

ANALIZA EFEKTYWNOŚCI INNOWACYJNEJ PRZEDSIĘBIORSTW PRZEMYSŁOWYCH W POLSCE Z WYKORZYSTANIEM METODY DEA

Aneta MASTERNAK-JANUS, Magdalena RYBACZEWSKA-BŁAŻEJOWSKA

Streszczenie: Celem prezentowanego artykułu jest pomiar względnej efektywności innowacyjnej polskich przedsiębiorstw przemysłowych w przekroju regionalnym przy zastosowaniu metody DEA – modelu CCR zorientowanego na nakłady. W pierwszej części artykułu przedstawiono wybrane podejścia do pomiaru innowacyjności na poziomie krajowym, regionalnym oraz poziomie przedsiębiorstw. W ogólnym zarysie scharakteryzowano również metodę DEA. W drugiej części artykułu przeprowadzono analizę i ocenę sprawności przemysłu w przekształcaniu innowacyjnych zasobów w innowacyjne rezultaty.

Słowa kluczowe: Data Envelopment Analysis (DEA), model CCR, efektywność innowacyjna, przedsiębiorstwa przemysłowe

1. Wstęp

Najważniejszym źródłem wzrostu gospodarczego oraz dobrobytu społeczeństwa są możliwości innowacyjne podmiotów działających w gospodarce narodowej. Innowacje decydują o konkurencyjności przedsiębiorstw, pozwalają na unowocześnianie procesów produkcyjnych, zwiększenie wydajności i produktywności pracy oraz wpływają na większą sprawność gospodarowania. Prowadzenie działalności innowacyjnej umożliwia tworzenie nowych rozwiązań, które budują potencjał technologiczny państwa oraz stymulują przedsiębiorstwa do dalszych innowacyjnych zachowań [1].

Efektywność innowacyjna jest definiowana jako zdolność do osiągania maksymalnych innowacyjnych wyjść przy danym poziomie innowacyjnych wejść lub zdolność do minimalizowania innowacyjnych wejść przy danym poziomie innowacyjnych wyjść [2]. Okazuje się, że dysponowanie wysokim potencjałem innowacyjnym nie musi prowadzić do największej efektywności innowacyjnej. Ponadto, każde przedsiębiorstwo, które korzysta z zasobów innowacyjnych nieefektywnie, znacznie słabiej przyczynia się do budowania potencjału technologicznego państwa. W celu poprawy alokacji i wykorzystania zasobów niezbędne są więc odpowiednie metody pomiaru efektywności [3].

Wysoką zdolność w zakresie szacowania poziomu efektywności wykazuje metoda analizy danych granicznych DEA (*Data Envelopment Analysis*). Umożliwia ona szeregowanie badanych jednostek pod względem sprawności w przekształcaniu innowacyjnych nakładów (wejść) w innowacyjne rezultaty (wyjścia). Wyznaczenie efektywności względnej pozwala jednostkom nieefektywnym na podjęcie działań naprawczych dla zwiększenia wydajności.

Celem niniejszych badań jest zastosowanie metody DEA – modelu CCR zorientowanego na nakłady do pomiaru względnej efektywności innowacyjnej polskich przedsiębiorstw przemysłowych w przekroju regionalnym. Do prowadzenia badań została

zapewniona odpowiednia kombinacja zmiennych wejściowych poprzez zastosowanie procedury analizy współczynnika korelacji między efektywnością prostego modelu CCR-DEA a wartościami zmiennych wejściowych z badanego zbioru.

2. Pomiar poziomu innowacyjności

Badania stanu innowacyjności prowadzone są na poziomie krajowym i regionalnym przez różne instytucje i zespoły badawcze. Oceny dokonuje się zazwyczaj na podstawie analizy wartości poszczególnych wskaźników, a także na podstawie miar agregatowych (syntetycznych), które umożliwiają podział badanych jednostek według tylko jednej cechy [4]. Do indikatorów syntetycznych umożliwiających ocenę innowacyjności na poziomie krajowym zaliczyć można:

- Global Innovation Index (GII) – opracowywany przez Cornell University, INSEAD oraz World Intellectual Property Organization (WIPO),
- Summary Innovation Index (SII) – opracowywany przez Maastricht Economic and Social Research and Training Centre on Innovation and Technology (UNU-MERIT) oraz Joint Research Centre (JRC).

Zarówno GII jak i SII obejmują szereg wskaźników z zakresu badań naukowych i innowacji, podzielonych na nakłady (wejścia) i efekty (wyjścia) [5]. W przypadku GII innowacyjnymi wejściami są instytucje, kapitał ludzki i badania, infrastruktura, zaawansowanie rynku oraz zaawansowanie biznesu. Na innowacyjne wyjścia składają się efekty wiedzy i technologii, a także efekty kreatywne. GII wyznaczany jest jako średnia ważona wszystkich wejść i wyjść, które z kolei obliczane są jako średnia ważona wskaźników wchodzących w ich skład (łącznie 79) [5,6].

SII jest średnią ważoną 25 wskaźników Innovation Union Scoreboard (IUS) podzielonych na trzy grupy [7]:

- potencjał innowacyjny, czyli czynniki sprzyjające innowacjom takie jak: zasoby ludzkie, otwarty i atrakcyjny system badawczy, finansowanie i wsparcie,
- działalność innowacyjna przedsiębiorstw, czyli inwestycje przedsiębiorstw i ich przedsiębiorczość, powiązania między przedsiębiorstwami, aktywa intelektualne,
- wyniki działań przedsiębiorstw ujmowane w dwóch wymiarach: innowatorzy oraz efekty ekonomiczne.

Przykładem badań innowacyjności na poziomie regionalnym są analizy prowadzone z użyciem metodologii Regional Innovation Scoreboard (RIS), która wzoruje się na Innovation Union Scoreboard (IUS), jednak ze względu na brak danych opiera się na ograniczonej liczbie wskaźników dotyczących badań naukowych i innowacji. W efekcie powstaje zagregowany wskaźnik Regional Innovation Index (RII), który zapewnia ocenę porównawczą 190 regionów Unii Europejskiej oraz innych krajów [8].

Badania innowacyjności na poziomie przedsiębiorstw mają za zadanie ocenę ich zdolności do kreowania i wdrażania nowych rozwiązań, a także efektywności wykorzystania nakładów. Biorąc pod uwagę stosowane podejścia oraz różne aspekty innowacyjności, istnieje wiele propozycji doboru wskaźników do pomiaru innowacyjności przedsiębiorstw, co zależy głównie od celu, który ma zostać osiągnięty, a także możliwości pozyskania danych źródłowych. Zgodnie z metodologią IUS oraz RSI do wskaźników innowacyjności przedsiębiorstw można zaliczyć:

- wskaźniki działalności innowacyjnej, np. nakłady firm na działalność innowacyjną, w tym badawczo-rozwojową (B+R), personel B+R w sektorze przedsiębiorstw,

związki kooperacyjne przedsiębiorstw, udział przedsiębiorstw otrzymujących publiczne wsparcie na innowacje,

- wskaźniki rezultatów działalności innowacyjnej, np. wprowadzone innowacje produktowe i procesowe, sprzedaż innowacji nowych dla rynku lub dla przedsiębiorstw, liczba wniosków patentowych, zatrudnienie w sektorach high-tech, udział przedsiębiorstw innowacyjnych.

Innym podejściem do szacowania innowacyjności są analizy wydajności innowacyjnej wykonywane z zastosowaniem metody DEA. Metoda ta nie wymaga kontrowersyjnych działań przypisywania wag do poszczególnych wskaźników, a jednocześnie pozwala na utworzenie syntetycznej miary innowacyjności. Prowadzone analizy dotyczą zarówno porównań regionalnych, jak i porównań na poziomie krajowym, przy czym opierają się głównie na wskaźnikach Innovation Union Scoreboard (IUS) oraz Regional Innovation Scoreboard (RIS) [9 ÷ 12]. Ze względu na swoje możliwości analityczne metoda DEA jest bardzo często stosowana w badaniach innowacyjności przedsiębiorstw działających w różnych sektorach gospodarki, np. w sektorze energetycznym [13] czy w sektorze drzewnym [14].

3. Charakterystyka metody DEA

Metoda analizy danych granicznych DEA (*Data Envelopment Analysis*) jest jedną z metod mierzenia efektywności przy zastosowaniu wielu zmiennych wejściowych (nakładów) i wyjściowych (rezultatów) [15]. Wykorzystuje ona procedurę programowania liniowego do oceny sprawności jednostek decyzyjnych DMU (*Decision Making Units*) w przekształcaniu wejść w wyjścia, przy czym ocena danej jednostki dokonywana jest względem pozostałych z badanej grupy [16]. Sprawność DMU jest przedstawiana za pomocą wskaźnika efektywności technicznej (θ) wyrażonego jako stosunek ważonej sumy wyjść do ważonej sumy wejść:

$$\theta = \frac{\sum_{r=1}^R y_r \lambda_r}{\sum_{n=1}^N x_n \lambda_n} \quad (1)$$

gdzie: y_r – jednostkowa wartość r -tego wyjścia,

x_n – jednostkowa wartość n -tego wejścia,

λ_r – wagi określające ważność wyjścia r ,

λ_n – wagi określające ważność wejścia n ,

R – liczba wyjść,

N – liczna wejść.

Jednostki, które osiągają najlepsze wyniki ($\theta = 1$) wyznaczają granicę efektywności (*best practice frontier*), natomiast odległość pozostałych jednostek od tej granicy decyduje o stopniu ich nieefektywności ($1 - \theta$). Im dalej znajduje się jednostka od granicy efektywności tym bardziej jest nieefektywna.

Ustalenie efektywności w metodzie DEA polega na rozwiązaniu liniowego zadania decyzyjnego związanego z badaną jednostką, w którym zmiennymi decyzyjnymi są wagi intensywności λ_j , a efektywność odzwierciedlana jest za pomocą funkcji celu. Wyznaczenie optymalnej wartości funkcji celu związane jest z wyznaczeniem wag intensywności, które jednostce nieefektywnej wskazują zbiór obiektów wzorcowych (tzw. benchmarków) i informują o ile powinna ona zmniejszyć swoje nakłady nie zmieniając rezultatów

(w modelach zorientowanych na nakłady) lub zwiększyć swoje rezultaty przy danych nakładach (w modelach zorientowanych na rezultaty) aby poprawić efektywność.

Metoda DEA posiada liczne zalety, które decydują o jej wysokim potencjale w szacowaniu efektywności, między innymi:

- pozwala uwzględnić jednocześnie różnego rodzaju zmienne wejściowe i wyjściowe,
- nie wymaga znajomości zależności funkcyjnych między zmiennymi wejściowymi a wyjściowymi,
- nie jest konieczne przypisywanie wag do poszczególnych wejść i wyjść,
- zmienne mogą być wyrażone w dowolnych jednostkach miary i nie muszą być to jednostki pieniężne.

Ograniczeniem metody DEA jest jej duża wrażliwość na wartości istotnie odbiegające od pozostałych, a także na zmianę liczby badanych jednostek. Konieczne jest również zachowanie proporcji, w której liczba jednostek decyzyjnych musi być 3-5 razy większa od liczby zmiennych wejściowych i wyjściowych, w przeciwnym wypadku może dojść do zawyżania wartości wskaźników efektywności. Podstawowym założeniem metody DEA jest jednorodność jednostek, co oznacza, że muszą one stosować takie same wejścia i wyjścia oraz działać w podobnych warunkach. Ponadto przyjęte do analizy zmienne tego samego rodzaju muszą być wyrażone w takich samych jednostkach miary i przybierać dodatnie wartości.

Klasyczną wersją metody DEA jest model CCR ukierunkowany na nakłady (nazwany od pierwszych liter nazwisk autorów: A. Charnes, W.W. Cooper, E. Rhodes), który zakłada, że zmiana efektywności powoduje proporcjonalną zmianę nakładów. Postać dualną modelu można przedstawić następująco:

$$\theta \longrightarrow \min \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^J y_{jr} \lambda_j \geq y_{jr} \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^J x_{jn} \lambda_j \leq x_{jn} \theta \quad (4)$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad (5)$$

gdzie: θ – wskaźnik efektywności jednostki decyzyjnej,

λ_j – wagi intensywności,

$j = 1, \dots, J, r = 1, \dots, R, n = 1, \dots, N$.

Model CCR zorientowany na nakłady umożliwia prowadzenie wielu użytecznych analiz, np. pozwala ustalić [17]:

- technologie optymalne i formuły benchmarkingowe dla nieefektywnych jednostek,
- stopień przekroczenia wartości wejściowych przy osiągnięciu wartości wyjściowych,
- typy korzyści skali.

Model CCR stanowi punkt wyjścia dla wszystkich innych modeli DEA, a ich możliwości analityczne są pochodną możliwości modelu CCR [17].

4. Wyniki badań i analiza wyników

W celu oszacowania poziomu efektywności innowacyjnej polskich przedsiębiorstw przemysłowych w przekroju regionalnym został wyznaczony zestaw wskaźników, które pokazano w tabeli 1.

Tab. 1. Wskaźniki oceny efektywności innowacyjnej przedsiębiorstw przemysłowych [18] [19] [20]

Rodzaj	Symbol	Wskaźnik	J.m.	Opis wskaźnika
Wejścia	x_1	Nakłady na działalność innowacyjną	mln zł	Wskazuje na możliwości przedsiębiorstw w kreowaniu i wdrażaniu innowacji. Dotyczy bieżących i inwestycyjnych wydatków przeznaczonych na innowacje produktowe i procesowe, w tym na działalność badawczo-rozwojową (B+R).
	x_2	Udział przedsiębiorstw otrzymujących publiczne wsparcie na działalność innowacyjną w ogólnej liczbie przedsiębiorstw przemysłowych aktywnych innowacyjnie	%	Pozwala na monitorowanie stopnia zaangażowania przedsiębiorstw w działalność innowacyjną. Publiczne wsparcie finansowe może pochodzić z instytucji krajowych i Unii Europejskiej.
	x_3	Udział przedsiębiorstw współpracujących w działalności innowacyjnej w ogólnej liczbie przedsiębiorstw przemysłowych aktywnych innowacyjnie	%	Wskazuje na skłonność przedsiębiorstw do wymiany doświadczeń i informacji, a także zdobywania nowej wiedzy, umiejętności i nowych technologii.
	x_4	Liczba środków automatyzacji przypadająca na jedno przedsiębiorstwo w przemyśle	szt.	Wskazuje na stan zaawansowania technologicznego przedsiębiorstw. Środki automatyzacji to linie produkcyjne automatyczne i sterowane komputerem, centra obróbkowe, obrabiarki laserowe sterowane numerycznie, roboty i manipulatory przemysłowe, komputery do sterowania i regulacji procesów technologicznych.
	x_5	Liczba licencji zagranicznych	szt.	Wskazuje na aktywność przedsiębiorstw w międzynarodowym transferze technologii.
Wyjścia	y_1	Przychody netto ze sprzedaży wyrobów nowych lub istotnie ulepszonych jako odsetek przychodów netto ze sprzedaży ogółem	%	Wskazuje na możliwości unowocześniania asortymentu oraz konkurencyjność produktów.
	y_2	Udział przedsiębiorstw innowacyjnych w ogólnej liczbie przedsiębiorstw przemysłowych	%	Wskazuje na poziom konkurencyjności regionu i kraju.

Procedura postępowania w metodzie DEA wymaga zbudowania modelu, w którym analizowane jednostki decyzyjne (przedsiębiorstwa przemysłowe) będą opisane przez taką samą liczbę i rodzaj zmiennych wejściowych i wyjściowych (wskaźników innowacyjności), natomiast różnić się będą wartościami tych zmiennych [21]. Wartości wskaźników innowacyjności (wejścia: $x_1 - x_5$; wyjścia: y_1 i y_2) dla przedsiębiorstw przemysłowych w Polsce przedstawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Wartości innowacyjnych wskaźników dla przedsiębiorstw przemysłowych w Polsce w 2013 r. [18] [19] [20]

L.p.	Województwo	x_1	x_2^a	x_3^a	x_4	x_5	y_1	y_2^a
1	Dolnośląskie	3047,1	21,6	30,1	2122	133	10,8	38,2
2	Kujawsko-pomorskie	825,3	21,4	26,2	700	51	8,6	35,1
3	Lubelskie	475,5	25,4	24,9	517	21	5,3	38,5
4	Lubuskie	318,2	21,6	29,9	466	14	6,4	31,2
5	Łódzkie	1698,1	26,3	30,3	1549	325	6	37,4
6	Małopolskie	1807,3	16,6	31,9	1245	190	7,2	40,3
7	Mazowieckie	3270,5	40,4	28	2416	247	5,7	40,4
8	Opolskie	340,8	15,4	33,1	378	106	7,6	41,6
9	Podkarpackie	1149,5	37,3	29,9	932	98	9,2	42,8
10	Podlaskie	300,5	42,3	26,9	349	72	5,3	38,9
11	Pomorskie	1273,9	17,8	22,3	847	574	20,2	28,9
12	Śląskie	2957,4	35,1	31,4	3134	165	10,7	35,1
13	Świętokrzyskie	357,5	21,3	31,5	454	47	7,1	33,2
14	Warmińsko-Mazurskie	247,9	36,9	19,5	386	23	2,8	39
15	Wielkopolskie	2031,4	21	29	1526	235	14,9	33,2
16	Zachodniopomorskie	858,1	36,4	18,2	457	26	4,8	32,5

^a dane dla 2011-2013 r.

Analizując wartości wskaźników innowacyjności przedstawionych w tabeli 2, należy stwierdzić, że największy odsetek przedsiębiorstw przemysłowych, które w latach 2011-2013 wprowadziły na rynek przynajmniej jedną innowację produktową lub procesową wystąpił w województwie podkarpackim (42,8%), natomiast najmniejszy odsetek w województwie pomorskim (28,9%). Najwyższym udziałem przychodów netto ze sprzedaży produktów nowych lub istotnie ulepszonych w przychodach netto ogółem wykazały się w 2013 r. przedsiębiorstwa z województwa pomorskiego (20,2%), natomiast najniższym udziałem przedsiębiorstwa z województwa warmińsko-mazurskiego (2,8%).

W 2013 r. największe nakłady finansowe na działalność innowacyjną poniosły przedsiębiorstwa przemysłowe z regionu mazowieckiego (3270,5 mln zł). Najmniejszą skłonność do finansowania innowacji wykazały przedsiębiorstwa z regionu warmińsko-mazurskiego, które przeznaczyły na ten cel zaledwie 247,9 mln zł. W latach 2011-2013 publiczne wsparcie finansowe na kreowanie i wdrażanie innowacji otrzymało aż 42,3% podlaskich przedsiębiorstw przemysłowych aktywnych innowacyjnie. Najrzadziej z publicznego wsparcia korzystały firmy z województwa opolskiego (15,4%). W tym samym okresie 33,1% aktywnych innowacyjnie opolskich przedsiębiorstw przemysłowych współpracowało w działalności innowacyjnej z innymi podmiotami. Najmniejszy odsetek przedsiębiorstw tworzących związki kooperacyjne wystąpił w województwie zachodniopomorskim. Pod względem wyposażenia w środki automatyzacji procesów

produkcyjnych w 2013 r. przodowały śląskie przedsiębiorstwa przemysłowe – na jedno przedsiębiorstwo przemysłowe przypadało w regionie śląskim aż 3134 środki automatyzacji. Pod względem omawianego wskaźnika najgorzej wypadły przedsiębiorstwa podlaskie (349 środków automatyzacji na jedno przedsiębiorstwo przemysłowe). Najwięcej uprawnień do korzystania z obcych rozwiązań naukowo-technologicznych i doświadczeń produkcyjnych uzyskały przedsiębiorstwa pomorskie (574 licencje zagraniczne), a najmniej przedsiębiorstwa lubuskie (jedynie 14 licencji zagranicznych).

Przed przystąpieniem do pomiaru względnej efektywności innowacyjnej sprawdzono, czy wszystkie zmienne wejściowe cechują się dostatecznie wysoką zmiennością. W związku z tym obliczono współczynniki zmienności (v_k), które porównano z przyjętą wartością krytyczną $v_k^* = 0,5$. Stwierdzono, że zmienne x_2 i x_3 należy wyeliminować z dalszych badań, ze względu na ich małe zróżnicowanie ($v_k < 0,5$). Pozostałe zmienne, których współczynniki zmienności osiągnęły wartości powyżej 80% mogą wnieść istotne informacje na temat działalności innowacyjnej przedsiębiorstw przemysłowych.

W celu wyznaczenia zmiennych wejściowych najlepiej opisujących zmienne wyjściowe zastosowano procedurę opracowaną przez Normana i Stokera [22]. Skonstruowano dwa proste modele CCR (model 1.1 i model 2.1) stosując w nich kolejno zmienne wyjściowe y_1 i y_2 oraz w obu przypadkach tylko jedną zmienną wejściową x_5 (została ona wybrana, ponieważ w porównaniu do innych wejść wykazała najsilniejszą korelację ze zmiennymi wyjściowymi). Następnie z wykorzystaniem dodatku Solver w programie Excel obliczono efektywność metodą CCR. W kolejnym kroku oszacowano korelację między otrzymanymi w obu modelach wartościami wskaźników efektywności a wartościami pozostałych zmiennych wejściowych. Przyjęto założenie, że dodawane do modeli będą te zmienne, których współczynniki korelacji r_k będą większe od wartości krytycznej współczynnika korelacji r^* :

$$|r_k| \geq r^* \quad (6)$$

Dla przyjętego poziomu istotności $\alpha = 0,05$ oraz dla $n-2$ stopni swobody ($16-2=14$) obliczono wartość krytyczną $r^* = 0,5$. W przypadku modelu 1.1 (x_5, y_1) stwierdzono istotną korelację między wartościami zmiennej x_1 a otrzymanymi wartościami wskaźników efektywności, co uzasadniło konieczność utworzenia modelu 1.2 ze zmiennymi wejściowymi x_1 i x_5 oraz zmienną wyjściową y_1 . Po powtórzeniu procedury postępowania dla modelu 1.2 wyznaczono zmienną x_4 jako kolejną, która powinna wziąć udział w badaniu efektywności i w związku z tym utworzono model 1.3 o specyfikacji: x_1, x_4, x_5, y_1 . Natomiast w przypadku modelu 2.1 (x_5, y_2) stwierdzono konieczność włączenia do badania jednocześnie zmiennych x_1 i x_4 , ze względu na spełnianie przez nie warunku (6).

Analiza poziomu efektywności może być również wykonywana w oparciu o model wielorównaniowy z wieloma zmiennymi wyjściowymi. W związku z tym, że siła korelacji między y_1 i y_2 jest umiarkowana zostały one jednocześnie zastosowane w modelu 3.1. Jako wejścia przyjęto zmienne x_1, x_4 i x_5 ponieważ opisują zarówno zmienną y_1 jak i y_2 . Zmienne x_1, x_4 i x_5 są reprezentantkami pozostałych zmiennych niezakwalifikowanych do badania efektywności przedsiębiorstw przemysłowych. Otrzymane cząstkowe wskaźniki efektywności innowacyjnej w każdym skonstruowanym modelu przedstawiono w tabeli 3.

Tab. 3. Wyniki badania efektywności innowacyjnej przedsiębiorstw przemysłowych z wykorzystaniem różnych konfiguracji zmiennych wejściowych i wyjściowych

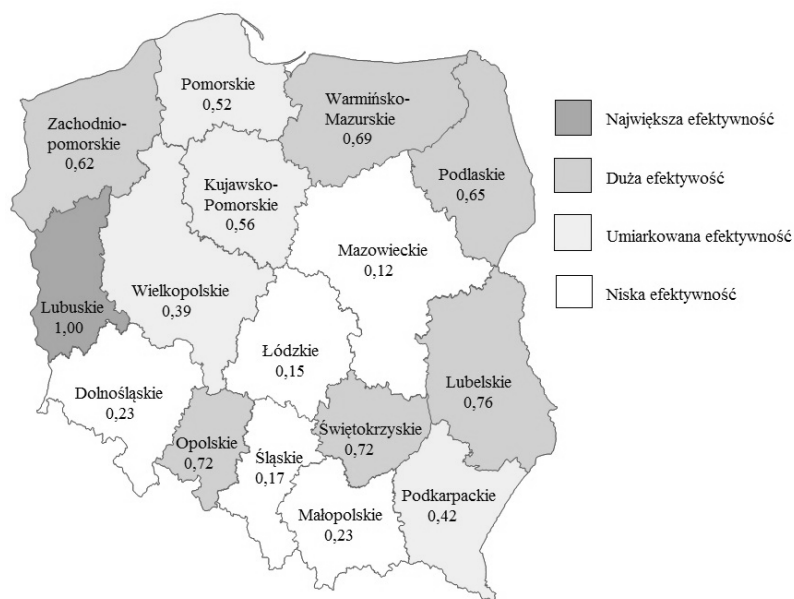
	Numer modelu					
	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	3.1
Zmienne wejściowe		x_1	x_1		x_1	x_1
			x_4		x_4	x_4
		x_5	x_5	x_5	x_5	x_5
Zmienne wyjściowe	y_1	y_1	y_1			y_1
				y_2	y_2	y_2
Województwo	Współczynniki efektywności					
	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6
Dolnośląskie	0,18	0,18	0,35	0,13	0,18	0,35
Kujawsko-pomorskie	0,37	0,51	0,83	0,31	0,49	0,83
Lubelskie	0,55	0,55	0,73	0,82	0,94	0,94
Lubuskie	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Łódzkie	0,04	0,17	0,21	0,05	0,22	0,23
Małopolskie	0,08	0,19	0,34	0,10	0,30	0,36
Mazowieckie	0,05	0,09	0,15	0,07	0,16	0,18
Opolskie	0,16	1,00	1,00	0,18	0,99	1,00
Podkarpackie	0,21	0,39	0,63	0,20	0,44	0,63
Podlaskie	0,16	0,81	0,83	0,24	1,00	0,83
Pomorskie	0,08	0,71	1,00	0,02	0,31	1,00
Śląskie	0,14	0,18	0,24	0,10	0,12	0,24
Świętokrzyskie	0,33	0,95	1,00	0,32	0,70	1,00
Warmińsko-Mazurskie	0,27	0,55	0,55	0,76	1,00	1,00
Wielkopolskie	0,14	0,35	0,58	0,06	0,20	1,00
Zachodniopomorskie	0,40	0,40	0,73	0,56	0,73	0,88

Analizując cząstkowe wskaźniki efektywności innowacyjnej przedstawione w tabeli 3 należy zwrócić uwagę na ich różny rozkład w zależności od zastosowanego modelu, przy czym wraz z wprowadzaniem nowych zmiennych wejściowych do modelu 1.1 i modelu 1.2 następuje wyraźny wzrost wartości tych wskaźników dla zdecydowanej większości przedsiębiorstw przemysłowych. Sytuacja taka jest zgodna z podejściem Serrano-Cinca, Mar-Molinero i Chaparro-Garcia [23], którzy twierdzą, że wzrost wartości cząstkowych wskaźników efektywności dla większości analizowanych jednostek o więcej niż 10% przy stopniowym dodawaniu zmiennych wejściowych do prostego modelu CCR jest zjawiskiem pozytywnym w badaniu efektywności i dowodzi ważności tych zmiennych.

Ponadto należy zauważyć, że w przypadku różnych przedsiębiorstw odmienne czynniki mogą warunkować działalność innowacyjną i wpływać na możliwości unowocześniania i zwiększania konkurencyjności produktów. Jedne przedsiębiorstwa wprowadzają innowacje produktowe i procesowe oraz uzyskują przychody ze sprzedaży innowacyjnych produktów dzięki efektywnemu wykorzystaniu czynników zewnętrznych takich jak np. import licencji, dla innych uwarunkowania wewnętrzne np. własna kondycja finansowa lub aktualna baza technologiczna są wyznacznikiem do angażowania się w procesy innowacyjne.

Ze względu na średnią wartość wskaźników efektywności innowacyjnej przedsiębiorstwa przemysłowe można podzielić na cztery grupy: przedsiębiorstwa

najbardziej efektywne ($\theta_{\text{śred}} = 1$), wysokoefektywne ($0,6 \leq \theta_{\text{śred}} < 1$), umiarkowanie efektywne ($0,25 \leq \theta_{\text{śred}} < 0,6$) oraz mało efektywne ($\theta_{\text{śred}} < 0,25$). Wartości syntetycznych wskaźników efektywności innowacyjnej $\theta_{\text{śred}}$ dla przedsiębiorstw przemysłowych przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Poziom efektywności innowacyjnej przedsiębiorstw przemysłowych

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń można stwierdzić, że liderami efektywności innowacyjnej w Polsce są lubuskie przedsiębiorstwa przemysłowe, które najskuteczniej przekształcają innowacyjne zasoby w wyniki. Na ostatnim miejscu w rankingu znalazły się przedsiębiorstwa z regionu mazowieckiego, dla których średnia wartość wskaźnika efektywności innowacyjnej wyniosła zaledwie 0,12. Oznacza to, że przedsiębiorstwa te mogłyby angażować średnio 0,88 jednostek mniej innowacyjnych zasobów przy osiągnięciu rezultatów w postaci udziału przychodów netto ze sprzedaży wyrobów nowych lub istotnie ulepszonych w przychodach ze sprzedaży ogółem oraz udziału przedsiębiorstw innowacyjnych w sektorze przedsiębiorstw przemysłowych.

5. Wnioski

Wyniki przeprowadzonych badań wykazały, że przedsiębiorstwa przemysłowe z regionów, które są uznawane za mniej rozwinięte gospodarczo, bardziej efektywnie wykorzystują posiadane innowacyjne zasoby niż przedsiębiorstwa z regionów wysokorozwiniętych. Przedsiębiorstwa z regionu mazowieckiego dysponują największym w Polsce potencjałem innowacyjnym np.: zdecydowanie dominują pod względem nakładów na działalność innowacyjną, zajmują drugie miejsce (za śląskimi przedsiębiorstwami przemysłowymi) ze względu na liczbę środków automatyzacji procesów produkcyjnych przypadających na jedno przedsiębiorstwo w przemyśle, a także drugie miejsce (za podlaskimi przedsiębiorstwami przemysłowymi) ze względu na udział

przedsiębiorstw otrzymujących publiczne wsparcie na działalność innowacyjną w ogólnej liczbie przedsiębiorstw przemysłowych aktywnych innowacyjnie. Jednak mazowieckie przedsiębiorstwa uzyskały najslabszy wynik w postaci syntetycznego wskaźnika efektywności innowacyjnej, co oznacza, że marnotrawią swój potencjał innowacyjny, a takie same rezultaty mogłyby uzyskać stosując mniejsze wartości zasobów wejściowych. Podobna sytuacja dotyczy przedsiębiorstw przemysłowych z innych regionów zaliczanych do najbogatszych w Polsce: śląskiego, dolnośląskiego oraz wielkopolskiego (przedsiębiorstwa wielkopolskie osiągają niewiele lepsze wyniki od przedsiębiorstw śląskich i dolnośląskich).

Ograniczeniem przeprowadzonych badań jest oparcie pomiaru efektywności innowacyjnej przedsiębiorstw przemysłowych na wąskim zestawie zmiennych, a analizy z wykorzystaniem innych innowacyjnych wejść i wyjść być może dałyby inne wyniki. Głównym problemem w badaniach działalności innowacyjnej na poziomie regionalnym jest jednak brak danych, a w konstruowanych modelach zastosowano wszystkie udostępniane przez GUS wskaźniki innowacyjności. Dokonana ocena efektywności innowacyjnej nawet traktowana jako uproszczona, może być punktem odniesienia dla przedsiębiorstw i stanowić impuls do wglądu we własne działania w celu poszukiwania ograniczeń innowacji i marnotrawstwa sprawiającego, że nie wszystkie posiadane zasoby są efektywnie i skutecznie wykorzystywane przy osiągnięciu rezultatów.

Literatura

1. Masternak-Janus A.: Innowacyjność MSP w Polsce i wybranych krajach UE. [w:] Zakrzewska-Bielawska A. (red.): Wyzwania rozwojowe małych i średnich przedsiębiorstw, Difin, Warszawa, 2011, s. 11-24.
2. Chi R.Y., Yu X.F., Li Z.W.: An analysis of differences in innovation efficiency between the eastern and the western regions in china and its causes. *China soft science*, 8, 2004, pp. 129-131.
3. Li S-C., Cheng L., Liu F-Z.: The analysis of innovation efficiency of enterprises in Hubei province based on DEA method. *International Association for Management of Technology*, 2015, pp. 1244-1260.
4. Stec M.: Innowacyjność krajów Unii Europejskiej. [w:] *Gospodarka Narodowa*, 11-12, 2009, s. 45-65.
5. Pozycja innowacyjna Mazowsza na tle innych regionów kraju i Europy. [Przełądany 17.12.2015] Dostępný w: www.innowacyjni.mazovia.pl/pobierz/710/.
6. Global Innovation Index 2015, [Przełądany 17.12.2015] Dostępný w: <https://www.globalinnovationindex.org/content/page/framework>.
7. Innovation Union Scoreboard 2014, [Przełądany 17.12.2015] Dostępný w: <https://era.gv.at/object/document/1275/attach/20140327-innovation-union-scoreboard-2014.pdf>.
8. Regional Union Scoreboard 2014, [Przełądany 17.12.2015] Dostępný w: http://www.technopolis-group.com/wp-content/uploads/2014/04/ris-2014_en.pdf.
9. Broekel T., Rogge N., Brenner T.: The innovation efficiency of German regions – a shared-input DEA approach. *Working Papers on Innovation and Space*, Philipps-Universität Marburg, 2013.
10. Hollanders H., Esser, F. C.: Measuring Innovation Efficiency. *INNO-Metrics Thematic Paper*, 2007.
11. Caballero J.R., Jiménez D.P.: Measuring Innovation Efficiency in Europe. *A Färe-*

- Primont TFP Index Approach. Universitat Autònoma de Barcelona, 2014. [Przełączany 17.12.2015] Dostępny w: <http://pagines.uab.cat/mareb/sites/pagines.uab.cat/mareb/files/MAREB13-14%20Thesis%20Redondo%20150714.pdf>.
12. Kaczmarska B., Gierulski W.: Analiza porównawcza poziomu innowacyjności państw Unii Europejskiej. [w:] Zbiór prac naukowych – nauki ekonomiczne, Uniwersytet Chmielnicki, Ukraina 2012, s. 28-38.
 13. Sueyoshi T., Goto M.: Efficiency-based rank assessment for electric power industry: A combined use of Data Envelopment Analysis (DEA) and DEA-Discriminant Analysis (DA). *Energy Economics*, 2012, 34(3), pp. 634-644.
 14. Diaz-Balteiro L., Herruzo A.C., Martínez M., González-Pachón J.: An analysis of productive efficiency and innovation activity using DEA: An application to Spain's wood-based industry. *Forest Policy and Economics*, 2006, 8, pp. 762-773.
 15. Şafak İ., Gül A.U., Akkaş M.E., Gedikli M., Kanat, Ş.M., Portakal S.Ü.: Efficiency Determination of the Forest Sub-Districts by Using Fuzzy Data Envelopment Analysis (Case Study: Denizli Forest Regional Directorate). *International Journal of Fuzzy Systems*, 16 (3), 2014, pp. 358-367.
 16. Masternak-Janus A.: Analiza efektywności gospodarowania przedsiębiorstw przemysłowych w Polsce. *Ekonomia i Zarządzanie*, 4, 2013, s. 111-126.
 17. Guzik B.: Podstawowe możliwości analityczne modelu CCR-DEA. *Badania Operacyjne i Decyzyjne*, 1, 2009, s. 55-75.
 18. Rocznik statystyczny województw 2014, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa, 2014.
 19. Działalność innowacyjna przedsiębiorstw w latach 2011-2013. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa, 2014.
 20. Nauka i technika w 2013 r., Główny Urząd Statystyczny, Warszawa, 2014.
 21. Gierulski W., Kaczmarska B.: Methodology for Evaluating Organization Development State. An Application of the DEA Method. LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbrücken, 2012.
 22. Norman M., Stoker B.: Data Envelopment Analysis: The Assessment of Performance, John Wiley & Sons Inc., 1991.
 23. Serrano-Cinca C., Mar-Molinero C., Chaparro-García F.: On Model Selection in Data Envelopment Analysis: A Multivariate Statistical Approach, Discussion Paper in Management, M02-7, 2002, [Przełączany 19.12.2015] Dostępny w: <http://eprints.soton.ac.uk/35753/1/M02-7.pdf>.

Dr inż. Aneta MASTERNAK-JANUS
 Dr inż. Magdalena RYBACZEWSKA-BŁAŻEJOWSKA
 Katedra Inżynierii Produkcji
 Politechnika Świętokrzyska
 25-314 Kielce, Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7
 tel./fax: (0-41) 342 42 52
 e-mail: anetam@tu.kielce.pl