

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. Ocena 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

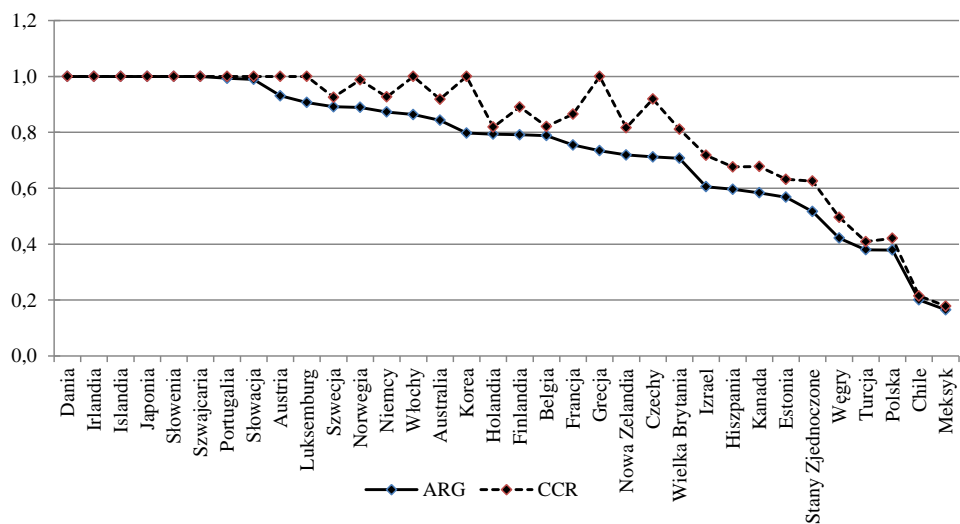
Wyniki uzyskane za pomocą modeli DEA-ARG i DEA-CCR przedstawione są w tabeli 2. Kolumna „Efekt.” zawiera wyniki efektywności, a kolumna „Rank” pozycję w rankingu. Porównanie wyników uzyskanych z obu modeli potwierdza konieczność wprowadzenia warunków ograniczających. W modelu CCR aż 13 krajów osiągnęło 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