

Joanna Baran¹

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Nauk Ekonomicznych, Zakład Ekonomiki i Inżynierii Logistyki

Zastosowanie metody Data Envelopment Analysis do badania efektywności portów

WPROWADZENIE

Transport morski jest jednym z kluczowych elementów rozwoju i ekspansji gospodarczej państw. Wielkie odkrycia geograficzne, kolonizacja, czy też rozwój handlu światowego wymagał wykorzystywania coraz większej liczby, coraz nowocześniejszych jednostek pływających. Obecnie, globalizacja działalności gospodarczej oraz otwieranie się państw na handel zagraniczny, który stanowi główną siłę napędową rozwoju krajów i kontynentów, również wymaga sprawnego i efektywnego systemu przewozów morskich.

W 2009 roku przewozy morskie wyniosły łącznie 7,97 mld ton, z czego większość stanowiły ładunki masowe (m.in. ropa i ładunki ropopochodne, węgiel, ruda żelaza, zboże). Jednocześnie 16% ogólnej wielkości przewozu obsłużono przy wykorzystaniu technologii kontenerowej (1,2 mld ton). Można zauważyć, że udział ten od wielu lat systematycznie rośnie (w 2000 roku wynosił tylko 8,5%). Obecnie największymi portami kontenerowymi świata są ośrodki położone w Azji, głównie w Chinach. Największym portem kontenerowym świata jest Szanghaj, w którym w 2009 roku obsłużono 25,9 mln TEU.

Podstawowym elementem infrastruktury, który jest niezbędny do obsługi ruchu kontenerowego jest infrastruktura punktowa, gdzie są świadczone usługi przeładunkowe. Wśród najważniejszych obiektów tego typu wskazać można: porty morskie, kontenerowe terminale lądowe (nazywane często - terminalami intermodalnymi) oraz depoty kontenerowe (miejsce składowania, napraw oraz kontroli kontenerów pustych). Z uwagi na ogólnoświatowy charakter przewozów kontenerowych, pierwszym, niezbędnym elementem tej infrastruktury są porty morskie.

Istotnym zagadnieniem z punktu widzenia obsługi ruchu kontenerowego jest efektywność poszczególnych portów morskich. W literaturze można spotkać badania porównujące sprawność portów morskich w oparciu o tradycyjne wskaźniki, można również znaleźć rozwiązania bazujące na nowych, wielowymiarowych metodach badania efektywności takich jak np. Data Envelopment Analysis (DEA). W tabeli 1 dokonano syntetycznego przeglądu literatury prezentującej badania efektywności węzłów logistycznych (portów morskich i lotniczych) z wykorzystaniem metody DEA.

Celem niniejszego artykułu jest zaprezentowanie metody Data Envelopment Analysis jako przydatnego narzędzia do badania efektywności i benchmarkingu² węzłów logistycznych w tym w szczególności portów morskich.

¹ joanna_baran@sggw.pl

² Benchmarking – jest to metoda zarządzania strategicznego polegająca na porównywaniu swojej organizacji z praktyką funkcjonowania i wynikami działania najlepszych przedsiębiorstw na rynku, a następnie zaadaptowania zasadniczych cech tych wzorcowych praktyk do procesów realizowanych we własnej organizacji

Tabela 1. Efektywność węzłów logistycznych w oparciu o metodę DEA w świetle badań empirycznych

Autor i rok publikacji	Obiekty badawcze i cel badań	
Roll and Hayuth (1993)	Teoretyczna ocena efektywności portów	hipotetyczny przykład liczbowy z 20 portami morskimi
Gillen and Lall (1997)	Ocena wydajności lotnisk	21 z 30 najlepszych lotnisk w Stanach Zjednoczonych, dane za lata 1989-1993
Martinez-Budria et al (1999)	Zbadanie względnej wydajności portów i ewolucji efektywności indywidualnej poszczególnych portów	26 hiszpańskich portów morskich, dane za lata 1993-97
De La Cruz (1999)	Zbadanie względnej wydajności lotnisk	40 największych hiszpańskich lotnisk
Parker (1999)	Zbadanie względnej wydajności portów przed i po prywatyzacji, aby sprawdzić, czy prywatyzacja zwiększa wydajność portu	22 lotniska w Wielkiej Brytanii, dane za okres 1988/1989 do 1996/1997
Sarkis (2000)	Dokonanie oceny względnej efektywności lotnisk	44 porty lotnicze w USA, dane za 1994 r.
Tongzon (2001)	Empiryczne przetestowanie różnych czynników wpływających na wydajność i efektywność portu	4 australijskie i 12 innych międzynarodowych portów kontenerowych, dane za rok 1996
Valentine and Gray (2001)	Porównanie efektywności portów, w celu ustalenia, czy istnieje szczególny rodzaj własności i struktury organizacyjnej, która prowadzi do wyższej efektywności portu	31 kontenerowych portów ze 100 największych światowych portów kontenerowych, dane za rok 1998
Adler and Berechman (2001a), Adler and Golany (2001), Adler and Berechman (2001b)	Ustalenie rankingu wydajności lotnisk	europejskie lotniska

Źródło: opracowane na podstawie [1]; [2]; [3]; [9]; [10]; [11]; [12]; [14]; [16]; [18]; [19].

1. METODA BADAŃ

Data Envelopment Analysis (DEA)³ jest zaliczana do nieparametrycznych metod badania efektywności obiektów. W 1978 r. autorzy metody DEA (Charnes, Cooper i Rhodes⁴), bazując na koncepcji produktywności sformułowanej przez Debreu i Farella, definiującej miarę produktywności jako iloraz pojedynczego efektu i pojedynczego nakładu, zastosowali ją do sytuacji wielowymiarowej, to jest takiej w której dysponuje się więcej niż jednym nakładem i więcej niż jednym efektem [5; 8].

Metoda DEA umożliwia badanie relacji pomiędzy poziomem wielu nakładów i wielu efektów, a efektywność w modelach DEA jest zdefiniowana w następujący sposób [4]:

$$Efektywność = \frac{\sum_{r=1}^s \mu_r Efekt_r}{\sum_{i=1}^m v_i Naklad_i} \quad (1)$$

gdzie:

- s – liczba efektów,
- m – liczba nakładów,
- μ_r – wagi dla poszczególnych efektów,
- v_i – wagi dla poszczególnych nakładów.

³ Polskie odpowiedniki to: analiza obwiedni danych, analiza otoczki danych, graniczna analiza danych.

⁴ A. Charnes, W.W.Cooper, E. Rhodes po raz pierwszy przedstawili metodę DEA w 1978 r. w pracy pt. „Measuring the efficiency of decision making units” w European Journal of the Operational Research, No 2, s. 429-444.

W modelu DEA m nakładów i s różnych efektów sprowadzonych zostaje do pojedynczych wielkości „syntetycznego” nakładu i „syntetycznego” efektu, które następnie są wykorzystywane przy obliczaniu wskaźnika efektywności obiektu [13]. W programowaniu liniowym wskaźnik ten jest funkcją celu. W metodzie DEA można wyróżnić dwa warianty funkcji celu: maksymalizacja efektów przy danych nakładach lub minimalizacja nakładów przy danych efektach [8]. Matematycznie model DEA można przedstawić w następujący sposób⁵ [5; 8]:

$$\text{funkcja celu: } \max_{u,v} \frac{\sum_{r=1}^s \mu_r y_{ro}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{io}} \quad (2)$$

przy następujących warunkach ograniczających:

$$\frac{\sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1 \quad (j=1, \dots, n); \quad \mu_r, v_i \geq 0; \quad r=1, \dots, s; \quad i=1, \dots, m \quad (3)$$

gdzie:

- s – liczba efektów,
- m – liczba nakładów,
- μ_r – wagi określające ważność poszczególnych efektów,
- v_i – wagi określające ważność poszczególnych nakładów,
- y_{rj} – wielkość efektu r -tego rodzaju ($r=1, \dots, R$) w obiekcie j -tym,
- x_{ij} – wielkość nakładu i -tego rodzaju ($n=1, \dots, N$) w obiekcie j -tym; ($j=1, \dots, J$).

Zmiennymi optymalizowanymi są współczynniki μ_r i v_i będące wagami wielkości nakładów oraz efektów, a wielkości efektów oraz nakładów są danymi empirycznymi [8]. Ograniczenie zakłada, że iloraz syntetycznego efektu i syntetycznego nakładu ma być mniejszy lub równy jedności, bez tego ograniczenia zadanie miałoby nieskończenie wiele rozwiązań. Wagi nakładów i efektów są wyznaczone w taki sposób aby maksymalizowały powyższą relację efektów do nakładów, a ich wielkości mogą być równe lub większe od zera. Wykorzystując technikę transformacji Charnesa-Coopera powyższy nieliniowy model DEA można przekształcić w zadanie programowania liniowego [7;8]:

$$\max_{\mu,v} = \sum_{r=1}^s \mu_r y_{ro} \quad (4)$$

przy ograniczeniach:

$$\sum_{i=1}^n v_i x_{io} = 1 \quad (5)$$

$$\sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0 \quad (6)$$

$$\mu_r \geq \varepsilon, \quad v_i \geq \varepsilon \quad (7)$$

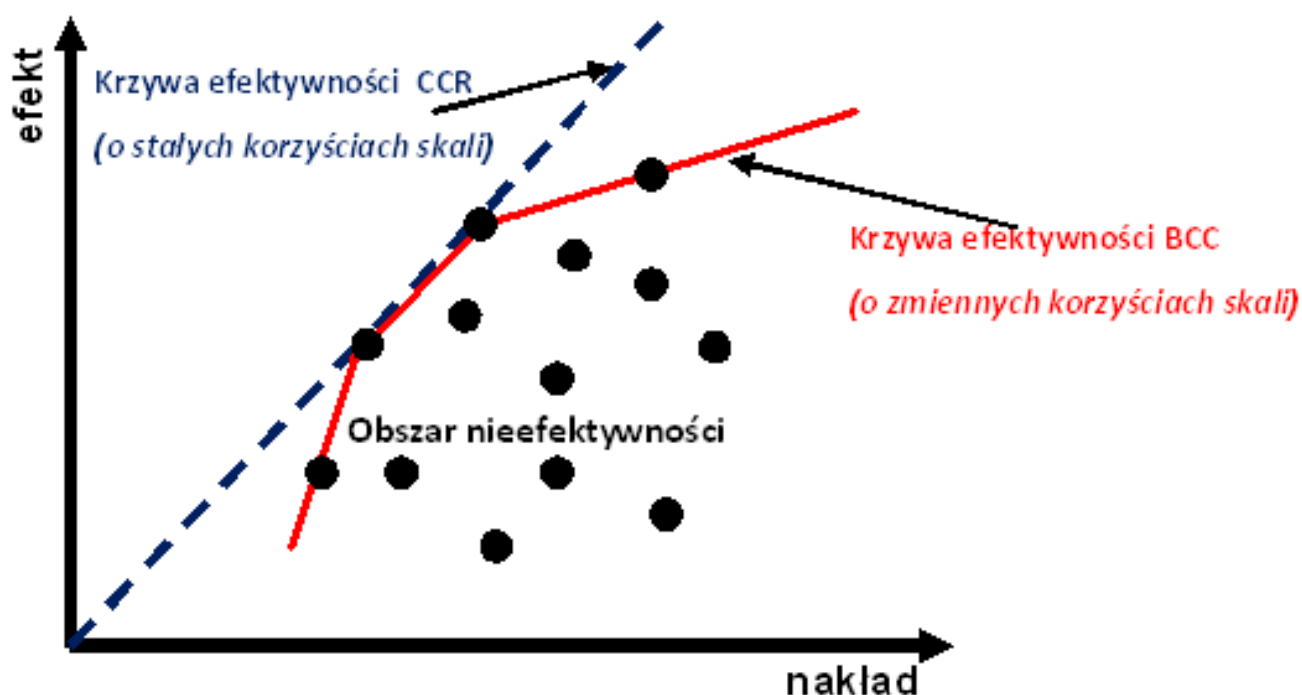
Rozwiązanie funkcji celu przy pomocy programowania liniowego pozwala na ustalenie krzywej efektywności, na której znajdują się wszystkie najbardziej efektywne jednostki badanej zbiorowości⁶

⁵ Prezentowane wzory dotyczą modelu znanego w literaturze pod nazwą CCR i zorientowanego na minimalizację nakładów

⁶ Graficzna prezentacja krzywej efektywności jest możliwa dla modeli: 1 nakład i 1 efekt, 2 nakłady i 1 efekt lub 1 nakład i 2 efekty. Dla modeli wielowymiarowych odpowiednikiem krzywej jest kilka połączonych ze sobą fragmentów różnych hiperpłaszczyzn.

(rysunek 1). Obiekty uważa się za efektywne technicznie, jeżeli znajdują się na krzywej efektywności (wskaźnik ich efektywności wynosi 1, co w modelu ukierunkowanym na minimalizację nakładów oznacza, że nie istnieje bardziej korzystna kombinacja nakładów, pozwalająca na osiągnięcie przez przedsiębiorstwo tych samych efektów), jeżeli natomiast znajdują się poza krzywą efektywności, są nieefektywne technicznie (wskaźnik ich efektywności jest mniejszy od 1, co oznacza, że istnieje bardziej efektywna kombinacja nakładów umożliwiająca osiągnięcie tych samych efektów). Efektywność obiektu jest mierzona względem innych obiektów z badanej grupy i przyjmuje wartości z przedziału (0, 1). W metodzie DEA obiektami analizy są tzw. jednostki decyzyjne – Decision Making Units (DMU) [5]. Przedmiotem analizy jest efektywność, z jaką dana DMU transformuje posiadane nakłady w wyniki. Metoda DEA umożliwia porównanie (benchmarking) danego obiektu z najlepszymi z branży oraz pozwala na stworzenie rankingu badanych obiektów, umożliwia także stworzenie scenariuszy „co jeśli” (z ang. „*what if*”) w odniesieniu do zachowania się konkurencyjnych obiektów na rynku [8].

Modele DEA można podzielić ze względu na dwa kryteria: orientację modelu oraz rodzaj efektów skali. W zależności od orientacji modelu oblicza się efektywność techniczną zorientowaną na nakłady (z ang. *input-oriented technical efficiency*) lub efektywność techniczną zorientowaną na wyniki (efekty) (z ang. *output-oriented technical efficiency*) [8]. Wielkość miary efektywności technicznej zorientowanej na nakłady pokazuje, o ile trzeba zmniejszyć nakłady obiektu, aby był on efektywny przy zachowaniu co najmniej tej samej wielkości uzyskiwanych wyników. Wielkość miary efektywności technicznej zorientowanej na efekty pokazuje, o ile trzeba zwiększyć wyniki obiektu, aby był on efektywny przy tej samej wielkości użytych nakładów.



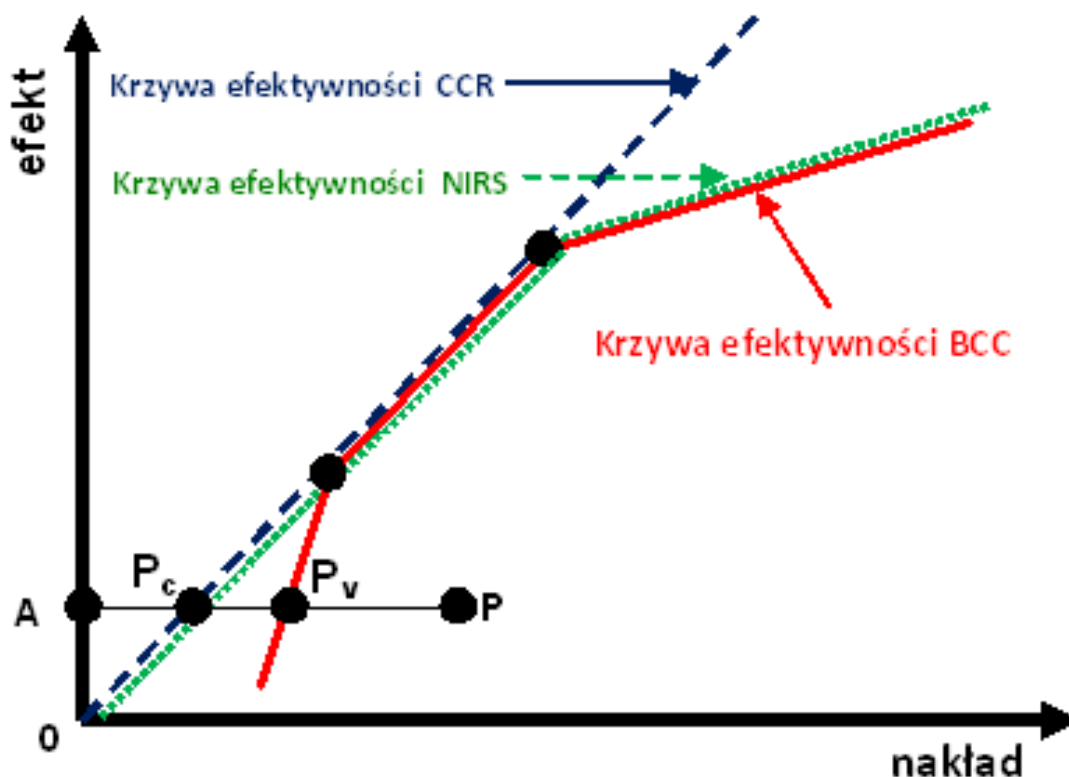
Rysunek 1. Krzywe efektywności CCR (o stałych efektach skali) i BCC (o zmiennych efektach skali) (model: 1 efekt i 1 nakład)

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: [8].

Z kolei biorąc pod uwagę rodzaj efektów skali wyróżnia się: model CCR⁷, którego nazwa pochodzi od pierwszych liter nazwisk twórców modelu: *Charnes-Cooper-Rhodes*, zakładający stałe efekty skali (z ang.

⁷ Zakłada się, że model CCR jest bardziej odpowiedni w sytuacji, gdy wszystkie firmy operują w podobnych warunkach, a osiągnięta efektywność skali jest optymalna. Jeżeli warunki gospodarowania są zmiennie (występują ograniczenia finansowe, technologiczne, konkurencja itp.) bardziej właściwym jest zastosowanie modelu BCC, który pozwala uniknąć problemu związanego z brakiem optymalnych warunków funkcjonowania obiektów [15;17].

Constant Returns to Scale – CRS) oraz model BCC⁸, którego nazwa również pochodzi od twórców modelu: Banker-Charnes-Cooper, zakładający zmienne efekty skali (z ang. Variable Returns to Scale - VRS). W 1985 r. Färe, Grosskopf i Lovell zmodyfikowali model BCC dodając nowe założenia czego efektem było powstanie modelu zakładającego niewzrastające efekty skali (z ang. Non-Increasing Returns-to-Scale - NIRS)⁹ (rysunek 2) [7; 8].



Rysunek 2. Efektywność skali według metody DEA (model: 1 efekt i 1 nakład)

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: [7].

Krzywa efektywności CCR jest wyznaczona przez obiekty efektywne przy założeniu stałych efektów skali, natomiast krzywa efektywności BCC przy założeniu zmiennych efektów skali (rysunek 2). Obiekt P leży poza granicami jest więc obiektem nieefektywnym. Nieefektywność techniczna obiektu P jest równa odcinkowi PP_C w przypadku analizy CCR, jednakże w przypadku analizy BCC nieefektywność techniczna będzie równa odcinkowi PP_V . Model CCR jest wykorzystywany do obliczenia całkowitej efektywności technicznej (z ang. *Technical Efficiency - TE*), gdzie:

$$TE = AP_C/AP \quad (8)$$

Model BCC jest wykorzystywany do obliczenia czystej efektywności technicznej (z ang. *Pure Technical Efficiency - PTE*) [7], gdzie:

$$PTE = AP_V/AP \quad (9)$$

Różnicę pomiędzy wskaźnikiem czystej a całkowitej efektywności można przypisać występowaniu określonych korzyści skali. Mając zatem obliczoną całkowitą efektywność techniczną i czystą efektywność techniczną, można obliczyć efektywność skali obiektu (z ang. *Scale Efficiency - SE*) wg wzoru [7]:

⁸ Model BCC powstał poprzez dodanie założenia do modelu CCR dotyczącego wypukłej granicy przecinających się płaszczyzn ($\sum \lambda = 1$, gdzie λ to wektor złożony z samych 1), co uczyniło siatkę danych punktów bardziej spójną i spowodowało, że wyniki otrzymane w modelu BCC są bardziej precyzyjne niż wyniki uzyskane w modelu CCR [15].

⁹ Model NIRS zakłada występowanie stałych lub malejących efektów skali w badanych obiektach, powstał na podstawie modelu BCC, w którym ograniczenie $\sum \lambda = 1$ zastąpiono $\sum \lambda \leq 1$ [7].

$$SE = TE/PTE, \quad (10)$$

czyli:

$$SE = AP_C/AP_V \quad (11)$$

Tak wyliczona efektywność skali określa, w jakim stopniu obiekt jest efektywny w stosunku do optimum umożliwiającego maksymalnie efektywne wykorzystanie nakładów. Obiekty, dla których efektywność skali jest równa 1 charakteryzują się stałymi korzyściami skali. Obliczona w wyżej przedstawiony sposób efektywność skali nie pozwala jednak wskazać, które obiekty charakteryzują się rosnącymi, a które malejącymi korzyściami skali. Charakter skali (rosnący lub malejący) dla konkretnego obiektu może być określony poprzez porównanie, wielkości efektywności technicznej NIRS z wielkością czystej efektywności technicznej (PTE). Jeżeli wielkości te są równe, świadczy to o malejącym charakterze skali dla danego obiektu. Jeżeli natomiast wielkości te nie są równe to obiekt charakteryzuje się rosnącymi efektami skali (por. rysunek 11) [7;8].

2. OCENA EFEKTYWNOŚCI PORTÓW MORSKICH Z WYKORZYTSANIEM METODY DEA

W celu empirycznego przetestowania metody DEA zebrano dane na temat 22 portów morskich zlokalizowanych na terenie Afryki. W procesie przetwarzania materiału badawczego wykorzystano arkusz kalkulacyjny Microsoft Excel 2007 oraz program Frontier Analyst 3.2.2.

Obliczono trzy modele DEA ukierunkowane na maksymalizację nakładów - output oriented (tj. modele CCR, BCC i NIRS) przy założeniu stałych i zmiennych efektów skali. Do obliczanych modeli przyjęto następujące zmienne:

- efekt 1 - wielkość obrotów ładunkowych w poszczególnych portach (t),
- efekt 2 - liczbę statków wpływających do portów (szt.),
- nakład 1 - długość nabrzeża (m),
- nakład 2 - powierzchnię składowania (m²),
- nakład 3 - sprzęt do obsługi ładunków.

W tabeli 2 zestawiono wskaźniki efektywności portów morskich według wyliczonych modeli. Średnia efektywność grupy badanych portów w zależności od modelu wynosiła pomiędzy 0,79 a 0,88. Porty morskie, których wskaźniki efektywności wynoszą 1 efektywnie wykorzystują posiadane nakłady i są uznane za w pełni efektywne. Porty morskie, dla których wskaźniki efektywności są mniejsze od 1, zostały uznane za nieefektywne a na podstawie wskaźników można określić o ile powinny zwiększyć obroty ładunkowe i liczbę obsługiwanych statków, aby mogły zostać uznane za efektywne przy tej samej wielkości wykorzystywanych nakładów.

Tabela 2. Efektywność portów morskich – wyniki badań empirycznych

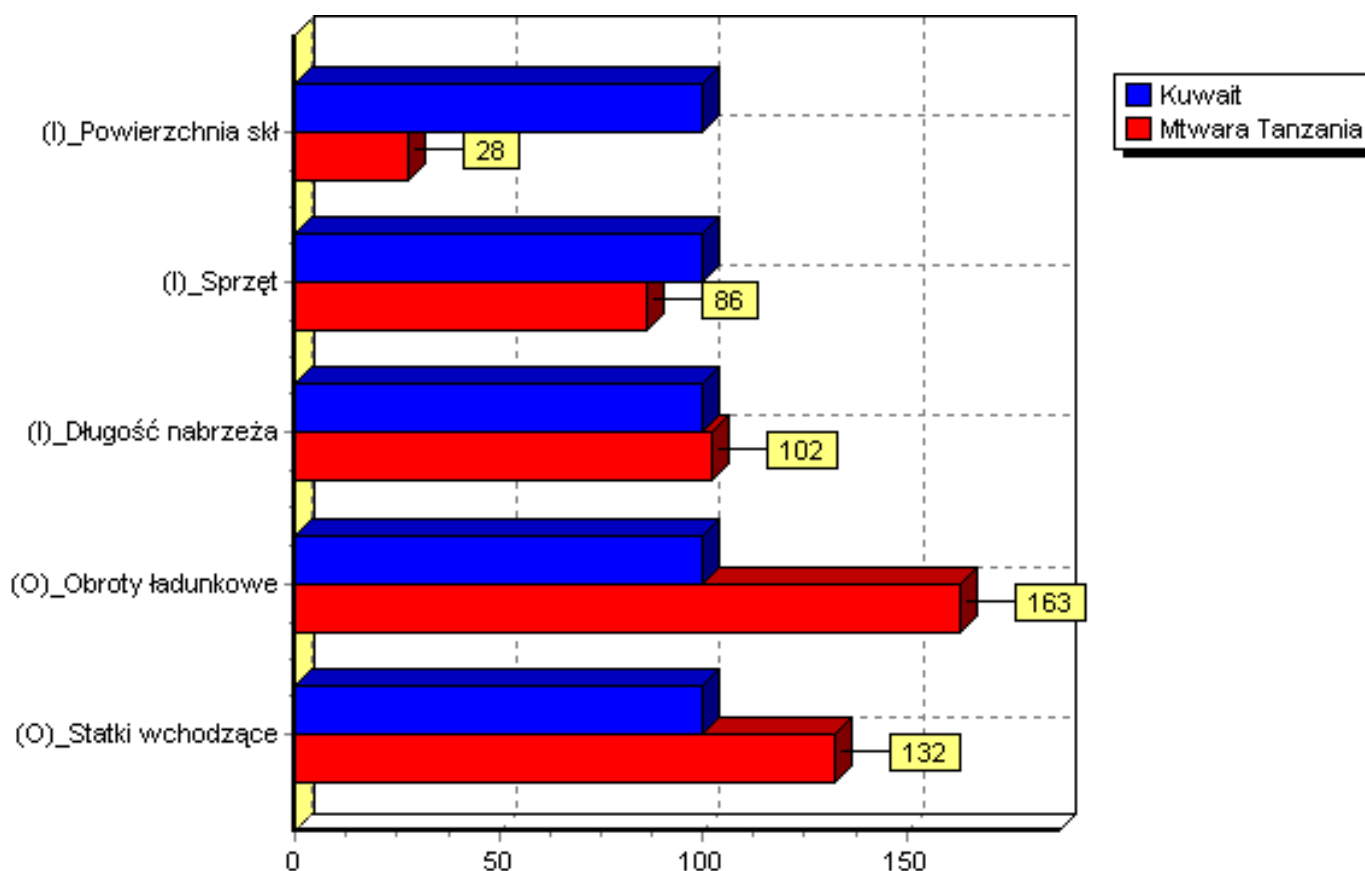
DMU – Port morski	Model CCR	Model BCC	Model NIRS	Return to scale
Aden Yemen	1,00	1,00	1,00	Constant
Asmara Eritrea	0,88	0,99	0,99	Decreasing
Assab Eritrea	0,46	0,46	0,45	Constant
Bander Abbas Iran	0,33	1,00	0,33	Increasing
Dammam Saudi	0,92	0,93	0,92	Increasing
Dar es Salaam Tanzan	1,00	1,00	1,00	Constant
Djibouti	0,71	0,73	0,71	Increasing
Dubai Emirates	0,80	1,00	1,00	Decreasing
Hodeidah	1,00	1,00	1,00	Constant
Jeddah Saudi	1,00	1,00	1,00	Constant

Tabela 2. c.d.

DMU – Port morski	Model CCR	Model BCC	Model NIRS	Return to scale
Jubail Saudi	0,52	0,73	0,73	Decreasing
Khalid Sharjah	0,84	0,87	0,84	Increasing
Khor Fakkan Sharjah	1,00	1,00	1,00	Constant
Kuwait	0,68	0,73	0,73	Decreasing
Mascut Oman	0,68	0,86	0,86	Decreasing
Mombasa Kenya	1,00	1,00	1,00	Constant
Mtwara Tanzania	1,00	1,00	1,00	Constant
Mukalla Yemen	0,26	0,33	0,26	Constant
Salalah Oman	0,83	0,85	0,83	Constant
Sudan	0,53	0,84	0,84	Decreasing
Tanga Tanzania	0,99	0,99	0,99	Constant
Yanbu Saudi	0,86	0,95	0,95	Decreasing

Źródło: opracowanie własne.

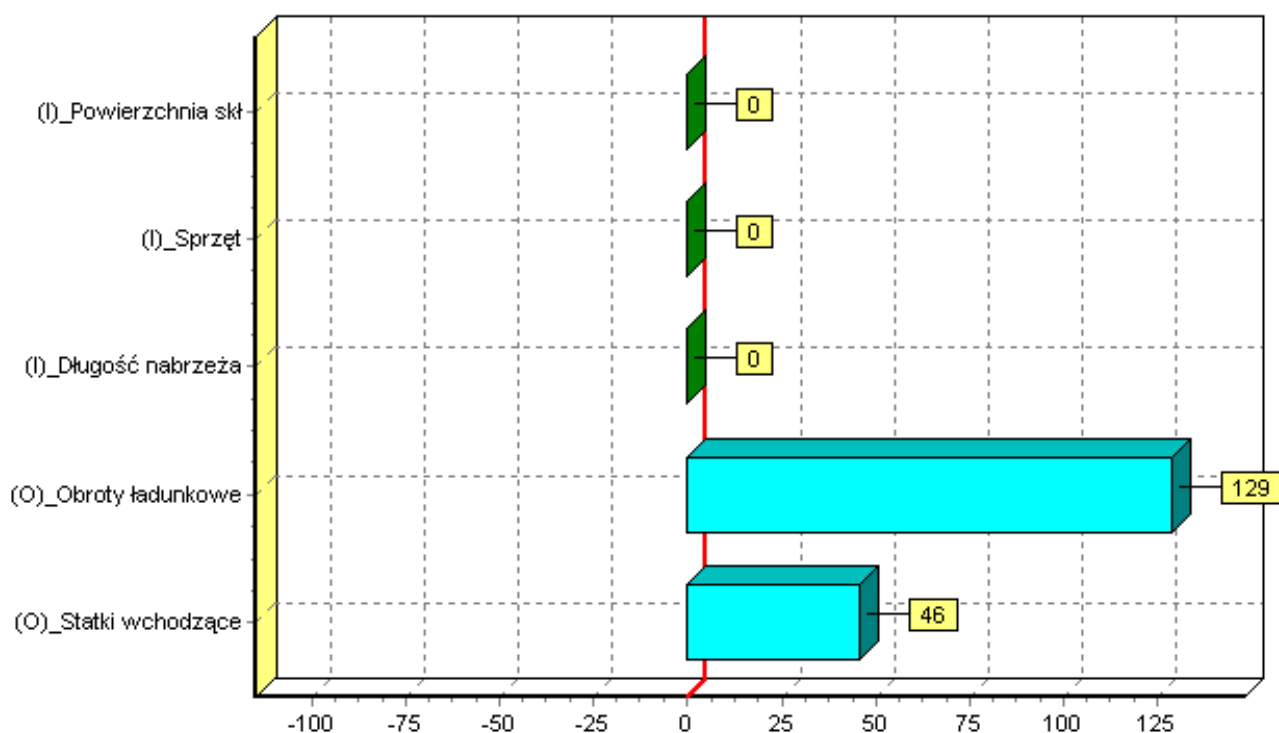
Dla nieefektywnych portów morskich można przy pomocy metody DEA – zgodnie z ideą benchmarkingu – zdefiniować wzorzec efektywności, który pozwala wskazać na potencjalne usprawnienia, które należałoby zastosować, aby uznać dany port za w pełni efektywny. Przykładowo Port Kuwait posiada podobną długość nabrzeża oraz sprzęt portowy oraz znacznie większą powierzchnię składowania niż Port Mtwara Tanzania (uznany za efektywny), ale obsługuje odpowiednio 1,3 razy mniej statków i ma ponad 1,5 krotnie mniejsze obroty ładunkowe (rysunek 3).



Rysunek 3. Nakłady i wyniki portu Kuwait na tle portu wzorcowego

Źródło: opracowanie własne.

Port Kuwait w modelu CCR osiągnął wskaźnik efektywności na poziomie 0,68 powinien zwiększyć obroty ładunków o 129% oraz rozładować/załadować ok. 46% więcej statków aby posiadane nakłady (sprzęt, nabrzeże, powierzchnię składowania) wykorzystać maksymalnie efektywnie i zostać uznanym za w pełni efektywny.



Rysunek 4. Kierunki potencjalnych usprawnień portu Kuwait w celu uzyskania wzorcowej efektywności - przy obecnym poziomie nakładów

Źródło: opracowanie własne.

3. PODSUMOWANIE

Dążąc do poprawy efektywności węzłów logistycznych warto stosować koncepcję twórczego naśladownictwa tj. benchmarkingu wyrażającą się hasłem – „równaj do najlepszych”. Efektywność wyraża sprawność przekształcania nakładów w efekty. Benchmarking wyników można prowadzić w oparciu o tradycyjne metody wskaźnikowe odzwierciedlające relację pojedynczego efektu do pojedynczego nakładu. Interesującą alternatywą jest zastosowanie metody DEA umożliwiającej ocenę relacji wielu nakładów i efektów.

W niniejszych badaniach metodę DEA wykorzystano do oceny efektywności portów morskich zlokalizowanych u wybrzeży Afryki. Dzięki zastosowaniu metody DEA stworzono ranking portów morskich wg ich efektywności uwzględniającej relację wielu nakładów i wielu efektów. Dodatkowo dla każdego portu nie w pełni efektywnego zidentyfikowano benchmark dzięki, któremu można było wskazać co należałoby usprawnić aby dany port morski stał się w pełni efektywny.

Biorąc pod uwagę powyższe analizy, warto byłoby wykorzystać metodę DEA do oceny efektywności polskich węzłów logistycznych. Mając jednak na uwadze ograniczenia metody DEA co do liczebności próby (liczba badanych obiektów (n) powinna być znacznie większa od sumy liczby nakładów i efektów ($m+s$), np.: $n \geq \max\{ms, 3(m+s)\}$ [7]) zastosowanie jej do oceny polskich portów morskich byłoby niepoprawne. Można jednak założyć, że metoda DEA byłaby przydatnym narzędziem do oceny efektywności np. centrów dystrybucji, terminali przeładunkowych czy portów lotniczych zlokalizowanych w Polsce.

Streszczenie

W artykule zastosowano metodę DEA do określenia efektywności portów morskich. Metoda DEA jest wielowymiarowym narzędziem badania efektywności umożliwiającym porównanie wielu efektów z wieloma nakładami. W obliczonych modelach DEA jako efekty uwzględniono: liczbę statków wpływających do portów, wielkość obrotów ładunkowych w poszczególnych portach zaś jako nakłady uwzględniono długość nabrzeża, powierzchnię składowania oraz sprzęt do obsługi ładunków. Obliczono modele DEA przy założeniu stałych i zmiennych efektów skali. Otrzymane wyniki wskazują, że w zależności od modelu od 7 do 9 portów z 22 badanych było w pełni efektywnych.

Słowa kluczowe: porty morskie, metoda Data Envelopment Analysis.

The measurement of seaport efficiency using data envelopment analysis

Abstract

In this paper DEA models was used to determine the relative efficiency of seaports. The basic concept of DEA efficiency is the ratio of total outputs to total inputs. The output of seaports was measured by two indicators: ship call and throughput load/unload, while the inputs was measured by the indicators, such as berth length, storage area and handling equipment. Author computed efficiency using two models: DEA-CCR and DEA-BCC. The score reports shows that 7 and 9 ports out 22 are efficient under DEA-CCR and DEA-BCC models, respectively.

Key words: seaports, Data Envelopment Analysis model.

LITERATURA

- [1] Adler, N. and Berechman, J. (2001a), Measuring Airport Quality from the Airlines' Viewpoint: An Application of Data Envelopment Analysis, *Transport Policy*, Vol. 8, pp. 171-181.
- [2] Adler, N. and Berechman, J. (2001b), Airport Quality and the Hub Location Question, *Proceedings of the 9th World Conference on Transport Research*, 22-27 July, Seoul, South Korea.
- [3] Adler, N. and Golany, B. (2001), Evaluation of Deregulated Airline Network Using Data Envelopment Analysis Combined with Principal Component Analysis with an Application to Western Europe, *European Journal of Operational Research*, Vol. 132, pp. 260-273.
- [4] Chambers N., Cifter A., 2008: The effect of scale on productivity: An Application of Data Envelopment Analysis, [w:] Mantri J. K.: *Research Methodology on Data Envelopment Analysis (DEA)*, Universal - Publishers Boca Raton, Florida, s 141-156. Charnes, A., Cooper, W. W. and Rhodes, E. (1978), Measuring the Efficiency of Decision Making Units, *European Journal of Operational Research*, Vol. 2, pp. 429-444.
- [5] Charnes, A., Cooper, W. W., Lewin, A. Y. and Seiford, L. M., (1994), *Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology and Application*, Kluwer Academic Publishers, Boston/Dordrecht/London.
- [6] Coelli, T., Prasada Rao, D. S. and Battese, G. E. (1998), *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*, Kluwer Academic Publishers: Boston, Dordrecht and London.
- [7] Cooper, W.W., Seiford, L. M. and Tone, K. (2007), *Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software*, Kluwer Academic Publishers: Boston
- [8] De La Cruz, F. S. (1999), A DEA Approach to the Airport Production Frontier, *International Journal of Transport Economics*, Vol. 26, No. 2, pp. 255-270.
- [9] Gillen, D. and Lall, A. (1997), Developing Measures of Airport Productivity and Performance: An Application of Data Envelopment Analysis, *Transportation Research E*, Vol. 33, No. 4, pp. 261-273.
- [10] Martinez-Budria, E., Diaz-Armas, R., Navarro-Ibanez, M. and Ravelo-Mesa, T. (1999) A study of the Efficiency of Spanish port authorities using Data Envelopment Analysis, *International Journal of Transport Economics*, Vol. XXVI, No. 2, pp. 237-253.
- [11] Parker D. (1999), The Performance of BAA before and after Privatisation, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 33, pp. 133-145
- [12] Rogowski G., 1998b: Metody analizy i oceny działalności banku na potrzeby zarządzania strategicznego, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Bankowej w Poznaniu, Poznań, s. 131.
- [13] Roll, Y. and Hayuth, Y. (1993) Port Performance Comparison Applying Data Envelopment Analysis (DEA), *Maritime Policy and Management*, Vol. 20, No. 2, pp. 153-161
- [14] Rusielik R., 1999: DEA - Zastosowanie w badaniach efektywności spółek AWRSP, [w:] *Strategiczne modele funkcjonowania spółek handlowych Agencji Własności Rolnej Skarbu Państwa*, Szczecin, s. 113-176.
- [15] Sarkis, J. (2000), An analysis of the Operational Efficiency of Major Airports in the United States, *Journal of Operations Management*, Vol. 18, pp. 335-351.

- [16] Świtłyk M., Ziętara W., 2008: Analiza efektywności produkcji mleka i żywca wołowego, Raport 2008, Wydawnictwo Naukowe Akademii Rolniczej w Szczecinie, Szczecin.
- [17] Tongzon, J. (2001), Efficiency Measurement of Selected Australian and Other International Ports Using Data Envelopment Analysis, *Transportation Research A: Policy and Practice*, Vol. 35 No. 2, pp. 113-128.
- [18] Valentine, V. F. and Gray, R. (2001), The Measurement of Port Efficiency Using Data Envelopment Analysis, *Proceedings of the 9th World Conference on Transport Research*, Seoul, South Korea, 22-27 July.