

Dr hab. Joanna Domagała, prof. SGGW  
 Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie  
 ORCID: 0000-0001-9801-4344  
 e-mail: joanna\_domagala@sggw.edu.pl

Mgr Maciej Borkowski  
 Koło Naukowe Logistyki w Szkole Główniej Gospodarstwa Wiejskiego  
 e-mail: maciej.borkowski998@wp.pl

# Zróźnicowanie efektywności sektora towarowego transportu drogowego w Unii Europejskiej

*Diversification of the efficiency of the road freight transport sector in the European Union*

## Streszczenie

Celem artykułu jest określenie i porównanie efektywności sektorów towarowego transportu drogowego w krajach UE przy wykorzystaniu metody Data Envelopment Analysis (DEA). DEA jest wielowymiarową metodą badania efektywności, umożliwiającą porównanie wielu efektów z wieloma nakładami. W ramach badań obliczono model DEA ukierunkowany na maksymalizację efektów. Jako efekty uwzględniono: przychody sektora transportu drogowego (mln euro) oraz pracę przewozową (tkm), zaś jako nakłady uwzględniono: zatrudnienie (tys. os.); długość sieci drogowej (km); zużycie energii (Mtoe); zarejestrowane pojazdy ciężarowe (szt.). Wyniki badań wskazują, że 10 z 28 badanych sektorów transportu w UE było w pełni efektywnych. Dla sektorów nieefektywnych, bazując na koncepcji benchmarkingu, zaproponowano zmiany w poziomie efektów.

## Słowa kluczowe:

sektor, transport drogowy, efektywność, metoda Data Envelopment Analysis, UE

## Abstract

The aim of the article is to use the Data Envelopment Analysis method to determine the efficiency of the road freight transport sectors in EU countries. The DEA method is a multidimensional efficiency tool that allows researchers to compare multiple effects with multiple inputs. As part of the research, the DEA model aimed at maximizing the effects was calculated. The outputs included: turnover of the road transport sector and payload-distance (tonne-kilometers), while the inputs included: employment; length of road network; energy consumption; registered trucks. Research results show that 10 out of 28 analyzed transport sectors in the EU were efficient. For ineffective sectors, based on the concept of benchmarking, changes in the level of effects have been proposed.

## Keywords:

sector, road transport, efficiency, Data Envelopment Analysis, EU

JEL: R4, C67, C80

## Wprowadzenie

Transport jest jednym ze strategicznych sektorów gospodarki UE. Sektor ten ułatwia integrację europejską, gdyż w pełni połączone ze sobą i zrównoważone sieci transportowe są warunkiem niezbędnym, aby zagwarantować prawidłowe funkcjonowanie europejskiego jednolitego rynku. W 2019 r. usługi transportowe wniosły około 5% unijnej war-

tości dodanej brutto i zapewniły 5,4% wszystkich miejsc pracy. W 2019 r. w ramach transportu towarów w UE-27 wykonano pracę przewozową wynoszącą 3 392 mld tkm, z czego 52% wykonał transport drogowy (*Statistical pocketbook...*, 2021).

Efektywność transportu w warunkach globalnych kształtowana jest pod wpływem różnorodnych uwarunkowań i czynników. Ważnym aspektem analiz jest pomiar i porównanie efektywności na pozio-

mie mikro (przedsiębiorstw transportowych), mezo (sektorów) i makro (krajów). Efektywność przedsiębiorstw czy sektorów transportu można analizować przy wykorzystaniu metod parametrycznych i nieparametrycznych. Do pierwszej grupy metod można zaliczyć: Stochastic Frontier Analysis (SFA), Thick Frontier Analysis (TFA) oraz Distribution Free Approach (DFA). Z kolei wśród metod nieparametrycznych najczęściej stosowane są: Data Envelopment Analysis (DEA) and Free Disposal Hull (FDH).

Zastosowanie nieparametrycznej metody DEA w odniesieniu do sektora transportowego nie jest nowym podejściem. Metoda DEA była stosowana zwłaszcza przy dokonywaniu pomiaru i oceny efektywności lotnisk, portów morskich, dróg, linii kolejowych i firm transportu miejskiego. Model DEA był wykorzystywany zarówno do obliczenia efektywności firm transportowych, jak i do porównań międzykrajowych. Pomiar efektywności transportu z wykorzystaniem metody DEA w swojej pracy zastosowali m.in. J. Odeck i L. Hjalmarsson (1996), którzy wykazali przydatność modelu DEA jako narzędzia do oceny efektywności samochodów ciężarowych. M. G. Karlaftis (2004) wykorzystał DEA do oceny wydajności i skuteczności 256 amerykańskich systemów tranzytowych. L. Lan-Bing i H. Jin-Li (2010) najpierw przeanalizowali system kolejowy we wszystkich chińskich regionach i ocenili jego wydajność, bazując na DEA i Malmquist Productivity Index, a następnie zidentyfikowali kluczowe czynniki wpływające na wydajność kolei. B. R. Sampaio i in. (2008) przeanalizowali sprawność techniczną 19 systemów transportowych w Europie i Brazylii. T. Klieštík (2009) zastosował model DEA zorientowany na efekty do oceny efektywności 15 firm transportowych ze Słowacji. M.-M. Yu (2008) badał wydajność i skuteczność 40 sieci linii kolejowych. Z kolei J. Domagała (2019) oraz J. Baran i A. Górecka (2015) analizowały za pomocą metody DEA efektywność oraz produktywność transportu morskiego i portów morskich. M. E. Ozbek i in. (2009) zastosowali DEA do pomiaru wydajności sześciu różnych państwowych departamentów transportu. J. Han i Y. Hayashi (2008) przy użyciu podejścia DEA badali efektywność miejskich systemów transportowych w Chinach na podstawie danych z 652 miast. F. Cruijssen i in. (2010) opisali praktyczne zastosowanie różnych modeli DEA w analizie flamandzkiego sektora transportu drogowego. Y. Zhao i in. (2011) oraz Y. C. Chiou i in. (2012) zastosowali DEA do pomiaru efektywności wyznaczania trasy przewozu. K. H. Lau (2013) zastosował DEA do pomiaru wydajności i racjonalizacji sieci dystrybucji jako alternatywnego podejścia do konwencjonalnej metody optymalizacji tras dostaw i harmonogramów poprzez programowanie liniowe. R. Merkert i L. Mangia (2014) przeanalizowali

zowali efektywność kosztową 35 włoskich i 46 norweskich portów lotniczych. J. Baran i A. K. Górecka (2019), wykorzystując metodę DEA, porównały efektywność transportu drogowego i kolejowego w UE oraz przeanalizowały zależności pomiędzy efektywnością transportu a wpływem transportu na środowisko.

Ponadto niektórzy autorzy stosowali jednocześnie zarówno nieparametryczne, jak i parametryczne metody do oceny sektora transportowego. Na przykład L. Lan i E. T. J. Lin (2003) użyli metody DEA i SFA do szacowania wydajności produkcyjnej 74 systemów kolejowych, podczas gdy P. G. Michaelides i in. (2009) porównali wyniki DEA oraz SFA w pomiarze sprawności technicznej międzynarodowego transportu lotniczego z wykorzystaniem danych 24 największych sieciowych linii lotniczych na świecie.

Celem artykułu jest określenie efektywności i benchmarking<sup>1</sup> sektorów towarowego transportu drogowego w UE przy wykorzystaniu metody Data Envelopment Analysis. W ramach badań sformułowano następującą hipotezę badawczą: Sektor towarowego transportu drogowego w UE charakteryzuje się wysoką efektywnością.

## Metoda badań

Materiałem źródłowym do badań były dane za 2018 r. opublikowane w *Statistical pocketbook 2021. EU transport in figures* dotyczące sektora transportu drogowego w poszczególnych krajach członkowskich UE. Zakres czasowy badań podyktowany był dostępnością danych — najbardziej aktualne i kompletne dla wszystkich krajów UE dane obejmowały rok 2018. Obiekty do badań zostały dobrane w sposób celowy. Próbkę badawczą stanowiło 28 sektorów towarowego transportu drogowego z poszczególnych krajów Unii Europejskiej.

Do pomiaru efektywności sektorów transportu została wykorzystana metoda Data Envelopment Analysis<sup>2</sup> (DEA). Metoda DEA jest zaliczana do nieparametrycznych metod badania efektywności obiektów. W 1978 r. autorzy metody DEA, A. Charnes, W. W. Cooper i E. Rhodes (1978), bazując na koncepcji produktywności sformułowanej przez G. Debreu i M. J. Farella, definiując 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 (Charnes i in., 1978; Charnes i in., 1994; Cooper i in., 2007). Matematycznie model DEA można zaprezentować w następujący sposób (Charnes i in., 1994; Cooper i in., 2007):

funkcja celu:  $\max_{u,v} \frac{\sum_{r=1}^s \mu_r y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}}$

przy następujących warunkach ograniczających:

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

$$\mu_r, v_i \geq 0;$$

$$\frac{\mu_r}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} \geq \varepsilon \quad \text{dla } r = 0, 1, \dots, s;$$

$$\frac{v_i}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} \geq \varepsilon \quad \text{dla } i = 0, 1, \dots, m;$$

gdzie:

$s$  — liczba efektów,

$m$  — liczba nakładów,

$\mu_r$  — 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 ( $i = 1, \dots, N$ ) w obiekcie  $j$ -tym ( $j = 1, \dots, J$ ).

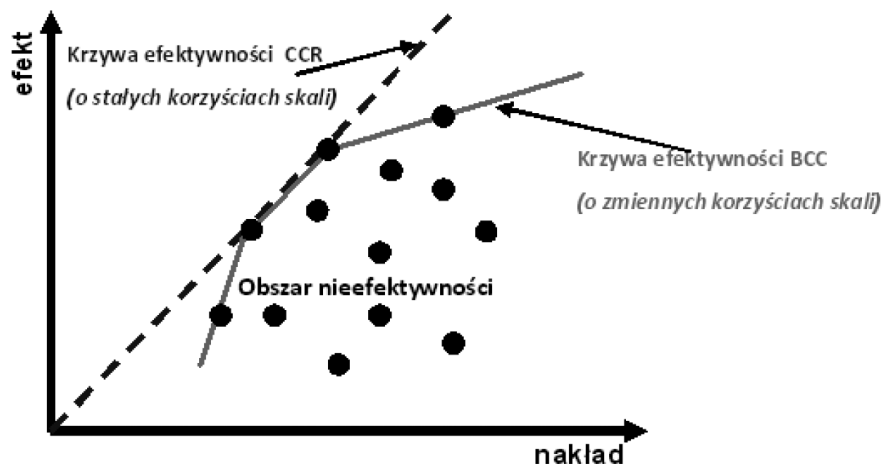
Metoda DEA umożliwia badanie relacji pomiędzy poziomem wielu nakładów i wielu efektów. W modelu DEA  $m$  nakładów i  $s$  różnych efektów zostaje sprowadzonych do pojedynczych wielkości „syntetycznego” nakładu i „syntetycznego” efektu, które następnie są wykorzystywane przy obliczaniu

wskaźnika efektywności obiektu (Rogowski, 1998). W programowaniu liniowym wskaźnik ten jest funkcją celu. W metodzie DEA można wyróżnić dwa warianty funkcji celu: maksymalizację efektów przy danych nakładach lub minimalizację nakładów przy danych efektach (Cooper i in., 2007). Z kolei, biorąc pod uwagę rodzaj efektów skali, wyróżnia się: model CCR zakładający stałe efekty skali (nazwa pochodzi od twórców modelu: Charnes–Cooper–Rhodes), model BCC zakładający zmienne efekty skali (nazwa pochodzi od twórców modelu: Banker–Charnes–Cooper) oraz model NIRS zakładający niewzrastające efekty skali (*Non-Increasing Returns-to-Scale*).

W metodzie DEA obiektami analizy są tzw. jednostki decyzyjne — *Decision Making Units* (DMU) (Charnes i in., 1994). Przedmiotem analizy jest efektywność, z jaką dana DMU transformuje posiadane nakłady w wyniki. Rozwiązanie funkcji celu za pomocą programowania liniowego pozwala na ustalenie krzywej efektywności, na której znajdują się wszystkie najbardziej efektywne jednostki badanej zbiorowości (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  $<0, 1>$ . Metoda DEA umożliwia porównanie (benchmarking) danego obiektu

Rysunek 1

Efektywność w ujęciu metody DEA (model: 1 efekt i 1 nakład)



Źródło: opracowanie własne na podstawie: Cooper i in., 2007.

z najlepszymi w branży oraz pozwala na stworzenie rankingu badanych obiektów (Cooper i in., 2007).

W metodzie DEA dla obiektu nieefektywnego można ustalić technologię optymalną, która jest określana na podstawie technologii obiektów o najwyższej względnej efektywności w badanej grupie. Technologia optymalna wyznaczana jest na podstawie wzoru (Guzik, 2009):

$$T_o^* = \sum_{j=1}^N \lambda_{oj} \cdot t_j,$$

gdzie:

$T_o^*$  — technologia optymalna dla  $o$ -tego obiektu,

$t_j$  — technologia empiryczna  $j$ -tego obiektu,

$\lambda_{oj}$  — udział technologii  $j$ -tego obiektu w technologii optymalnej dla  $o$ -tego obiektu.

W artykule do obliczenia modelu DEA wykorzystano program DEA-Solver Pro V14.

## Wyniki badań

W ramach badań empirycznych dokonano oceny efektywności sektorów towarowego transportu drogowego w 28 krajach UE. Zaletą metody DEA jest założenie, że zmienne przyjęte do modelu nie muszą być w tych samych jednostkach, powinny one jednak odpowiadać czynnikom produkcji: ziemi, pracy i kapitałowi. Bazując na literaturze przedmiotu, do analiz jako czynnik pracy przyjęto liczbę zatrudnionych w sektorze. Jako odpowiednik ziemi przyjęto zużycie energii, z kolei jako kapitał uwzględniono zarejestrowane pojazdy ciężarowe oraz długość sieci drogowej. Jako efekty przyjęto dwie zmienne: przychody sektora oraz wykonaną pracę przewozową. Przyjęte do modeli DEA zmienne oznaczono następująco:

- efekt  $y_1$  — przychody (mln euro);
- efekt  $y_2$  — praca przewozowa (mld tkm);
- nakład  $x_1$  — zatrudnienie (tys. os.);
- nakład  $x_2$  — długość sieci drogowej (km);

■ nakład  $x_3$  — zużycie energii (Mtoe);

■ nakład  $x_4$  — zarejestrowane pojazdy ciężarowe (szt.).

W tabeli 1 dokonano zestawienia statystyk opisowych poszczególnych zmiennych w badanej próbie.

Bazując na literaturze przedmiotu (Zhou i in., 2008), do badania wybrano model CCR ukierunkowany na maksymalizację efektów (*output-oriented model*). Efektywność techniczna wyliczona zgodnie z założeniami modelu zorientowanego na efekty pozwoliła poddać analizie i zdiagnozować, o ile trzeba zwiększyć wyniki danego sektora transportu drogowego, aby był on efektywny przy tej samej wielkości poniesionych nakładów. Ranking sektorów transportu według modelu CCR przedstawiono na rysunku 2. Efektywność badanych sektorów transportu drogowego kształtowała się w przedziale od 0,48 do 1,00, a średnia efektywność badanej próby wyniosła 0,85.

W modelu ukierunkowanym na maksymalizację efektów w 10 krajach UE sektory transportu drogowego uznano za efektywne. Były to: Dania, Niemcy, Włochy, Litwa, Luksemburg, Holandia, Polska, Portugalia, Słowenia, Słowacja. Wskaźniki ich efektywności osiągnęły wartości równe 1, co oznacza, że ponad 1/3 krajów UE posiada sektory towarowego transportu drogowego, które efektywnie wykorzystują posiadane nakłady (pracowników, sieć drogową, energię, pojazdy ciężarowe) i przetwarzają je w odpowiednie wyniki (przychody, pracę przewozową).

Sektory transportu drogowego, dla których wskaźniki efektywności były mniejsze od 1, zostały uznane za nieefektywne. W kolejnym etapie badań określono, o ile nieefektywne sektory powinny zwiększyć swoje efekty (przychody i/lub pracę przewozową), aby mogły zostać uznane za efektywne przy tej samej wielkości poniesionych nakładów. W tym celu zgodnie z ideą benchmarkingu dla krajów charakteryzujących się nieefektywnym sektorem transportu zidentyfikowano wzorce efektywności (benchmarki). Na podstawie tych wzorców dla nieefektywnych państw wyznaczono kombinację technologii pozwalającą osiągnąć większe efekty przy danych nakładach. Obliczenia zostały przeprowadzone na podstawie wartości współczynników

Tabela 1

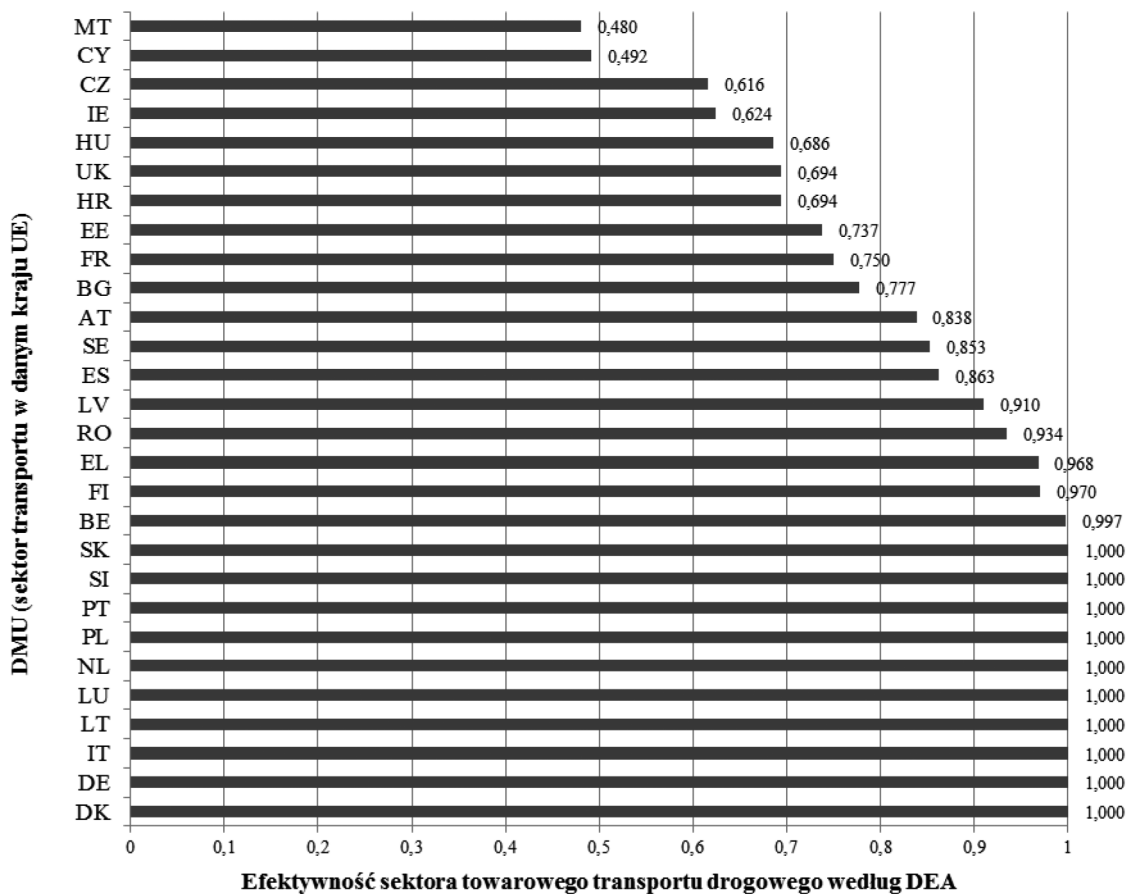
Statystyki opisowe nakładów i efektów wykorzystanych w modelu DEA

Wyszczególnienie	$x_1$ zatrudnienie	$x_2$ długość sieci drogowej	$x_3$ zużycie energii	$x_4$ zarejestrowane pojazdy ciężarowe	$y_1$ przychody	$y_2$ praca przewozowa
Max.	458,4	1 104 087,0	53,3	6 947,5	50 081,0	316,8
Min.	1,3	2 640,0	0,2	45,0	121,0	0,3
Średnia	124,9	176 542,9	11,0	1 407,4	13 376,2	68,7
Odchylenie standardowe	139,9	231 035,9	14,2	1 841,7	15 395,7	88,4

Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 2

Efektywność sektorów towarowego transportu drogowego w krajach UE



Źródło: badania własne.

kombinacji liniowej technologii wspólnej —  $\lambda$  (tabela 2).

Przykładowo dla sektora transportu drogowego w Austrii punktami odniesienia (tzw. benchmarkami) są sektory z Danii, Luksemburga i Holandii (tabela 2). Zatem aby austriacki sektor transportu drogowego można było uznać za efektywny przy danym poziomie nakładów, sektor powinien wypracować przychody na poziomie 14715,6 mln euro oraz wykonać pracę przewozową na poziomie 48,1 mld tkm. Zalecane wielkości efektów znajdują się powyżej wielkości efektów generowanych przez austriacki sektor transportu drogowego. Zatem sektor towarowego transportu drogowego w Austrii można byłoby zaliczyć do efektywnych, gdyby przy danych nakładach osiągnął przychody większe o 54,1% oraz wykonał większą o 86,5% pracę przewozową.

Potencjalne zmiany, jakie powinny dokonać się w zakresie efektów sektora transportu drogowego w poszczególnych krajach UE, przedstawiono w tabeli 3. W ramach przeprowadzonych badań można przyjąć, że najmniejsze zmiany do uzyskania pełnej

efektywności dotyczą Belgii, Finlandii i Rumunii. W przypadku Belgii należałoby zwiększyć przychody sektora o 0,3% i pracę przewozową o 3,0%, w odniesieniu do Finlandii odpowiednio o 14,9% i 3,0%, a w przypadku Rumunii o 16,8% oraz 25,7%. Kraje charakteryzujące się najniższą efektywnością sektora towarowego transportu drogowego to Malta, Cypr, Czechy, Irlandia. Należy zaznaczyć, że są to jedne z najmniejszych zarówno powierzchniowo, jak i ludnościowo krajów UE, co oznacza że potrzeby w zakresie transportu towarów też będą mniejsze, a tym samym generowane przychody i praca przewozowa są także na niższym poziomie. Zgodnie z przeprowadzonymi obliczeniami generowane przez sektory transportu w tych krajach efekty powinny wzrosnąć od 1,5 do nawet 3,5 razy, aby można było je uznać za w pełni efektywne w porównaniu z innymi krajami (tabela 3). Należy mieć na uwadze, że są to potencjalne propozycje zmian, które w praktyce mogą być trudne do zrealizowania. Niemniej jednak wyniki badań wskazują na dość duże zróżnicowanie w zakresie efektywności sektora towarowego transportu drogowego w po-

Tabela 2

Współczynniki kombinacji liniowej ( $\lambda$ ) technologii wspólnej dla sektorów transportu z poszczególnych krajów UE

Kraje charakteryzujące się nieefektywnym sektorem transportu	Efektywne sektory transportu (benchmarki)									
	DK	DE	LU	LT	PL	NL	SI	PT	IT	SK
BE	1,436	.	0,980	.	.	0,067	.	.	.	.
BG	.	0,013	.	0,485	.	0,034	.	0,217	.	.
CZ	.	.	.	0,910	.	0,437	.	.	.	.
EE	.	.	.	0,115	.	0,053	.	.	.	.
IE	.	.	1,451	.	.	0,045	0,255	.	.	.
EL	.	.	1,719	.	.	.	0,837	.	.	.
ES	.	.	3,482	.	.	.	11,414	.	.	.
FR	.	.	8,202	.	.	2,157	1,119	.	.	.
HR	.	.	0,396	.	0,011	.	0,544	.	.	.
CY	.	.	0,269	.	.	.	.	.	.	.
LV	.	.	.	0,195	.	.	0,088	.	.	0,169
HU	.	.	.	0,272	.	0,111	1,610	.	.	.
MT	0,034	.	0,026	.	.	.	.	.	.	.
AT	0,157	.	2,074	.	.	0,316	.	.	.	.
RO	.	.	.	0,826	.	0,134	.	0,536	.	.
FI	.	0,283	.	.	.	0,212	0,570	.	.	.
SE	.	0,082	.	.	.	0,436	0,918	.	.	.
UK	.	11,564	.	.	.	0,306	5,846	.	.	.

Uwaga: (.) wypełnienie niecelowe.

Źródło: badania własne.

Tabela 3

Zalecenia dotyczące zwiększenia efektów dla sektorów transportu w przekroju poszczególnych krajów UE w celu poprawy efektywności

Kraje charakteryzujące się nieefektywnym sektorem transportu	Przychody		Praca przewozowa	
	zalecana zmiana [w %]	poziom [w mld euro]	zalecana zmiana [w %]	poziom [w mld tkm]
BBE	0,3	11 976	3,0	33,7
BG	104,9	8 787	57,9	42,6
CZ	163,0	25 267	170,5	111,2
EE	97,5	2 799	111,3	12,3
IE	178,6	6 822	140,6	27,9
EL	124,5	5 683	3,3	30,3
ES	95,9	67 534	15,9	277,1
FR	96,1	96 939	86,5	320,6
HR	210,7	5 423	77,8	22,4
CY	270,1	666	257,7	3,2
LV	83,2	2 832	14,6	17,2
HU	155,0	16 055	91,4	72,5
MT	257,0	432	348,1	1,3
AT	54,1	14 716	86,5	48,1
RO	16,8	12 245	25,7	73,9
FI	14,9	7 959	3,0	29,2
SE	61,6	18 182	33,1	57,9
UK	157,6	74 940	89,1	301,2

Źródło: badania własne.

szczególnych krajach UE. Otrzymane wyniki, pogłębione dodatkowymi analizami, mogłyby być interesujące dla decydentów kształtujących politykę transportową UE, ponieważ wskazują, które sektory wymagają szczególnego wsparcia w zakresie rozwoju, a które być może to wsparcie wykorzystują nieefektywnie.

## Podsumowanie

Badania przeprowadzone na potrzeby niniejszego artykułu pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

1. Efektywność sektorów towarowego transportu drogowego w krajach UE jest zróżnicowana.
2. Bazując na podejściu nieparametrycznym (DEA), za sektory towarowego transportu drogowego, które efektywnie przetwarzają posiadane nakłady w efekty, należy uznać sektory z takich krajów jak: Dania, Niemcy, Włochy, Litwa, Luksemburg, Holandia, Polska, Portugalia, Słowenia, Słowacja.
3. W ramach przeprowadzonych badań potwierdzono postawioną hipotezę badawczą, że sektor towa-

rowego transportu drogowego w UE charakteryzuje się wysoką efektywnością. Średnia efektywność sektora wyliczona według metody DEA kształtowała się na poziomie 0,85, co oznacza, że sektor generuje średnio o 15% mniej efektów niż byłby w stanie wytworzyć przy pełnej efektywności, wykorzystując ten sam poziom nakładów.

4. Przeprowadzone badania mają swoje ograniczenia wynikające przede wszystkim z wad metody DEA. Wyniki metody DEA są szczególnie wrażliwe na błąd pomiaru (zależą od przyjętych zmiennych efektów i nakładów oraz wielkości próbki). Efektywność obiektu jest względna, ponieważ jest badana w stosunku do innych obiektów z badanej grupy. Efektywność jest mierzona tylko w odniesieniu do najlepszych praktyk w określonej próbie, a zatem porównania wyników między różnymi badaniami są niewiarygodne.
5. Efektywność jest złożonym zagadnieniem ekonomicznym, a metody stosowane do jej analizy mają swoje zalety i wady, dlatego zdaniem autorów przy ocenie efektywności transportu na poziomie mikro, mezo czy makro warto stosować podejście zintegrowane — bazujące na różnych metodach, które wzajemnie się uzupełniają i dzięki temu pozwalają formułować wiarygodne wnioski.

## Przypisy/Notes

<sup>1</sup> Benchmarking — jest to metoda zarządzania strategicznego, polegająca na porównywaniu wyników swojej organizacji z praktyką funkcjonowania i wynikami działania najlepszych przedsiębiorstw na rynku, a następnie zaadaptowaniu zasadniczych cech tych wzorcowych praktyk do procesów realizowanych we własnej organizacji.

<sup>2</sup> Polskie odpowiedniki to: analiza obwiedni danych, analiza otoczki danych, graniczna analiza danych.

## Bibliografia/References

- Baran, J., & Górecka, A. (2015). Seaport efficiency and productivity based on Data Envelopment Analysis and Malmquist Productivity Index, Logistics, Supply Chain, Sustainability & Global Challenges. *Logistics & Sustainable Transport*, 6(1), 25–33. <https://doi.org/10.1515/jlst-2015-0008>
- Baran, J., & Górecka, A. K. (2019). Economic and environmental aspects of inland transport in EU countries, *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 32(1), 1037–1059. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2019.1578680>
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2, 429–444. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)
- Charnes, A., Cooper, W. W., Lewin, A. Y., & Seiford, L. M. (1994). *Data Envelopment Analysis: Theory, methodology and application*. Kluwer Academic Publishers. <https://doi.org/10.1007/978-94-011-0637-5>
- Chiou, Y. C., Lan, L. W., & Yen, B. T. (2012). Route-based Data Envelopment Analysis models. *Transportation Research. Part E: Logistics and Transportation Review*, 48(2), 415–425. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2011.10.006>
- Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Tone, K. (2007). *Data Envelopment Analysis: A comprehensive text with models, applications, references and DEA-Solver software*. Kluwer Academic Publishers. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-45283-8>
- Crujssens, F., Dullaert, W., & Joro, T. (2010). Freight transportation efficiency through horizontal cooperation in Flanders. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 13(3), 161–178. <https://doi.org/10.1080/13675560903224962>
- Domagała, J. (2019). Efficiency of Polish seaports against the background of the largest ports in Europe. *Scientific Journal of Warsaw University of Life Sciences*, 4(3), 85–94. <https://doi.org/10.22630/eiol.2019.4.3.25>
- Guzik, B. (2009). *Podstawowe modele DEA w badaniu efektywności gospodarczej i społecznej*. Wydawnictwo UE w Poznaniu.
- Han, J., & Hayashi, Y. (2008). A Data Envelopment Analysis for evaluating the performance of China's urban public transport systems. *International Journal of Urban Sciences*, 12(2), 173–183. <https://doi.org/10.1080/12265934.2008.9693639>
- Karlaftis, M. G. (2004). A DEA approach for evaluating the efficiency and effectiveness of urban transit systems. *European Journal of Operational Research*, 152, 354–364. [https://doi.org/10.1016/s0377-2217\(03\)00029-8](https://doi.org/10.1016/s0377-2217(03)00029-8)
- Klieštík, T. (2009). Kvantifikácia efektivity činností dopravných podnikov pomocou data envelopment analysis (The Quantification of the efficiency of transport enterprises using the Data Envelopment Analysis). *E+M Ekonomie a Management*, 1, 133–145.
- Lan, L., & Lin, E. T. J. (2003). Measurement of railways productive efficiency with Data Envelopment Analysis and Stochastic Frontier Analysis. *Journal of the Chinese Institute of Transportation*, 15, 49–78.

- Lan-Bing, L., & Jin-Li, H. (2010). Efficiency analysis of the regional railway in China: An application of DEA-Tobit approach. *Journal of Information and Optimization Sciences*, 31(5), 1071–1085. <https://doi.org/10.1080/02522667.2010.10700011>
- Lau, K. H. (2013). Measuring distribution efficiency of a retail network through data envelopment analysis. *International Journal of Production Economics*, 146(2), 598–611. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.08.008>
- Merkert, R., & Mangia, L. (2014). Efficiency of Italian and Norwegian airports: A matter of management or of the level of competition in remote regions? *Transportation Research. Part A. Policy and Practice*, 62, 30–38. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2014.02.007>
- Michaelides, P. G., Belegri-Roboli, A., Karlaftis, M., & Marinos, T. (2009). International air transportation carriers: Evidence from SFA and DEA technical efficiency result (1991–2000). *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 9(4), 347–362.
- Odeck, J., & Hjalmarsson, L. (1996). The performance of trucks — an evaluation using data envelopment analysis. *Transportation Planning and Technology*, 20(1), 49–66.
- Ozbek, M. E., Garza, J. M., & Triantis, K. (2009). Data envelopment analysis as a decision-making tool for transportation professionals. *Journal of Transportation Engineering ASCE*, 135(11), 822–831. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)te.1943-5436.0000069](https://doi.org/10.1061/(asce)te.1943-5436.0000069)
- Rogowski, G. (1998). *Metody analizy i oceny działalności banku na potrzeby zarządzania strategicznego*. Wydawnictwo Wyższej Szkoły Bankowej w Poznaniu.
- Sampaio, B. R., Neto, O. L., & Sampaio, Y. (2008). Efficiency analysis of public transport systems: Lessons for institutional planning. *Transportation Research. Part A: Policy and Practice*, 42(3), 445–454. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2008.01.006>
- Statistical pocketbook 2021. *EU transport in figures*. (2021). European Union.
- Yu, M.-M. (2008). Assessing the technical efficiency, service effectiveness, and technical effectiveness of the worlds railways through NDEA analysis. *Transportation Research. Part A: Policy and Practice*, 42(10), 1283–1294. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2008.03.014>
- Zhao, Y., Triantis, K., Murray-Tuite, P., & Edara, P. (2011). Performance measurement of a transportation network with a downtown space reservation system: A network-DEA approach. *Transportation Research. Part E: Logistics and Transportation Review*, 47(6), 1140–1159. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2011.02.008>
- Zhou, P., Ang, B. W., & Poh, K. L. (2008). A survey of data envelopment analysis in energy and environmental study. *European Journal of Operational Research*, 189(1), 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.04.042>

#### Dr hab. Joanna Domagała, prof. SGGW

Profesor Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, pracownik Katedry Logistyki w Instytucie Ekonomii i Finansów. Główne obszary jej zainteresowań naukowych to: efektywność przedsiębiorstw, internacjonalizacja, globalizacja sektorów przemysłu spożywczego, systemy logistyczne w agrobiznesie, zarządzanie i planowanie systemów logistycznych w przedsiębiorstwach oraz zarządzanie łańcuchem dostaw. Jest autorką lub współautorką ponad 150 publikacji naukowych. Odbyla staże zagraniczne na University of Georgia (Stany Zjednoczone) i Shanghai Ocean University (Chiny). Była recenzentem i współredaktorem gościnnym wielu międzynarodowych czasopism. Jest członkiem Polskiego Towarzystwa Logistycznego, Europejskiego Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa oraz Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu. Jest kierownikiem Studiów Podyplomowych Logistyka.

#### Mgr Maciej Borkowski

Absolwent kierunku logistyka w Szkole Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. W latach 2019–2022 pełnił funkcję prezesa Koła Naukowego Logistyki oraz koordynował organizację Warszawskich Dni Logistyki. Jest pracownikiem przedsiębiorstwa DSV.

#### Dr hab. Joanna Domagała, prof. SGGW

An associate professor in the Department of Logistics, Institute of Economics and Finance, Warsaw University of Life Sciences (WULS). The main fields of her scientific interest are: enterprise efficiency, internationalization, globalization of the food industry sectors, logistics systems in agribusiness, management, and planning of logistics in enterprises, and supply chain management. She is the author or co-author of more than 150 scientific publications. She has participated in foreign internships at the University of Georgia (USA) and Shanghai Ocean University (China). She has been a reviewer and a guest co-editor for many international journals. She is a member of the Polish Logistics Society, European Association of Agricultural Economists, and Association of Agricultural Economists and Agribusiness. She is the head of Postgraduate Studies in Logistics.

#### Mgr Maciej Borkowski

A graduate of logistics at the Warsaw University of Life Sciences. In 2019–2022 he was the President of the Logistics Science Club and coordinated the organization of the Warsaw Logistics Days. He is an employee of the DSV company.