwala na stwierdzenie, czy prowadzona w danym kraju polityka B+R, w odniesieniu do pozostałych krajów, zapewnia właściwe wykorzystanie posiadanego potencjału, określonego pośrednio przez przyjęty zestaw nakładów.

Przesunięcie czasowe dla publikacji, patentów i doktoratów wynosi trzy lata w stosunku do nakładów. Dla eksportu i indeksu Hirsha wynosi rok w stosunku do pozostałych rezultatów [Guan, Zuo 2014, Lee i in. 2016]. Indeks Hirsha, liczony jest dla przedziału od roku 1996 do 2014. Dane dotyczące liczby publikacji i indeksu Hirsha pochodzą z bazy SCImago Journal & Country Rank [SCImago 2016], dane o udziale zatrudnienia w firmach intensywnie wykorzystujących wiedzę i udziale firm współpracujących z instytucjami badawczymi pochodzą z bazy projektu The Global Innovation Index [Dutta i in. 2015], natomiast pozostałe dane pochodzą z bazy danych OECD [OECD 2016]. Obliczenia wykonano za pomocą programu DEA Solver-LV(3) firmy Saitech.

INTERPRETACJA WYNIKÓW

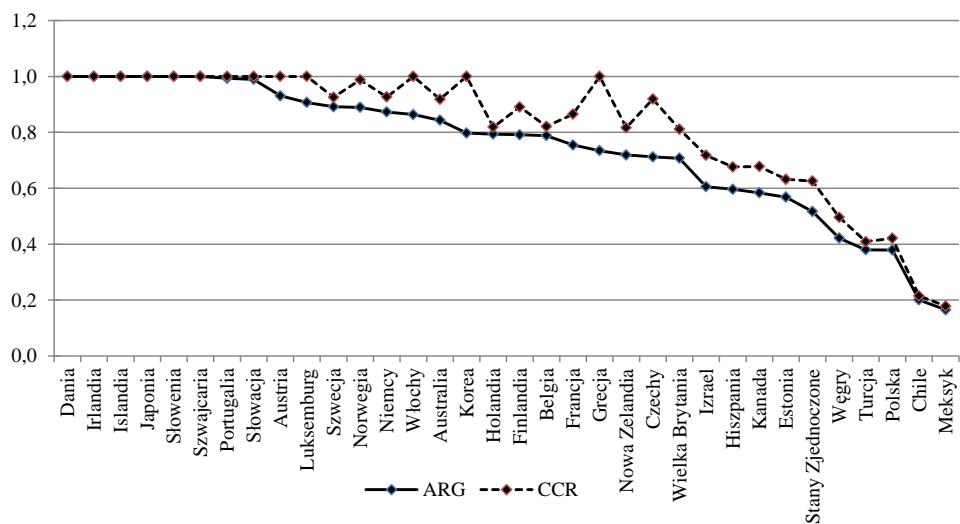
Wyniki uzyskane za pomocą modeli DEA-ARG i DEA-CCR przedstawione są w tabeli 2. Kolumna „Efekt.” zawiera wyniki efektywności, a kolumna „Rank” pozycję w rankingu. Porównanie wyników uzyskanych z obu modeli potwierdza konieczność wprowadzenia warunków ograniczających. W modelu CCR aż 13 krajów osiągnęło pełną efektywność, podczas gdy w modelu ARG takich krajów jest tylko 6. Wprowadzenie ograniczeń zwiększa siłę dyskryminacyjną metody i zapewnia uwzględnienie wszystkich nakładów w szacowaniu efektywności obiektu. Wartości miary efektywności otrzymane z modelu ARG, poza sześcioma krajami w pełni efektywnymi, są mniejsze od tych uzyskanych z modelu CCR co ilustruje rysunek 1 (kraje uszeregowane według malejącej wartości efektywności ARG).

Tabela 2. Wyniki efektywności uzyskane za pomocą modeli DEA-ARG i DEA-CCR

Kraj	Model ARG		Model CCR		Kraj	Model ARG		Model CCR	
	Efekt.	Rank	Efekt.	Rank		Efekt.	Rank	Efekt.	Rank
Australia	0,843	15	0,919	18	Korea	0,797	16	1	1
Austria	0,931	9	1	1	Luksemburg	0,907	10	1	1
Belgia	0,788	19	0,821	21	Meksyk	0,165	34	0,179	34
Chile	0,201	33	0,215	33	Niemcy	0,873	13	0,927	15
Czechy	0,712	23	0,919	17	Norwegia	0,889	12	0,988	14
Dania	1	1	1	1	Nowa Zelandia	0,719	22	0,817	23
Estonia	0,568	28	0,632	28	Polska	0,379	32	0,421	31
Finlandia	0,791	18	0,891	19	Portugalia	0,993	7	1	1
Francja	0,755	20	0,865	20	Słowacja	0,989	8	1	1
Grecja	0,734	21	1	1	Słowenia	1	1	1	1
Hiszpania	0,596	26	0,676	27	Stany Zjednoczone	0,517	29	0,626	29
Holandia	0,794	17	0,819	22	Szwajcaria	1	1	1	1
Irlandia	1	1	1	1	Szwecja	0,892	11	0,925	16
Islandia	1	1	1	1	Turcja	0,380	31	0,409	32
Izrael	0,605	25	0,718	25	Węgry	0,422	30	0,496	30
Japonia	1	1	1	1	Wielka Brytania	0,707	24	0,811	24
Kanada	0,584	27	0,678	26	Włochy	0,864	14	1	1

Źródło: obliczenia własne

Rysunek 1. Porównanie wyników efektywności według modeli ARG i CCR



Źródło: obliczenia własne

Do szerszej analizy wybrane zostały kraje z następujących grup: dwa kraje w pełni efektywne w modelu ARG, znajdujące się najczęściej razy na listach referencyjnych dla krajów nieefektywnych (lista zawiera informacje o krajach, na

których i w jakim stopniu należy się wzorować, aby osiągnąć efektywność): Słowenia (24) i Szwajcaria (19); trzy kraje, które były w pełni efektywne w modelu CCR, ale utraciły efektywność w modelu ARG: Grecja, Korea i Włochy; trzy kraje znajdujące się na ostatnich pozycjach w rankingu według modelu ARG: Polska, Chile i Meksyk. Uwzględniono również Stany Zjednoczone, które w rankingu CCR i ARG zajmowały to samo 29 miejsce. Wartości nakładów i rezultatów wykorzystane w obliczeniach dla tych krajów przedstawione są w tabeli 3.

Tabela 3. Pozycja w rankingach CCR i ARG oraz dane dla wybranych krajów

Kraj	ARG	CCR	ABS_S_E	U_W	ZAT_W	WSP	PAT_T	PUBL	EXP	DOK_S_E	HIRSH
Słowenia	1	1	2,25	23,71	38,00	49,20	0,017	5,65	4,19	0,46	0,187
Szwajcaria	1	1	2,17	35,25	47,10	79,60	0,237	8,02	20,52	0,30	0,136
Włochy	14	1	1,98	14,80	39,60	41,30	0,027	3,87	1,96	0,18	0,028
Korea	16	1	5,14	39,71	22,40	61,00	0,120	2,81	5,64	0,19	0,016
Grecja	21	1	2,43	24,64	33,50	31,20	0,002	3,68	0,54	0,12	0,067
Polska	31	32	5,74	22,46	32,80	43,90	0,004	2,11	1,39	0,07	0,021
Chile	33	33	1,46	26,81	30,60	51,50	0,001	1,09	0,08	0,04	0,028
Meksyk	34	34	2,13	16,98	18,40	50,70	0,0003	0,36	1,51	0,03	0,006
Stany Zjednoczone	29	29	2,42	41,66	36,30	78,50	0,091	3,85	2,38	0,17	0,011

Źródło: obliczenia własne

Kolumny ARG i CCR to miejsce krajów w odpowiednich rankingach, a pozostałe to wartości nakładów i rezultatów (zgodnie z opisem w tabeli 1). Dla Włoch, Korei i Grecji zaznaczono szarym kolorem nakłady z niezerowymi wagami, które były uwzględnione w modelu CCR. Są to wartości najniższe lub bliskie najniższych spośród wszystkich krajów i jest to jedyny powód, dla którego kraje te uzyskały w modelu CCR pełną efektywność. Słowenia i Szwajcaria mają pełną efektywność w obu modelach, gdyż mają wysokie wartości wszystkich rezultatów. W przypadku patentów, praktycznie liczą się jedynie Słowenia, Szwajcaria i Korea. W podobny sposób można dokonać analizy pozostałych wartości zmiennych. Ciekawym przypadkiem są Stany Zjednoczone, które mają wszystkie nakłady zbliżone do średniej ze wszystkich krajów, natomiast wartości rezultatów istotnie poniżej wartości średniej i wielokrotnie niższe od wartości maksymalnych. Trzy najgorsze kraje mają niskie wartości nakładów i rezultatów, co wyjaśnia ich końcowe pozycje w obu rankingach.

Tabela 4 ilustruje zmiany, jakie powinny zajść, by wybrane kraje mogły osiągnąć pełną efektywność. Wartości wskaźników wykorzystanych w modelu znajdują się w kolumnach „Wsk.”, natomiast wartości bezwzględne znajdują się w kolumnach „Bezw.”. W wierszu „Akt.” jest wartość zaobserwowana, natomiast w wierszu oznaczonym „Proj.” jest wartość, jaka jest możliwa do osiągnięcia przy

niezmienionych nakładach. Grecja i Korea to kraje, które w modelu CCR miały pełną efektywność, Polska w obu modelach znajduje się na końcu rankingu, natomiast Stany Zjednoczone w dużym stopniu nie wykorzystują swojego potencjału.

Tabela 4. Projekcja rezultatów dla wybranych krajów

Zmienna	Rodz.	Grecja		Korea		Polska		Stany Zjednoczone	
		Wsk.	Bezw.	Wsk.	Bezw.	Wsk.	Bezw.	Wsk.	Bezw.
PAT_T	Akt.	0,002	10	0,120	3 107	0,004	78	0,091	14 211
	Proj.	0,073	356	0,151	3 896	0,081	1 410	0,190	29 802
PUBL	Akt.	3,681	17 901	2,811	72 722	2,110	36 630	3,851	603 682
	Proj.	5,013	24 377	5,599	144 857	5,568	96 673	7,455	1 168 701
EXP	Akt.	0,542	2 613	5,638	149 598	1,389	24 199	2,377	373 817
	Proj.	4,556	21 955	13,313	353 279	5,061	88 197	17,013	2 675 979
DOK_S_E	Akt.	0,119	579	0,189	4 891	0,073	1 259	0,172	26 959
	Proj.	0,181	878	0,237	6 134	0,201	3 484	0,333	52 191
HIRSH	Akt.	0,067	326	0,016	424	0,021	371	0,011	1 648
	Proj.	0,115	557	0,104	2 694	0,127	2 209	0,145	22 732

Źródło: obliczenia własne

Niska pozycja Polski wynika głównie z bardzo małej liczby patentów oraz niskiej wartości indeksu Hirsha, przy wartości ABS_S_E bliskiej maksymalnej, a pozostałych nakładów poniżej wartości średniej. Dla osiągnięcia pełnej efektywności przy obecnych nakładach konieczne jest, aby wartości bezwzględne rezultatów zostały zwiększone: PAT_T 18 razy, PUBL 2,6 razy, EXP 3,6 razy, DOK_S_E 2,8 razy i HIRSH 6 razy. Najslabszymi stronami polskiego systemu B+R są: komercjalizacja wyników badań naukowych, którą odwzorowują patenty o znaczeniu międzynarodowym oraz oddziaływanie publikacji naukowych, przejawiające się cytowaniami, mierzonymi w tym modelu indeksem Hirsha. Grecja osiąga najsłabsze wyniki w patentach i wysokości eksportu. Można stwierdzić, że aktywność naukowa jest średnia natomiast słabą stroną jest komercjalizacja. Korea natomiast ma względnie dobre wyniki w zakresie patentów i eksportu a słabe w działalności naukowej mierzonej liczbą publikacji i indeksem Hirsha. Stany Zjednoczone powinny osiągnąć lepsze rezultaty w zakresie eksportu.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Do oceny efektywności działalności B+R zastosowano dwa modele DEA-CCR i DEA-ARG. W obu modelach po stronie nakładów wykorzystano zmienne charakteryzujące pośrednio kapitał bazujący na wiedzy, warunkujący prowadzenie efektywnej działalności B+R. Poziom wykształcenia (szczególnie w naukach ścisłych i technicznych), współpraca nauki z biznesem, rozwój sektorów intensywnie wykorzystujących wiedzę, to czynniki sprzyjające wynikom

działalności B+R. Jako rezultaty przyjęto liczbę publikacji, liczbę patentów, indeks Hirsha, liczbę doktoratów z nauk ścisłych i technicznych oraz przychody z eksportu sektorów wysokotechnologicznych. Tak dobrane rezultaty charakteryzują zarówno procesy tworzenia wiedzy jak również komercjalizację wyników działalności B+R. Uzyskane wyniki efektywności pozwalają na stworzenie rankingu badanych krajów oraz wskazanie słabych stron krajów nieefektywnych. Projekcja pozwala określić kierunki i wielkość zmian rezultatów, jakie powinny być możliwe przy zachowaniu istniejących nakładów.

Wyniki z dwóch modeli, wykorzystujących te same dane, ilustrują również problem zerowych wag przypisywanych do nakładów w podstawowym modelu DEA-CCR.

BIBLIOGRAFIA

- Bei W., Wei-dong L., Jian-bo Z. (2012) Evaluation on the Efficiency for the Allocation of Science and Technology Resources in China Based on DEA Model. [w:] *Advances in Intelligent Systems* (red. G. Lee), 135-140.
- Charnes A., Cooper W. W., Rhodes E. (1978) Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2, 429-444.
- Chen C. P., Hu J. L., Yang C. H. (2013) Produce patents or journal articles? A cross-country comparison of R&D productivity change. *Scientometrics*, 94, 833-849.
- Cooper W., Seiford L., Tone K. (2006) *Introduction to Data Envelopment Analysis and Its Uses*, Springer, New York.
- Cooper W. W., Seiford L. M., Zhu J. (2011) *Handbook on Data Envelopment Analysis*, Springer, New York.
- Dosi G., Llerena P., Labini M. S. (2006) The relationships between science, technologies and their industrial exploitation: An illustration through the myths and realities of the so-called 'European Paradox'. *Research Policy*, 35, 1450-1464.
- Dutta S., Lanvin B., Wunsch-Vincent S. (2015) *The Global Innovation Index 2015: Effective Innovation Policies for Development*. Cornell University, INSEAD and WIPO, Fontainebleau, Ithaca and Geneva.
- Eilat H., Golany B., Shtub A. (2008) R&D project evaluation: An integrated DEA and balanced scorecard approach. *Omega -The International Journal of Management Science*, 36, 895-912.
- Furman J. L., Porter M. E., Stern S. (2002) The determinants of national innovative capacity. *Research Policy*, 31, 899-933.
- Guan J., Chen K. (2012) Modeling the relative efficiency of national innovation systems, *Research Policy*, 41 (10), 102-115.
- Guan J., Zuo K. (2014) A cross-country comparison of innovation efficiency. *Scientometrics*, 100 (2), 541-575.
- Kaplan R. S., Norton D. P. (2001) *Strategiczna karta wyników. Jak przełożyć strategię na działanie*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Lee T., Zhang Y., Jeong B. H. (2016) A multi-period output DEA model with consistent time lag effects. *Computers & Industrial Engineering*, 93, 267-274.

- Mecit E. D., Alp I. (2013) A new proposed model of restricted data envelopment analysis by correlation coefficients. *Applied Mathematical Modelling*, 37, 3407-3425.
- OECD (2015) OECD Science, Technology and Industry Scoreboard 2015: Innovation for growth and society. OECD Publishing, Paris.
- OECD (2016) <http://stats.oecd.org> [data dostępu: 01.02.2016].
- Roll Y., Golany B. (1993) Alternate Methods of Treating Factor Weights in DEA. *Omega-International Journal of Management Science*, 21 (1), 99-109.
- SCImago (2016) SJR - SCImago Journal & Country Rank, <http://www.scimagojr.com> [data dostępu: 24.03.2016].
- Sharma S., Thomas V. J. (2008) Inter-country R&D efficiency analysis: An application of data envelopment analysis. *Scientometrics*, 76 (3), 483-501.
- Wong C. Y (2013) On a path to creative destruction: science, technology and science-based technological trajectories of Japan and South Korea. *Scientometrics*, 96, 323-336.

EVALUATION OF EFFICIENCY OF RESEARCH AND DEVELOPMENT ACTIVITIES IN OECD COUNTRIES

Abstract: Research and development is an essential part of innovation policy. The evaluation of this activity in the OECD countries was conducted with DEA. As inputs, education attainment, science and business cooperation and the level of knowledge utilization in companies, and as results, the number of publications, patents and doctorates and export volume of the high technology sectors and Hirsh index were taken into account. Attention was drawn to the problem of zero weights and time lags. Recommendations for improving the efficiency of inefficient countries are proposed.

Keywords: research and development, efficiency, Data Envelopment Analysis

INTERAKTYWNA METODA SATYSFAKCJONUJĄCYCH POZIOMÓW KRYTERIÓW W WIELOKRYTERIALNYM PROGRAMOWANIU DYNAMICZNYM¹

Tadeusz Trzaskalik

Katedra Badań Operacyjnych, Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach
e-mail: tadeusz.trzaskalik@ue.katowice.pl

Streszczenie: Celem pracy jest zaproponowanie metody pozwalającej na znajdowanie rozwiązania końcowego zadania wielokryterialnego dyskretnego programowania dynamicznego z wykorzystaniem odpowiednio zmodyfikowanego podejścia interaktywnego satysfakcjonującego poziomu kryteriów. Procedura w pierwszej fazie wykorzystuje jednokryterialny algorytm programowania dynamicznego oraz algorytm generowania kolejnych realizacji procesu w zadaniu jednokryterialnym. W dalszej części proponowanej metody operujemy na skończonym zbiorze realizacji, zapisanym w postaci listy.

Słowa kluczowe: MCDM, wielokryterialne dyskretno programowanie dynamiczne, metoda interaktywna

WPROWADZENIE

Przedmiotem zainteresowania niniejszej pracy są wieloetapowe, dyskretno procesy decyzyjne, podzielone na skończoną liczbę etapów. Decyzja nie jest podejmowana jednorazowo, lecz wielokrotnie, na początku każdego etapu.

Przedstawimy dynamikę rozpatrywanych procesów.[Trzaskalik 1990, 1998]. Na początku każdego etapów proces znajduje się w jednym ze stanów dopuszczalnych. Decydent podejmuje decyzję, co skutkuje przejściem procesu do stanu początkowego następnego etapu. W rozpatrywanych w pracy procesach deterministycznych przejście to określone jest poprzez funkcję przejścia.

¹ Praca została sfinansowana ze środków Narodowego Centrum Nauki przyznanych na podstawie decyzji numer DEC 2013/11/B/HS4/01471.

W zależności od dokonanych wyborów skutki wcześniejszych decyzji ograniczają lub – przeciwnie – rozszerzają możliwości decyzyjne w następnych etapach.

W rozpatrywanych w niniejszej pracy procesach deterministycznych istotną rolę odgrywa pojęcie realizacji procesu. Etapową realizacją procesu jest para, złożona ze stanu procesu na początku rozpatrywanego etapu oraz podjętej decyzji. Realizacją procesu jest ciąg realizacji etapowych, powiązanych ze sobą poprzez funkcje przejścia dla kolejnych etapów.

Rozpatrywać będziemy procesy wielokryterialne. Każda etapowa realizacja procesu oceniana jest przy pomocy kryteriów etapowych. Realizacje wieloetapowe oceniane są z wykorzystaniem addytywnych kryteriów wieloetapowych. Zadanie wielokryterialnego programowania dynamicznego polega na znalezieniu zbioru wszystkich rozwiązań niezdominowanych oraz zbioru wszystkich sprawnych realizacji procesu.

W zadaniach o dużych rozmiarach rozwiązanie powyższego zadania jest trudno, często niewykonalne. Wygenerowanie obszernego zbioru rozwiązań nie jest również praktycznie użyteczne dla decydenta, który oczekuje konkretnego wsparcia zgodnego ze swymi preferencjami, które często nie są w pełni ujawnione w trakcie formułowania zadania. Dlatego też, by całościowo uwzględnić preferencje decydenta, wykorzystuje się różne formy skalaryzacji problemu wektorowej maksymalizacji [Steuer 1986, Galas i in. 1987], jak również podejście interaktywne [Nowak 2008]. Przedmiotem zainteresowania niniejszej pracy jest ta ostatnia możliwość.

Podejście interaktywne jest jednym z często wykorzystywanych sposobów wspomaganie decydenta w rozwiązywaniu problemów wielokryterialnych. Jego popularność związana jest z przyjaznością w stosunku do użytkownika oraz przejrzystą ideą. Pozyskiwanie informacji na temat preferencji decydenta odbywa się tu stopniowo, w miarę jak proces rozwiązywania problemu postępuje naprzód. Fazy dialogu z decydem oraz obliczeniowa są wielokrotnie powtarzane, a decydem każdorazowo ma możliwość zapoznania się z uzyskiwanymi wynikami pośrednimi. W fazie dialogu analityk, wspomagany przez odpowiednio skonstruowany program komputerowy, prosi decydenta o ocenę proponowanego rozwiązania oraz wskazanie kierunków jego poprawy, a tym samym o dalsze ujawnienie swoich preferencji. Proces ten jest zwykle kontynuowany do momentu uzyskania rozwiązania uznawanego przez decydenta za satysfakcjonujące [Nowak 2008].

Jedną z najwcześniejszych procedur interaktywnych jest interaktywne programowanie celowe [Spronk 1981]. Procedura ta pozwala w uporządkowany sposób modelować poziomy aspiracji decydenta, mając na celu precyzyjne określenie jego dodatkowych preferencji względem rozpatrywanych kryteriów. Punktem wyjścia są wartości optymalne, uzyskane w wyniku rozwiązanie zadań jednokryterialnych, czyli współrzędne wektora idealnego w przestrzeni kryterialnej. W kolejnych krokach dołączane są dodatkowe warunki ograniczające określające poziomy kryteriów akceptowane przez decydenta w kolejnych iteracjach.

Proponowana dalej procedura polega na rozwiązaniu ciągu jednokryterialnych zadań programowania dynamicznego [Bellman 1957, Bellman, Dryfus 1963, Trzaskalik 1990]. Dołączenie dodatkowych ograniczeń powoduje, że konieczne staje się wykorzystanie procedury generowania prawie optymalnych realizacji procesu [Elmaghraby 1970, Trzaskalik 2015].

Celem niniejszej pracy jest prezentacja interaktywnej metody satysfakcjonujących poziomów kryteriów dla programowania dynamicznego. Praca składa się z pięciu części. Po wprowadzeniu, w rozdziale - dyskretne programowanie dynamiczne - omówione zostały wybrane zagadnienie z zakresu jedno i wielokryterialnego programowania dynamicznego. Modelowanie poziomów aspiracji decydenta oraz metoda satysfakcjonujących poziomów kryteriów dla zadania wielokryterialnego dyskretnego programowania dynamicznego przedstawione zostały w rozdziale – modelowanie poziomów aspiracji decydenta. Kolejny rozdział to ilustracja proponowanej metody. Posumowanie pracy znajduje się w ostatnim rozdziale.

DYSKRETNE PROGRAMOWANIE DYNAMICZNE

Oznaczenia

Wykorzystamy następującą notację [Trzaskalik 1990, 1998]:

T – liczba rozpatrywanych etapów procesu wieloetapowego

y_t – stan procesu na początku etapu t ($t=1, \dots, T$),

\mathbf{Y}_t – skończony zbiór stanów procesu na początku etapu t ,

\mathbf{Y}_{T+1} – skończony zbiór stanów procesu na końcu procesu,

x_t – stan dopuszczalny na początku etapu t ,

$\mathbf{X}_t(y_t)$ – skończony zbiór stanów dopuszczalnych w etapie t , gdy proces był w stanie $y_t \in \mathbf{Y}_t$ na początku tego etapu,

d_t – realizacja etapowa w etapie t . Mamy:

$$d_t = (y_t, x_t) \quad (1)$$

\mathbf{D}_t – zbiór realizacji etapowych w etapie t ,

$\Omega_t(y_t, x_t)$ – funkcja przejścia. Mamy:

$$y_{t+1} = \Omega_t(y_t, x_t) \quad (2)$$

d – realizacja procesu. Mamy:

$$d = ((y_1, x_1), (y_2, x_2), \dots, (y_T, x_T)) \quad (3)$$

gdzie : $y_1 \in \mathbf{Y}_1, \quad x_1 \in \mathbf{X}_1(y_1)$

$y_2 = \Omega_1(y_1, x_1) \quad x_2 \in \mathbf{X}_2(y_2)$

.....

$y_T = \Omega_{T-1}(y_{T-1}, x_{T-1}) \quad x_T \in \mathbf{X}_T(y_T)$

$y_{T+1} = \Omega_T(y_T, x_T)$

\mathbf{D} – zbiór wszystkich realizacji procesu,

$d_{t,T}^-(y_t)$ – realizacja skrócona, rozpoczynająca się w stanie y_t i obejmująca etapy od t do T . Mamy:

$$d_{t,T}^-(y_t) = [(y_t, x_t), (y_{t+1}, x_{t+1}), \dots, (y_T, x_T)] \quad (4)$$

$\mathbf{D}_{t,T}^-(y_t)$ – zbiór realizacji skróconych, rozpoczynających się w stanie y_t i obejmujących stany od t do T ,

$F_t(d_t)$ – etapowa funkcja kryterialna,

$F(d)$ – funkcja kryterium, oceniająca realizację procesu d . Mamy:

$$F(d) = \sum_{t=1}^T F(d_t) \quad (5)$$

Równania optymalności

Naszym celem jest znalezienie maksymalnej wartości funkcji kryterium oraz tych realizacji procesu, które pozwalają na jej osiągnięcie. W tym celu wykorzystamy dekompozycję zadania, zasadę optymalności Bellmana oraz wynikające z niej równania optymalności [Bellman 1957, Bellman, Dreyfus 1964].

Algorytm 1

1. Dla każdego $y_T \in \mathbf{Y}_T$ obliczamy wartość optymalną

$$G_T(y_T) = \max_{x_T \in \mathbf{X}_T(y_T)} F_T(y_T, x_T) \quad (6)$$

i znajdujemy decyzję optymalną dla tego stanu, którą oznaczamy jako $x_T^*(y_T)$.

2. Dla każdego $y_t \in \mathbf{Y}_t$ obliczamy wartość optymalną

$$G_t(y_t) = \max_{x_t \in \mathbf{X}_t(y_t)} \{F_t(y_t, x_t) + G_{t+1}(\Omega_t(y_t, x_t))\} \quad (7)$$

i znajdujemy decyzję optymalną dla tego stanu, którą oznaczamy jako $x_t^*(y_t)$.

3. Optymalną wartość funkcji kryterium obliczamy ze wzoru:

$$G^* = \max_{y_1 \in \mathbf{Y}_1} G_1(y_1) \quad (8)$$

Optymalny stan początkowy y_1^* znajdujemy z zależności:

$$F(y_1^*) = G^* \quad (9)$$

4. Optymalną realizację procesu otrzymujemy następująco:

$$y_1^* \text{ - optymalny stan początkowy} \quad x_1^* = x_1^*(y_1^*)$$

$$y_2^* = \Omega_1(y_1^*, x_1^*) \quad x_2^* = x_2^*(y_1^*)$$

.....

$$y_T^* = \Omega_{T-1}(y_{T-1}^*, x_{T-1}^*) \quad x_T^* = x_T^*(y_{T-1}^*)$$

$$y_{T+1}^* = \Omega_T(y_T^*, x_T^*)$$

Realizacje prawie optymalne

Skończony zbiór \mathbf{D} realizacji procesu może być podzielony na N klas w taki sposób, że

$$\mathbf{D} = \mathbf{D}^1 \cup \mathbf{D}^2 \cup \dots \cup \mathbf{D}^N \quad (10)$$

gdzie:

$$\mathbf{D}^i \cap \mathbf{D}^j = \emptyset \text{ dla } i \neq j, i, j = 1, \dots, N, \quad (11)$$

$$\forall i=1, \dots, N \quad \forall d^j, d^k \in \mathbf{D}^i \quad F(d^j) = F(d^k), \quad (12)$$

$$\forall i < j \quad \forall d^i \in \mathbf{D}^i \quad \forall d^j \in \mathbf{D}^j \quad F(d^i) > F(d^j). \quad (13)$$

Wartość $F(d^i)$ dla $i=1, \dots, N$ nazywamy i -tą wartością procesu. Każda realizacja ze zbioru \mathbf{D}^i nazywana jest i -tą realizacją procesu. Przy poszukiwaniu i -tej wartości procesu wykorzystamy następującą notację:

$$\max_i F(\mathbf{D}) = F(d^i) \quad (14)$$

Sposób określenia i -tej realizacji procesu opisuje algorytm 2 [Trzaskalik 2015].

Algorytm 2

1. Rozpoczynając od $i=1$ dla każdego $y_T \in \mathbf{Y}_T$ obliczamy i -tą wartość

$$G_T^i(y_T) = \max_{x_T \in \mathbf{X}_T(y_T)} F_T(y_T, x_T) \quad (15)$$

i znajdujemy zbiór realizacji skróconych procesu $\mathbf{D}_{T,T}^i(y_T)$, dla których wartość ta została osiągnięta.

2. Rozpoczynając od $i = 1$ dla etapu t , $t \in \overline{T-1, 1}$ i każdego stanu $y_t \in \mathbf{Y}_t$ obliczamy i -tą wartość

$$G_t^i(y_t) = \max_{x_t \in \mathbf{X}(y_t)} \{F_t(y_t, x_t) + G_{t+1}^j(\Omega_t(y_t, x_t)): j = 1, \dots, i\} \quad (16)$$

oraz znajdujemy zbiór realizacji skróconych procesu $\mathbf{D}_t(y_t)$, dla których wartość ta została osiągnięta.

3. i -ta wartość procesu obliczona jest ze wzoru:

$$G^i = \max_{y_1 \in \mathbf{Y}_1} \{G_1^j(y_1): j = 1, \dots, i\} \quad (17)$$

4. Zbiór wszystkich i -tych realizacji procesu obliczamy ze związku:

$$\mathbf{D}^i = \bigcup_{y_1 \in \mathbf{Y}_1} \{\mathbf{D}^j(y_1): G^j(y_1) = G^i, j = 1, \dots, i\}. \quad (18)$$

Realizację d^0 nazywamy realizacją prawie optymalną, jeżeli jej wartość kryterialna różni się od wartości kryterialnej realizacji optymalnej d^* co najwyżej o zadaną wartość α , czyli

$$F(d^*) - F(d^0) \leq \alpha. \quad (19)$$

Oznacza to, że decydenta interesują realizacje, dla których $F(d^0) \geq z$, przy czym

$$z = F(d^*) - \alpha \quad (20)$$

Przypuścimy, że decydent zainteresowany jest znalezieniem realizacji prawie optymalnych i określił wartość α . Wykorzystując algorytm 2 znajdujemy realizacje prawie optymalne następująco:

Algorytm 3

1. Start.
2. Podstaw $i=1$.
3. Wykorzystując algorytm 2, znajdź i -tą realizację procesu d^i .
4. Sprawdź, czy $F(d^i) \geq z$. Jeżeli tak, podstaw $i=i+1$ i wróć do kroku 2.
5. Koniec procedury.

Wielokryterialne programowanie dynamiczne

Wykorzystamy dodatkowe oznaczenia:

K – liczba rozpatrywanych kryteriów,

$F_t^k(d_t)$ – k -te kryterium etapowe w etapie t ($k=1, \dots, K$),

$F^k(d)$ – k -te kryterium wieloetapowe,

$F = [F^1, \dots, F^K]$ – wektorowa funkcja kryterium,

\geq - relacja dominacji, zdefiniowana następująco: realizacja d^0 dominuje realizację d , jeżeli spełniony jest warunek:

$$\forall_{k=1, \dots, K} F^k(d^0) \geq F^k(d) \wedge \exists_{i=1, \dots, K} F^i(d^0) > F^i(d), \quad (21)$$

d^* - realizacja sprawna, zdefiniowana następująco:

$$\sim \exists_{d \in D} F(d) \geq F(d^*), \quad (22)$$

\mathbf{D}^* - zbiór wszystkich realizacji sprawnych.

Rozwiązanie problemu wektorowej optymalizacji dynamicznej polega na znalezieniu zbioru wszystkich realizacji sprawnych \mathbf{D}^* oraz zbioru $F(\mathbf{D}^*)$ wektorów niezdominowanych w przestrzeni ocen. Rozwiązanie tego problemu możemy uzyskać stosując wektorową zasadę optymalności Bellmana [Brown i Strauch 1965, Trzaskalik 1990].

MODELOWANIE POZIOMÓW ASPIRACJI DECYDENTA

Metoda satysfakcjonujących poziomów kryteriów

Jednym ze sposobów generowania realizacji sprawnych w zadaniach wielokryterialnych jest wykorzystanie metody satysfakcjonujących decydenta poziomów kryteriów (*ε - constraint method*). Aby wykorzystać to podejście w zadaniach dyskretnego programowania dynamicznego, tworzymy ciąg zadań jednokryterialnych:

$$\text{Max } \{F^k(d): d \in \mathbf{D}\}. \quad (23)$$

Oznaczmy symbolem F^{*k} wartość optymalną funkcji celu k -tego zadania w postaci (23). Wektor $F^* = [F^{*1}, \dots, F^{*K}]$ jest wektorem idealnym w przestrzeni kryterialnej. W realnych problemach decyzyjnych zazwyczaj nie istnieje dopuszczalna realizacja

procesu d^* taka, że $F(d^*) = F^*$. Wektor idealny może jednak służyć jako punkt odniesienia w modelowaniu preferencji decydenta względem jego oczekiwań w stosunku do wartości kryteriów wieloetapowych, które można uzyskać.

Przypuśćmy, że decydent ustalił satysfakcjonujące go poziomy osiągnięcia celów wieloetapowych, opisane wektorem $\mathbf{z} = [z^1, \dots, z^K]$, którego składowe określają poziomy aspiracji decydenta względem kolejnych kryteriów. Dokonując wyboru wartości satysfakcjonujących decydent musi uwzględnić to, że dla każdego k ($k=1, \dots, K$)

$$z^k \leq F^{*k}. \quad (24)$$

Podając wartości satysfakcjonujące decydent zakłada, że zajmuje się tylko takimi realizacjami procesu, dla których zachodzi warunek:

$$F^k(d) \geq z^k. \quad (25)$$

Możemy sprawdzić, czy istnieje możliwość zrealizowania tych oczekiwań. Jeżeli istnieje, możemy zapytać, czy istniałaby możliwość poprawy wybranego przez decydenta kryterium o numerze i ($i=1, \dots, K$). Tworzymy zadanie:

$$\{\text{Max } F^i(d): d \in \mathbf{D}, F^k(d) \geq z^k: k=1, \dots, i-1, i+1, \dots, K\}. \quad (26)$$

Twierdzenie 1 [Galas i in. 1987, Trzaskalik 1990]

Załóżmy, że wektor \mathbf{z} określony został w taki sposób, że każde zadanie, określone wzorem (26) ma rozwiązanie². Jeżeli istnieje dokładnie jedno rozwiązanie zadania (26), to jest to realizacja sprawna, spełniająca warunek (22), czyli element zbioru \mathbf{D}^* . W przypadku, gdy rozwiązań jest więcej, z otrzymanego zbioru rozwiązań eliminujemy realizacje zdominowane. Pozostałe realizacje są realizacjami sprawnymi zadania (26).

Interaktywna metoda satysfakcjonujących poziomów kryteriów

Opiszemy teraz możliwość interaktywnego modelowania poziomów aspiracji decydenta. Poniżej opisane zostały kolejne kroki proponowanej procedury.

Algorytm 4

1. Przyjmujemy $m := 1$, $\mathbf{D}(m) := \mathbf{D}$ oraz wektor poziomów dokładności

$$\beta = [\beta^1, \dots, \beta^K].$$

2. Dla $k = 1, \dots, K$ rozwiązujemy ciąg zadań w postaci:

$$\text{Max } \{F^k(d): d \in \mathbf{D}(m)\}.$$

W pierwszej iteracji (dla $m = 1$) wykorzystujemy algorytm 1, w kolejnych iteracjach - dokonujemy przeglądu list realizacji wygenerowanych uprzednio.

3. Otrzymane w poprzednim kroku wartości optymalne oznaczamy odpowiednio jako $F^{1*}(m), \dots, F^{K*}(m)$. Zbiór realizacji optymalnych otrzymanych w wyniku rozwiązania zadania o numerze k w iteracji m oznaczamy jako $\mathbf{D}^{k*}(m)$.

² Może się okazać, że zbiór rozwiązań dopuszczalnych zadania (26) jest pusty. Wtedy należałoby zalecić decydentowi obniżenie poziomów aspiracji.

4. Tworzymy zbiór:

$$\mathbf{D}^*(m) = \bigcup_{k=1}^K \mathbf{D}^{k*}(m) \quad (27)$$

zawierający $l(m)$ elementów.

5. Tworzymy macierz wartości kryteriów $\mathbf{W}(m)$, której elementy $w^{ki}(m)$ dla $i = 1, \dots, l(m)$, $k = 1, \dots, K$ określone są następująco:

$$w^{ki}(m) = F^k(d^{i*}(m)),$$

przy czym $d^{i*}(m) \in \mathbf{D}^*(m)$.

6. Dla $k = 1, \dots, K$ znajdujemy wartości

$$z^k(m) = \min \{F^k(d^{i*}(m)) : d^{i*}(m) \in \mathbf{D}^*(m)\}. \quad (28)$$

7. Tworzymy macierz możliwości $\mathbf{M}(m)$ o wymiarach $2 \times K$. Jej strukturę opisuje tabela 1.

Tabela 1. Macierz możliwości

Wartości	F^1	...	F^k	...	F^K
Akceptowane	$z^1(m)$	...	$z^k(m)$	...	$z^K(m)$
Optymistyczne	$F^{1*}(m)$	...	$F^{k*}(m)$	...	$F^{K*}(m)$

Źródło: opracowanie własne

Pierwszy wiersz tej macierzy nazywany jest dalej wektorem ocen akceptowanych w iteracji m , drugi – wektorem ocen optymistycznych w iteracji m .

8. Jeżeli dla każdego $k = 1, \dots, K$ zachodzi związek:

$$F^{k*}(m) - z^k(m) < \beta^k \quad (29)$$

wówczas kończymy procedurę. Jako rozwiązanie końcowe decydent wybiera realizację ze zbioru $\mathbf{D}^*(m)$.

9. Na podstawie oceny macierzy możliwości decydent:

a. wybiera jedno lub więcej kryteriów, względem których podwyższa poziomy aspiracji, określając aspiracje dla pozostałych kryteriów na poziomie akceptowanym w iteracji m . Zbiór \mathbf{P} zawiera wszystkie te kryteria, względem których nastąpiło podwyższenie poziomu aspiracji. Nowe poziomy aspiracji oznaczamy jako z^{p+} dla $p \in \mathbf{P}$. Przyjmujemy, że dla $p \in \mathbf{P}$ mamy

$$z^{p+}(m) > z^p(m). \quad (30)$$

Przechodzimy do kroku 10.

b. rezygnuje z możliwości podniesienia poziomu aspiracji względem jednego kryterium lub grupy kryteriów i wybiera rozwiązanie końcowe spośród rozwiązań $\mathbf{D}^*(m)$ rozpatrywanych w iteracji m uznając, że uzyskane poziomy kryteriów w wybranym rozwiązaniu są dla niego satysfakcjonujące. Przechodzimy do kroku 14.

c. odstepuje od kontynuowania procedury i decyduje się rozpocząć ją od

początku lub wybrać rozwiązanie końcowe w inny sposób. Przechodzimy do kroku 14.

10. Dla $k = 1, \dots, K$ określamy zbiory realizacji procesu, spełniające warunki:

dla kryteriów numerach $p \in \mathbf{P}$

$$\mathbf{D}^p(m+1) = \{d \in \mathbf{D}(m) : F^p(d) \geq z^{p+}\}, \quad (31)$$

dla pozostałych kryteriów $i \notin \mathbf{P}$

$$\mathbf{D}^i(m+1) = \{d \in \mathbf{D}(m) : F^i(d) \geq z^i(m)\}. \quad (32)$$

Dla $m = 1$ wykorzystujemy w tym celu algorytm 3, w kolejnych iteracjach (dla $m > 1$) dokonujemy przeglądu list realizacji wygenerowanych uprzednio.

11. Tworzymy zbiór

$$\mathbf{D}(m+1) = \bigcup_{k=1}^K \mathbf{D}^k(m+1) \quad (33)$$

12. Jeżeli $\mathbf{D}(m+1) = \emptyset$, informujemy o tym decydenta. Wracamy do punktu 9, zalecając mu obniżenie poziomów aspiracji w stosunku do tych wartości, które zostały określone uprzednio.

13. Przyjmujemy $m := m+1$ i przechodzimy do punktu 2.

14. Koniec procedury.

ILUSTRACJA NUMERYCZNA

Rozpatrujemy dwuetapowy proces decyzyjny. Zbiory stanów na początku kolejnych etapów są następujące:

$$\mathbf{Y}_1 = \{1, 2, 3\}, \quad \mathbf{Y}_2 = \{4, 5, 6\}.$$

Zbiór stanów końcowych procesu ma postać:

$$\mathbf{Y}_3 = \{7, 8, 9\}.$$

Zbiory decyzji dopuszczalnych są następujące:

$$\begin{aligned} \mathbf{X}_1(1) &= \{A, B, C\}, & \mathbf{X}_1(2) &= \{D, E, F\}, & \mathbf{X}_2(3) &= \{G, H, I\}, \\ \mathbf{X}_2(4) &= \{J, K, L\}, & \mathbf{X}_3(5) &= \{M, N, O\}, & \mathbf{X}_3(6) &= \{P, R, S\}. \end{aligned}$$

Mamy następujące wartości funkcji przejścia (tabela 2):

Tabela 2. Wartości funkcji przejścia

Etap 1		
$\Omega_1(1, A) = 4$	$\Omega_1(1, B) = 5$	$\Omega_1(1, C) = 6$
$\Omega_1(2, D) = 4$	$\Omega_1(2, E) = 5$	$\Omega_1(2, F) = 6$
$\Omega_1(3, G) = 4$	$\Omega_1(3, H) = 5$	$\Omega_1(3, I) = 6$

Etap 2		
$\Omega_2(4, J) = 7$	$\Omega_2(4, K) = 8$	$\Omega_2(4, L) = 9$
$\Omega_2(5, M) = 7$	$\Omega_2(5, N) = 8$	$\Omega_2(5, O) = 9$
$\Omega_2(6, Q) = 7$	$\Omega_2(6, R) = 8$	$\Omega_2(6, R) = 9$

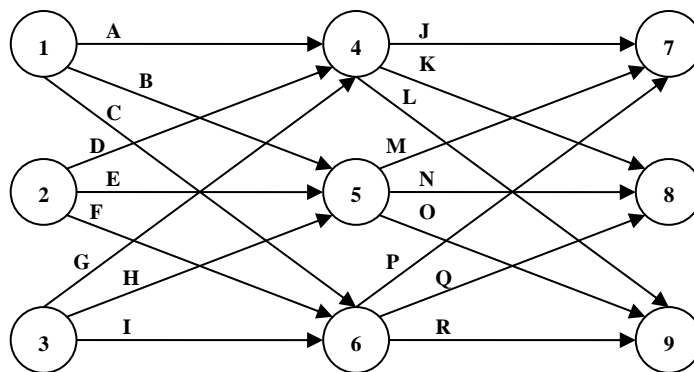
Źródło: obliczenia własne

Graf procesu przedstawiony jest na rysunku 1.

Ze względu na niewielkie rozmiary tego ilustracyjnego zadania, wszystkie realizacje procesu możemy dla lepszej przejrzystości wypisać i ponumerować od 1 do 27. Numerację tę przedstawia tabela 3.

Rozpatrywane zadanie jest zadaniem trzykryterialnym. Przyjmujemy, że wszystkie kryteria są maksymalizowane. Wartości kryteriów dla kolejnych realizacji przedstawione są w tabeli 4.

Rysunek 1. Graf procesu



Źródło: opracowanie własne

Tabela 3. Lista realizacji procesu

Nr	Realizacja	Nr	Realizacja	Nr	Realizacja
1	(1, A, 4, J)	10	(2, D, 4, J)	19	(3, G, 4, J)
2	(1, A, 4, K)	11	(2, D, 4, K)	20	(3, G, 4, K)
3	(1, A, 4, L)	12	(2, D, 4, L)	21	(3, G, 4, L)
4	(1, B, 5, M)	13	(2, E, 5, M)	22	(3, H, 5, M)
5	(1, B, 5, N)	14	(2, E, 5, N)	23	(3, H, 5, N)
6	(1, B, 5, O)	15	(2, E, 5, O)	24	(3, H, 5, O)
7	(1, C, 6, P)	16	(2, F, 6, P)	25	(3, I, 6, P)
8	(1, C, 6, Q)	17	(2, F, 6, Q)	26	(3, I, 6, Q)
9	(1, C, 6, R)	18	(2, F, 6, R)	27	(3, I, 6, R)

Źródło: obliczenia własne

Tabela 4. Wartości kryteriów wieloetapowych

d^i	$F^1()$	$F^2()$	$F^3()$	d^i	$F^1()$	$F^2()$	$F^3()$	d^i	$F^1()$	$F^2()$	$F^3()$
d^1	11	80	237	d^{10}	11	79	249	d^{19}	12	81	259
d^2	14	83	235	d^{11}	14	82	247	d^{20}	15	84	257
d^3	12	77	241	d^{12}	12	76	253	d^{21}	13	78	263
d^4	13	77	230	d^{13}	11	84	235	d^{22}	12	78	249
d^5	14	76	229	d^{14}	12	83	234	d^{23}	13	77	248
d^6	16	80	233	d^{15}	14	87	238	d^{24}	15	81	252
d^7	13	81	249	d^{16}	12	72	245	d^{25}	14	80	260
d^8	18	84	247	d^{17}	17	75	243	d^{26}	19	83	258
d^9	17	84	244	d^{18}	16	75	240	d^{27}	18	83	255

Źródło: obliczenia własne

Opiszemy kolejne kroki algorytmu.

Iteracja 1

1. Przyjmujemy $m:=1$, $\mathbf{D}(1) = \mathbf{D}$ oraz $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 1$.
2. Stosując algorytm 1 dla $k = 1, 2, 3$ rozwiązujemy zadania:

$$\text{Max } \{F^1(d): d \in \mathbf{D}(1),$$

$$\text{Max } \{F^2(d): d \in \mathbf{D}(1),$$

$$\text{Max } \{F^3(d): d \in \mathbf{D}(1).$$

3. Mamy:

$$F^{1*}(1) = 19, \quad F^{2*}(1) = 87, \quad F^{3*}(1) = 260,$$

$$\mathbf{D}^{1*}(1) = \{d^{26}\}, \quad \mathbf{D}^{2*}(1) = \{d^{15}\}, \quad \mathbf{D}^{3*}(1) = \{d^{25}\}.$$

4. Tworzymy zbiór

$$\mathbf{D}^*(1) = \mathbf{D}^{1*}(1) \cup \mathbf{D}^{2*}(1) \cup \mathbf{D}^{3*}(1) = \{d^{26}, d^{15}, d^{25}\}$$

5. Tworzymy macierz wartości kryteriów $\mathbf{W}(1)$:

$$\begin{bmatrix} F^1(d^{26}) & F^2(d^{26}) & F^3(d^{26}) \\ F^1(d^{15}) & F^2(d^{15}) & F^3(d^{15}) \\ F^1(d^{25}) & F^2(d^{25}) & F^3(d^{25}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 19 & 83 & 258 \\ 14 & 87 & 238 \\ 14 & 80 & 260 \end{bmatrix}$$

6. Znajdujemy wartości:

$$z^1(1) = \min \{19, 14, 14\} = 14, \quad z^2(1) = \min \{83, 87, 80\},$$

$$z^3(1) = \min \{258, 238, 260\}.$$

7. Tworzymy macierz $\mathbf{W}(1)$:

Wartości	F^1	F^2	F^3
Akceptowane	14	80	238
Optymistyczne	19	87	260

8. Mamy:

$$F^{1*}(1) - z^1(1) = 19 - 14 > 1, \quad F^{2*}(1) - z^2(1) = 87 - 80 > 1,$$

$$F^{3*}(1) - z^3(1) = 260 - 238 > 1.$$

Postępowanie jest kontynuowane.

9. Decydent ocenia macierz możliwości $\mathbf{M}(1)$ i wybiera kryterium F^1 , dla którego podwyższa poziom aspiracji do poziomu 15, określając poziomy aspiracji dla pozostałych kryteriów na poziomie akceptowanym w iteracji 1. Mamy $\mathbf{P} = \{1\}$. Nowe poziomy aspiracji spełniają warunki (30).
10. Korzystając z algorytmu generowania realizacji prawie optymalnych (Algorytm 3) dla $k = 1, 2, 3$ określamy zbiory realizacji procesu, spełniające warunki (31) i (32):

$$\mathbf{D}^1(2) = \{d \in \mathbf{D}(1); F^1(d) \geq 15\} = \{d^6, d^8, d^9, d^{17}, d^{18}, d^{20}, d^{24}, d^{25}, d^{26}, d^{27}\},$$

$$\mathbf{D}^2(2) = \{d \in \mathbf{D}(1); F^2(d) \geq 80\} = \{d^1, d^2, d^6, d^7, d^8, d^9, d^{11}, d^{13}, d^{14}, d^{15}, d^{19}, d^{20}, d^{21}, d^{22}, d^{24}, d^{25}, d^{26}, d^{27}\},$$

$$\mathbf{D}^3(2) = \{d \in \mathbf{D}(1); F^3(d) \geq 238\} = \{d^3, d^7, d^8, d^9, d^{10}, d^{11}, d^{12}, d^{15}, d^{16}, d^{17}, d^{18}, d^{19}, d^{20}, d^{21}, d^{22}, d^{23}, d^{24}, d^{25}, d^{26}, d^{27}\}.$$

11. Tworzymy zbiór

$$\mathbf{D}(2) = \mathbf{D}^1(2) \cap \mathbf{D}^2(2) \cap \mathbf{D}^3(2) = \{d^8, d^9, d^{20}, d^{24}, d^{26}, d^{27}\}.$$

12. Mamy $\mathbf{D}(2) \neq \emptyset$.

13. Przyjmujemy $m = m + 1 = 2$.

Iteracja 2

2. Przeglądając odpowiednie listy realizacji, rozwiązujemy zadania:

$$\text{Max } \{F^1(d): d \in \mathbf{D}(2)\},$$

$$\text{Max } \{F^2(d): d \in \mathbf{D}(2)\},$$

$$\text{Max } \{F^3(d): d \in \mathbf{D}(2)\}.$$

3. Mamy:

$$F^{1*}(2) = 19, \quad F^{2*}(2) = 84, \quad F^{3*}(2) = 258,$$

$$\mathbf{D}^{1*}(2) = \{d^{26}\}, \quad \mathbf{D}^{2*}(2) = \{d^8, d^9, d^{20}\}, \quad \mathbf{D}^{3*}(2) = \{d^{26}\}$$

4. Tworzymy zbiór

$$\mathbf{D}^*(2) = \mathbf{D}^{1*}(2) \cup \mathbf{D}^{2*}(2) \cup \mathbf{D}^{3*}(2) = \{d^{26}, d^8, d^9, d^{20}\}$$

5. Tworzymy macierz wartości kryteriów $\mathbf{W}(2)$. Jest ona następująca:

$$\begin{bmatrix} F^1(d^{26}) & F^2(d^{26}) & F^3(d^{26}) \\ F^1(d^8) & F^2(d^8) & F^3(d^8) \\ F^1(d^9) & F^2(d^9) & F^3(d^9) \\ F^1(d^{20}) & F^2(d^{20}) & F^3(d^{20}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 19 & 83 & 258 \\ 18 & 84 & 247 \\ 17 & 84 & 244 \\ 15 & 84 & 257 \end{bmatrix}$$

6. Znajdujemy wartości:

$$z^1(2) = \min \{19, 18, 17, 15\} = 15, \quad z^2(2) = \min \{83, 84, 84, 84\} = 83,$$

$$z^3(2) = \min \{258, 247, 244, 257\} = 244.$$

7. Tworzymy macierz $\mathbf{W}(2)$:

Wartości	F^1	F^2	F^3
Akceptowane	15	83	244
Optymistyczne	19	84	258

8. Mamy:

$$F^{1*}(2) - z^1(2) = 19 - 15 > 1, \quad F^{2*}(2) - z^2(2) = 84 - 83 \leq 1, \\ F^{3*}(2) - z^3(2) = 258 - 244 > 1.$$

Postępowanie jest kontynuowane.

9. Decydent ocenia macierz możliwości $\mathbf{M}(2)$ i wybiera kryterium F^3 , dla którego podwyższa poziom aspiracji do poziomu 255, określając poziomy aspiracji dla pozostałych kryteriów na poziomie akceptowanym w iteracji 2. Mamy $\mathbf{P} = \{3\}$. Nowe poziomy aspiracji spełniają warunki (30).

10. Dokonując przeglądu listy określamy zbiory realizacji procesu, spełniające warunki (31) i (32) otrzymujemy:

$$\mathbf{D}^1(3) = \{d \in \mathbf{D}(2); F^1(d) \geq 15\} = \{d^8, d^9, d^{20}, d^{24}, d^{26}, d^{27}\}, \\ \mathbf{D}^2(3) = \{d \in \mathbf{D}(2); F^2(d) \geq 83\} = \{d^8, d^9, d^{20}, d^{26}, d^{27}\}, \\ \mathbf{D}^3(3) = \{d \in \mathbf{D}(2); F^3(d) \geq 255\} = \{d^{20}, d^{26}, d^{27}\}.$$

11. Tworzymy zbiór

$$\mathbf{D}(3) = \mathbf{D}^1(2) \cap \mathbf{D}^2(2) \cap \mathbf{D}^3(2) = \{d^{20}, d^{26}, d^{27}\}$$

12. Mamy $\mathbf{D}(3) \neq \emptyset$.

13. Przyjmujemy $m =: m + 1 = 3$.

Iteracja 3

2. Rozwiązujemy ciąg zadań

$$\begin{aligned} \text{Max } \{F^1(d): d \in \mathbf{D}(3)\}, \\ \text{Max } \{F^2(d): d \in \mathbf{D}(3)\}, \\ \text{Max } \{F^3(d): d \in \mathbf{D}(3)\}. \end{aligned}$$

3. Mamy:

$$F^{1*}(3) = 19, \quad F^{2*}(3) = 84, \quad F^{3*}(3) = 258, \\ \mathbf{D}^{1*}(3) = \{d^{26}\}, \quad \mathbf{D}^{2*}(3) = \{d^{20}\}, \quad \mathbf{D}^{3*}(3) = \{d^{26}\}.$$

4. Tworzymy zbiór

$$\mathbf{D}^*(3) = \mathbf{D}^{1*}(3) \cup \mathbf{D}^{2*}(3) \cup \mathbf{D}^{3*}(3) = \{\{d^{26}\}, \{d^{20}\}\}.$$

5. Tworzymy macierz wartości kryteriów $\mathbf{W}(3)$:

$$\begin{bmatrix} F^1(d^{26}) & F^2(d^{26}) & F^3(d^{26}) \\ F^1(d^{20}) & F^2(d^{20}) & F^3(d^{20}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 19 & 83 & 258 \\ 15 & 84 & 257 \end{bmatrix}$$

6. Znajdujemy wartości:

$$z^1(3) = \min \{19, 15\} = 15, \quad z^2(3) = \min \{83, 84\} = 83, \\ z^3(3) = \min \{258, 257\} = 257.$$

7. Tworzymy macierz $\mathbf{W}(3)$:

Wartości	F^1	F^2	F^3
Akceptowane	15	83	258
Optymistyczne	19	84	257

8. Mamy:

$$F^{1*}(1) - z^1(1) = 19 - 15 > 1, \quad F^{2*}(1) - z^2(1) = 84 - 83 \leq 1,$$

$$F^{3*}(1) - z^3(1) = 258 - 257 \leq 1.$$

9b. Decydent rezygnuje z możliwości podniesienia poziomu aspiracji i wybiera rozwiązanie końcowe spośród rozwiązań $\mathbf{D}^*(3)$ rozpatrywanych w iteracji 3 (wykorzystując dodatkowe informacje, na przykład o wartościach kryteriów etapowych w poszczególnych rozwiązaniach).

14. Koniec procedury.

ZAKOŃCZENIE

Przedstawione w pracy podejście pozwala na efektywne włączenie decydenta w proces dochodzenia do rozwiązania końcowego. Należy podkreślić, że ważnym elementem proponowanego podejścia jest wykorzystanie możliwości generowania rozwiązań prawie optymalnych w zadaniach jednokryterialnych, istotnie wykorzystywanej w tej procedurze.

Zakres praktycznych zastosowań proponowanego algorytmu obejmuje wszystkie te problemy, w których występuje sekwencja powiązanych ze sobą decyzji. Z sytuacją taką mamy na przykład do czynienia w zarządzaniu portfelem projektów czy też w problemach z zakresu zarządzaniem zdolnością produkcyjną. W problemach tych decydenci mogą być zainteresowani poszukiwaniem takiego rozwiązania, które przykładowo oceniane jest nieco gorzej z punktu widzenia finansowego, jest jednak zdecydowanie bardziej atrakcyjne z punktu widzenia innych, ważnych celów organizacji.

Celem dalszych prac będzie rozwijanie podejścia interaktywnego, zarówno dla zadań deterministycznych, jak również stochastycznych i rozmytych. W rozważaniach tych powinno się uwzględnić strukturę etapową rozpatrywanych realizacji, czyli wartości kryteriów etapowych. Ich uwzględnienie powinno w istotny sposób wzbogacić prowadzoną analizę.

BIBLIOGRAFIA

- Brown T. A., Strauch R. E. (1965) Dynamic Programming in Multiplicative Lattices. Journal of Mathematical Analysis and Applications, 12.
- Bellman R. (1957) Dynamic Programming. Princeton University Press.
- Bellman R., Dreyfus S. (1967) Programowania dynamiczne. Zastosowania. PWE, Warszawa.

- Elmaghraby S. E. (1970) The Theory of Networks and Management Science. Management Science, 1, 17.
- Galas Z., Nykowski I., Żółkiewski Z. (1987) Programowanie wielokryterialne. PWE, Warszawa.
- Nowak M. (2008) Interaktywne wielokryterialne wspomaganie decyzji w warunkach ryzyka: metody i zastosowania. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Katowicach.
- Spronk J. (1981) Interactive Multiple Goal Programming. Martinus Nijhoff, The Hague.
- Steuer R. (1986) Multiple Criteria Optimization: Theory, Computation and Application. John Wiley and Sons.
- Trzaskalik T. (2015) MCDM applications of near optimal solutions in dynamic programming. MCDM 10.
- Trzaskalik T. (1998) Multiobjective Analysis in Dynamic Environment. The Karol Adamiecki University of Economics in Katowice Press.
- Trzaskalik T. (1990) Wielokryterialne dyskretne programowanie dynamiczne. Teoria i zastosowania w praktyce gospodarczej. Akademia Ekonomiczna w Katowicach.
- Trzaskalik T. (1986) Wybrane problemy programowania dynamicznego. Akademia Ekonomiczna w Katowicach.

INTERACTIVE MULTIPLE GOAL PROGRAMMING IN MULTI-OBJECTIVE DISCRETE DYNAMIC PROGRAMMING

Abstract: The aim of the paper is to propose a method of finding a solution of the final tasks of multiple criteria discrete dynamic programming using suitably modified interactive ε - constraint approach. In the first phase single criterion dynamic programming algorithm is applied, as well the algorithm of generating near-optimal solutions. Next we operate on a finite set of solutions, given as a list.

Keywords: MCDM, multiobjective discrete dynamic programming, IMGP, interactive method

PROPOZYCJA OCENY EFEKTYWNOŚCI INWESTYCYJNEJ RYNKÓW FUNDUSZY EMERYTALNYCH

Dorota Witkowska

Katedra Finansów i Strategii Przedsiębiorstwa, Uniwersytet Łódzki
e-mail: dorota.witkowska@uni.lodz.pl

Streszczenie: Starzenie się społeczeństw wymusza zmiany systemów emerytalnych, które są wprowadzane w życie w krajach OECD od ponad 20 lat. Celem badań jest próba porównania efektywności rynków funduszy emerytalnych w wybranych krajach europejskich i USA. Badania zostały przeprowadzone na podstawie danych OECD z lat 2002-2013. Do oceny efektywności inwestycyjnej funduszy emerytalnych wykorzystano miary: Sharpe'a, Treynora, współczynnik uogólniony (lub informacyjny), alfę Jensena i wskaźnik Treynora – Black'a. Przedstawiono pewne propozycje konstrukcji benchmarków rynkowych, odzwierciedlających zróżnicowane sytuacje w poszczególnych krajach.

Słowa kluczowe: system emerytalny, fundusz emerytalny, efektywność inwestycyjna, benchmark

WPROWADZENIE

Jednym z podstawowych wyzwań gospodarek rozwiniętych jest problem starzenia się społeczeństw, będący wynikiem poprawy sytuacji ekonomicznej, co powoduje wydłużanie się oczekiwanego czasu życia. Konsekwencją tego jest coraz dłuższy okres pobierania świadczeń emerytalnych, a ponieważ dodatkowo nakłada się na to zmniejszona dzietność, to pojawia się zjawisko odwróconej piramidy demograficznej (*inverting pyramid*). Zmniejszanie się populacji osób zawodowo czynnych przy jednoczesnym zwiększaniu się populacji emerytów, powoduje istotny wzrost tzw. odsetka osób w wieku emerytalnym (*old-age dependency ratio*), co przedstawiono w tabeli 1.

Ta zmiana proporcji sprawia, że repartycyjny system emerytalny (PAYG *Pay-As-You-Go*) nie jest w stanie zabezpieczyć interesów żadnej z grup, bowiem rosnące wypłaty świadczeń emerytalnych nie są pokrywane ze składek

pracujących, którzy są obciążani coraz większą daniną na rzecz emerytów. Z kolei emeryci nie są zadowoleni z wysokości otrzymywanych emerytur, bowiem składki odprowadzane przez pracujących muszą zabezpieczać coraz większą rzeszę świadczeniobiorców.

Tabela 1. Odsetek ludności w wieku emerytalnym na świecie w latach 2010 i 2050

Kraje	2010	2050	Kraje	2010	2050
Ameryka			Bliski Wschód		
USA	13,1	21,4	Egipt	13,1	12,3
Brazylia	6,9	22,5	Iran	5,5	21,5
Meksyk	6,0	20,2	Turcja	5,2	21,2
Argentyna	10,6	19,4	Izrael	10,4	17,9
Europa			Daleki Wschód		
Rosja	13,1	20,5	Indie	5,1	12,7
Niemcy	20,8	32,7	Chiny	8,3	23,9
Wlk. Brytania	16,6	24,7	Indonezja	5,0	15,8
Francja	16,8	25,5	Pakistan	4,3	9,6
Włochy	20,3	33,0	Japonia	23,0	36,5
Hiszpania	17,1	34,5	Korea	11,1	34,9

Źródło: Pew Research Center (2014)

W związku z tym koniecznym stało się wprowadzenie reform systemu emerytalnego, co ma miejsce w krajach OECD od ponad 20 lat. Podstawowymi filarami tych zmian są:

- podniesienie wieku emerytalnego,
- zmiana systemu zdefiniowanego świadczenia na system zdefiniowanej składki,
- utworzenie dodatkowego (tj. poza repartycyjnym) filaru kapitałowego, reprezentowanego przez fundusze emerytalne,
- zachęcanie do dobrowolnego oszczędzania na przyszłe świadczenia emerytalne poprzez wprowadzenie odpowiednich mechanizmów (np. w postaci ulg podatkowych) i produktów (np. nieobowiązkowe pracownicze lub indywidualne plany emerytalne),
- dywersyfikacja instytucji zarządzających oszczędnościami emerytalnymi (państwowe i prywatne).

Celem realizowanych badań¹ jest próba porównania efektywności rynków funduszy emerytalnych w wybranych krajach europejskich i USA. Badania zostały przeprowadzone na podstawie (rocznych) danych OECD z lat 2002-2013. Do oceny efektywności inwestycyjnej funduszy emerytalnych w tych krajach

¹ Badania realizowano w ramach projektu NCN 2013/09/B/HS4/00493 pt. „Analiza rynku otwartych funduszy emerytalnych na tle rynku otwartych funduszy inwestycyjnych funkcjonujących w Polsce”.

wykorzystano współczynniki: Sharpe'a klasyczny i uogólniony (zwany również informacyjnym), Treynora, Treynora – Black'a i tzw. alfę Jensena.

PODSTAWOWE CHARAKTERYSTYKI SYSTEMÓW EMERYTALNYCH

Regulacje dotyczące systemów emerytalnych są różne w poszczególnych krajach i *de facto* nie ma wspólnych rozwiązań nawet wśród grup krajów o podobnej pozycji gospodarczej, historii, czy należących do jednej organizacji międzynarodowej np. Unii Europejskiej. Prowadzenie analiz porównawczych dla wielu krajów jest zatem mocno utrudnione z powodu zróżnicowania regulacji prawnych i tradycji na tych rynkach, a także ze względu na różne, istniejące w tych krajach, systemy emerytalne. W dodatku nie istnieją jednolite bazy danych, w których znajdują się potrzebne informacje, a te udostępniane przez międzynarodowe organizacje tj. OECD dotyczą zazwyczaj tylko wybranych krajów członkowskich i często zawierają znaczny odsetek brakujących obserwacji.

Systemy zdefiniowanej składki występują w Chile, Estonii, Francji, Grecji, Polsce, Słowacji, Słowenii, Czeskiej Republice i na Węgrzech, a zdefiniowanego świadczenia w Niemczech, Finlandii i Szwajcarii [OECD 2014b]. Pozostałe kraje mają systemy mieszane (hybrydowe) tj. zdefiniowanego świadczenia i zdefiniowanej składki w różnych proporcjach, np. w USA odpowiednio 45% i 55% [OECD 2014a]. W niektórych krajach np. w Niemczech system emerytalny jest repartycyjny, w innych krajach został on wzbogacony o dodatkowe obowiązkowe filary kapitałowe, reprezentowane przez fundusze emerytalne.

Fundusze emerytalne budują portfele inwestycyjne o zróżnicowanej strukturze, np. w Rosji, Hiszpanii, Niemczech i we Włoszech w portfelach funduszy emerytalnych przeważają bony skarbowe i instrumenty rynku pieniężnego. Natomiast w USA, Australii, Południowej Afryce i Wielkiej Brytanii największy udział w portfelu mają akcje [OECD 2014b]. Zróżnicowana jest również rola, jaką fundusze emerytalne odgrywają w gospodarce. W 2013r. aktywa funduszy emerytalnych stanowiły 166,2% PKB Holandii, 148,7% PKB Szwajcarii, 100,7% PKB Wlk. Brytanii, 83% PKB USA oraz 0,1% PKB Grecji i niewiele więcej we Francji. Warto dodać, że w Niemczech aktywa OFE stanowią jedynie 6,2%, a w Polsce 18,6% PKB [OECD 2014a].

Istnieją różne plany emerytalne to jest plany pracownicze i indywidualne, obejmujące w różnych proporcjach oszczędności emerytalne w poszczególnych krajach, np. w Polsce większość stanowią plany indywidualne, a w USA, Niemczech i Wlk. Brytanii - plany pracownicze. Różnie też kształtują się obowiązki pracowników i pracodawców w odniesieniu do gromadzenia oszczędności emerytalnych. Wprawdzie w większości krajów OECD składki emerytalne są obowiązkowe, ale inne są wysokości tych składek np. w Danii wpłaty do systemu

emerytalnego pochodzą głównie z budżetu, a wysokość wnoszonych składek² przez pracowników wynosi 5,01%, a pracodawców 7,16, natomiast w Holandii pracownicy wnoszą 15,76%, a pracodawca 19,91%. Różnie postrzegany jest też oczekiwany stopień zabezpieczenia emerytalnego np. w Irlandii obowiązkowo gromadzone oszczędności emerytalne mają zapewnić jedynie minimum socjalne, a w innych krajach np. w Polsce zakłada się, że zapewnią one docelową emeryturę.

Zalety i wady funduszy emerytalnych są niemal identyczne jak funduszy inwestycyjnych. Jednakże w przypadku tych pierwszych często nakładane są na nie specjalne ograniczenia, najczęściej w celu uniknięcia nadmiernego ryzyka. Dlatego ich efektywność inwestycyjną zazwyczaj porównuje się z funduszami inwestycyjnymi stabilnego wzrostu. Oba rodzaje funduszy pozwalają na dywersyfikację ryzyka, są zarządzane przez wykwalifikowanych menedżerów, ale nie pozwalają na indywidualizację inwestycji. Ich obsługa jest zazwyczaj kosztowna i bywa przedmiotem krytyki. Stopy zwrotu z funduszy emerytalnych są wprawdzie często większe niż indeksacja składek w systemie PAYG, ale zazwyczaj mniejsze niż zwroty wypracowane na rynku kapitałowym. Fundusze emerytalne inwestują długoterminowo, i - jak się wydaje - wypłaty środków są łatwiejsze do przewidzenia niż w przypadku otwartych funduszy inwestycyjnych. Dlatego oczekuje się od nich odpowiednio dobrych wyników inwestycyjnych. Jednakże fundusze emerytalne mogą być narażone na ryzyko polityczne, bowiem składki przez nie gromadzone mogą zostać przejęte przez agencje rządowe (jak miało to np. miejsce w Polsce w 2014 roku).

OPIS BADANIA

Analiza porównawcza efektywności inwestycyjnej może zostać przeprowadzona za pomocą: stóp zwrotu lub mierników efektywności inwestycyjnej, spośród których do badania wybrano współczynniki: Sharpe'a klasyczny [Sharpe 1966] i uogólniony zwany też informacyjnym [Sharpe 1994], Treynora [Treynor 1965], Jensena [Jensen 1968] i Treynora – Black'a [Treynor - Black 1973]. Konstrukcja tych mierników opiera się na nadwyżkowej stopie zwrotu, zatem ich zastosowanie wymaga decyzji dotyczących zarówno instrumentu wolnego od ryzyka, jak i indeksu rynku (lub benchmarku).

Badania przeprowadzono dla czterech wyróżnionych krajów:

1. Niemiec, reprezentujących najsilniejszą gospodarkę w Europie,
2. Polski, będącej największym krajem spośród nowych członków UE,
3. USA o najsilniej na świecie rozwiniętym rynku funduszy emerytalnych (56,3% światowego rynku w 2014 roku [OECD 2014a]) i

² Dane dotyczą 2005r. i zostały podane jako udział procentowy zarobków w sektorze prywatnym [Vidlund, Bach-Othman 2009].

4. Wielkiej Brytanii, zajmującej drugie miejsce pod względem udziału w światowym rynku funduszy emerytalnych (10,8% rynku w 2014 r. [OECD 2014a]), a zatem pierwsze w Europie oraz
5. dla agregatu Europe, utworzonego z 19 europejskich członków OECD, dla których w badanym okresie nie było masowych braków danych. W rezultacie zwroty z funduszy emerytalnych dla agregatu Europe zostały wyznaczone jako ważona średnia obliczona na podstawie średnich realnych zwrotów (IRR) uzyskanych przez fundusze emerytalne działające w: Austrii, Belgii, Czechach, Danii, Estonii, Finlandii, Niemczech, Grecji, Luksemburgu, Holandii, Polsce, Portugalii, Słowacji, Słowenii, Hiszpanii, Szwajcarii, Wielkiej Brytanii, na Węgrzech i we Włoszech. Za wagi dla każdego kraju przyjęto udziały aktywów funduszy emerytalnych działających w każdym z państw w łącznej sumie aktywów wyznaczonej dla wszystkich 19 rynków, oddzielnie dla każdego roku analizy.

W badaniach porównawczych wyróżniono trzy poziomy agregacji rynków:

- a. krajowy ustalany indywidualnie dla każdego z rozpatrywanych krajów,
- b. „europejski” odnoszący się do agregatu Europe i będący wspólnym dla wszystkich krajów europejskich w prowadzonych porównaniach oraz
- c. „globalny” uwzględniający informacje o rynku europejskim i dodatkowo o USA.

W analizach przyjęto szereg założeń.

1. Instrument wolny od ryzyka jest reprezentowany przez 10-letnie bony skarbowe w każdym z krajów, natomiast stopy zwrotu z europejskiego instrumentu wolnego od ryzyka wyznaczono jako średnią zwrotów z 10-letnich bonów skarbowych niemieckich i brytyjskich. Utworzono też „globalny” instrument wolny od ryzyka, w którym zwroty to średnia z „europejskich” i amerykańskich bonów skarbowych.
2. Indeksy rynku kapitałowego są reprezentowane przez główne indeksy giełdowe tj. WIG dla Polski, DAX dla Niemiec, FTSE 100 dla Wielkiej Brytanii, S&P 500 dla USA oraz Euro Stoxx 50 dla agregatu Europe. Utworzono też „globalny” indeks rynku zawierający średnie zwroty z analizowanych pięciu rynków.
3. Benchmarki zostały skonstruowane w taki sposób, aby odzwierciedlały strukturę przeciętnych portfeli inwestycyjnych funduszy emerytalnych w poszczególnych krajach, przy założeniu, że zawierają one jedynie akcje i obligacje³. Struktura tych portfeli jest następująca dla: Polski 45/55, Niemiec 8/92, Wielkiej Brytanii 44/56 i USA 70/30, a dla agregatu Europe przyjęto

³ Innymi słowy, w rozważaniach pominięto inne instrumenty (np. rynku pieniężnego), które wchodziły w skład portfeli inwestycyjnych funduszy emerytalnych. Dlatego też udział akcji i obligacji jest *de facto* różny od rzeczywistości istniejącego, chociaż zachowano proporcje między wymienionymi instrumentami.

30/70, przy czym zwroty z rynku kapitałowego obliczono jako średnią z indeksów DAX, FTSE 100 i Euro Stoxx 50, ponieważ ostatni z indeksów obejmuje jedynie kraje strefy euro. W przypadku „globalnego” benchmarku wzięto proporcje 30% rynku akcji i 70% rynku obligacji, ale wykorzystano zwroty z omawianych wcześniej pięciu notowanych indeksów giełdowy oraz czterech obligacji skarbowych.

Wartości wymienionych mierników efektywności inwestycyjnej (z wyjątkiem alfy Jensena) nie posiadają interpretacji, ale umożliwiają porównanie różnych portfeli inwestycyjnych względem siebie lub względem przyjętych benchmarków. Można zatem utworzyć na ich podstawie ranking rynków funduszy emerytalnych, jeśli wartości wskaźników wyznaczono dla identycznie zdefiniowanych benchmarków. W przypadku miernika Jensena do tworzenia rankingów wykorzystuje się wskaźniki Treynora – Black’a.

Pojawia się jednak problem wzajemnej porównywalności analizowanych rynków w oparciu o wskaźniki wyznaczone dla benchmarków „krajowych” lub „europejskiego”. Dotyczy to zwłaszcza klasycznych współczynników Sharpe’a i Treynora, których wartości dla poszczególnych rynków funduszy emerytalnych porównywane są z miernikami wyznaczonymi dla tzw. indeksów rynku. W tym bowiem przypadku nie można przeprowadzić rankingu poszczególnych rynków funduszy emerytalnych, tylko w oparciu o same wartości tych współczynników, ponieważ każdy kraj i agregat Europe mają indywidualnie zdefiniowane instrumenty wolne od ryzyka, z wyjątkiem instrumentu „globalnego”, który jest wspólny dla wszystkich. Można zatem utworzyć ranking rynków funduszy emerytalnych na podstawie wspólnego dla wszystkich rynków „globalnego” instrumentu wolnego od ryzyka, w oparciu o różnicę między wartościami współczynników Sharpe’a wyznaczonymi dla funduszy i reprezentanta rynku globalnego. Natomiast w przypadku stosowania indywidualnych dla każdego kraju (i agregatu) instrumentów wolnych od ryzyka, należy przeprowadzić porównania wyników inwestycyjnych funduszy z wynikami rynków kapitałowych i benchmarków „krajowych”. W celu utworzenia rankingu proponujemy wykorzystanie relacji:

$$\left| \frac{W_e - W_m}{W_m} \right| \quad (1)$$

gdzie W_e , W_m to wartości współczynnika Sharpe’a lub Treynora wyznaczone odpowiednio dla funduszy emerytalnych i reprezentantów rynku.

WYNIKI ANALIZ EMPIRYCZNYCH

Porównując zwroty z funduszy emerytalnych (tabela 2) należy stwierdzić, że w badanym okresie fundusze działające w Polsce były najbardziej efektywne, drugie w rankingu były fundusze w Niemczech. Najslabiej w tych analizach wypadły fundusze brytyjskie, które generowały straty. Warto też wspomnieć, że

fundusze działające w Polsce charakteryzowały się najwyższym ryzykiem, mierzonym odchyleniem standardowym.

Analizując sytuację na rynku akcji (tabela 2) należy stwierdzić, że najwyższe skumulowane zwroty zaobserwowano na indeksie WIG, a potem na S&P 500, natomiast ujemne wartości obserwuje się dla indeksu Euro Stoxx 50. Z kolei największym ryzykiem charakteryzował się index DAX, a najmniejszym FTSE 100. Największą rentownością (tabela 3) charakteryzowały się polskie i amerykańskie bony skarbowe, a najmniejszą bony niemieckie. Przy czym ryzyko bonów amerykańskich było znacząco wyższe od europejskich.

Tabela 2. Stopy zwrotu z funduszy emerytalnych i indeksów giełdowych latach 2002-2013

Procentowe zwroty z rynków funduszy emerytalnych					
Stopy zwrotu	Polska	Niemcy	Wlk. Brytania	Europe	USA
skumulowane	57,19	35,18	-5,72	16,11	13,02
średnia (geometryczna)	3,84	2,54	-0,53	1,25	1,02
średnia (arytmetyczna)	4,25	2,55	-0,53	1,32	1,24
odchylenie standardowe	8,87	1,13	1,13	3,71	6,82
Procentowe zwroty z rynku akcji					
Stopy zwrotu	WIG	DAX	FTSE100	Euro Stoxx 50	S&P 500
skumulowane	227,32	85,27	29,35	-18,31	103,42
średnia (geometryczna)	10,39	5,27	1,12	-1,67	6,10
średnia (arytmetyczna)	14,50	9,84	3,53	1,18	8,12
odchylenie standardowe	27,29	28,40	15,61	21,70	19,21

Uwaga: stopa skumulowana to jednookresowa stopa zwrotu za cały analizowany okres.

Źródło: obliczenia własne

Tabela 3. Stopy zwrotu z bonów skarbowych i benchmarków latach 2002-2013

Procentowe zwroty z instrumentów wolnych od ryzyka						
Stopy zwrotu	Polska	Niemcy	Wlk. Brytania	Europe	USA	globalny
skumulowane	75,88	44,90	59,30	51,94	75,51	65,14
średnia (geometr.)	4,82	3,14	3,96	3,55	4,80	4,27
średnia (arytm.)	4,83	3,14	3,96	3,55	5,20	4,38
odchylenie standard.	1,39	0,97	0,98	0,96	9,08	5,02
Procentowe zwroty ze skonstruowanych benchmarków						
Stopy zwrotu	Polska	Niemcy	Wlk. Brytania	Europe	USA	globalny
skumulowane	164,35	53,79	51,82	55,37	115,19	81,83
średnia (geometr.)	8,44	3,65	3,54	3,74	6,59	5,11
średnia (arytm.)	9,18	3,68	3,77	3,94	7,24	5,23
odchylenie standard.	12,22	2,38	6,74	6,32	11,21	4,91

Źródło: obliczenia własne

Utworzone benchmarki mają odzwierciedlać ogólną sytuację na rynkach funduszy emerytalnych poszczególnych krajów. Dodatkowo skonstruowano

benchmarki zagregowane „europejski” i „globalny”, które zostaną wykorzystane do wyznaczenia wskaźników efektywności inwestycyjnej. Zgodnie z wcześniejszymi analizami oraz znaczącym udziałem akcji w portfelach inwestycyjnych funduszy emerytalnych, największe zwroty generują benchmarki skonstruowane dla Polski i USA, natomiast benchmarki utworzone dla Wielkiej Brytanii i Niemiec oraz agregatu Europe charakteryzują się podobnymi, znacząco mniejszymi zwrotami. Na uwagę zasługuje wyjątkowo niskie ryzyko dla Niemiec, co prawdopodobnie związane jest z miażdżącą przewagą obligacji w tym benchmarku (tabela 3).

Tabela 4. Wartości współczynników Sharpe'a i Treynora

Kraj lub agregat	Fundusze emerytalne		(1) Rynek kapitałowy	(2) Benchmark krajowy	(3) Benchmark globalny
	Instrument wolny od ryzyka				
	krajowy	globalny			
Wartości współczynnika Sharpe'a					
Polska	-0,0650	-0,0141	0,3546	0,3564	0,1734
Niemcy	-0,5246	-1,6138	0,2359	0,2252	
Wlk. Brytania	-3,9555	-4,3207	-0,0276	-0,0281	
Europe	-0,6010	-0,8229	-0,1095	0,0616	
USA	-0,5802	-0,4595	0,1519	0,1823	
Wartości współczynnika Treynora					
Polska	-2,0441	-0,3505	9,6749	4,3537	0,8524
Niemcy	-17,5025	-12,6137	6,6983	0,5359	
Wlk. Brytania	-215,7743	-22,3960	-0,4308	-0,1896	
Europe	-13,6695	-10,4901	-2,3754	0,3892	
USA	-8,5163	-8,5081	2,9183	2,0428	

Źródło: obliczenia własne

Dalsze analizy przeprowadzono na podstawie wymienionych wcześniej mierników efektywności inwestycyjnej, a uzyskane wyniki zamieszczono w tabelach 4 – 7. W Niemczech, Polsce i USA rynki akcji i utworzone benchmarki generowały dodatnią premię za ryzyko, podczas gdy w Wielkiej Brytanii wyższe zwroty generowały bony skarbowe niż FTSE 100 (ostatnie 3 kolumny w tabeli 4.). Oceniając efektywność funduszy emerytalnych, należy powiedzieć, że nie były one dobrze zarządzane, bowiem wartości współczynnika Sharpe'a są ujemne i we wszystkich przypadkach mniejsze od wartości tegoż współczynnika wyznaczonego dla reprezentantów rynku. Podobne wnioski można wyciągnąć na podstawie analizy wartości indeksu Treynora.

Tabela 5. Wartości współczynnika uogólnionego (informacyjnego) Sharpe'a

Kraj lub agregat	Benchmarki		Indeksy rynku akcji	
	(1) krajowy	(2) globalny	(3) krajowy	(4) globalny
Polska	-0,7674	-0,1423	-0,4873	-0,1834
Niemcy	-0,6080	-0,6318	-0,2534	-0,2342
Wlk. Brytania	-0,6109	-1,1437	-0,2490	-0,3668
Europe	-0,7227	-1,7854	0,0076	-0,3341
USA	-0,6450	-0,5802	-0,4141	-0,3236

Źródło: obliczenia własne

Zastosowanie uogólnionego współczynnika Sharpe'a potwierdza niedostosowanie portfeli funduszy emerytalnych do sytuacji rynkowej, zarówno opisywanej przez skonstruowane benchmarki, jak i indeksy rynkowe, o czym świadczą ujemne wartości w tabeli 5. Jedynym wyjątkiem jest dodatni wskaźnik dla Europe. Przedstawione wyniki wyraźnie wskazują na to, że wybór benchmarku ma istotne znaczenie w ocenie efektywności i rankingu. „Krajowe” benchmarki i indeksy giełdowe obrazują sytuację na danym rynku, zatem miary efektywności „dokonują oceny” zarządzających w kontekście istniejących możliwości na danym (tj. „krajowym”) rynku. Przykładem jest pierwsza pozycja agregatu Europe, kiedy benchmarkiem jest Euro Stoxx 50, charakteryzujący się wyjątkowo niskimi stopami zwrotu. Natomiast zastosowanie „globalnych” indeksów i benchmarków umożliwia bezpośrednie porównania, ale w relacji do „sztucznego” rynku.

Tabela 6. Wartości ocen parametrów modelu CAPM (alfa Jensena)

Kraj lub agregat	Instrument wolny od ryzyka i indeks rynku					
	(1) krajowy			(2) globalny		
	beta	alfa	R^2	beta	alfa	R^2
Polska	0,2822	-3,3069	0,7840	0,3572	-3,7420	0,8376
Niemcy	0,0339	-0,8202	0,3935	0,1447	-2,6164	0,6778
Wlk. Brytania	0,0208	-4,4352	0,1021	0,2189	-4,6735	0,7529
Europe	0,1631	-1,8421	0,7926	0,2910	-2,1217	0,9148
USA	0,4646	-5,3126	0,8106	0,3683	-4,5117	0,6807

Źródło: obliczenia własne

Tabela 7. Wartości ocen parametrów modelu CAPM (alfa Jensena)

Kraj lub agregat	Ranking rynków wg benchmarków „krajowych”										
	Sharpe'a			Treynora			Uogólniony		Treynora-Black'a	Pozycja w rankingu	
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(3)		dominująca	średnia
Polska	1	1	1	1	1	1	5	5	3	1 (6)	2,11
Niemcy	2	2	2	4	3	4	1	3	4	2 (3) i 4 (3)	2,78
Wlk. Brytania	5	5	5	5	5	5	2	2	5	5 (7)	4,33
Europe	3	4	4	3	4	3	4	1	1	4 (4)	3,00
USA	4	3	3	2	2	2	3	4	2	2 (4)	2,78

Ranking rynków wg benchmarków globalnych											
Kraj lub agregat	Sharpe'a			Treynora			Uogólniony		Treynora-Black'a	Pozycja w rankingu	
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(2)	(4)		dominująca	średnia
Polska	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1 (8)	1,11
Niemcy	4	3	4	2	3	3	3	2	4	3 (4)	3,11
Wlk. Brytania	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5 (7)	4,89
Europe	3	4	3	3	4	4	5	4	1	4 (4)	3,44
USA	2	2	2	4	2	2	2	3	3	2 (6)	2,44

Źródło: obliczenia własne

W przypadku miary Jensena po raz kolejny stwierdzamy, że zarządzający funduszami emerytalnymi nie tworzyli portfeli efektywnych, o czym świadczą ujemne wartości alfa, niezależnie od tego czy w modelu CAPM uwzględniono „krajowe” czy „globalny” instrumenty wolne od ryzyka. Chociaż zastosowanie tych ostatnich znacznie poprawiło stopień objaśnienia modelu (z wyjątkiem USA). Ranking sporządzono wg miernika Treynora – Black’a i daje on niemal identyczne wskazania dla obu instrumentów wolnych od ryzyka i indeksów rynku.

Ostatnim etapem badań jest utworzenie rankingu rynków funduszy emerytalnych, co przeprowadzono oddzielnie dla benchmarków „krajowych” i „globalnych”, wykorzystując w przypadku wskaźników Sharpe’a i Treynora relację (1). Jak łatwo zauważyć (tabela 7) rankingi są zróżnicowane dla poszczególnych mierników i benchmarków, chociaż wyznaczając pozycje dominujące (w nawiasie liczba wskazań) i średnie zastosowanie wspólnego i zróżnicowanych benchmarków daje dość podobne wskazania.

PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania pozwoliły na ocenę efektywności inwestycyjnej rynków funduszy emerytalnych w wybranych krajach. Wysoka pozycja Polski w rankingu jest – jak się wydaje - wynikiem struktury portfeli funduszy emerytalnych w badanym okresie (zrównoważenie instrumentów ryzykownych tymi wolnymi od ryzyka), co z jednej strony umożliwiło generowanie wysokich zwrotów w okresie hossy, a z drugiej pozwoliło uniknąć nadmiernych strat w czasie kryzysu finansowego, czego doświadczyły fundusze w USA.

Na podstawie zrealizowanych badań należy stwierdzić, że prowadzenie analiz porównawczych wymaga odpowiedniego zdefiniowania benchmarków oraz wag w celu generowania danych zagregowanych. Ocena efektywności inwestycyjnej powinna być prowadzona dla określonych realiów, w jakich działają fundusze emerytalne, czyli w oparciu o benchmarki „krajowe”, ale niestety w wielu przypadkach uniemożliwia to przeprowadzenie bezpośrednich porównań i tworzenie rankingów dla różnych rynków funduszy emerytalnych.

BIBLIOGRAFIA

- Jensen, M. C. (1968) The performance of mutual funds in the period 1945-1964. *Journal of Finance*, 23 (2), 389-416.
- OECD (2014a) Pension Market in Focus. [at:] <http://www.oecd.org/daf/fin/private-pensions/Pension-Markets-in-Focus-2014.pdf>
- OECD (2014b) Annual Survey of Large Pension Funds and Public Pension Reserve Funds, Report on Pension Funds' Long-term Investments. [at:] https://www.oecd.org/pensions/private-pensions/2014_Large_Pension_Funds_Survey.pdf
- Pew Research Center (2014) Attitudes about Aging: A Global Perspective. [at:] <http://www.pewglobal.org/2014/01/30/chapter-2-aging-in-the-u-s-and-other-countries-2010-to-2050/>
- Sharpe W. F. (1966) Mutual Fund Performance. *Journal of Business*, 39 (1), 119 -138.
- Sharpe W. F. (1994) The Sharpe Ratio. *Journal of Portfolio Management*, 21 (1), 49 -58.
- Treynor J. L. (1965) How to Rate Management of Investment Funds. *Harvard Business Review*, 43 (1), 63 - 75.
- Treynor J. L., Black F. (1973) How to use security analysis to improve portfolio selection. *Journal of Business*, 461, 66-88.
- Vidlund M., Bach-Othman J. (2009) Pension contribution level in nine European countries. Finnish Centre for pensions Working paper 2009:1, Helsinki, <http://www.etk.fi/wp-content/uploads/2015/10/WP%20109.pdf>

THE PROPOSAL HOW TO EVALUATE THE PERFORMANCE OF PENSION FUNDS MARKETS

Abstract: The essential increase of the old-dependency ratio requires changes in retirement system which have been introduced in OECD countries for 20 years now. The aim of our research is comparison of the performance of the pension fund markets in selected European countries and the USA. Investigation is provided using OECD data from the years 2002-2013. To evaluate the investment efficiency in these states we apply the following measures: Sharpe and Treynor ratios, excess return information ratio, and Jensen alpha. We present some proposals of the benchmark construction

Keywords: retirement system, pension fund, performance, benchmark

DOJAZDY DO PRACY A KONWERCENCJA REGIONALNA W POLSCE

Piotr Wójcik

Zakład Finansów Ilościowych, Uniwersytet Warszawski
e-mail: pwojcik@wne.uw.edu.pl

Streszczenie: Celem artykułu jest analiza różnicowań regionalnego PKB per capita oraz konwergencji regionalnej w Polsce na poziomie NTS 3 w latach 2000-2013 po korekcie uwzględniającej dojazdy do pracy. Do korekty wykorzystano dane o przepływach ludności związanych z zatrudnieniem na poziomie gmin. PKB wytworzony przez osoby dojeżdżające do pracy uwzględniono w miejscu ich zamieszkania, a nie zatrudnienia. Wykorzystano analizę konwergencji typu beta i sigma oraz podejścia umożliwiające analizę pełnego rozkładu (macierze przejścia, estymacja jądrowa). Korekta danych nie zmieniła wniosków dotyczących konwergencji.

Słowa kluczowe: konwergencja regionalna, dojazdy do pracy, skorygowany PKB per capita, analiza dynamiki rozkładu, macierze przejścia, estymacja jądrowa

WSTĘP

Konwergencją lub zbieżnością w literaturze makroekonomicznej określa się upodobnianie się do siebie krajów lub regionów pod względem poziomu rozwoju, mierzonego najczęściej za pomocą produktu krajowego brutto (PKB) na mieszkańca lub na zatrudnionego. W obliczeniach produktu krajowego (regionalnego) brutto na mieszkańca licznik i mianownik mogą dotyczyć różnych obszarów odniesienia. Wielkość produktu dotyczy regionu, w którym został on wytworzony, ale jest on efektem pracy także osób dojeżdżających do pracy z innych regionów. Ma to szczególne znaczenie w przypadku dużych miast i obszarów je otaczających, które są odrębnymi jednostkami administracyjnymi, ale tworzą wspólny rynek pracy. W niniejszym artykule wykorzystano dane o przepływach ludności związanych z zatrudnieniem na poziomie gmin [Kruszka 2010, GUS 2014] do obliczenia skorygowanych wielkości PKB per capita na

poziomie podregionów w okresie 2000-2013. Korekta polegała na zapisaniu wielkości PKB wytworzonej przez osoby dojeżdżające do pracy w miejscu ich zamieszkania – tam gdzie dochody są konsumowane, a nie w regionie zatrudnienia. Na tak skorygowanych danych wykonano analizę konwergencji kilkoma różnymi metodami, pozwalającymi weryfikować różne koncepcje konwergencji. Wartość dodana tego opracowania polega na weryfikacji czy i w jaki sposób korekta danych o regionalnym PKB na mieszkańca wpływa na wnioski z analizy konwergencji badanej różnymi metodami.

Celem artykułu jest analiza różnicowań regionalnego dochodu na mieszkańca oraz konwergencji regionalnej w Polsce na poziomie podregionów (NTS 3) po skorygowaniu wartości PKB z wykorzystaniem danych o dojazdach do pracy. W pracy weryfikowane są dwie hipotezy badawcze, zakładające, że korekta regionalnego PKB ze względu na dojazdy do pracy: (1) zmniejsza zróżnicowanie międzyregionalne, (2) nie zmienia wniosków dotyczących obserwowanych wzorców konwergencji niezależnie od metody jej weryfikacji.

W pierwszej kolejności przedstawiono metodologię wykorzystaną do korekty danych dotyczących regionalnego PKB per capita na podstawie informacji o dojazdach do pracy. Następnie omówiono krótko metody wykorzystywane do empirycznej weryfikacji hipotez dotyczących występowania różnych koncepcji konwergencji. W kolejnej części zaprezentowano wyniki analiz empirycznych. Ostatnią część pracy stanowi podsumowanie głównych wniosków.

METODA KOREKTY REGIONALNYCH PKB

Produkt krajowy brutto na mieszkańca jest najczęściej stosowaną miarą przeciętnej zamożności krajów czy regionów. Jest on również często krytykowany, między innymi dlatego że pomija działalność w szarej strefie oraz produkcję na własne potrzeby, która nie jest przedmiotem transakcji rynkowych. Nie uwzględnia też wolnego czasu, wpływu (często negatywnego) działalności gospodarczej na środowisko przyrodnicze, zmniejszania się nieodnawialnych zasobów, czy też negatywnych efektów społecznych. Ponadto jego licznik i mianownik mają różną podstawę. Wielkość produkcji jest uwzględniana dla regionu, w którym został on wytworzony, natomiast jest ona efektem pracy także osób dojeżdżających codziennie do pracy z innych regionów. Ma to szczególne znaczenie w przypadku dużych miast i obszarów je otaczających, które są odrębnymi jednostkami administracyjnymi, ale tworzą wspólny rynek pracy.¹

Dlatego też na potrzeby analizy różnicowań regionalnych i regionalnej konwergencji w tej pracy obliczono jego skorygowane wartości na poziomie podregionów dla całego okresu 2000-2013. Korekta polegała na zapisaniu wielkości PKB wytworzonej przez osoby dojeżdżające do pracy nie w regionie ich zatrudnienia, ale w miejscu zamieszkania – tam gdzie dochody z pracy są

¹ Patrz np. Eurostat (2014).

konsumowane. Korektę wykonano wykorzystując dwa różne źródła danych o przepływach ludności związanych z zatrudnieniem.

Pierwszym źródłem było wykonane przez zespół Urzędu Statystycznego w Poznaniu [Kruszka 2010] badanie, którego celem było uzyskanie szacunkowych danych dotyczących natężenia oraz kierunków przepływów ludności (pracowników najemnych) związanych z zatrudnieniem poza gminą zamieszkania. Szacunki opierały się na zbiorach z systemu podatkowego urzędów skarbowych gromadzonych w bazie POLTAX (dane z PIT-11/8B i PIT-40), udostępnionych przez Ministerstwo Finansów. Obejmowały one osoby zatrudnione na podstawie stosunku pracy w dniu 31 XII 2006 r., dla których gmina zamieszkania była inna niż gmina miejsca pracy i jednocześnie pojawiła się informacja o zwiększonych kosztach uzyskania przychodu związanych z dojazdami do pracy. Wynikiem badania była między innymi macierz przepływów związanych z zatrudnieniem dostępna na stronie internetowej GUS².

Drugim źródłem danych o dojazdach do pracy było badanie [GUS 2014] również wykonane przez zespół pracowników Urzędu Statystycznego w Poznaniu i wykorzystujące podobną metodologię. Została ona wzbogacona o dane zebrane w ramach Narodowego Spisu Powszechnego 2011 i rejestry ZUS, co między innymi pozwoliło na dokładniejszą identyfikację terytorialną miejsc pracy podatników.

Autorzy obu wspomnianych opracowań wyraźnie zaznaczają, że mimo zachowania w obu przypadkach takiej samej metodologii generowania z nich zbiorowości osób dojeżdżających do pracy, różnice w wykorzystanych źródłach powodują, że wyniki dotyczące roku 2006 i 2011 nie są wprost porównywalne. „Inaczej mówiąc, każdą z tych charakterystyk należy traktować jako samoistną «fotografię» sytuacji w danym roku i wszelkie porównania prowadzić z odpowiednią ostrożnością.” (GUS 2014, s. 180). Dlatego też oba opracowania wykorzystano w niniejszym artykule jako niezależne źródła informacji o liczbie dojeżdżających do pracy.

Dostępne publicznie dane w postaci macierzy przepływów do pracy między gminami zostały na potrzeby tego artykułu zagregowane na poziomie podregionów (NTS 3)³. Oznacza to, że jako osoby dojeżdżające do pracy potraktowano jedynie pracowników najemnych dojeżdżających poza podregion zamieszkania. Analogiczny sposób agregacji zastosowano do danych z obu opisanych powyżej źródeł. Następnie dla uproszczenia przyjęto, że w każdym roku z analizowanego okresu (2000-2013) liczba osób dojeżdżających do pracy może być opisana za pomocą tej samej macierzy przepływów – odpowiednio na podstawie danych za rok 2006 [Kruszka 2010] albo 2011 [GUS 2014]. Wykorzystując dane o liczbie

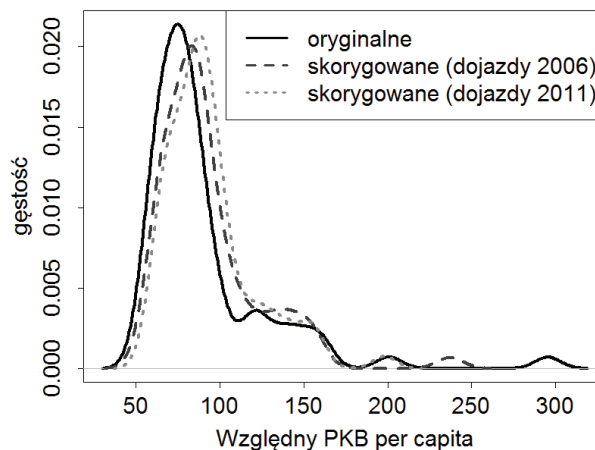
² <http://stat.gov.pl/statystyka-regionalna/badania-regionalne/przeplywy-ludnosci-zwiazane-z-zatrudnieniem-w-polsce-w-2006-r-3060/>

³ Nomenklatura NTS dzieli Polskę na terytorialne, hierarchicznie powiązane jednostki pięciu poziomów, z których trzy określono jako poziomy regionalne, a dwa jako poziomy lokalne. Obecnie (od 1 stycznia 2015 r.) wyróżnione są 72 podregiony (NTS 3) grupujące powiaty (NTS 4).

zatrudnionych w każdym z podregionów w kolejnych latach obliczono wielkość produktu krajowego brutto na jednego zatrudnionego. Następnie zakładając, że każdy zatrudniony wypracowuje tę samą część regionalnego PKB i korzystając ze zbudowanej macierzy przepływów, przeliczono wartości całkowitego PKB podregionów, zapisując wielkość wypracowaną przez każdego zatrudnionego dojeżdżającego do pracy w podregionie jego zamieszkania. Uzyskane w ten sposób wartości PKB na poziomie podregionów dla każdego roku zostały podzielone przez liczbę osób faktycznie zamieszkałych w danym podregionie w dniu 30.06. Finalnie uzyskano więc skorygowane na dwa różne sposoby wielkości PKB per capita dla całego badanego okresu.

Porównanie rozkładów dla danych oryginalnych (przed korektą) i skorygowanych na dwa alternatywne sposoby zostało przedstawione na rysunku 1. Zestawienie dotyczy wartości względnego PKB per capita w roku 2013, ale kierunek korekt był podobny we wszystkich analizowanych latach. Wyraźnie widać, że oryginalne dane charakteryzują się największym rozproszeniem – wartości PKB na mieszkańca sięgają do 300% średniej krajowej (Warszawa), widoczny jest także dodatkowy wierzchołek dla wartości ok. 200%. Natomiast dominanta rozkładu przyjmuje wartość około 75%. Analiza danych skorygowanych przy użyciu informacji o dojazdach do pracy w roku 2006 [Kruszka 2010] wykazuje nieco mniejsze zróżnicowanie – górny wierzchołek reprezentujący Warszawę znajduje się poniżej gracy 250%. Wyraźnie też widoczne jest przesunięcie mody rozkładu w górę do poziomu ok. 80-85%. Uwzględnienie dojazdów do pracy za rok 2011 [GUS 2014] pokazuje ten sam kierunek zmian rozkładu prowadzący do jeszcze silniejszego zmniejszenia jego dyspersji i przesunięcia dominanty bliżej w kierunku poziomu 100%.

Rysunek 1. Rozkład względnego PKB per capita w roku 2013 na podstawie danych oryginalnych i skorygowanych



Źródło: opracowanie własne

Największe korekty in minus dotyczyły Warszawy i innych największych miast (Poznań, Katowice, Kraków, Wrocław, Trójmiasto, Szczecin, Łódź i Rzeszów), czyli regionów, w których pracuje relatywnie najwięcej osób dojeżdżających z innych podregionów, tworzących wspólnie z dużym miastem jeden aglomeracyjny rynek pracy. Dla przykładu Warszawa notowała w roku 2013 dochód na mieszkańca na poziomie 295% średniej krajowej. Przeniesienie części dochodu wytworzonej przez osoby dojeżdżające do pracy do miejsca ich zamieszkania obniżyło tę wielkość do 237% (dojazdy 2006) lub do 198% (dojazdy 2011) – można więc w uproszczeniu powiedzieć, że ok. 20-33% PKB wytwarzanego w Warszawie jest owocem pracy w tym mieście osób z innych regionów. W przypadku drugiego najbogatszego regionu w Polsce – Poznań, wartości PKB per capita przed i po korekcie wynosiły odpowiednio 201%, 158% (dojazdy 2006) i 140% (dojazdy 2011). Z kolei regionami, które najbardziej „urośli” po korekcie PKB na mieszkańca są podregiony położone w sąsiedztwie dużych miast: Warszawy (warszawski wschodni, warszawski zachodni, siedlecki, ciechanowski), Kraków (krakowski, oświęcimski), Poznań (pozański), Trójmiasto (gdański), Katowice (sosnowiecki, bytomski i ponownie oświęcimski).

METODY ANALIZY KONWERGENCJI

Konwergencją w literaturze makroekonomicznej nazywany jest relatywnie szybszy rozwój biedniejszych krajów lub regionów w porównaniu do krajów lub regionów bogatszych. Powoduje to zmniejszanie się dystansu między nimi⁴. Zjawisko przeciwne nazywane jest dywergencją. W literaturze występują dwie główne koncepcje konwergencji: konwergencja σ oraz konwergencja β – obie stanowią tzw. klasyczne podejście do badania konwergencji [Barro i Sala-i-Martin 1992, Sala-i-Martin 1996]. Pierwsza z nich występuje, gdy różnicowanie dochodu na mieszkańca między regionami lub krajami zmniejsza się w czasie. Analizie poddaje się miarę dyspersji (odchylenie standardowe lub współczynnik zmienności) regionalnego dochodu w kolejnych latach. Konwergencja β dotyczy natomiast zależności między przeciętnym tempem wzrostu dochodu per capita a jego początkowym poziomem. Zależność tę bada się graficznie lub za pomocą analizy regresji. Konwergencja β jest warunkiem koniecznym, ale niewystarczającym do zaistnienia konwergencji σ . Metody te są często krytykowane, gdyż koncentrują się na pojedynczej mierze dyspersji rozkładu (σ) albo na relacji dla reprezentatywnego/przeciętnego regionu (β), nie pozwalają jednak analizować pełnego rozkładu i mobilności w jego ramach.

Alternatywną metodologię analizy konwergencji, pozwalającą na badanie mobilności wewnątrz rozkładu, zaproponował w serii artykułów [Quah 1993, 1996a, 1996b]. Mobilność może być modelowana przy pomocy macierzy przejścia,

⁴ Jest to tak zwana konwergencja realna, w odróżnieniu od konwergencji nominalnej, która dotyczy kryteriów traktatu z Maastricht, czyli stabilności cen, stóp procentowych i kursu walutowego.

czyli warunkowego rozkładu prawdopodobieństwa w wersji dyskretnej⁵ lub poprzez oszacowanie warunkowej funkcji gęstości⁶. Obie metody pozwalają oszacować prawdopodobieństwo, z jakim dany kraj lub region będzie stawał się relatywnie bogatszy, biedniejszy, bądź też, że jego dochód nie ulegnie zmianie względem przeciętnego dochodu. Analiza pełnego rozkładu umożliwia także weryfikację hipotezy o występowaniu polaryzacji dochodu (tzw. konwergencja klubów⁷), której metody klasyczne nie są w stanie uchwycić.

Zastosowanie macierzy przejścia wymaga podzielenia zakresu analizowanej zmiennej na kilka przedziałów (grup, klas), a następnie oszacowania prawdopodobieństwa, z jakim regiony będą w kolejnych okresach pozostawały w swojej grupie albo przechodziły do innej grupy o wyższej lub niższej wartości analizowanej zmiennej. Prawdopodobieństwa są zestawione w macierzy przejścia M , która opisuje w jaki sposób rozkład zmiennej (d) ewoluuje w kolejnych okresach:

$$d_{t+1} = M \times d_t \quad (1)$$

Macierz przejścia pozwala także na estymację długookresowego rozkładu – tzw. wektora ergodycznego⁸. Powinien on być interpretowany jako syntetyczny wskaźnik, który pozwala wnioskować o występowaniu konwergencji w badanym okresie. Będzie ona miała miejsce, jeśli w wektorze ergodycznym masa prawdopodobieństwa przesuwa się w kierunku klasy dochodu zawierającej wartość przeciętną. Jeśli jednak wysokie prawdopodobieństwo koncentruje się w klasach skrajnych, świadczy to o polaryzacji dochodu i zachodzącej konwergencji klubów.

Z powodu względnej prostoty zastosowania metoda ta jest popularna również w polskiej literaturze przedmiotu (podobnie jak klasyczne metody analizy konwergencji)⁹. Ma ona jednak ważne ograniczenie polegające na arbitralności doboru granic przedziałów, które definiują poszczególne grupy.

Ograniczenie to traci na znaczeniu, gdy zamiast rozkładu dyskretnego wykorzystany zostaje rozkład ciągły, czyli estymacja jądrowa warunkowej funkcji gęstości. Można ją w uproszczeniu traktować jako odpowiednik macierzy przejścia z nieskończoną liczą wierszy i kolumn. Jeśli wyjściowy rozkład analizowanej zmiennej oznaczymy przez x , a rozkład tej samej zmiennej przez y , warunkowy rozkład y przy znanym x można zapisać za pomocą wyrażenia:

$$f(y|x) = \frac{f(x,y)}{f_x(x)} \quad (2)$$

⁵ Jest to wykorzystanie skończonych procesów Markowa rzędu pierwszego – np. [Podgórska i in. 2000].

⁶ Szczegółowy opis tej metodologii przedstawiony został w [Wójcik 2016].

⁷ Zakłada ona, że upodabnianie się regionów następuje tylko w wyróżnionych podgrupach regionów, które już w okresie początkowym mają zbliżony poziom analizowanej zmiennej.

⁸ Macierz przejścia M podniesiona do potęgi s przy $s \rightarrow \infty$ dąży do macierzy rzędu pierwszego, nazywanej macierzą ergodyczną lub wektorem ergodycznym.

⁹ Patrz np. [Wójcik 2004, 2008, 2009, Markowska-Przybyła 2010, Decewicz 2013, Wałęga 2014].

gdzie $f_x(x)$ jest brzegowym rozkładem zmiennej w okresie początkowym, natomiast $f(y, x)$ jest rozkładem łącznym y oraz x . Aby oszacować warunkową funkcję gęstości, należy zastąpić licznik oraz mianownik powyższego wyrażenia ich nieparametrycznymi estymatorami. Rozkład brzegowy zmiennej w okresie początkowym może zostać oszacowany zgodnie z formułą:

$$\hat{f}_x(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{h_x w_i} K\left(\frac{x-x_i}{h_x w_i}\right) \quad (3)$$

gdzie n oznacza liczbę obserwacji, h_x to optymalna szerokość pasma estymacji¹⁰ dla początkowego rozkładu zmiennej, a $K(\cdot)$ to funkcja jądra. Z kolei rozkład łączny zmiennej w okresie początkowym i końcowym szacowany jest za pomocą następującego wyrażenia:

$$\hat{f}(x, y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{h_y h_x w_i^2} K\left(\frac{y-y_i}{h_y w_i}\right) K\left(\frac{x-x_i}{h_x w_i}\right) \quad (4)$$

gdzie h_y jest optymalną szerokością pasma estymacji dla rozkładu zmiennej w okresie końcowym (pozostałe oznaczenia mają identyczne znaczenie jak w przypadku równania 3).

W części empirycznej artykułu zastosowano wszystkie omówione powyżej metody analizy konwergencji na oryginalnych danych o PKB per capita oraz danych skorygowanych. Wszystkie analizy wykonano dla relatywnego PKB per capita – odniesionego do średniej krajowej dla danego roku.

ANALIZA KONWERCENCJI REGIONALNEJ DLA PODREGIONÓW

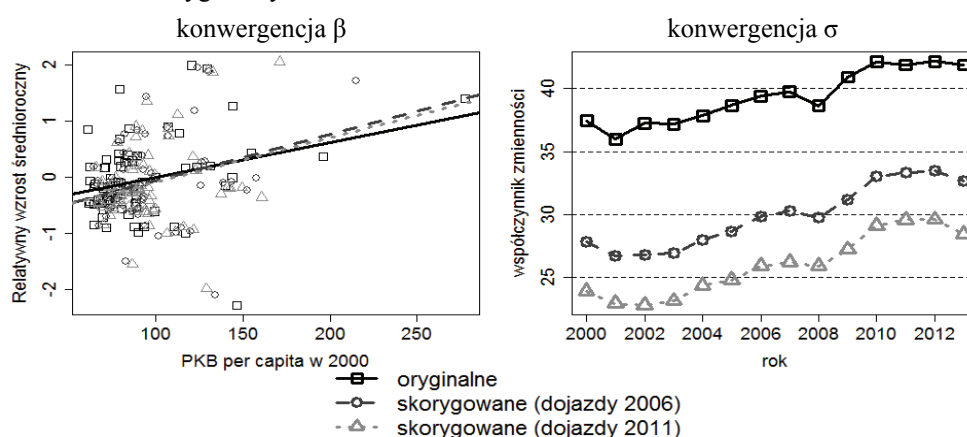
Pierwszym krokiem analizy empirycznej jest weryfikacja hipotezy o występowaniu konwergencji typu β oraz σ . Obie metody zostały zastosowane w wersji graficznej, której wynik został przedstawiony na rysunku 2.

Wynik analizy konwergencji typu β wskazuje na pozytywną zależność między średniorocznym tempem wzrostu relatywnego PKB per capita w okresie 2000-2013 (oś pionowa wykresu) a początkowym poziomem PKB per capita w roku 2000 (oś pozioma wykresu) zarówno dla danych oryginalnych jak i skorygowanych. Oznacza to, że regiony początkowo początkowo najbogatsze (duże miasta) rozwijały się w analizowanym okresie szybciej niż regiony biedniejsze – nawet po uwzględnieniu dojazdów do pracy. Co więcej, dla danych skorygowanych kąt nachylenia linii zależności jest nieznacznie większy, co oznacza, że badana relacja jest po korekcie danych jeszcze silniej pozytywna. Konwergencja typu σ jest analizowana za pomocą współczynnika zmienności. Widać wyraźnie, że uwzględnienie dojazdów do pracy znacznie zmniejsza poziom międzyregionalnych różnicowań. Nie zmienia jednak wniosków dotyczących występowania konwergencji – zarówno dla danych oryginalnych, jak i

¹⁰ Omówienie metod estymacji jądrowej, w tym wyznaczania optymalnej szerokości pasma estymacji można znaleźć m.in. w [Silverman 1986].

skorygowanych na oba sposoby poziom zróżnicowania dochodu między regionami w analizowanym okresie wzrasta, co oznacza dywergencję.

Rysunek 2. Analiza graficzna konwergencji typu β oraz σ na danych oryginalnych i skorygowanych



Źródło: opracowanie własne

Kolejnym krokiem analizy empirycznej jest zastosowanie macierzy przejścia. Przyjęto podział regionów na pięć grup, a jako granice przedziałów wykorzystano kwintyle rozkładu początkowego analizowanej zmiennej, aby początkowo poszczególne klasy były równoliczne.

Nagłówki wierszy oszacowanych macierzy przejścia wskazują na numer grupy w roku początkowym (w nawiasach liczebności grup w okresie początkowym). Z kolei nagłówki kolumn informują o grupie w okresie końcowym oraz granicach przedziału, który ją definiuje (w odniesieniu do względnego dochodu per capita). Prawdopodobieństwa przejścia w każdym wierszu sumują się do 100%. Dla ułatwienia interpretacji wyników pominięto zerowe oszacowania wartości prawdopodobieństw (poza wektorem ergodycznym).

Tabela 1. Macierz przejścia dla względnego PKB per capita na poziomie podregionów w latach 2000-2013 (dane oryginalne)

	grupa 1 <=69,7	grupa 2 (69,7; 78,3]	grupa 3 (78,3; 86,0]	grupa 4 (86,0; 110,1]	grupa 5 >110,1
grupa 1 (15)	93,3	6,7			
grupa 2 (14)	35,7	64,3			
grupa 3 (14)		28,6	35,7	35,7	
grupa 4 (14)		14,3	50	28,6	7,1
grupa 5 (15)				13,3	86,7
ergodyczny	84,2	15,8	0	0	0

Źródło: opracowanie własne

Macierz przejścia oszacowana na oryginalnych danych (Tabela 1) wskazuje na bardzo silną stabilność rozkładu dochodu w skrajnych grupach. Podregiony najbiedniejsze (o PKB per capita poniżej 69,7% średniej dla kraju) miały jedynie 6,7% prawdopodobieństwa na względne wzbogacenie się ponad tę granicę. Z kolei podregiony najbogatsze (o względnym dochodzie na mieszkańca powyżej 110,1% średniej) mogły względnie zubożeć z prawdopodobieństwem równym jedynie 13,3%. Największą mobilnością charakteryzowała się grupa podregionów o dochodzie per capita bliskim średniej (grupa 4). Prawdopodobieństwo, że w 2013 roku pozostały one w tej samej grupie co w 2000 wyniosło jedynie 28,6%. Podregiony raczej względnie ubożały niż bogaciły się (prawdopodobieństwa po lewej stronie przekątnej wyższe niż po jej prawej stronie) – z wyjątkiem grupy 3, a podregiony z grupy 2 nie miały żadnych szans na względne wzbogacenie powyżej granicy 78,3% średniej. Dlatego w wektorze ergodycznym w najbiedniejszej grupie koncentruje się aż 84,2% prawdopodobieństwa, co wskazuje na silne tendencje do polaryzacji regionów pod względem dochodu w analizowanym okresie. Wynika to z szybkiego rozwoju już najbogatszych podregionów (dużych miast), które coraz dalej „uciekają” pozostałym regionom.

Tabela 2. Macierz przejścia dla względnego PKB per capita na poziomie podregionów w latach 2000-2013 (dane skorygowane, dojazdy 2011)

	grupa 1 <=77,9	grupa 2 (77,9; 88,1]	grupa 3 (88,1; 94,9]	grupa 4 (94,9; 110,5]	grupa 5 >110,5
grupa 1 (15)	93,3	6,7			
grupa 2 (14)	50	35,7	14,3		
grupa 3 (14)		50	21,4	28,6	
grupa 4 (14)		14,3	42,9	21,4	21,4
grupa 5 (15)				26,7	73,3
ergodyczny	83,6	11,2	2,8	1,4	1,1

Źródło: opracowanie własne

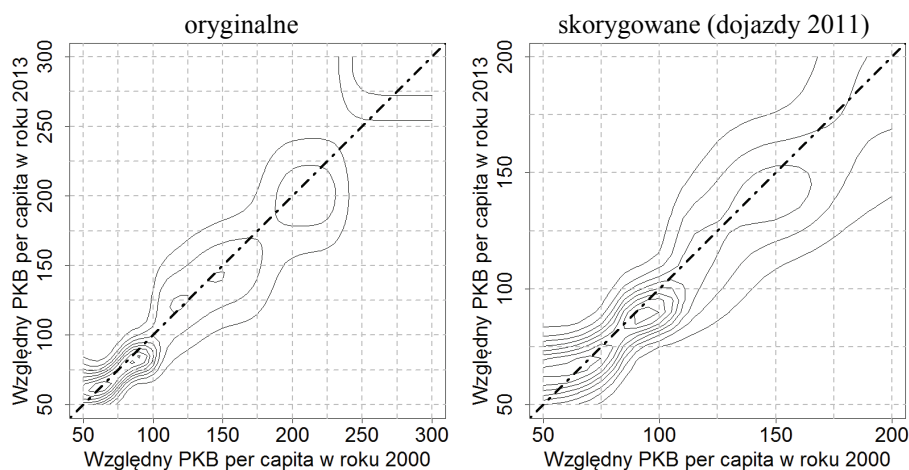
Tabela 2 pokazuje wyniki estymacji macierzy przejścia dla danych dotyczących PKB per capita skorygowanych na podstawie dojazdów do pracy w roku 2011. Wnioski dotyczące zachodzenia konwergencji płynące z analizy tej macierzy przejścia są analogiczne jak w przypadku analizy na danych nieskorygowanych. Wskazuje ona na bardzo dużą stabilność rozkładu PKB per capita w skrajnych klasach dochodu (biedni pozostają biedni, a bogaci są wciąż bogaci), znaczną mobilność w grupach pośrednich z silniejszymi tendencjami do względnego ubożenia. Odbija się to na wartościach prawdopodobieństw długookresowych, gdzie ponownie niemal 84% prawdopodobieństwa koncentruje się w najniższej grupie dochodu. Tak więc również przy zastosowaniu macierzy przejścia do wnioskowania o konwergencji, korekta danych związana z dojazdami

do pracy nie zmienia wniosków dotyczących obserwowanych wzorców konwergencji.¹¹

Ostatnim etapem analizy empirycznej jest weryfikacja występowania regionalnej konwergencji za pomocą estymatorów jądrowych warunkowej funkcji gęstości. Wyniki estymacji na danych oryginalnych i skorygowanych zostały zaprezentowane na rysunku 3 (na osi poziomej obu wykresów przedstawiono wartości dochodu w okresie początkowym, a na osi pionowej w okresie końcowym).

W obu przypadkach wykres jako całość nie układa się równoległe do osi poziomej, co by świadczyło o konwergencji. Przeciwnie – widać dużą stabilność rozkładu (koncentracja wysokich wartości gęstości wzdłuż przekątnej) i kilka wyróżnionych wierzchołków. I tylko fragmenty obu wykresów zdają się przechylać w stronę położenia równoległego do osi poziomej.

Rysunek 3. Wykres konturowy warunkowej funkcji gęstości dynamiki rozkładu względnego PKB per capita w latach 2000-2013 dla danych oryginalnych i skorygowanych



Źródło: opracowanie własne

Na wykresie dla danych oryginalnych jest to osobno każdy z wierzchołków powyżej granicy 100% przeciętnego dochodu (czyli duże miasta) oraz fragment wykresu w lewym dolnym rogu (najbiedniejsze regiony). Wykres dla danych skorygowanych różni się jedynie skalą wartości i tym, że zamiast kilku osobnych „bogaty” wierzchołków widać na nim jeden osobny wierzchołek w okolicach

¹¹ Ze względu na ograniczoną objętość artykułu w zestawieniu pominięto macierz przejścia oraz estymator jądrowy dla danych skorygowanych o dojazdy do pracy z roku 2006 [Kruszka 2010]. Potwierdzają one wnioski zaprezentowane dla danych skorygowanych dojazdami do pracy za rok 2011.

150% przeciętnego PKB per capita. Również ten wykres pokazuje jednak tendencje do konwergencji osobno dla najbogatszych i najbiedniejszych regionów. W obu przypadkach jedynym obserwowanym wzorcem konwergencji jest więc konwergencja klubów, a korekta danych nie ma wpływu na wnioski.

PODSUMOWANIE

Celem artykułu była analiza zróżnicowań regionalnego dochodu na mieszkańca oraz konwergencji regionalnej w Polsce na poziomie podregionów po skorygowaniu wartości PKB z wykorzystaniem danych o dojazdach do pracy. Zgodnie z oczekiwaniami, po uwzględnieniu dojazdów do pracy największe korekty danych dotyczą dużych miast i obszarów je otaczających. Uwzględnienie dojazdów do pracy zmniejsza poziom zróżnicowań międzyregionalnych (mniejszy zakres wartości, mniej wierzchołków rozkładu, współczynnik zmienności niższy o ok. 30%). Zarówno dane oryginalne, jak i skorygowane pokazują dywergencję typu beta oraz typu sigma. Zastosowane alternatywnie macierze przejścia, a także estymatory jądrowe pokazują dla danych przed i po korekcie zbliżoną dynamikę rozkładu (duża stabilność, raczej względne ubożenie podregionów). Po korekcie wciąż jedynym obserwowanym wzorcem jest konwergencja klubów (osobno dla najbogatszych i najbiedniejszych podregionów). Obie hipotezy badawcze zostały więc potwierdzone.

BIBLIOGRAFIA

- Barro R. i Sala-i-Martin X. (1992) Convergence. *Journal of Political Economy*, 100.
- Decewicz A. (2013) Modele Markowa w analizie dynamiki zróżnicowania regionalnego dochodu w krajach UE. *Roczniki Kolegium Analiz Ekonomicznych*, 30.
- Eurostat (2014) PKB i rachunki gospodarstw domowych na poziomie regionalnym. http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Archive:GDP_and_household_accounts_at_regional_level/pl&oldid=183478.
- GUS (2014) Dojazdy do pracy. Narodowy Spis Powszechny Ludności i Mieszkań 2011, Warszawa.
- Kruszka K. (red.) (2010) Dojazdy do pracy w Polsce. Terytorialna identyfikacja przepływów ludności związanych z zatrudnieniem. GUS, Poznań.
- Markowska-Przybyła U. (2010) Konwergencja regionalna w Polsce w latach 1997-2007. *Gospodarka Narodowa*, nr 11-12.
- Podgórska M., Śliwka P., Topolewski M., Wrzosek, M. (2000) Łańcuchy Markowa w teorii i w zastosowaniach. Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa.
- Quah D. (1993) Galton's fallacy and tests of the convergence hypothesis. *Scandinavian Journal of Economics*, 95(4).
- Quah D. (1996a) Regional convergence clusters across Europe. *European Economic Review*, 40(3-5).

- Quah D. (1996b) Twin peaks: Growth and convergence in models of distribution dynamics. *Economic Journal*, 106.
- Sala-i-Martin X. (1996) The Classical Approach to Convergence Analysis. *The Economic Journal*, 106(437).
- Silverman B. (1986) *Density Estimation for Statistics and Data Analysis (Monographs on Statistics and Applied Probability)*. London, Chapman and Hall.
- Wałęga A. (2014) Spójność ekonomiczna regionów Polski przed i po przystąpieniu do Unii Europejskiej. *Studia Ekonomiczne, Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach*, 203.
- Wójcik P. (2004) Konwergencja regionów Polski w latach 1990–2001. *Gospodarka Narodowa*, nr 11–12.
- Wójcik P. (2008) Dywergencja czy konwergencja: dynamika rozwoju polskich regionów. *Studia Regionalne i Lokalne*, 2(32).
- Wójcik P. (2009) Wzorce konwergencji regionalnej w Polsce. [w:] Liberda Z. B. (red.) *Konwergencja gospodarcza Polski*. PTE.
- Wójcik P. (2016) Estymacja jądrowa w badaniach regionalnej konwergencji. *Wiadomości Statystyczne*, 10 (665).

COMMUTER FLOWS AND REGIONAL CONVERGENCE IN POLAND

Abstract: The aim of the article is the analysis of diversification of regional GDP per capita and regional convergence in Poland on NUTS 3 level in 2000-2013 after correcting for commuter flows. We use the data on commuter flows between Polish municipalities. Production generated by commuters is attributed to their place of living instead of employment. Beta and sigma convergence analysis was used together with approaches allowing for the analysis of the whole distribution dynamics (transition matrices and kernel density estimation). Correction of the data did not change the conclusions about convergence.

Keywords: regional convergence, commuter flows, corrected GDP per capita, distribution dynamics, transition matrices, kernel density estimation