

Marcin NOWAK*, Arkadiusz BOROWIEC **

ZASTOSOWANIE METODY DEA W BADANIU EFEKTYWNOŚCI PARKÓW NAUKOWO-TECHNOLOGICZNYCH

W związku z dynamicznym wzrostem liczby działających w Polsce parków naukowo-technologicznych coraz częściej zadaje się pytania o efektywność ich funkcjonowania. Informacje te stały się szczególnie ważne dla inwestorów, którzy przeznaczają coraz większe nakłady finansowe zarówno na tworzenie parków, jak i na ich późniejszą działalność. Celem artykułu jest analiza użyteczności zastosowania metody DEA w badaniu względnej efektywności parków naukowo-technologicznych. Metoda ta umożliwia pomiar efektywności z uwzględnieniem różnych obszarów działalności badanych obiektów, odpowiadających za osiągnięcie odmiennych celów. W artykule zbadano zależności pomiędzy osiąganiem tych celów przez poszczególne parki. Rozważania poparto zestawieniem wskaźników efektywności według przyjętych kryteriów odnoszących się do nakładów oraz efektów charakteryzujących badane jednostki decyzyjne.

Słowa kluczowe: efektywność, metoda DEA, benchmarking, parki technologiczne, parki naukowo-technologiczne

1. WPROWADZENIE

Silna rywalizacja konkurencyjna współczesnych gospodarek wymaga skupienia szczególnej uwagi na wiedzy i na roli kapitału ludzkiego w tworzeniu trwałych przewag strategicznych. Jednym z symboli tak rozumianej rywalizacji są parki naukowo-technologiczne, które mają stanowić swoistą platformę transferu technologii oraz promowania przedsięwzięć innowacyjnych, takich jak perspektywiczne przedsiębiorstwa typu *start-up* czy firmy odpryskowe, określane mianem *spin-off*

* Doktorant Wydziału Inżynierii Zarządzania Politechniki Poznańskiej.

** Wydział Inżynierii Zarządzania Politechniki Poznańskiej.

[11]. Istota funkcjonowania parków technologicznych przejawia się w konieczności implementacji osiągnięć naukowych i technicznych ośrodków akademickich i badawczo-rozwojowych na grunt działalności przedsiębiorstw w wymiarze zarówno produktowym oraz technologicznym, jak i organizacyjnym [10].

Pierwsze parki naukowo-technologiczne w Polsce zostały założone w połowie lat 90. XX w. Gwałtowny przyrost liczby tych instytucji, które mają stanowić instrument polityki innowacyjności, jest związany z możliwościami uzyskania środków z budżetu Unii Europejskiej w ramach promowania innowacyjności i przedsiębiorczości. Obecnie liczbę parków naukowo-technologicznych szacuje się na ponad 30, przy czym zakłada się stabilną tendencję wzrostową [14].

Potrzeba badania efektywności funkcjonowania parków naukowo-technologicznych wynika z ich narastającej popularności, co wiąże się z gwałtownym przyrostem nakładów inwestycyjnych na ich tworzenie oraz funkcjonowanie. Dodatkowo wskazuje się na coraz większy wpływ tych inicjatyw na przyciąganie do regionów firm oraz inwestorów zdolnych pozytywnie wpływać na gospodarkę lokalną [5]. Zasadność funkcjonowania parków w obecnych rozmiarach jest jednak często podważana, konieczna więc jest ocena ich efektywności w celu uzyskania czytelnych i jednoznacznych argumentów potwierdzających lub negujących ich rosnącą popularność [5].

Dotychczas efektywność funkcjonowania parków naukowo-technologicznych mierzono za pomocą metod benchmarkingowych opartych na analizie wskaźnikowej [2, 4]. Problem, jaki napotykali autorzy, wiązał się w głównej mierze z przydzieleniem wag poszczególnym elementom funkcjonowania parków lub przydzieleniem im punktacji według przyjętych kryteriów [1]. W dotychczasowych publikacjach dotyczących efektywności działania parków naukowo-technologicznych nie stosowano zarazem szybko zyskującej popularność metody DEA, opartej na pomiarze względnej efektywności badanych jednostek decyzyjnych.

2. ISTOTA METODY DEA

Metodę pomiaru efektywności gospodarczej DEA (*data envelopment analysis*), zwaną również analizą danych granicznych lub analizą obwiedni danych, zaproponowali po raz pierwszy w 1978 r. A. Charnes, W.W. Cooper i E. Rhodes [8].

Idea metody opiera się na sformułowanej przez Debreu i Farella definicji produktywności, rozumianej jako stosunek pojedynczego efektu do pojedynczego nakładu [12].

$$p = \frac{y}{x} \quad (1)$$

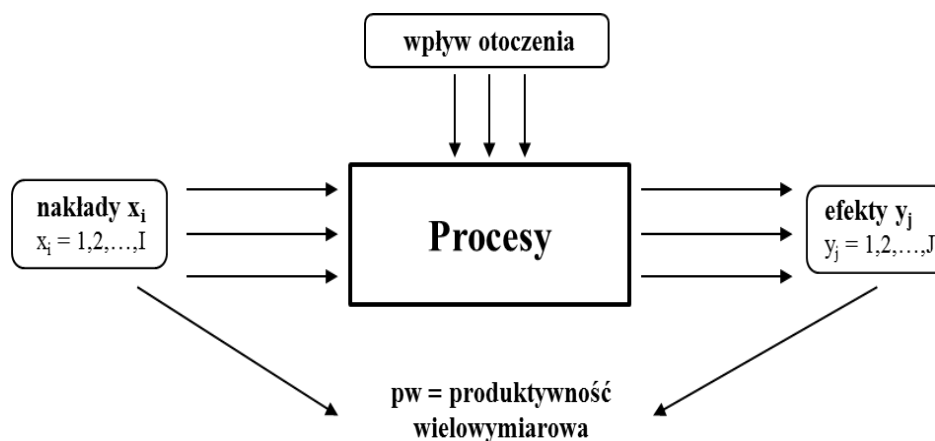
gdzie:

p – produktywność,

y – pojedynczy efekt,
 x – pojedynczy nakład.

Podejście to umożliwia ocenę produktywności, wykorzystywaną często w mikroekonomii w postaci granicznej funkcji produkcji. Fundamentalną wadą tego modelu jest to, że wymaga on znajomości zależności funkcyjnej między nakładem a efektem danego procesu.

Autorzy metody DEA zaproponowali odniesienie tak sformułowanej definicji produktywności do sytuacji wielowymiarowej, w której za efektywność uważa się stosunek ważonych sum efektów do ważonych sum nakładów z uwzględnieniem wpływu otoczenia na układ [13].



Rys. 1. Produktywność procesów [13]

$$pw = \frac{\sum_{j=1}^J v_j y_j}{\sum_{i=1}^I \mu_i x_i} \quad (2)$$

gdzie:

x_i – i -ty nakład,

y_j – j -ty efekt,

I – liczba nakładów,

J – liczba efektów,

μ_i – wagi określające ważność poszczególnych nakładów,

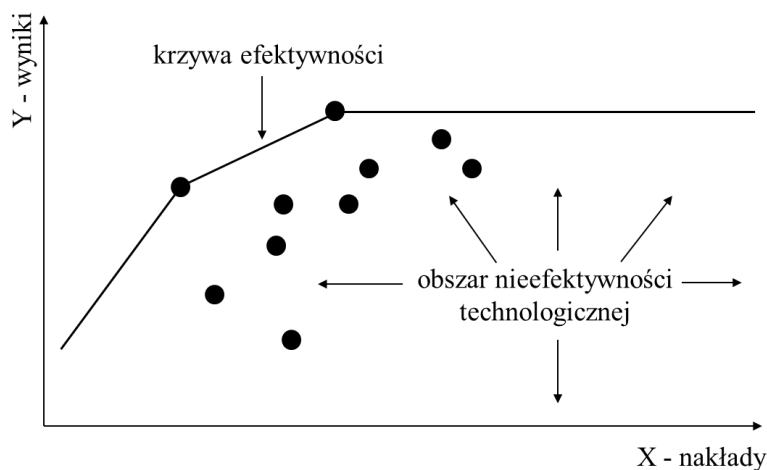
v_j – wagi określające ważność poszczególnych efektów.

Istota metody DEA opiera się na wykorzystaniu empirycznych wartości sumy nakładów do sumy efektów dla poszczególnych zestawów obiektów nazywanych DMU (*decision making units*), co pozwala na wyznaczenie wag maksymalizujących efektywność. Zaletą metody DEA jest zatem jej nieparametryczność, ozna-

czająca, że nie jest konieczna znajomość wag poszczególnych wejść i wyjść oraz zależności funkcyjnych pomiędzy nimi [3].

Efektywność poszczególnych DMU określa się za pomocą tzw. efektywności względnej, którą wyznacza obiekt charakteryzujący się jej optymalnym współczynnikiem (100%) względem pozostałych DMU. Oznacza to, że pozostałe obiekty nie mogą poprawić parametrów poszczególnych wejść lub wyjść bez pogorszenia innych wejść lub wyjść [15].

DMU charakteryzujące się najwyższymi wskaźnikami efektywności wyznaczają krzywą efektywności, która przyporządkowuje efektywność równą jedności wszystkim obiektom, które się na niej znajdują. Obiekty znajdujące się poniżej krzywej efektywności wykazują względny współczynnik efektywności technologicznej z przedziału (0;1) [6].



Rys. 2. Krzywa efektywności [6]

Ewidentne zalety zastosowania metody DEA do badania efektywności sprawiły, że liczba publikacji na jej temat wzrasta w tempie wykładniczym. Do 2005 r. powstało ponad 2800 opracowań [8], a według innych źródeł w 2008 r. liczba ta przekroczyła 4000 artykułów napisanych przez ponad 2500 autorów [15].

3. ZASTOSOWANIE METODY DEA DO OCENY EFEKTYWNOŚCI PARKÓW NAUKOWO-TECHNOLOGICZNYCH

Parki naukowo-technologiczne stanowią specyficzną grupę badawczą ze względu na wielopłaszczyznowość celów ich funkcjonowania. Analiza oparta na tak zróżnicowanym zestawie obiektów umożliwia dokonanie oceny przydatności

metody DEA w pomiarze efektywności gospodarczej z podkreśleniem jej najważniejszych zalet oraz wad.

W przedstawionym artykule dokonano klasyfikacji celów parków naukowo-technologicznych w ramach trzech obszarów:

- ekonomicznym i finansowym,
- promowania innowacyjności i przedsiębiorczości,
- współpracy z instytucjami zewnętrznymi i budowania kapitału intelektualnego.

Nie jest to zestaw celów wyczerpujący, lecz jedynie pogładowy, wskazujący na znaczącą niejednorodność działań poszczególnych parków.

Dane liczbowe, jakimi posłużono się przy wyznaczaniu efektywności funkcjonowania parków naukowo-technologicznych metodą DEA, pochodzą z publikacji *Benchmarking parków technologicznych w Polsce* z roku 2012. Badanie to przeprowadzono dla Polskiej Agencji Rozwoju Przedsiębiorczości [9].

W pierwszym etapie pracy zaproponowano nakłady oraz efekty, które mogą charakteryzować osiągnięcie celów we wszystkich obszarach działalności parków.

Tabela 1. Zmienne uwzględnione w pomiarze efektywności parków naukowo-technologicznych (oprac. własne)

Nakłady	Efekty
Suma aktywów	sprzedaż ogółem
Powierzchnia użytkowa	zysk brutto
Liczba lokatorów	dynamika przychodów
	liczba typów usług
	liczba firm typu <i>start-up</i>
	liczba firm typu <i>spin-off</i>
	liczba współpracujących jednostek naukowych
	liczba firm innowacyjnych
	liczba patentów chronionych prawem
	liczba zrealizowanych projektów międzynarodowych
	kontakty krajowe i międzynarodowe, sieci partnerskie

W niniejszym artykule wykorzystano jedną z głównych zalet metody DEA, którą jest możliwość analizowania niehomogenicznego zbioru danych, z których część ma charakter bezwzględny, a część stanowi element punktowej oceny obiektów.

Jedną z najczęściej wskazywanych wad metody DEA jest redundancja liczby obiektów efektywnych, których nadmiar nie pozwala na wyciągnięcie konstruktywnych wniosków mogących posłużyć do udoskonalenia procesów zarządczych [7].

Wada ta została potwierdzona przy pierwszej próbie analizy efektywności, w której zestawiono wszystkie nakłady i efekty ujęte w tabeli 1. Okazało się, że osiemnaście spośród dziewiętnastu parków charakteryzuje się wzorcową efektywnością, co naturalnie nie stanowi żadnej wartości badawczej.

Na podstawie analizy wyników otrzymanych przy różnych zestawach nakładów i efektów wykazano, że główną przyczyną nadmiarowości wyników jest duże zróżnicowanie obszarów działalności poszczególnych parków i brak korelacji między tymi obszarami.

Okazało się bowiem, że występują parki, które osiągają ponadprzeciętne wyniki w obszarze promowania innowacyjności i przedsiębiorczości, zajmując jednak bardzo niskie pozycje w zakresie dochodowości działalności.

Poniżej zaprezentowano wyniki analizy wraz z wnioskami oraz rankingiem efektywności w zaproponowanych obszarach działalności.

3.1. Efektywność w obszarach ekonomicznym i finansowym

Parki naukowo-technologiczne, podobnie jak niemal wszystkie inne organizacje, są zorientowane na osiąganie zysków. Ich efektywność w obszarze ekonomicznym i finansowym została skalkulowana przy założeniu, że nakładem, jakim dysponują badane obiekty, są posiadane przez nie aktywa. W pierwszym etapie analizy, którego wyników tutaj nie przytoczono, wzięto pod uwagę dodatkowo otrzymane środki publiczne. Okazało się jednak, że aktywa są niemal liniową funkcją uzyskanych środków publicznych, zatem traktowanie jako nakładów łącznie sumy aktywów oraz uzyskanych środków publicznych jest bezzasadne. Jako efekty działalności operacyjnej parków w tym obszarze uwzględniono zysk brutto, poziom sprzedaży oraz dynamikę przychodów.

W tabeli 2 zestawiono wykonane metodą DEA pomiary efektywności (θ) w obszarach finansowym i ekonomicznym dwiętnastu parków naukowo-technologicznych.

Wyniki analizy wskazują na istnienie trzech obiektów charakteryzujących się wzorcową efektywnością (parki nr 7, 9 i 10). Warto zwrócić uwagę, że parki 7 i 9 uzyskują wysoką efektywność przy wysokich poziomach zarówno sprzedaży, jak i zysku brutto. Obydwa te parki znajdują się w trójce obiektów najwyższej ocenionych w ramach badania benchmarkingowego dotyczącego całokształtu funkcjonowania [9].

W analizie pominięto park nr 8, ponieważ przy tak zdefiniowanych nakładach i efektach charakteryzował się on zerową sumą nakładów, co ze względów metodologicznych prowadzi do sprzeczności. Powodem takiej sytuacji są ograniczenia w definiowaniu czynników, które determinują nakłady i efekty w modelu DEA. Rzeczywisty nakład, który umożliwia parkowi nr 8 osiągnięcie niezerowych efektów, został niezdefiniowany. Błąd ten nie jest jednak szczególnie istotny, ponieważ obiekt ten jest w embrionalnej fazie rozwoju i poziom osiąganych przez niego efektów jest bliski zeru.

Tabela 2. Ranking efektywności parków naukowo-technologicznych w obszarze ekonomicznym i finansowym (oprac. własne)

Ranking	Nr parku	Efektywność (θ)
1-3	7	1
1-3	9	1
1-3	10	1
4	1	0,676471
5	12	0,588706
6	4	0,528736
7	13	0,5
8	15	0,47619
9	6	0,439815
10	17	0,4
11	2	0,239216
12	16	0,180995
13	11	0,174056
14	19	0,136015
15	14	0,133333
16	5	0,131573
17	18	0,087715
18	3	0

3.2. Efektywność w obszarze promowania innowacyjności i przedsiębiorczości

Kluczowym obszarem, a zarazem głównym celem parków naukowo-technologicznych jest promowanie zachowań i przedsięwzięć o charakterze przedsiębiorczym oraz tworzenie platformy rozwoju dla funkcjonowania innowacyjnych przedsiębiorstw.

W celu kalkulacji efektywności w tym obszarze posłużono się powierzchnią użytkową, którą dysponują poszczególne obiekty, jako nakładem, a za efekt przyjęto liczbę firm typu *start-up*, liczbę firm typu *spin-off*, liczbę firm innowacyjnych oraz liczbę patentów chronionych prawem.

W tabeli 3 zestawiono wyniki efektywności (θ) w obszarze promowania innowacyjności i przedsiębiorczości.

Jako najbardziej efektywne obiekty w tym obszarze wskazano parki nr 5, 13, 14 oraz 17. Jednak jedynie park nr 5 osiąga optymalny współczynnik efektywności przy jednoczesnych względnie dużych wartościach nakładów oraz efektów. Pozostałe parki uzyskują największą efektywność dzięki przeciętnym efektom przy bardzo niewielkich nakładach.

W powyższej klasyfikacji wyraźnie widać grupę parków, które wykazują wysoki poziom efektów przy jednoczesnym wykorzystaniu znacznych nakładów co skutkuje przeciętnymi wskaźnikami efektywności. Parki nr 4 oraz 19 zostały pominięte w analizie z uwagi na zerowe nakłady według założonych kryteriów.

Tabela 3. Ranking efektywności parków naukowo-technologicznych w obszarze promowania przedsiębiorczości i innowacyjności (oprac. własne)

Ranking	Nr parku	Efektywność (θ)
1-4	5	1
1-4	13	1
1-4	14	1
1-4	17	1
5	9	0,654647
6-7	8	0,615385
6-7	12	0,615385
8	6	0,545455
9	16	0,491026
10	7	0,316667
11	3	0,307692
12	15	0,208333
13	11	0,205128
14	2	0,180995
15	1	0,133333
16	18	0,125
17	10	0

3.3. Efektywność w obszarze budowania kapitału intelektualnego i współpracy z instytucjami zewnętrznymi

Kolejnym obszarem stanowiącym istotę funkcjonowania parków naukowo-technologicznych jest nawiązywanie relacji z instytucjami zewnętrznymi, stanowiącymi uzupełniający się system z promowaniem zachowań proinnowacyjnych i proprzedsiębiorczych wśród lokatorów parku i lokalnej społeczności. Jako nakład przyjęto w tym przypadku liczbę lokatorów parku, a jako efekty – liczbę zrealizowanych projektów międzynarodowych, kontakty krajowe i międzynarodowe oraz sieci partnerskie, a także liczbę współpracujących jednostek naukowych. W tabeli 4 zestawiono zbiorcze wyniki efektywności (θ) dwudziestu parków naukowo-technologicznych w obszarze budowania sieci kontaktów zewnętrznych.

Za najefektywniejsze obiekty w ramach tego obszaru uznano parki nr 3, 5 i 14. Zważywszy jednak na bezwzględne wartości uzyskiwanych nakładów oraz efektów, jedynie park nr 5 osiąga zadowalające rezultaty. Na tej podstawie można nazwać go liderem w obszarze budowania kontaktów zewnętrznych.

Prezentowane wyniki świadczą, że efektywność w jednych obszarach nie wiąże się z efektywnością w innym zakresie. Za przykład posłużyć może park nr 7, który osiąga najlepsze rezultaty ekonomiczno-finansowe. Jednak w obszarze promowania przedsiębiorczości i innowacyjności ma przeciętne rezultaty (miejsce 10), a w obszarze nawiązywania sieci zewnętrznych kontaktów jest na końcu stawki (miejsce 16).

Tabela 4. Ranking efektywności parków naukowo-technologicznych w obszarze budowania kontaktów zewnętrznych (oprac. własne)

Ranking	Nr parku	Efektywność (θ)
1-3	3	1
1-3	5	1
1-3	14	1
4	12	0,825
5	11	0,785714
6	19	0,578947
7	4	0,471429
8	16	0,364198
9	1	0,323529
10	8	0,319444
11	2	0,289474
12	15	0,282051
13	9	0,255814
14	13	0,22
15	17	0,191176
16	7	0,148649
17	6	0,097345
18	18	0,078571
19	10	0,070968

Przedstawione wyniki wyraźnie świadczą o tym, że nadspodziewanie dużą efektywnością charakteryzują się obiekty, które znajdują się w embrionalnej fazie rozwoju, za czym idą niskie poziomy zarówno efektów, jak i nakładów. Jako że metoda DEA, wywodząca się z Farellońskiej definicji efektywności, mierzy stosunek sumy ważonych efektów do sumy ważonych nakładów, obiekty te znajdują się często na wysokich miejscach rankingowych. Przykładem ilustrującym tę zależność jest park nr 14, lider efektywności zarówno w obszarze promowania przedsięwzięć przedsiębiorczych i innowacyjnych, jak i w zakresie budowania sieci kontaktów zewnętrznych.

Pomimo pewnego nadużycia wynikającego z plasowania obiektów w embrionalnej fazie rozwoju na wysokich miejscach rankingu wyraźnie widać dodatnią korelację pomiędzy miejscami poszczególnych parków w ramach zdefiniowanych obszarów działalności a wynikami badania benchmarkingowego przeprowadzonego dla Polskiej Agencji Rozwoju Przedsiębiorczości [9].

Z analizy wynika dodatkowo, że nie występuje zależność, zgodnie z którą park wykazujący dużą efektywność w ramach danego obszaru działalności będzie się charakteryzował podobnym poziomem efektywności w innych obszarach.

4. PODSUMOWANIE

Efektywność parków naukowo-technologicznych, jak również innych obiektów gospodarczych, które w swojej działalności dążą do różnych, często niezwiązanych ze sobą bezpośrednio celów, powinno się rozpatrywać z uwzględnieniem tego zróżnicowania. Okazuje się bowiem, że nawet obiekty niewyróżniające się wysokim współczynnikiem globalnej efektywności w ramach niektórych obszarów swojej działalności mogą stać się benchmarkiem dla swojej branży.

Dzięki wykorzystaniu zalet metody DEA, takich jak brak konieczności znajomości funkcji opisującej zależność efektów i nakładów oraz wag poszczególnych zmiennych decyzyjnych, jest ona użytecznym narzędziem analizy efektywności.

Do analizy efektywności metodą DEA nie można jednak podchodzić bezkrytycznie. Trudności bowiem rozpoczynają się już na etapie definiowania nakładów oraz efektów. Poza samym określeniem przynależności danego zjawiska do którejś z cech występuje problem powstawania sprzężeń zwrotnych pomiędzy niektórymi nakładami i efektami, co czyni zależności bardzo złożonymi.

Właściwy dobór danych i przeprowadzenie szeregu wstępnych analiz umożliwia redukcję liczby obiektów efektywnych, która stanowi jedno z głównych ograniczeń metody DEA.

Kolejną wadą dostrzeżoną w wyniku analizy są trudności w porównywaniu obiektów znacznie zróżnicowanych pod względem wielkości bezwzględnych nakładów i (lub) efektów. Przy konstruowaniu rankingu takich obiektów należy pamiętać o tym, że metoda DEA służy do badania efektywności rozumianej w charakterystyczny sposób.

LITERATURA

- [1] Benchmarking parków technologicznych na obszarze Bałtyku Południowego, DSC Consulting, Kantor, Elbląg 2011.
- [2] Benchmarking parków technologicznych w Polsce. Wyniki badania, Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości, Warszawa 2008.
- [3] Chodakowska E., Przykłady zastosowań metody Data Envelopment Analysis w badaniu efektywności podmiotów sektora edukacji, *Problemy Zarządzania*, 2009, vol. 7, nr 4 (26).
- [4] Cichocki T., Badanie opinii lokatorów parków technologicznych. Raport Ogólny 2011, Warszawa 2011.
- [5] Dąbrowska J., Efektywność działania parku i jego wpływ na rozwój gospodarki regionalnej – Park Naukowy w Manchesterze, Warszawa 2012.
- [6] Feruś A., Zastosowanie metody DEA do określania poziomu ryzyka kredytowego przedsiębiorstw, *Bank i Kredyt*, lipiec 2006.

- [7] Guzik B., Podstawowe modele DEA w badaniu efektywności gospodarczej i społecznej, Wyd. UEP, Poznań 2009.
- [8] Guzik B., Podstawowe możliwości analityczne modelu CCR-DEA, *Badania Operacyjne i Decyzje*, 2009, nr 1.
- [9] Hołub-Iwan J., Olczak A.B., Chleba K., Benchmarking parków technologicznych w Polsce, edycja 2012, Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości, Warszawa 2012.
- [10] Kasperkiewicz W., Parki technologiczne jako nowoczesna forma promowania działalności innowacyjnej, www.institut.info/Vkonf/site/l2.pdf (dostęp: 17.02.2009).
- [11] Komercjalizacja wyników badań naukowych a ośrodki transferu technologii, Ośrodek Przetwarzania Informacji – Instytut Badawczy, Warszawa 2011.
- [12] A. Kucharski, Metoda DEA w ocenie efektywności gospodarczej, Łódź 2011.
- [13] Nazarko J. i in., Metoda DEA w badaniu efektywności instytucji sektora publicznego na przykładzie szkół wyższych, *Badania Operacyjne i Decyzje*, 2008, nr 4.
- [14] Pelle D., Bober M., Lis M., Parki technologiczne jako instrument wspierania innowacji i dyfuzji wiedzy, Instytut Badań Strukturalnych, Warszawa 2008.
- [15] Szuwarzyński A., Pomiar efektywności działalności badawczej jednostek organizacyjnych wydziału, *Problemy Zarządzania*, 2009, vol. 7, nr 4 (26).

THE APPLICATION OF DEA METHOD IN THE STUDY OF EFFICIENCY OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL PARKS

S u m m a r y

The dynamic growth of the number of operating science and technology parks in Poland has led to the emergence of increasingly frequent questions about the effectiveness of their operations. This information has become particularly important for investors who are spending more capital both on the stage of development of parks, as well as their subsequent activities. This article aims to analyze the usefulness of the DEA method in the study of relative efficiency of science and technology parks. This method takes into account the measurement of the effectiveness of various policy areas of examined objects responsible for achieving various goals. The article examines the relationships occurring between the realization of these goals by the individual parks. Considerations are supported by a compilation of performance indicators according to established criteria relating to the expenditures and effects describing the researched decision units.

