



Authors' contribution/  
Wkład autorów:  
A. Study design/  
Zaplanowanie badań  
B. Data collection/  
Zebranie danych  
C. Statistical analysis/  
Analiza statystyczna  
D. Data interpretation/  
Interpretacja danych/  
E. Manuscript preparation/  
Przygotowanie tekstu  
F. Literature search/  
Opracowanie  
piśmiennictwa  
G. Funds collection/  
Pozyskanie funduszy

**THE OPERATIONAL EFFICIENCY OF PUBLIC HIGHER VOCATIONAL SCHOOLS IN THE LUBELSKIE VOIVODESHIP**

**EFEKTYWNOŚĆ FUNKCJONOWANIA PAŃSTWOWYCH WYŻSZYCH SZKÓŁ ZAWODOWYCH Z WOJEWÓDZTWA LUBELSKIEGO**

**Mariusz Pyra**<sup>1(A,B,C,D,E,F,G)</sup>

<sup>1</sup>Pope John Paul II State School of Higher Education in Biała Podlaska, Poland  
Państwowa Szkoła Wyższa im. Papieża Jana Pawła II w Białej Podlaskiej, Polska

Pyra, M. (2020). The operational efficiency of public higher vocational schools in the Lubelskie voivodeship/ Efektywność funkcjonowania państwowych wyższych szkół zawodowych z województwa lubelskiego. *Economic and Regional Studies*, 13(1), p. 115-125. <https://doi.org/10.2478/ers-2020-0008>

ORIGINAL ARTICLE

JEL code: I23, C14

Submitted:  
February 2020

Accepted:  
March 2020

Tables: 3  
Figures: 1  
References: 22

ORYGINALNY ARTYKUŁ  
NAUKOWY

Klasyfikacja JEL: I23, C14

Zgłoszony:  
lut 2020

Zaakceptowany:  
marzec 2020

Tabele: 3  
Rysunki: 1  
Literatura: 22

**Summary**

**Subject and purpose of work:** This paper aims to assess the operational efficiency of public higher vocational schools in the Lublin Region.

**Materials and methods:** The assessment was based on the non-parametric method of data envelopment analysis (DEA) using the standard CCR-O model.

**Results:** In most of the analysed models (E, N, O series), the public higher vocational schools in the Lublin Region were found to have improved their efficiency in 2019 relative to 2017.

**Conclusions:** E-series models are very susceptible to changes, both in terms of inputs and effects. This gives the possibility of a significant impact on the increase in the assessment of the effectiveness of investigated units DMUs. N-series models demonstrate the importance of aggregation and quality of source data for the results of performance assessment. Class O models justify the need to look for and compare the use of other DEA model variants in the study of the effectiveness of public higher vocational schools.

**Keywords:** public higher vocational schools PHVS, DEA model, operational efficiency, Lublin region

**Streszczenie**

**Przedmiot i cel pracy:** Celem opracowania jest ocena efektywności funkcjonowania publicznych uczelni zawodowych z regionu województwa lubelskiego.

**Materiały i metody:** Do opracowania materiału zastosowano nieparametryczną metodę DEA (ang. data envelopment analysis) w standardowym modelu CCR-O.

**Wyniki:** W większości analizowanych modeli (seria E, N, O) odnotowano poprawę oceny efektywności badanych państwowych wyższych szkół zawodowych regionu lubelskiego w 2019 roku w stosunku do 2017 roku.

**Wnioski:** Modele klasy E są bardzo podatne na zmiany, zarówno w obszarze nakładów, jak i efektów. Daje to możliwość istotnego wpływu na wzrost oceny efektywności działania badanych jednostek DMU (ang. Decision Making Unit). Modele serii N wykazują istotność kwestii agregacji i jakości danych źródłowych dla wyników oceny efektywności. Modele klasy O uzasadniają konieczność poszukiwania i porównywania zastosowania innych wariantów modelu DEA w badaniu efektywności publicznych uczelni zawodowych.

**Słowa kluczowe:** państwowe wyższe szkoły zawodowe (PWSZ), model DEA, efektywność operacyjna, region lubelski

**Address for correspondence/ Adres korespondencyjny:** dr Mariusz Pyra (ORCID 0000-0001-8246-851X), Państwowa Szkoła Wyższa im. Papieża Jana Pawła II w Białej Podlaskiej, Wydział Nauk Ekonomicznych, ul. Sidorska 95/97, 21-500 Biała Podlaska, Poland; tel. +48 83 344 99 05; e-mail: m.pyra@dydaktyka.pswbp.pl

**Journal indexed in/ Czasopismo indeksowane w:** AgEcon Search, AGRO, Arianta, Baidu Scholar, BazEkon, Cabell's Whitelist, CNKI Scholar, CNPIEC – cnpLINKer, EBSCO Discovery Service, EBSCO – CEEAS, EuroPub, Google Scholar, Index Copernicus, J-Gate, KESLI-NDSL, MyScienceWork, Naver Academic, Naviga (Softweco), POL-index, Polish Ministry of Science and Higher Education 2015-2018: 9 points; Primo Central (ExLibris), QOAM, ReadCube, Semantic Scholar, Summon (ProQuest), TDNet, WanFang Data, WorldCat (OCLC). **Copyright:** © Pope John Paul II State School of Higher Education in Biała Podlaska, Mariusz Pyra. All articles are distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>), allowing third parties to copy and redistribute the material in any medium or format and to remix, transform, and build upon the material, provided the original work is properly cited and states its license.

## Introduction

The tertiary education sector, including public vocational education, is under pressure to improve and maximise operational efficiency (Grzesiak, Wyrozębska, 2014). This is attributable to a number of factors, including, most importantly, the public nature of financial expenditures and the demographic decline. Opportunities should be investigated to improve the operational efficiency of public higher vocational schools with a view to reducing the ever-growing costs.

Measuring the operational efficiency of public higher vocational schools is a problematic task given their distinctive nature, including in particular their widely varied activities – teaching, conducting research and cooperating with social and economic actors. Moreover, the multitude of these kinds of organisations, as well as the fact that profit is not their primary operational goal, makes it difficult to measure outputs. Researchers have been attempting to explore this subject using various quantitative methods, such as the parametric method of stochastic frontier analysis (SFA), composite indicators (CI) and the non-parametric method of data envelopment analysis (DEA) (Pietrzak, Gołaś, 2018). The last of the three methods has been highly popular among researchers dealing with applications of operations research methods. Some particularly interesting research on this subject comes from Poland (Wolszczak-Derlacz, 2013; Pietrzak, Brzezicki, 2017; Guzik, 2009a; Baran, 2012), as well as from other countries (Celik, Ecer, 2009; Avkiran, 2001).

The primary aim of this paper is to present the DEA method as a useful tool for measuring and benchmarking the operational efficiency of public higher vocational schools in the Lublin Region. Recent study results (for 2019) were compared with those for 2017 (obtained by the author of this paper for the purposes of his doctoral dissertation), revealing changes in efficiency and highlighting potential difficulties associated with such comparisons.

## The essence of efficiency

In order for efficiency to be assessed, the core objectives of the institution under study must be known, as must, above all, its inputs and outputs. In the simplest of terms, efficiency is the ratio between inputs and outputs. Applying this simple formula to higher education schools, however, proves to be a demanding task due to certain difficulties in access to comparable data. Hence, Bonaccorsi is right to observe that in a knowledge-based economy there exist organisations which produce and disseminate knowledge, and yet remain statistically elusive, i.e. higher education institutions (Bonaccorsi, 2014). Nevertheless, significant improvements have been made in this respect recently, with new systems emerging and being developed to generate extensive

## Wstęp

Sektor edukacji na poziomie wyższym, w tym państwowego wyższego szkolnictwa zawodowego, poddany jest presji poprawy i maksymalizacji efektywności funkcjonowania (Grzesiak, Wyrozębska, 2014). Wynika to z kilku przesłanek, wśród których do najważniejszych można zaliczyć publiczny charakter nakładów finansowych oraz niż demograficzny. Potrzeba badania i analizowania możliwości poprawy efektywności funkcjonowania publicznych uczelni zawodowych ma związek z koniecznością ograniczenia ciągle wzrastających kosztów.

Pomiar efektywności funkcjonowania państwowych wyższych szkół zawodowych jest zadaniem problematycznym, biorąc pod uwagę ich specyfikę, a zwłaszcza bardzo różnorodną działalność tych podmiotów, tzn. dydaktyczną, badawczą, współpracy z otoczeniem społeczno – gospodarczym. Ponadto wielość interesariuszy takich organizacji, a także fakt, że ich głównym kryterium działania nie jest osiąganie zysku, powoduje trudność w mierzeniu efektów. Badacze podejmują próby dokonywania analiz w tym zakresie, wykorzystując różne metody ilościowe, m.in. parametryczną SFA (ang. stochastic frontier analysis), wskaźników złożonych CI (ang. composite indicators) czy nieparametryczną DEA (ang. data envelopment analysis) (Pietrzak, Gołaś, 2018). Ostatnia z wymienionych metod wykorzystywana jest przez wielu badaczy, którzy zajmują się zastosowaniami metod badań operacyjnych. Szczególnie interesujące rozważania prowadzą na ten temat polscy (Wolszczak-Derlacz, 2013; Pietrzak, Brzezicki, 2017; Guzik, 2009a; Baran, 2012), jak i zagraniczni naukowcy (Celik, Ecer, 2009; Avkiran, 2001).

Głównym celem artykułu jest zaprezentowanie metody DEA jako przydatnego narzędzia do badania efektywności i benchmarkingu funkcjonowania państwowych wyższych szkół zawodowych z woj. lubelskiego. Dokonano porównania ostatnich wyników badań (za 2019 rok) z wynikami badań przeprowadzonymi na potrzeby pracy doktorskiej autora (za 2017 rok), dzięki czemu ukazane zostały zmiany efektywności, jak też problemy mogące się pojawić przy stosowaniu tego typu porównań.

## Istota efektywności

W celu dokonania oceny efektywności należy znać cele działania obiektu, ale przede wszystkim ponoszone przez niego nakłady i osiągnięte efekty. Najprostsze ujęcie efektywności przedstawia ją jako iloraz przyrównujący rezultaty do poniesionych nakładów. W przypadku szkół wyższych zastosowanie tej prostej formuły nie jest zadaniem prostym z uwagi na pewne trudności w dostępie do porównywalnych danych. Słuszny wniosek wysnuwa Bonaccorsi twierdząc, iż w gospodarce opartej na wiedzy istnieją organizacje wytwarzające i rozpowszechniające wiedzę, które są mało widoczne dla oficjalnej statystyki, a są to właśnie uczelnie (Bonaccorsi, 2014). W ostatnim czasie następuje znacząca poprawa w tym zakresie, powstają i rozwijają się systemy, w których

databases on higher education and research. Most notably, these include the POL-on and the ELA systems, as well as data published by the Ministry of Science and Higher Education. While this makes it easier to find and select diagnostic variables, it should be noted that the discourse between economists, managers and entrepreneurs around the notion of efficiency is marked by significant equivocality. For a fuller understanding of the intricacies of the subject at hand, it is worth presenting a number of perspectives on this category. Samuelson and Nordhaus define efficiency as using economic resources in the most effective way (Samuelson, Nordhaus, 1999). Other researchers emphasise the role of effectiveness and performance as the constituents of efficiency (Kozuń – Cieślak, 2013). Stoner, Freeman and Gilbert understand efficiency as a measure of performance and effectiveness, or the extent to which goals are achieved (Stoner, Freeman, Gilbert, 1997). Drucker, in turn, distinguishes between efficiency and effectiveness, claiming that effective measures are not necessarily efficient, and *vice versa* (Drucker, 2009). In technical economic terms, as proposed by Hamrol, efficiency means cost-effectiveness (Hamrol, 2008). Efficiency as a state of allocation of resources, i.e. Pareto efficiency, has been embraced by such authors as Kamerschen, McKenzie and Nardinelli (Kamerschen, McKenzie, Nardinelli, 1992).

For the purposes of this paper, the most relevant definition of efficiency is the technical economic one, relating to the ratio between inputs and outputs (Dudycz, 2012). It is, therefore, important to note here that this study is output-oriented, focusing on the technical aspect of efficiency. Such approach involves a comparison of the existing output with the maximum output achievable without changing production technology (Domagała, 2009). This is germane to the subject of the operational efficiency of higher education institutions, since in this case "production technology" cannot be changed and optimised. Technical efficiency and studies investigating its meaning are at the core of the DEA method.

### Description of the DEA method and data sources

The DEA method is a non-parametric method used to estimate efficiency. It is also considered a boundary method, as it allows to delineate a production-possibility frontier, representing all combinations of outputs and inputs (Banker, Charnes, Cooper, 1984). As such, it can be used to determine the efficiency of the investigated units within a group, where the boundary (benchmark point) is the efficiency of those of them which have the highest scores. The efficiency of the remaining units is determined in relation to the highest-scoring unit. The determination of the efficiency of a given unit, which is referred to as the decision-making unit (DMU), is based on a solution utilised in one of the DEA models. This

generowane są obszerne bazy danych dotyczące szkolnictwa wyższego i nauki. Są to przede wszystkim system POL-on, system ELA oraz dane publikowane przez MNiSW. A zatem proces wyboru zestawu zmiennych diagnostycznych staje się mniej problematyczny.

Warto jednak zaznaczyć, że dyskurs ekonomistów, menedżerów czy przedsiębiorców na temat pojęcia efektywności cechuje się dużą niejednoznacznością. Należy przywołać kilka opisów tej kategorii w celu pełniejszego wyjaśnienia złożoności podejmowanej tematyki. Samuelson i Nordhaus definiują efektywność jako użytkowanie zasobów gospodarczych w sposób najbardziej skuteczny (Samuelson, Nordhaus, 1999). Inni badacze też podkreślają rolę skuteczności i sprawności jako czynników składających się na efektywność (Kozuń-Cieślak, 2013). Stoner, Freeman i Gilbert efektywność pojmują jako miarę sprawności i skuteczności, czyli tego, w jakim stopniu osiąga się wyznaczone cele (Stoner, Freeman, Gilbert, 1997). Drucker różnicuje efektywność i skuteczność jako kategorie niezależne, stwierdzając, że działania skutecznie niekoniecznie muszą być efektywne i odwrotnie (Drucker, 2009). W ujęciu techniczno – ekonomicznym Hamrola efektywność to wydajność (Hamrol, 2008). Efektywność ujmowana jako alokacja zasobów w sensie Pareto przedstawiana jest m.in. przez Kamerschena, McKenzie'go, Nardinelli (Kamerschen, McKenzie, Nardinelli, 1992).

Szczególnie istotne, z punktu widzenia tematu artykułu, jest ujęcie efektywności w sensie ekonomicznym, które jest relacją wartości uzyskanych efektów do nakładu czynników użytych do ich uzyskania (Dudycz, 2012). Należy w tym miejscu wspomnieć o kontekście badania efektywności z przyjętą orientacją na wynik, gdzie mamy do czynienia z efektywnością techniczną. Jest ona porównaniem bieżącego wyniku z maksymalnym, możliwym do osiągnięcia wynikiem, bez zmiany technologii produkcji (Domagała, 2009). Sytuacja taka występuje, gdy zajmujemy się problematyką efektywności funkcjonowania uczelni wyższej, nie ma bowiem możliwości zmiany „technologii wytwarzania” na bardziej optymalną czy inną. Efektywność techniczna i prowadzone badania nad jej istotą są bezpośrednim fundamentem metody DEA.

### Charakterystyka metody DEA i źródła danych

Metoda DEA jest zaliczana do grupy metod nieparametrycznych, pozwalających na szacowanie efektywności. Jest również określana mianem metody granicznej, gdyż pozwala na wyznaczenie tzw. granicy możliwości produkcyjnych, uwzględniając wszelkie kombinacje wyników i nakładów (Banker, Charnes, Cooper, 1984). W takiej formie pozwala na określenie efektywności badanych jednostek w obrębie danej grupy, gdzie granicą (punktem wzorcowym) jest efektywność najlepszej z nich. Efektywność pozostałych badanych jednostek jest określana względem tej najlepszej jednostki. Wyznaczenie wskaźnika efektywności dla danego obiektu, który określane jest jako jednostka decyzyjna (ang. Decision Making Unit, DMU), bazuje na

model represents a constructed linear programming problem. Decision-making variables are weights, or multipliers. The result of solving this problem is the efficiency indicator for the investigated DMU (Ruggiero, Vitaliano, 1999). If inefficiency is identified, a set of benchmarks is specified. These are assigned optimum weights to obtain information on how to reduce inputs or increase outputs in order to improve efficiency (Ray, Mukherjee, 1998).

The present study of the efficiency of higher vocational schools employed the standard CCR-O model (developed by Charnes, Cooper and Rhodes – the output-oriented technical efficiency model with no input changes and excluding economies of scale). The CCR model can be used to determine and identify:

- efficient and inefficient units (in the sense of Farrell's efficiency);
- the ranking of inefficient units;
- optimum technologies and benchmarking formulas for inefficient units;
- input surpluses and output deficits in inefficient units;
- "target" (optimum) technologies for inefficient units;
- a breakdown of optimum technologies.

In this model the  $o$ -th unit is fully efficient when empirical technology is the optimum technology of the  $o$ -th unit in the set of possible shared technologies  $\{T_o\}$ , i.e. when  $T_o = T_o$ . This means that a unit is fully efficient when in the optimum technology for the unit:

- the own  $\lambda$  factor of the  $o$ -th unit  $\lambda_{o,o} = 1$ ;
- other factors  $\lambda_{o,j} = 0$  ( $o, j = 1, \dots, o \neq j$ ).

This means that the unit is effective when it has the highest score in the relevant set. Such a model determines efficiency understood in the sense proposed by Farrell (Charnes, Cooper, Rhodes, 1978). The following symbols are used to present the CCR model:

$\theta_o$  – the multiplier of the  $o$ -th unit's outputs. It represents the factor of the actual inputs of the  $o$ -th unit a shared technology would need to "utilise" to obtain the actual outputs of the  $o$ -th unit.

I. Data – values of inputs and outputs in individual units:

$$x_{nj} \text{ and } y_{rj} \quad (j = 1, \dots, J; r = 1, \dots, R; n = 1, \dots, N)$$

II. Decision-making variables:

$\lambda_{o,1}, \dots, \lambda_{o,J}$  – "shared" technology factors

$\theta_o$  – the multiplier of the  $o$ -th unit's inputs

III. Objective function:

$\theta_o \rightarrow \square$  – the minimisation of the  $o$ -th unit's output multiplier

IV. Constraints:

– shared-technology inputs are not higher than  $\theta_o$  – a portion of inputs by the  $o$ -th unit:

$$\sum_{j=1}^J x_{nj} \lambda_{oj} \leq \theta_o x_{nj} \quad (\text{for } n = 1, \dots, N)$$

rozwiązaniu jednego z modeli DEA. Model ten stanowi odpowiednio skonstruowane zadanie programowania liniowego. Zmiennymi decyzyjnymi są wagi, czyli mnożniki (ang. multipliers). W wyniku rozwiązania tego zadania uzyskuje się wskaźnik efektywności dla badanej jednostki decyzyjnej (Ruggiero, Vitaliano, 1999). W sytuacji jej nieefektywności, następuje wyodrębnienie zbioru obiektów wzorcowych, tzw. benchmarków. Przypisane są do nich optymalne wielkości wag, dzięki czemu otrzymuje się informację o sposobie redukcji nakładów lub zwiększenia efektów, w celu poprawy efektywności (Ray, Mukherjee, 1998).

Badanie efektywności uczelni zrealizowano z zastosowaniem modelu w standardowej wersji CCR-O (Model Charnes, Cooper, Rhodes – model efektywności technicznej zorientowany na maksymalizację efektów przy niezmiennych nakładach i bez uwzględniania efektu skali). Rozwiązanie modelu CCR pozwala ustalić:

- obiekty efektywne oraz obiekty nieefektywne (w sensie efektywności Farrella);
- ranking obiektów nieefektywnych;
- technologie optymalne i formuły benchmarkingowe dla obiektów nieefektywnych;
- nadwyżki nakładów oraz deficyty rezultatów w obiektach nieefektywnych;
- technologie „docelowe” (optymalne) dla obiektów nieefektywnych;
- strukturę technologii optymalnych.

W modelu tym dany  $o$ -ty obiekt jest w pełni efektywny, gdy w zbiorze możliwych technologii wspólnych  $\{T_o\}$ , optymalną technologią obiektu  $o$ -tego jest jego technologia empiryczna, a więc gdy  $T_o = T_o$ . Oznacza to, że dany obiekt jest w pełni efektywny, gdy w optymalnej technologii da danego obiektu:

- własny współczynnik lambda obiektu  $o$ -tego  $\lambda_{o,o} = 1$ ;
- pozostałe współczynniki  $\lambda_{o,j} = 0$  ( $o, j = 1, \dots, o \neq j$ ).

Oznacza to, że jest on efektywny, gdy najlepiej w danym zbiorze realizuje swoje zadania. Taki model określa efektywność obiektu w sensie Farrella (Charnes, Cooper, Rhodes, 1978). Chcąc przedstawić model CCR, przyjmuje się następujące oznaczenia:

$\theta_o$  – mnożnik nakładów obiektu  $o$ -tego. Określa on, jaką krotność faktycznych nakładów obiektu  $o$ -tego musiałaby „wykorzystać” technologia wspólna dla uzyskania faktycznych rezultatów obiektu  $o$ -tego.

I. Dane – wielkości nakładów oraz rezultatów w poszczególnych obiektach:

$$x_{nj} \text{ oraz } y_{rj} \quad (j = 1, \dots, J; r = 1, \dots, R; n = 1, \dots, N)$$

II. Zmienne decyzyjne:

$\lambda_{o,1}, \dots, \lambda_{o,J}$  – współczynniki technologii „wspólnej”

$\theta_o$  – mnożnik poziomu nakładów obiektu  $o$ -tego

III. Funkcja celu:

$\theta_o \rightarrow \square$  – minimalizacja mnożnika poziomu nakładów obiektu  $o$ -tego

IV. Warunki ograniczające:

– nakłady technologii wspólnej nie są większe od  $\theta_o$  – część nakładów poniesionych przez obiekt  $o$ -ty:

– shared-technology outputs are not lower than the outputs achieved by the o-th unit:

$$\sum_{j=1}^J x_{rj} \lambda_{oj} \geq \theta_o y_{ro} \text{ (for } r = 1, \dots, R)$$

– the input multiplier does not exceed the unity:

$$\theta_o \leq 1$$

V. Sign restrictions:

$$\theta_o; \lambda_{o,1}, \lambda_{o,2}, \dots, \lambda_{o,j} \geq 0 \text{ (Guzik, 2009b)}$$

The present study investigates PHVSs as a whole without distinguishing between departments. An analysis was conducted of three higher vocational schools in the Lublin Region, supplemented by a reference study of two additional schools which were usually considered efficient in 2017. The list of analysed objects is presented in table 1.

**Table 1.** Analysed PHVSs with assigned DMU identifiers

**Tabela 1.** Grupa badanych PWSZ wraz z przyporządkowanymi identyfikatorami DMU

DMU No./ Nr jednostek DMU	Name and location of the school/ Nazwa uczelni i lokalizacja	DMU No./ Nr jednostek DMU	Name and location of the school/ Nazwa uczelni i lokalizacja
DMU 6	Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa im. prof. E. Szczepanika w Suwałkach	DMU 11	Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa im. Szymona Szymonowicza w Zamościu
DMU 7	Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa im. prof. Stanisława Tarnowskiego w Tarnobrzegu	DMU 13	Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Chełmie
		DMU 29	Państwowa Szkoła Wyższa im. Papieża Jana Pawła II w Białej Podlaskiej

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

The second important aspect of preparations for the deployment of the DEA model involved the selection of input and output variables for the analysed DMUs, subject to availability of the most reliable data (POL-on system, Statistics Poland data). Technical efficiency was calculated for each of the analysed schools in line with the below-described variants of the underlying output-oriented model (CCR-O), with constant economies of scale, shown in table 2.

DEA-based studies of public higher vocational schools' efficiency are fairly rare. The few publications on the subject usually employ models based on a single type of inputs and outputs. This prompted the author of the present study to conduct a series of DEA-based investigations of the above-mentioned PHVSs using the above-described types of inputs and outputs. The E-series models focused on the educational (teaching) dimension of the analysed DMUs. The N-series models were concerned with the research dimensions, meaning a completely different design in terms of input and output variables. The O model encompassed a combination of all inputs and outputs.

$$\sum_{j=1}^J x_{nj} \lambda_{oj} \leq \theta_o x_{nj} \text{ (for } n = 1, \dots, N)$$

– rezultaty technologii wspólnej nie są mniejsze od rezultatów osiągniętych przez o-ty obiekt:

$$\sum_{j=1}^J x_{rj} \lambda_{oj} \geq \theta_o y_{ro} \text{ (for } r = 1, \dots, R)$$

– mnożnik nakładów nie przekracza jedności:

$$\theta_o \leq 1$$

V. Warunki znakowe:

$$\theta_o; \lambda_{o,1}, \lambda_{o,2}, \dots, \lambda_{o,j} \geq 0 \text{ (Guzik, 2009b)}$$

W przeprowadzonym badaniu uwzględniono całe PWSZ, bez wyróżniania wydziałów. Analiza trzech uczelni z województwa lubelskiego została uzupełniona dwoma dodatkowymi jako punkt odniesienia, które były wskazywane zazwyczaj jako efektywne w 2017 roku. Lista analizowanych obiektów przedstawiona jest w tabeli 1.

Drugim, istotnym elementem przygotowań do użycia modelu DEA, był wybór zmiennych opisujących nakłady i efekty badanych DMU, który został zdeterminowany dostępnością danych o najwyższej wiarygodności (system POL-on, dane GUS). Dla każdej z badanych uczelni została obliczona efektywność techniczna, zgodnie z poniższymi wariantami modelu podstawowego CCR-O zorientowanego na wyniki, o stałym efekcie skali, pokazanymi w tabeli 2.

Stosowanie metody DEA do badania efektywności publicznych uczelni zawodowych jest zjawiskiem dość rzadkim. W nielicznych publikacjach opisujących tego typu aplikację metody DEA, zazwyczaj pojawiają się modele obejmujące jeden rodzaj nakładów i jeden rodzaj efektów. Autor podjął więc decyzję o przeprowadzeniu serii badań z zastosowaniem metody DEA w stosunku do objętych badaniami PWSZ z użyciem wyżej wymienionych rodzajów nakładów i efektów. Modele klasy E koncentrowały się na wymiarze edukacyjnym (dydaktycznym) funkcjonowania badanych DMU. Modele serii N na wymiarze naukowym, co oznaczało zupełnie jego odmienną konstrukcję z punktu widzenia zmiennych wejściowych i wyjściowych. Model O jako podsumowujący stanowił kombinację wszystkich nakładów i efektów.

**Table 2.** DEA CCR-O model variants applied in the study  
**Tabela 2.** Warianty modelu DEA CCR-O zastosowane w procesie badawczym

Variant symbol/ Oznaczenie wariantu	Inputs/ Nakłady	Outputs/ Efekty
E1	Number of teaching/research staff/ Liczba pracowników dydaktycznych/naukowych	Number of students/ Liczba studentów
E2	Number of teaching/research staff/ Liczba pracowników dydaktycznych/naukowych	Number of students/ Liczba studentów Number of graduates/ Liczba absolwentów
E3	Real property (teaching infrastructure)/ Nieruchomości (zaplecze dydaktyczne)	Number of students/ Liczba studentów
E4	Real property (teaching infrastructure)/ Nieruchomości (zaplecze dydaktyczne)	Number of students/ Liczba studentów Number of graduates/ Liczba absolwentów
E5	Number of teaching/research staff Real property (teaching infrastructure)/ Liczba pracowników dydaktycznych/ naukowych Nieruchomości (zaplecze dydaktyczne)	Number of students/ Liczba studentów Number of graduates/ Liczba absolwentów
N1	Number of teaching/research staff/ Liczba pracowników dydaktycznych/naukowych	Programmes of study/ Oferta dydaktyczna
N2	Number of teaching/research staff/ Liczba pracowników dydaktycznych/naukowych	Programmes of study, courses, etc./ Oferta dydaktyczna Number of conferences/ Liczba konferencji
N3	Real property (teaching infrastructure)/ Nieruchomości (zaplecze dydaktyczne)	Programmes of study, courses, etc./ Oferta dydaktyczna
N4	Real property (teaching infrastructure)/ Nieruchomości (zaplecze dydaktyczne)	Programmes of study, courses, etc./ Oferta dydaktyczna Number of conferences/ Liczba konferencji
N5	Number of teaching/research staff Real property (teaching infrastructure)/ Liczba pracowników dydaktycznych/ naukowych Nieruchomości (zaplecze dydaktyczne)	Programmes of study, courses, etc./ Oferta dydaktyczna Number of conferences/ Liczba konferencji
0	Number of teaching/research staff Real property (teaching infrastructure)/ Liczba pracowników dydaktycznych/ naukowych Nieruchomości (zaplecze dydaktyczne)	Number of students/ Liczba studentów Number of graduates/ Liczba absolwentów Programmes of study, courses, etc./ Oferta dydaktyczna Number of conferences/ Liczba konferencji

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

## Results

Significant changes could be seen in the E1 model in terms of efficiency relative to the 2017 study. In the case of DMU 6, a decrease in efficiency was observed, most likely due to the employment of additional permanent teaching staff with a relatively stable level of students (outputs). The greatest improvement in efficiency was found for DMU 11, which was assessed as efficient (0.322 in the previous study). This can be attributed to a reduction in teaching staff (approx. 15 percent), combined with a minor reduction in the number of students. A considerable improvement in efficiency was experienced by DMU 29 (0.947 compared to 0.3716). Underlying this achievement was a 6.3-percent reduction in teaching staff, combined with a 12.12-percent reduction in the number of students. Hence, significant changes in efficiency can be achieved by making relatively small adjustments in permanent teaching staff and student numbers.

The same generally applies to the E2 model. In essence, the changes are analogous, and their scale is similar. However, it is worth noting that DMU 29 was even closer to the full efficiency frontier (0.9984).

## Wyniki badań

W modelu E1 zauważyć można, że ocena efektywności w porównaniu z badaniem z 2017 roku uległa istotnym zmianom. W przypadku DMU 6, zaobserwowano spadek efektywności, który był zapewne konsekwencją rozbudowy stałej kadry dydaktycznej, przy relatywnie niezmiennym poziomie liczby studentów (efekty). Największą poprawą oceny efektywności cechowała się natomiast DMU 11, która w badaniach została oceniona jako efektywna (wcześniej 0,322). To z kolei efekt zmniejszenia (ok. 15%) liczby pracowników dydaktycznych, przy nieznacznej redukcji liczby studentów. Duży wzrost oceny efektywności zanotowała również DMU 29 (wynik 0,9479 w porównaniu do 0,3716). Wynik ten uzyskała dzięki ograniczeniu kadry dydaktycznej o 6,3%, przy redukcji liczby studentów o 12,12%. A zatem wprowadzając relatywnie małe zmiany w obszarze liczebności stałej kadry dydaktycznej i liczby studentów, można znacząco zmienić wynik oceny efektywności.

W modelu E2 sytuacja powyższa w zasadzie się powtarza. Występują analogiczne zmiany, a ich skala jest podobna. Warto natomiast zauważyć, że DMU 29 jeszcze bardziej zbliżyło się do granicy pełnej efek-

This suggests that the measures taken by the unit are effective in terms of achieving full operational efficiency, without compromising the teaching potential of the school or resulting in reduced enrolment.

For the E3 model changes in efficiency were not as substantial as for the two aforementioned models. While they showed improved efficiency, this improvement was less significant. The biggest change was recorded for DMU 13.

In the E4 model, in turn, changes in scores were more varied compared to the 2017 study. As in the previous model, DMU 13 had improved scores (0.3165 vs 0.2831 in 2017). An improvement was achieved again through reductions in student and graduate numbers (by 3.9 percent and 12.8 percent, respectively). In the case of DMU 29, the efficiency score decreased from 0.4000 to 0.2835. This school reduced its student number by 12.12 percent, and had 16.27 percent less graduates. It is worth noting that in the E2 model this change had led to a positive result, i.e. an improved efficiency score. Therefore, underlying the change in the efficiency score of DMU 29 is the E4 model's design. Efficiency scores dropped for other DMUs (except for DMU 7 and DMU 13) as well, although at varying rates.

The E5 model – encompassing the majority of inputs and outputs in this series – was found to entail more changes in efficiency scores compared to the 2017 study. The only unit which did not achieve the full efficiency score in 2019 was DMU 13. It had a score of 0.7155, compared to 0.5653 in 2017. The remaining DMUs under analysis achieved full efficiency in 2019, which meant that DMU 11 and DMU 29 improved their scores relative to 2017. Detailed information is provided in table 3.

In the N1 model, DMU 6 was still assessed as effective. Other DMUs significantly improved their scores, but they did not achieve their full effectiveness. The biggest change was recorded for DMU 13 (which had a score of 0.8738 compared to 0.2474 in 2017). As already mentioned, this was the consequence of teaching and research staff reductions, coupled with a minor reduction in the number of hosted conferences.

In the N2 model, changes in efficiency scores were much more pronounced. DMU 11 was found to be efficient in 2019 (its 2017 score was 0.4182). Conversely, DMU 29's score dropped to 0.7378 (in the 2017 study the score was 1, meaning full efficiency). It should be noted here that this result may stem from a revised approach to collecting data on study programmes, courses, etc. The 2019 study was based on POL-on data, while the 2017 study involved data collection directly from schools. The biggest improvement was observed for DMU 13, from 0.2787 to 0.8738.

For the N3 model, changes in efficiency were more varied than in the two aforementioned models. DMU 7 was found to be fully efficient, whereas in 2017 it had a score of 0.3943. It is important to note that this change was associated with the addition of new study programmes, courses, etc. Efficiency score

tywności (wynik 0,9984). Można więc wnioskować, że działania podejmowane przez ten obiekt są skuteczne, z punktu widzenia dążenia do pełnej efektywności działania. Odbywa się to bez istotnej szkody dla potencjału dydaktycznego uczelni czy liczby przyjmowanych studentów.

W modelu E3 zmiany w ocenie efektywności nie były już tak duże jak w poprzednich dwóch modelach. Wciąż można dostrzec poprawę w ocenach efektywności, jednakże skala tych zmian jest mniejsza. Największą zmianę odnotowano w przypadku DMU 13.

W modelu E4 obserwuje się większe zróżnicowanie zmian w porównaniu do ocen z 2017 roku. Analogicznie jak w poprzednim modelu DMU 13 odnotowało poprawę oceny (0,3165 wobec 0,2831 w 2017 roku). Poprawa ta ponownie została osiągnięta poprzez ograniczenie liczby studentów o 3,9% oraz liczby absolwentów o 12,8%. Natomiast w przypadku DMU 29 ocena efektywności uległa zmniejszeniu z 0,4000 do 0,2835. Uczelnia ta zmniejszyła liczbę studentów o 12,12%, a liczbę absolwentów o 16,27%. Warto podkreślić, że w modelu E2 zmiana ta przyniosła korzystny rezultat, w postaci podniesienia oceny efektywności. Wspomniana zmiana oceny efektywności DMU 29 jest więc konsekwencją konstrukcji modelu E4. W przypadku pozostałych DMU (poza DMU 7 i DMU 13) także zaobserwowano spadek oceny efektywności. Spadki te jednak różniły się dynamiką.

Model E5, a więc uwzględniający najwięcej nakładów i efektów w tej serii modeli, pozwolił na zaobserwowanie większej ilości zmian w ocenach efektywności, w kontekście wyników z badania z 2017 roku. W roku 2019 tylko DMU 13 nie została oceniona jako jednostka działająca z pełną efektywnością. Jej ocena wyniosła 0,7155 w porównaniu do 0,5653 z 2017 roku. Pozostałe badane DMU osiągnęły pełną efektywność w 2019 roku. Oznaczało to poprawę wyniku z 2017 roku dla DMU 11 oraz DMU 29. Szczegółowe informacje zawarte są w tabeli 3.

W modelu N1 wciąż jako efektywna oceniona została DMU 6. Pozostałe DMU wyraźnie poprawiły swoją ocenę, jednakże nie osiągnęły one pełnej efektywności. Najwyższą zmianę odnotowano w przypadku DMU 13 (ocena 0,8738 wobec 0,2474 z 2017 roku). To konsekwencją wspomnianego już ograniczenia liczby pracowników dydaktycznych i naukowych przy nieznacznym ograniczeniu liczby zorganizowanych konferencji.

W modelu N2 zauważalne były już o wiele większe zmiany w obszarze oceny efektywności. DMU 11 w 2019 roku zostało ocenione jako efektywne (wcześniej ocena 0,4182). Natomiast DMU 29 obniżyło swoją ocenę (poprzednio 1 – a więc pełna efektywność) do 0,7378. Tu konieczne jest wskazanie, że wynik ten może być konsekwencją zmiany sposobu pozyskiwania danych na temat oferty dydaktycznej. W badaniach z 2019 roku posłużono się danymi POL-on, gdy w badaniach z 2017 roku dane pozyskiwano bezpośrednio od samej uczelni. Największą poprawę oceny odnotowano w przypadku DMU 13 – ocena 0,8738 wobec 0,2787.

W modelu N3 zmiany ocen efektywności było bardziej zróżnicowane niż w poprzednich dwóch mode-

**Table 3.** E- and N-series model scores for five analysed DMUs in the reference years  
**Tabela 3.** Zestawienie wyników modeli z grupy E i N dla 5 badanych jednostek DMU w badanych latach

Model	2017	2019	DMU	2019	2017	Model
E1	1	0.939708	DMU 6	1	1	N1
	0.400308	0.755436	DMU 7	0.52381	0.103896	
	0.322306	1	DMU 11	0.735766	0.150706	
	0.282382	0.70057	DMU 13	0.873889	0.247476	
	0.371661	0.947975	DMU 29	0.560185	0.335356	
E2	1	1	DMU 6	1	1	N2
	0.400308	0.7993	DMU 7	0.52381	0.352031	
	0.322306	1	DMU 11	1	0.418207	
	0.282382	0.706162	DMU 13	0.873889	0.278768	
	0.389008	0.998492	DMU 29	0.737861	1	
E3	0.204967	0.221879	DMU 6	0.340524	0.311392	N3
	1	1	DMU 7	1	0.394301	
	0.460182	0.456055	DMU 11	0.483928	0.3269	
	0.266797	0.31658	DMU 13	0.569525	0.355221	
	0.261508	0.283578	DMU 29	0.241675	0.358481	
E4	0.299597	0.23166	DMU 6	0.418849	0.311392	N4
	1	1	DMU 7	1	0.921041	
	0.499741	0.456055	DMU 11	1	0.64981	
	0.283196	0.31658	DMU 13	0.569525	0.355221	
	0.400082	0.283578	DMU 29	0.475787	0.758247	
E5	1	1	DMU 6	1	1	N5
	1	1	DMU 7	1	0.921041	
	0.729857	1	DMU 11	1	0.64981	
	0.565373	0.715565	DMU 13	1	0.484237	
	0.804439	1	DMU 29	0.737861	1	

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

improvements for other DMUs under analysis were much less substantial (lower rates of change). Among other units, only DMU 29 had a lower efficiency score (for the same reasons as in the N2 model).

In the N4 model, full efficiency scores were recorded for DMU 7 and DMU 11. In the 2017 study they had the following scores: DMU 7 – 0.9210; DMU 11 – 0.6498. Other DMU cases involved the same situation as in aforementioned model.

The N5 model was associated with the most pronounced change relative to 2017. All DMUs had full efficiency scores, the exception being obviously DMU 29, which scored 0.7378 despite having achieved full efficiency in the 2017 study. Detailed information is provided in table 3.

The O-series model, which included all the inputs and outputs under study, showed that all DMUs were efficient in 2019, with the most notable improvements found for DMU 11 and DMU 13, as shown in the figure 1.

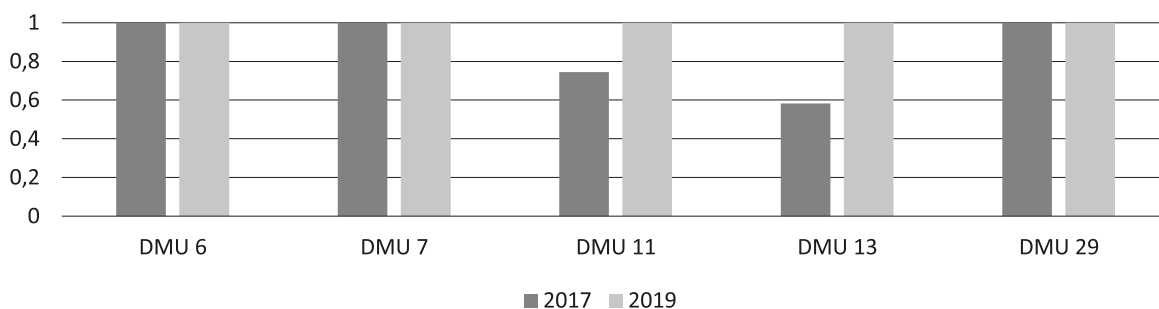
DMU 7 zostało uznane za w pełni efektywne, gdy w badaniu z 2017 roku osiągnęło ocenę 0,3943. Zmianie tej towarzyszyło zwiększenie oferty dydaktycznej o 28,5%. Pozostałe oceniane DMU zwiększyły swoją ocenę efektywności w zdecydowanie mniejszej skali (mniejsza dynamika zmian). Wśród pozostałych obiektów, tylko DMU 29 odnotowało spadek oceny efektywności (z analogicznych powodów jak w modelu N2).

W modelu N4 obiekty DMU 7 i DMU 11 zostały ocenione jako efektywne. W badaniach z 2017 ich oceny wyniosły odpowiednio: DMU 7 – 0,9210; DMU 11 – 0,6498. W pozostałych przypadkach badanych DMU sytuacja z poprzedniego modelu powtarza się.

W modelu N5 nastąpiła najbardziej widoczna zmiana w porównaniu do wyników z 2017 roku. Wszystkie oceniane DMU zostały ocenione jako efektywne. Wyjątkiem jest oczywiście DMU 29, którego ocena wyniosła 0,7378, pomimo faktu, że w badaniu z 2017 była oceniana jako efektywna. Szczegółowe informacje zawarte są w tabeli 3.

Model podsumowujący serii O, uwzględniający wszystkie nakłady i efekty, jakie były analizowane w badaniach, wskazał jako efektywne wszystkie obiekty w 2019 roku. Widoczna jest poprawa tej oceny w przypadku DMU 11 oraz DMU 13, co przedstawia rysunek 1.





**Figure 1.** O-series model scores for five analysed DMUs in the reference years

**Rysunek 1.** Zestawienie wyników modeli z grupy O dla 5 badanych DMU w badanych latach

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

## Conclusions

Focusing on a combination of teaching-related inputs and outputs, E-series models showed that relatively minor input and output changes could translate into significant improvements in efficiency scores of the DMUs under study. Also, they revealed that such changes could be either positive or negative, depending on the model's design. Therefore, selecting the model's variables (inputs and outputs) and its design (the combination of the aforementioned inputs and outputs) should be done very carefully. It seems reasonable, then, to use several variants of the model, as this allows us to capture multiple aspects (contexts) of efficiency. One should bear in mind, however, that conclusions should encompass scores for all models, and no model should prevail over the others in the final scoring process.

E-series models showed that source data aggregation and quality were major factors in efficiency scores and comparisons between the 2019 and 2017 studies. This warrants the conclusion that greater emphasis should be placed on preparing source data. Ultimately, comparisons of study results obtained by various researchers, or for various periods, should consider the source of input and output data for the model, and how these data had been prepared. Direct comparisons should be done with considerable caution. Using data from publicly available sources, especially from institutions which afford greater reliability (such as Statistics Poland and the Ministry of Science and Higher Education), has a beneficial effect on the usefulness and comparability of the results. This is true especially for use in the broadly defined field of science (e.g. as a point of reference or benchmark for other subject-related studies).

Given the results obtained for the O-series model, it seems warranted to apply other DEA model variants when investigating the efficiency of public higher vocational schools. The CCR-O model remains as useful and effective as ever, making it, in the author's opinion, the most expedient model for investigating the efficiency of public higher vocational schools. Nevertheless, other variants and combinations of inputs and outputs might prove equally useful, allowing for greater diversity of efficiency scores

## Podsumowanie

Modele klasy E, koncentrujące się na kombinacji nakładów i efektów związanych z dydaktyką pokazują, że stosunkowo małe zmiany w obszarze nakładów i efektów, mogą przełożyć się na znaczące wzrosty oceny efektywności działania badanych DMU. Pokazują również, że w zależności od konstrukcji modelu, wspomniane zmiany w ocenie efektywności mogą być pozytywne lub negatywne. Wskazuje to na potrzebę dużej świadomości w dobieraniu zmiennych modelu (nakładów i efektów) oraz konstrukcji samego modelu (kombinacja wspomnianych nakładów i efektów). Zasadne wydaje się więc stosowanie kilku wariantów modelu, gdyż pozwala to na uchwycenie wielu aspektów (kontekstów) ocenianej efektywności. Niemniej jednak należy pamiętać, że wnioskowanie powinno obejmować wyniki wszystkich modeli, a żaden z nich nie powinien przeważać nad pozostałymi w ostatecznym procesie formułowania ocen.

Modele serii N pokazały, że duże znaczenie dla wyników oceny efektywności i porównywania wyników badania z 2019 roku z badaniem z 2017 roku ma kwestia agregacji i jakości danych źródłowych. Prowadzi to do wniosku, że należy zwracać większą uwagę na przygotowanie danych źródłowych. W konsekwencji porównywanie wyników badań prowadzonych przez różnych badaczy czy też w różnych okresach, powinno mieć na względzie źródło i sposób przygotowania danych wejściowych i wyjściowych modelu. Porównywanie wprost powinno być prowadzone z dużą rozważą. Stosowanie ogólnie dostępnych źródeł danych, które są dodatkowo uwiarygodnione instytucją je zbierającą i udostępniającą (np. GUS, MNiSW), korzystniej wpływa na użyteczność i porównywalność wyników badania. Zwłaszcza w kontekście szerokiego zastosowania na polu naukowym (np. jako punkt wyjścia czy benchmark dla innych badań związanych z tematem).

W obliczu wyników modelu O pojawia się uzasadniona możliwość poszukiwania zastosowania innych wariantów modelu DEA, w badaniu efektywności PWSZ. Model CCR-O pozostaje użyteczny i skuteczny, co czyni go podstawowym, w ocenie autora, modelem do badania efektywności publicznych uczelni zawodowych. Inne warianty lub kombinacje nakładów i efektów mogą okazać się równie użytecz-

among analysed DMUs. In the context of these results, it should be admitted, however, that the analysis presented in this paper covered high-scoring DMUs from the 2017 study (DMU 6, DMU 7, DMU 29). Hence, the results of the O-series model are anything but surprising, given that the E- and N-series models revealed considerable rates of efficiency improvement. In summary, the study of PHVS efficiency using the DEA CCR-O model in the presented E-, N- and O-series models is more expedient for large groups of units. With the set of possible technologies restricted to five, the assessment becomes highly sensitive to the selection of units to be investigated. However, this approach may prove useful for in-depth analyses of the identified groups based on their ranking or geographical regions (as in the case presented in this paper – the Lublin Region). Still, caution should be taken when introducing benchmarks to the group (in the study of DMU6 and DMU7) so that the assessment of their efficiency does not have an excessive impact on the overall objective of the study.

Based on the analysis and research carried out, recommendations can be made for state higher vocational schools in the Lublin region. Given the specifics of the functioning of these schools, as well as their anchoring in the higher education system, these entities should place greater emphasis on improving efficiency in the educational area. Full effectiveness in the didactic sphere can contribute to the improvement of their competitive position on the difficult market of higher education. Even if it would be at the expense of a temporary drop in efficiency in the scientific area. Because legible and clear formulation of priorities in the field of increasing operational efficiency should bear interest in the future for graduates who are more valuable for employers.

ne, pozwalając na zwiększanie zróżnicowania ocen efektywności między badanymi DMU. W kontekście przedstawionych wyników trzeba jednak przyznać, że do analizy opisanej w tym artykule, wybrano DMU z badania w 2017 roku, które osiągały wysokie oceny (DMU 6, DMU 7 DMU 29). Tym samym wyniki modelu O nie są dużym zaskoczeniem, biorąc pod uwagę, że już modele serii E i N wskazywały na dużą dynamikę poprawy oceny efektywności. Reasumując, badanie efektywności PWSZ modelem DEA CCR-O w zaprezentowanych seriach modeli E, N i O ma większe uzasadnienie dla dużej grupy obiektów. Ograniczenie zbioru możliwych technologii do 5 oznacza dużą wrażliwość takiej oceny na dobór obiektów do badania. Taki sposób prowadzenia badań może jednak okazać się użyteczny w ramach szczegółowej analizy wyróżnionych grup na podstawie np. rankingu czy regionów geograficznych (tak jak w przedstawionym w artykule przypadku – woj. lubelskie). Trzeba jednak uważać przy wprowadzaniu do grupy obiektów wzorcowych (w badaniu DMU6 i DMU7), by ich ocena efektywności nie wpłynęła zbyt mocno na cel takiego badania.

Na podstawie przeprowadzonych analiz i badań można sformułować rekomendacje dla państwowych wyższych szkół zawodowych regionu lubelskiego. Biorąc pod uwagę specyfikę funkcjonowania tych szkół, jak również ich umocowanie w systemie edukacji wyższej, podmioty te powinny kłaść większy nacisk na poprawę efektywności w obszarze edukacyjnym. Pełna efektywność w sferze dydaktycznej może przyczynić się do poprawy ich pozycji konkurencyjnej na trudnym rynku szkolnictwa wyższego. Nawet, jeśli miałyby to się odbyć kosztem chwilowego spadku efektywności w obszarze naukowym. Bowiern czytelne i jasne sformułowanie priorytetów w zakresie podnoszenia efektywności funkcjonowania powinno zaprocentować w przyszłości bardziej wartościowymi dla pracodawców absolwentami.

## References/ Literatura:

1. Avkiran, K.N. (2001). Investigating technical and scale efficiencies of Australian universities through data envelopment analysis. *Socio-Economic Planning Sciences*, 35(1), 57-80. [https://doi.org/10.1016/S0038-0121\(00\)00010-0](https://doi.org/10.1016/S0038-0121(00)00010-0)
2. Banker, R.D., Charnes, A., Cooper, W.W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, 30(9), 1078-1092. <https://doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078>
3. Baran, J. (2012). Zastosowanie metody DEA do badania efektywności portów. *Logistyka*, 4, 21-30.
4. Bonaccorsi, A. (2014). *Knowledge, diversity and performance in European higher education. A Changing landscape*, Cheltenham-Northampton: Edward Elgar Publishing. <https://doi.org/10.4337/9781783472000>
5. Celik, O., Ecer, A. (2009). Efficiency in accounting education: Evidence form Turkish universities. *Critical Perspectives on Accounting*, 20(5), 614-634. <https://doi.org/10.1016/j.cpa.2008.01.007>
6. Charnes, W. W., Cooper, A., Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of Decision Making Units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)
7. Domagała, A. (2009). *Zastosowanie metody Data Envelopment Analysis do badania efektywności europejskich giełd papierów wartościowych*, rozprawa doktorska. Poznań: Uniwersytet Ekonomiczny.
8. Drucker, P.F. (2009). *Menedżer skuteczny*. Warszawa: MT Biznes.
9. Dudycz, T. (2012). Wstęp. W: T. Dudycz, G. Osbert-Pociecha, B. Brycz (red.), *Efektywność - rozważania nad istotą i pomiarem* (s. 11). Wrocław: Prace Naukowe UE, 261.
10. Grzesiak, S., Wyrozębska, A. (2014). Wykorzystanie metody DEA (analizy obwiedni danych) do oceny efektywności technicznej oddziałów szpitalnych. *Studia i prace Wydziału Nauk Ekonomicznych i Zarządzania*, 36(2), 253-272.
11. Guzik, B. (2009a). Podstawowe możliwości analityczne modelu CCR-DEA. *Badania operacyjne i decyzje*, 1, 65. Wrocław: Politechnika Wroclawska.
12. Guzik, B. (2009b). Propozycja metody szacowania efektywności instytucji non profit. *Roczniki Ekonomiczne*, 2, 75-92. Bydgoszcz: Wydawnictwo KPSW.
13. Hamrol, A. (2008). *Zarządzanie jakością z przykładami*. Warszawa: PWN.

14. Kamerschen, D.R., McKenzie, R.B., Nardinelli, C. (1992). *Ekonomia*. Gdańsk: Fundacja Gospodarcza NSZZ Solidarność.
15. Kozuń-Cieślak, G. (2013). Efektywność – rozważania nad istotą i typologią. *Kwartalnik Kolegium Ekonomiczno-Społecznego Studia i Prace*, 4, 14-15. <https://doi.org/10.33119/KKESiP.2013.4.1>
16. Ray, S.C., Mukherjee, K. (1998). Quantity, quality, and efficiency for a partially super-additive cost function: Connecticut public schools revisited. *Journal of Productivity Analysis*, (10), 47-62. <https://doi.org/10.1023/A:1018322023051>
17. Pietrzak, P., Brzezicki, Ł. (2017). Wykorzystanie sieciowego modelu DEA do pomiaru efektywności wydziałów Politechniki Warszawskiej. *Edukacja*, 3(142), 83-93. <https://doi.org/10.24131/3724.170306>
18. Pietrzak, P., Gołaś, M. (2018). Efektywność i skuteczność kształcenia akademickiego na przykładzie Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. *Zeszyty Naukowe SGGW - Ekonomika i organizacja gospodarki żywnościowej*, 122, 17-28. <https://doi.org/10.22630/EIOGZ.2018.122.11>
19. Ruggiero, J., Vitaliano, D.F. (1999). Assessing the efficiency of public schools using Data Envelopment Analysis and Frontier Regression. *Contemporary Economic Policy*, 17(3), 321-331. <https://doi.org/10.1111/j.1465-7287.1999.tb00685.x>
20. Samuelson, P. A., Nordhaus, W. D. (1999). *Ekonomia*. Warszawa: PWN, t.1.
21. Stoner, J.A.F., Freeman, R.E., Gilbert, D.R. (1997). *Kierowanie*. Warszawa: PWE.
22. Wolszczak-Derlacz, J. (2013). *Efektywność naukowa, dydaktyczna i wdrożeniowa publicznych szkół wyższych w Polsce – podejście nieparametryczne*. Gdańsk: Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej.