

ROZDZIAŁ 5.

EFEKTYWNOŚĆ TECHNICZNA GOSPODARSTW ROLNYCH – POLSKIE ROLNICTWO NA TLE ROLNICTWA UNII EUROPEJSKIEJ

1. Wprowadzenie

Efektywność ekonomiczna jest kwestią ważną, ponieważ traktuje się ją jako kryterium osiągnięcia długookresowych celów każdej prowadzonej działalności gospodarczej, a jej wzrost jest oczekiwanym efektem, zarówno na poziomie mikro-, mezo-, jak i makroekonomicznym. Najprostszym sposobem określenia efektywności ekonomicznej jest wykorzystanie miar klasycznych, tj. rentowności kapitału/majątku, wydajności pracy¹. Miary te z uwagi na prostotę są powszechnie wykorzystywane w praktyce gospodarczej, jednak charakteryzują one jedynie wybrany obszar działalności obiektu oraz nie określają sposobu dopasowania się obiektu do warunków otoczenia. Są one, zatem przydatne do oceny bieżącej sytuacji, jednak mają ograniczenia w określeniu sposobu jej poprawy. To miary alternatywne efektywności ekonomicznej², tj. efektywność techniczna, alokacyjna, skali, zakresu pozwalają na określenie źródeł efektywności ekonomicznej, wyznaczają ścieżki jej wzrostu oraz co ważne wskazują obszary nieefektywności ekonomicznej, jednak ich zastosowanie wymaga wykorzystania zaawansowanych procedur obliczeniowych. Jednak, odpowiednio dobrane metody parametryczne i nieparametryczne wskazują, czy efektywność ekonomiczna obiektu wynika z wykorzystywanych technologii, czy przewagi kosztowej.

* dr Kamila Radlińska, Politechnika Koszalińska, 0000-0003-1953-3598

¹ Bojarszczuk, J., & Księżak, J. (2023). Efektywność ekonomiczna uprawy soi w zależności od sposobu uprawy. *Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu*, 25(4), 29.

² Pietrzak, M., Domagała, J., & Chlebicka, A. (2023). Konkurencyjność, produktywność i efektywność spółdzielni rolniczych na przykładzie polskiego sektora przetwórstwa mleka. *Zagadnienia Ekonomiki Rolnej*, 376(3), 15.

Efektywność techniczna jest, obok efektywności alokacyjnej, najistotniejszą składową efektywności ekonomicznej każdego podmiotu³, czy przedsiębiorstwa, w tym także gospodarstwa rolnego. W najogólniejszym rozumieniu jest relacją osiągniętego efektu do nakładu, który poniesiono na wytworzenie tego efektu, a w sytuacji wielowymiarowej sumy efektów do sumy nakładów i jest opisana jako sposób transformacji nakładu w efekt lub nakładów w sumę efektów⁴. Pełne poznanie tej relacji jest możliwe tylko wtedy, gdy do oszacowania wskaźników efektywności technicznej wykorzystane zostaną zaawansowane metody badawcze: metody ekonometryczne, czy metody programowania liniowego. Efektywność techniczna określona przy ich wykorzystaniu pozwala zidentyfikować ewentualny poziom nieefektywności wynikający z nieefektywnego wykorzystania technologii produkcji⁵.

Ocena efektywności transformacji nakładów w efekty jest szczególnie użyteczna do oceny przedsięwzięć, w których obok głównego celu działalności, tj. maksymalizacji zysku realizowane są inne ważne cele publiczne. Banki i instytucje sektora finansowego, szpitale, szkoły i uniwersytety, gospodarstwa rolne i przedsiębiorstwa sektora energetycznego itd. to przykłady podmiotów, w których w rachunek ekonomiczny powinny zostać włączone cele publiczne takie jak bezpieczeństwo systemu finansowego, zapewnienie dostępu do służby zdrowia, efektywna edukacja, produkcja bezpiecznej żywności, tj. w których mechanizmy rynkowe są w różnym stopniu regulowane przez państwo. Wykorzystanie rachunku efektywności technicznej pozwala podmiotom maksymalizować zysk z prowadzonej działalności wskazując nieefektywności wynikające z niepełnego wykorzystania technologii⁶. Natomiast, regulacje i ograniczenia administracyjne

³ Baran, J. (2016). Efektywność polskiego rolnictwa na tle pozostałych krajów Unii Europejskiej. *Wies i Rolnictwo*, 172(3), 70.

⁴ Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society Series A: Statistics in Society*, 120(3), 253-281; Charnes, A., Cooper, W. W., Golany, B., Seiford, L., & Stutz, J. (1985). Foundations of data envelopment analysis for Pareto-Koopmans efficient empirical production functions. *Journal of Econometrics*, 30(1-2), 91-107.

⁵ Staniszewski, J., & Matuszczak, A. (2023). Environmentally Adjusted Analysis of Agricultural Efficiency: A Systematic Literature Review of Frontier Approaches/Analiza skorygowanej środowiskowo efektywności rolnictwa – systematyczny przegląd literatury wykorzystującej podejście graniczne. *zagadnienia ekonomiki Rolnej/Problems of Agricultural Economics*, 374 (1), 37.

⁶ Fallahi, A., Ebrahimi, R., & Ghaderi, S. F. (2011). Measuring efficiency and productivity change in power electric generation management companies by using data envelopment analysis: A case study. *Energy*, 36(11), 6398-6405; Worthington, A. C. (2004). Frontier efficiency measurement in health care: a review of empirical techniques and selected applications. *Medical Care Research and Review*, 61(2), 135-170; Worthington,

skoncentrowane są na ograniczeniu nadmiernej konkurencji między podmiotami, co pozwala na zachowanie bezpieczeństwa ekonomicznego, ładu społecznego i celów zrównoważonego rozwoju w kraju i na świecie. W przeszłości działalność rolnicza skoncentrowana była na intensywniej transformacji zasobów ziemi i pracy oraz nakładów bieżących w produkcję rolniczą, co w krótkim okresie związane było ze wzrostem efektywności rolnictwa, jednak w dłuższej perspektywie doprowadziło do zmniejszenia produkcji żywności i pogorszenia jej jakości⁷. Ponadto, negatywne efekty środowiskowe wywołane przez intensywne techniki produkcji żywności⁸, tj. zwiększenie emisji gazów cieplarnianych, zanieczyszczenie gleb i wód wywołane intensywnym wykorzystaniem nawozów mineralnych i środków ochrony roślin, wyjałowienie gleb w wyniku koncentracji i mechanizacji upraw skierowały zainteresowanie rolników, ekonomistów rolnictwa i naukowców na grunt działań związanych ze zrównoważonym rolnictwem. W rezultacie pozostawiając bezpieczeństwo żywnościowe w centrum zainteresowania, jednak łącząc je z poszanowaniem celów środowiskowych⁹. Współcześnie celem działalności rolniczej jest, zatem zwiększanie produkcji żywności w sposób zrównoważony, dlatego ważnym w tym procesie jest systematyczny i wielowymiarowy pomiar efektywności technicznej gospodarstw rolnych¹⁰.

Celem głównym artykułu jest identyfikacja kategorii efektywności ekonomicznej, w szczególności efektywności technicznej gospodarstw rolnych i sposobów jej pomiaru. W artykule podjęto próba odpowiedzi na pytanie jakie podejścia teoretyczne i metodologiczne stosuje się do określania efektywności ekonomicznej gospodarstw rolnych oraz, jakie miejsce w analizie efektywności ekonomicznej zajmuje efektywność techniczna? Aby zrealizować tak postawiony cel przeprowadzono badanie empiryczne, którego przedmiotem było oszacowanie efektywności technicznej polskich gospodarstw rolnych i gospodarstw rolnych pozostałych krajów Unii Europejskiej w 2022 roku. W analizie empirycznej

A. C. (2001). An empirical survey of frontier efficiency measurement techniques in education. *Education Economics*, 9(3), 245-268.

⁷ Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418(6898), 672.

⁸ Kremen, C., & Merenlender, A. M. (2018). Landscapes that work for biodiversity and people. *Science*, 362(6412), eaau6020, 6.

⁹ Sanyé-Mengual, E., Gasperi, D., Michelin, N., Orsini, F., Ponchia, G., & Gianquinto, G. (2018). Eco-efficiency assessment and food security potential of home gardening: A case study in Padua, Italy. *Sustainability*, 10(7), 2124.

¹⁰ Wang, G., Shi, R., Mi, L., & Hu, J. (2022). Agricultural eco-efficiency: Challenges and progress. *Sustainability*, 14(3), 1051; Keating, B. A., Carberry, P. S., Bindraban, P. S., Asseng, S., Meinke, H., & Dixon, J. (2010). Eco-efficient agriculture: Concepts, challenges, and opportunities. *Crop Science*, 50, S-109.

skoncentrowano się na ocenie i porównaniu efektywności technicznej polskich gospodarstw rolnych z gospodarstwami rolnymi w pozostałych krajach Unii Europejskiej oraz określeniu czy gospodarstwa rolne w UE cechujące się wyższym poziomem efektywności technicznej osiągają wyższą wartość produkcji rolniczej.

Studia literatury pozwoliły na sformułowanie hipotez badawczych:

Hipoteza 1. Efektywność techniczna polskich gospodarstw rolnych jest wysoka – polskie gospodarstwa rolne efektywnie transformują nakłady w efekty.

Hipoteza 2. Gospodarstwa rolne w Unii Europejskiej cechujące się wyższą wartością produkcji osiągają wyższy poziom efektywności technicznej.

Treść artykułu została zaprezentowana w kolejnych częściach artykułu zgodnie z następującym porządkiem. Rozważania rozpoczyna część opisująca istotę efektywności ekonomicznej oraz sposobów jej pomiaru, w tym efektywności technicznej. W trzeciej części zaprezentowano metodę badań – sformułowano cel główny badania empirycznego, przedstawiono założenia badania empirycznego, tj. logikę pomiaru efektywności technicznej opartej na metodzie DEA, opisano dane i źródła danych. W ostatniej – przedstawiono wyniki analizy efektywności technicznej gospodarstw rolnych w Polsce i krajach Unii Europejskiej. Rozważania kończą uogólnione komentarze zawarte w Podsumowaniu.

2. Efektywność ekonomiczna rolnictwa – podstawy teoretyczne i metodologiczne

Efektywność ekonomiczna i jej pomiar stanowi jeden z najistotniejszych zagadnień w ekonomii, w tym także w ekonomice rolnictwa¹¹. W tradycyjnym ujęciu efektywność ekonomiczna rolnictwa obejmuje zasady gospodarowania zasobami, w tym lepszego ich wykorzystania, które mają prowadzić do zwiększania efektów ekonomicznych działalności rolniczej. Określa się ją jako relację uzyskanych przez dane gospodarstwo rolne efektów do poniesionych nakładów, relację pomiędzy ilością wytworzonych produktów, a ilością zużytych w procesie produkcji czynników produkcji. Określa w jakim stopniu prowadzona przez gospodarstwo rolne działalność umożliwiła osiągnięcie celu, sprowadza się do

¹¹ Tomczak, F. (2001). *Ekonomia a rozwój nauk rolniczych. Postępy Nauk Rolniczych*, 48(3), 7-22; Staniszewski, J., & Matuszczak, A. (2023). *Environmentally Adjusted Analysis of Agricultural Efficiency: A Systematic Literature Review of Frontier Approaches/Analiza skorygowanej środowiskowo efektywności rolnictwa—systematyczny przegląd literatury wykorzystującej podejście graniczne. zagadnienia ekonomiki Rolnej/Problems of Agricultural Economics*, 374 (1), 20-41.

oceny stopnia wykorzystania zasobów w stosunku do zaplanowanych efektów¹². Poziom efektywności określa stosunek uzyskanego efektu do nakładu poniesionego na jego osiągnięcie. Jednak takie jej ujęcie wskazuje, że efektywność jest tożsama z kategoriami produktywności, czy rentowności, co wydaje się być nieuzasadnione, ponieważ efektywność powinna być rozpatrywana jako miara względna, relacja między produktywnością danego gospodarstwa rolnego, a maksymalną produktywnością możliwą do osiągnięcia w danych warunkach technologicznych¹³.

Zatem, efektywność ekonomiczna traktowana jest na dwa sposoby. Po pierwsze, efektywność ekonomiczna może być traktowana jako klasyczna ocena sprawności działania podmiotów gospodarczych, w tym gospodarstw rolnych i być utożsamiana z rentownością, czy zyskownością, czyli tradycyjnymi wskaźnikami analizy ekonomicznej i finansowej¹⁴. W literaturze ekonomicznej powszechne jest wykorzystywanie klasycznych wskaźników efektywności do oceny: rentowności, produktywności, czy wydajności. Mierniki te są relatywnie łatwe do interpretacji, dodatkowo, porównanie ich w czasie lub pomiędzy podmiotami działającymi w tym samym sektorze pozwala w sposób wiarygodny opisać ich sytuację, zwłaszcza jeśli połączy się je z odpowiednimi metodami ilościowymi. Problem z zastosowaniem klasycznych miar efektywności ekonomicznej pojawia się na etapie przyjęcia właściwych jej mierników oraz, gdy celem analizy jest całościowa, wieloaspektowa ocena podmiotu badań. Jednak największą wadą klasycznych wskaźników efektywności ekonomicznej jest fakt, że nie oddają one w pełni obrazu wyników prowadzonej działalności, ponieważ nie uwzględniają nieefektywności, która powstaje na skutek stosowania nieoptymalnych proporcji nakładów do wyników, nie biorą one także pod uwagę otoczenia, w którym działa dany podmiot.

Drugim sposobem definiowania efektywności ekonomicznej jest traktowanie jej jako miary alternatywnej względem miar klasycznych, która opisywana jest

¹² Ozkan, B., Ceylan, R. F., & Kizilay, H. (2009). A review of literature on productive efficiency in agricultural production. *Journal of Applied Sciences Research*, 5(7), 796-801; Kagan, A. (2023). Ocena konkurencyjności przedsiębiorstw rolnych. *Wiadomości Statystyczne. The Polish Statistician*, 68(04), 13-34.

¹³ Sickles, R. C., & Zelenyuk, V. (2019). *Measurement of productivity and efficiency*. Cambridge University Press, 286.

¹⁴ Tamulevičienė, D. (2016). Methodology of complex analysis of companies' profitability. *Entrepreneurship and sustainability issues*, 4, 53-63; Abeyrathna, S. P. G. M., & Priyadarshana, A. J. M. (2019). Impact of Firm size on Profitability. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 9(6), 561-564; Kagan, A. (2023). Ocena konkurencyjności przedsiębiorstw rolnych. *Wiadomości Statystyczne. The Polish Statistician*, 68(04), 13-34.

jako relacja między efektywnością danego podmiotu, a maksymalną efektywnością możliwą do osiągnięcia w danych warunkach technologicznych. Takie ujęcie efektywności eliminuje wady podejścia klasycznego do pomiaru efektywności ekonomicznej, jednak do jej oszacowania wymaga wykorzystania bardziej zaawansowanych metod m.in. bazujących na modelowaniu ekonometrycznym – podejście parametryczne¹⁵ czy wykorzystujących programowanie matematyczne – podejście nieparametryczne¹⁶. Bowiem, istotą alternatywnego podejścia jest nie tylko określenie poziomu efektywności badanego podmiotu, np. gospodarstwa rolnego, ale co równie interesujące poziomu jego nieefektywności.

Metody parametryczne oceny efektywności ekonomicznej bazują na założeniach mikroekonomicznej funkcji produkcji. Wykorzystują modelowanie ekonometryczne do określenia parametrów funkcji produkcji, tj. parametrów określających zależności funkcyjne pomiędzy nakładami i osiągniętymi wynikami, wyznaczając parametry krzywej efektywności. Nieefektywność obiektu określana jest jako odchylenie wartości rzeczywistych od wartości określonych na podstawie wyznaczonej teoretycznej funkcji efektywności (przy zaakceptowanym błędzie losowym). Natomiast metody nieparametryczne pozwalają na określenie brzegowej krzywej efektywności poprzez rozwiązanie zadania z zakresu programowania liniowego. Program na podstawie danych empirycznych określa miarę efektywności, bez wcześniejszych założeń co do zależności pomiędzy nakładami i efektami osiągniętymi przez podmiot. Znacznym ograniczeniem metod nieparametrycznych jest pominięcie wpływu czynników losowych na osiągniętą efektywność podmiotów. W literaturze ekonomicznej oraz w empirycznych analizach efektywności ekonomicznej nie ma jednego uniwersalnego podejścia do sposobu pomiaru efektywności i nieefektywności ekonomicznej. Niekiedy, w konkretnych przypadkach wymagane jest połączenie metod parametrycznych z nieparametrycznymi, ponieważ uzupełniają się one wzajemnie i tylko ich połączenie pozwala na bardziej precyzyjne wnioski¹⁷. Metody parametryczne i niepa-

¹⁵ Greene, W. H. (2008). The econometric approach to efficiency analysis. *The Measurement of Productive Efficiency and Productivity Growth*, 1(1), 92-250, [in:] Fried, H. O., Schmidt, S. S., & Lovell, C. K. (Eds.). *The measurement of productive efficiency: techniques and applications*. Oxford University Press, 68.

¹⁶ Ali, A. I., & Seiford, L. M. (1993). The mathematical programming approach to efficiency analysis. *The Measurement of Productive Efficiency: Techniques and Applications*, 120, 159, [in:] Fried, H. O., Schmidt, S. S., & Lovell, C. K. (Eds.). *The measurement of productive efficiency: techniques and applications*. Oxford University Press, 120.

¹⁷ Kwon, O. S., & Lee, H. (2004). Productivity improvement in Korean rice farming: parametric and non-parametric analysis. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 48(2), 343.

rametryczne z powodzeniem wykorzystuje się do określania całkowitej efektywności ekonomicznej, na którą składają się w szczególności efektywność techniczna i alokacyjna oraz efektywność skali i zakresu, przy czym każda z nich podkreśla inne jej aspekty¹⁸. Metody parametryczne są częściej wykorzystywane do określenia poziomu efektywności ekonomicznej, wyjaśnienia przyczyn, które wywołują jej wahania, natomiast metody nieparametryczne – do identyfikacji i skali efektywności i nieefektywności technicznej.

Badanie istoty definicji efektywności ekonomicznej i metod jej określania pozwoliło zrozumieć mechanizm określania efektywności technicznej gospodarstw rolnych i możliwości jej interpretowania. Poziom wskaźnika efektywności technicznej gospodarstw rolnych reaguje na wiele czynników, tj. specjalizacja gospodarstwa rolnego, wyposażenie techniczne, czy skala jego działalności, dlatego tak ważny jest wielowymiarowy i systematyczny pomiar efektywności i nieefektywności gospodarstw rolnych.

3. Metoda badania empirycznego

Celem głównym artykułu jest próba odpowiedzi na pytanie jakie podejścia teoretyczne i metody pomiaru stosuje się do określania efektywności ekonomicznej gospodarstw rolnych oraz, jakie miejsce w analizie efektywności ekonomicznej zajmuje efektywność techniczna? Aby rozwiązać problem badawczy zaplanowano przeprowadzenie badania empirycznego, którego celem głównym była ocena i porównanie efektywności technicznej polskich gospodarstw rolnych na tle gospodarstw rolnych w pozostałych krajach Unii Europejskiej oraz określenie czy gospodarstwa rolne w UE cechujące się wyższym poziomem efektywności technicznej osiągają wyższą wartość produkcji rolniczej.

Studia literatury pozwoliły na sformułowanie hipotez badawczych:

Hipoteza 1. Efektywność techniczna polskich gospodarstw rolnych jest wysoka – polskie gospodarstwa rolne efektywnie transformują nakłady w efekty.

Hipoteza 2. Gospodarstwa rolne w Unii Europejskiej cechujące się wyższą wartością produkcji osiągają wyższy poziom efektywności technicznej.

Do pomiaru efektywności technicznej gospodarstw rolnych (TE) wykorzystano metodę Data Envelopment Analysis (DEA), która jest nieparametryczną

¹⁸ Watkins, K. B., Hristovska, T., Mazzanti, R., Wilson, C. E., & Schmidt, L. (2014). Measurement of technical, allocative, economic, and scale efficiency of rice production in Arkansas using data envelopment analysis. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 46(1), 90.

metodą określania względnej efektywności obiektu (DMU) w warunkach występowania więcej niż jednego nakładu oraz więcej niż jednego efektu¹⁹. Metoda DEA bazuje na klasycznej definicji efektywności²⁰ adaptując ją do sytuacji wielu efektów i wielu nakładów, zgodnie z następującą formułą²¹:

$$efektywność = \frac{\sum_{i=1}^s \mu_{i,j} efekt}{\sum_{i=1}^m v_{i,j} nakład} , \text{ dla więcej niż jednego efektu i nakładu}$$

gdzie:

j – numer badanego obiektu z grupy n obiektów ($j=1, \dots, n$),

s – liczba efektów ($i=1, \dots, s$),

m – liczba nakładów ($i=1, \dots, m$),

μ_i – wagi i - efektów j -obiektu,

v_i – wagi i - nakładów j -obiektu.

Metoda DEA opiera się na programowaniu liniowym, w którym nie wymaga się uporządkowanych parametrów w relacjach efekty-nakłady. Pozwala to na analizę wielu możliwych kombinacji technologicznych, wskazując spośród nich: kombinacje efektywne technicznie i kombinacje poza obszarem efektywności technicznej. Efektywność techniczna oszacowana na podstawie metody DEA wymaga na etapie projektowania badania określenia odpowiednio założeń co do: rodzaju efektów skali oraz orientacji modelu²². W zależności od rodzaju efektów skali metoda pozwala obliczyć efektywność techniczną przy stałych efektach skali (ang. constant returns to scale TE_CRS), efektywność techniczną przy nie rosnących efektach skali (ang. non-increasing returns to scale TE_NIRS) oraz efektywność techniczną przy zmiennych efektach skali (variable returns to scale TE_VRS). W zależności od orientacji modelu oblicza się efektywność techniczną

¹⁹ Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Zhu, J. (Eds.). (2011). Handbook on Data Envelopment Analysis, New York: Springer, 1-41.

²⁰ Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society Series A: Statistics in Society*, 120(3), 253-281.

²¹ Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 430.

²² Charnes, A., Cooper, W., Lewin, A. Y., & Seiford, L. M. (1997). Data envelopment analysis theory, methodology and applications. *Journal of the Operational Research society*, 48(3), 332-333.

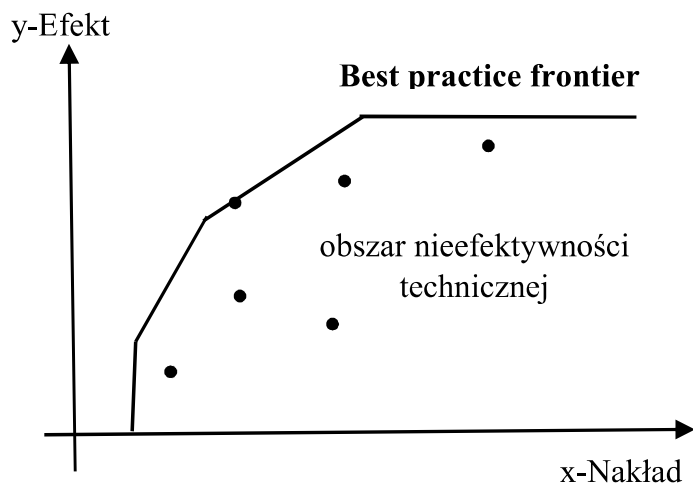
zorientowaną na nakłady (ang. input-oriented technical efficiency) lub efektywność techniczną zorientowaną na wyniki (ang. output-oriented technical efficiency). Orientacja modelu DEA wskazuje czy w trakcie rozwiązywania zadania optymalizującego będzie minimalizowany nakład, czy maksymalizowany efekt wyrażony odpowiednio funkcją celu. Jeżeli celem przyjętych DMU jest minimalizacja nakładów, wówczas orientacja modelu DEA powinna być skierowana na nakłady (ang. input-oriented IO). Natomiast obiekty DMU, których celem jest maksymalizacja efektów działalności – za pomocą modelu zorientowanego na efekty (ang. output-oriented OO). Jeżeli sformułowanie celu działalności DMU nie jest możliwy w żaden z dwóch wymienionych sposobów, wówczas należy zastosować model bez orientacji (ang. non-oriented NO).

Miara efektywności technicznej jest miarą względną, relacją między efektywnością przetwarzania nakładów w wyniki danego obiektu, a maksymalną efektywnością możliwą do osiągnięcia w danych warunkach technologicznych. Dlatego, ustalenie efektywności badanego obiektu DMU, wymaga znalezienia optymalnej technologii wspólnej dla badanego zbioru obiektów. Przy określonych założeniach programowania liniowego dla każdego obiektu określa się poziom jego efektywności technicznej oraz w sytuacji więcej niż jednego efektu i więcej niż jednego nakładu wskazuje się wagi maksymalizujące jego efektywność techniczną. W rezultacie programowania liniowego ustala się krzywą efektywności (ang. best practice frontier)²³. Obiekty DMU uważa się za efektywne technicznie, jeżeli znajdują się na krzywej efektywności, natomiast znajdujące się poza krzywą efektywności – są nieefektywne technicznie. Na wykresie 1 przedstawiono krzywą efektywności, przy założeniu zmiennych efektów skali, która łączy ze sobą wskaźniki efektywności technicznej dla efektywnych obiektów DMU.

Przestrzeń między osią OX, a krzywą efektywności (best practice frontier) to przestrzeń wszystkich możliwych kombinacji nakładów i wyników technicznie możliwych. Obiekty uważa się za efektywne technicznie, gdy znajdują się na krzywej efektywności (best practice frontier) i wówczas, ich współczynnik efektywności technicznej wynosi 1. Za nieefektywne technicznie uważa się obiekty, które zajmują obszar poniżej krzywej efektywności. W przypadku takich DMU miara efektywności jest mniejsza niż 1. Dla każdego z nieefektywnych obiektów można znaleźć na krzywej efektywności hipotetyczne efektywne DMU. Graficzna analiza, jak przedstawiona na wykresie 1 jest możliwa w sytuacji maksymalnie dwóch nakładów i jednego efektu, gdy suma efektów i nakładów jest

²³ Herrero, I., & Pascoe, S. (2002). Estimation of technical efficiency: a review of some of the stochastic frontier and DEA software. *Computers in Higher Education Economics Review*, 15(1), 40.

większa od trzech, nie jest możliwe przedstawienie w postaci graficznej, ani krzywej efektywności, ani oddalenia jednostek nieefektywnych od krzywej efektywności i wówczas model można przedstawić jedynie w matematyczny sposób.



Wykres 1. Krzywa efektywności – Best practice frontier oraz obszar nieefektywności technicznej obiektów DMU

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Ederer, N. (2015). Evaluating capital and operating cost efficiency of offshore wind farms: A DEA approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 1039.

Modyfikacja metody DEA, tj. wykorzystanie modelu super-efektywności²⁴ pozwala różnicować efektywne technicznie obiekty eliminując jedną z kluczowych wad tradycyjnych modelowania DEA, tj. jednakowe traktowanie obiektów efektywnych technicznie. Wyniki badania efektywności technicznej modelem super-efektywności rozróżniają obiekty efektywne technicznie między sobą poprzez rozwiązanie tradycyjnego zadania programowania liniowego, jednak z wyłączeniem pojedynczo każdego obiektu efektywnego technicznie z referencyjnego zbioru obiektów. W rezultacie wyniki super-efektywności technicznej przyjmują wartości wyższe niż 1, budując w ten sposób ranking obiektów, które w tradycyjnych modelach osiągnęły wartość 1.

Do określenia efektywności technicznej gospodarstw rolnych w Polsce i krajach Unii Europejskiej w pierwszym kroku analizy wykorzystano metodę DEA, model CCR zorientowany na minimalizację nakładów. Metoda DEA jest szeroko wykorzystywana w określaniu efektywności technicznej w sektorze rolniczym

²⁴ Pan, Z., Wang, Y., Zhou, Y., & Wang, Y. (2020). Analysis of the water use efficiency using super-efficiency data envelopment analysis. *Applied Water Science*, 10:139. 139.

m.in. Arnade (1994)²⁵, Aldeseit (2013)²⁶, Madau, Furesi i Pulina (2017)²⁷, Radlińska (2023)²⁸, Pietrzak, Domagała i Chlebicka (2023)²⁹. Uzasadnieniem wyboru orientacji modelu jest fakt, że zgodnie z promocją polityk środowiskowych i zasad zrównoważonego rolnictwa zakłada się m.in. że jedną z opcji rozwoju rolnictwa jest wzrost produkcji rolniczej przez deintensyfikację nakładów. W drugim kroku analizy efektywności technicznej określono super-efektywność techniczną gospodarstw rolnych, tworząc w ten sposób ranking gospodarstw rolnych w krajach Unii Europejskiej.

W analizie efektywności technicznej gospodarstw rolnych posłużono się danymi charakteryzującymi działalność rolniczą opisaną przez 1 efekt i 8 nakładów. Efekt działalności gospodarstw rolnych został określony przez całkowitą wartość produkcji roślinnej i produktów roślinnych, zwierząt gospodarskich i produktów zwierzęcych oraz innej produkcji globalnej gospodarstw – wyrażona w euro. Natomiast, na grupę nakładów składały się:

1. całkowita powierzchnia użytkowana rolniczo, tj. powierzchnia gospodarstwa rolnego, na którą składają się grunty będące w posiadaniu właścicieli, grunty dzierżawione; kategoria obejmuje również grunty rolne, które tymczasowo nie są uprawiane ze względów rolniczych lub są wycofywane z produkcji w ramach środków polityki rolnej – wyrażona w hektarach;
2. nawozy, tj. zakupy nawozów i polepszaczy gleb – wyrażone w euro;
3. środki ochrony roślin, tj. zakupy środków ochrony roślin, pułapek i przynęt, odstraszaczy ptaków, dział przeciwgradowych, środków przeciwmrozowych – wyrażone w euro;
4. inwentarz żywy, tj. liczba zwierząt koniowatych, bydła, owiec, kóz, świń oraz drobiu i królików obecnych w gospodarstwie (średnia roczna); kategoria obejmuje również zwierzęta nienależące do posiadacza oraz te trzymane na

²⁵ Arnade, C. A. (1994). *Using data envelopment analysis to measure international agricultural efficiency and productivity* (No. 1831). US Department of Agriculture, Economic Research Service.

²⁶ Aldeseit, B. (2013). Measurement of scale efficiency in dairy farms: data envelopment analysis (DEA) Approach. *Journal of Agricultural Science*, 5(9), 37.

²⁷ Madau, F. A., Furesi, R., & Pulina, P. (2017). Technical efficiency and total factor productivity changes in European dairy farm sectors. *Agricultural and Food Economics*, 5(1), 1-14.

²⁸ Radlińska, K. (2023). Some Theoretical and Practical Aspects of Technical Efficiency-The Example of European Union Agriculture. *Sustainability*, 15(18), 13509.

²⁹ Pietrzak, M., Domagała, J., & Chlebicka, A. (2023). Konkurencyjność, produktywność i efektywność spółdzielni rolniczych na przykładzie polskiego sektora przetwórstwa mleka. *Zagadnienia Ekonomiki Rolnej*, 376(3), 1-25.

- podstawie umowy produkcyjnej – wyrażone w sztukach w przeliczeniu na jednostki inwentarza żywego;
5. pasze dla zwierząt, tj. pasze skoncentrowane, pasze gruboziarniste, wydatki na użytkowanie wspólnych pastwisk, koszty dzierżawy gruntów pastewnych nieujętych w powierzchni użytków rolnych dla koniowatych, bydła, owiec i kóz – wyrażone w euro;
 6. nakłady pracy, tj. czas przepracowany w godzinach w stosunku do całkowitego nakładu pracy w gospodarstwie – wyrażone w godzinach;
 7. maszyny i urządzenia rolnicze, tj. wartość końcowa ciągników, kultywatorów, samochodów ciężarowych, dostawczych, samochodów osobowych, większego i mniejszego sprzętu rolniczego – wyrażone w euro;
 8. inwestycje brutto w środki trwałe, tj. skorygowana wartość zakupów środków trwałych – wyrażone w euro.

Celem rolnictwa na całym świecie jest zapewnienie bezpieczeństwa żywnościowego, które może być osiągnięte poprzez zwiększenie produkcji, jednak z uwzględnieniem aspektów środowiskowych działalności³⁰. Efektywność techniczna analizowanych gospodarstw rolnych uwzględnia aspekt środowiskowy działalności rolnej, po stronie nakładów wprowadzono wydatki na nawozy i środki ochrony roślin. Przyjęta funkcja celu koncentruje się na ich minimalizacji.

Źródłem pozyskania danych o nakładach i efektach była baza FADN (ang. Farm Accountancy Data Network)³¹. Okres badania empirycznego obejmuje dane roczne za 2022 roku. Rok 2022 był ostatnim pełnym rokiem, dla którego FADN Databases opublikował dane. Rolnictwo w Unii Europejskiej charakteryzuje się niewielkim udziałem gruntów rolniczych w ogólnej powierzchni krajów, działalność rolnicza stanowi niewielki udział w tworzeniu wartości dodanej brutto i zatrudnieniu. Mimo to, rolnictwo w UE uznawany jest za sektor strategiczny dla zapewnienia samowystarczalności i bezpieczeństwa żywnościowego krajom UE. Obiekty analizy stanowiły gospodarstwa rolne krajów Unii Europejskiej, dla których FADN zgromadził dane i były to gospodarstwa rolne prowadzące działalność w: Belgii, Bułgarii, Czechach, Danii, Estonii, Irlandii, Francji, we Włoszech, na Cyprze, Łotwie, Litwie, Luxemburgu, Węgier, Holandii,

³⁰ Iribarren, D., Hospido, A., Moreira, M.T., & Feijoo, G. (2011). Benchmarking Environmental and Operational Parameters Through Eco-Efficiency Criteria for Dairy Farms. *Science of the total environment*, 409(10), 1786-1798; Sanyé-Mengual, E., Gasperi, D., Michelon, N., Orsini, F., Ponchia, G., & Gianquinto, G. (2018). Eco-efficiency assessment and food security potential of home gardening: A case study in Padua, Italy. *Sustainability*, 10(7), 2124; Wang, G., Shi, R., Mi, L., & Hu, J. (2022). Agricultural eco-efficiency: Challenges and progress. *Sustainability*, 14(3), 1051.

³¹ FADN Data Base; <https://agridata.ec.europa.eu/extensions/FADNPublicDatabase/FADNPublicDatabase.html> (31.01.2024).

Austrii, Polsce, Portugalii, Rumunii, Słowacji, Finlandii i Szwecji – łącznie w 21 krajach. Dane za 2022 rok dotyczące Chorwacji, Niemiec, Grecji, Malty, Słowenii i Hiszpanii w chwili prowadzenia badania nie były dostępne ze względu na toczącą się weryfikację danych, z wyjątkiem Niemiec, których zbiór danych nie został jeszcze przekazany do FADN. Kraje Unii Europejskiej prowadzą wspólną politykę rolną, która tworzy podobne warunki funkcjonowania unijnym gospodarstwom rolnym. Efektywność techniczną gospodarstw rolnych w Polsce i krajach Unii Europejskiej oszacowano wykorzystując program EMS³².

4. Wyniki badania empirycznego. Efektywność techniczna gospodarstw rolnych w Polsce i krajach Unii Europejskiej

Wyniki badania efektywności technicznej gospodarstw rolnych wykazały, że średnia efektywność techniczna w 2022 roku w grupie analizowanych krajów UE kształtowała się na wysokim poziomie – 0,953. Dwanaście z dwudziestu jeden badanych krajów cechowały się pełną efektywnością techniczną gospodarstw rolnych, w przypadku których wskaźnik efektywności technicznej wyniósł 1,000. Na grupę tych krajów składały się: Belgia, Bułgaria, Dania, Irlandia, Francja, Włochy, Cypr, Węgry, Holandia, Austria, Słowacja i Finlandia. Metoda DEA model super-efektywności umożliwił stworzenie rankingu obiektów efektywnych technicznie, tj. tych których efektywność techniczna wyniosła 1,000 w tradycyjnym modelu DEA. Obliczenie super-efektywności technicznej gospodarstw rolnych stanowiło drugi krok analizy efektywności technicznej gospodarstw rolnych. Model super-efektywności pozwolił określić kraje, w których gospodarstwa rolne najbardziej efektywnie transformują nakłady w efekty, w rezultacie gospodarstwa rolne w dwunastu krajach UE osiągnęły wartości wyższe niż 1,000. Zdecydowaną przewagę osiągnęły gospodarstwa rolne w Holandii (wskaźnik super-efektywności 2,497), Włoszech (2,066), Danii (1,675) oraz Irlandii (1,538).

Szczegółowe wyniki badania efektywności i super-efektywności technicznej gospodarstw rolnych krajów UE w 2022 roku zostały zaprezentowane w tabeli 1.

³² Scheel, H. (2000). EMS: Efficiency Measurement System User's Manual.

Tabela 1. Efektywność techniczna gospodarstw rolnych w krajach Unii Europejskiej w 2022 roku

Kraj	Efektywność techniczna	Miejsce w rankingu	Super-efektywność
Holandia	1,000	I.	2,497
Włochy	1,000	II.	2,066
Dania	1,000	III.	1,675
Irlandia	1,000	IV.	1,538
Słowacja	1,000	V.	1,273
Bułgaria	1,000	VI.	1,264
Cypr	1,000	VII.	1,168
Austria	1,000	VIII.	1,164
Francja	1,000	IX.	1,148
Węgry	1,000	X.	1,090
Finlandia	1,000	XI.	1,060
Belgia	1,000	XII.	1,055
Szwecja	0,996	XIII.	0,996
Polska	0,995	XIV.	0,995
Estonia	0,971	XV.	0,971
Litwa	0,942	XVI.	0,942
Czechy	0,879	XVII.	0,879
Luxemburg	0,868	XVIII.	0,868
Portugalia	0,805	XIX.	0,805
Rumunia	0,789	XX.	0,789
Łotwa	0,767	XXI.	0,767

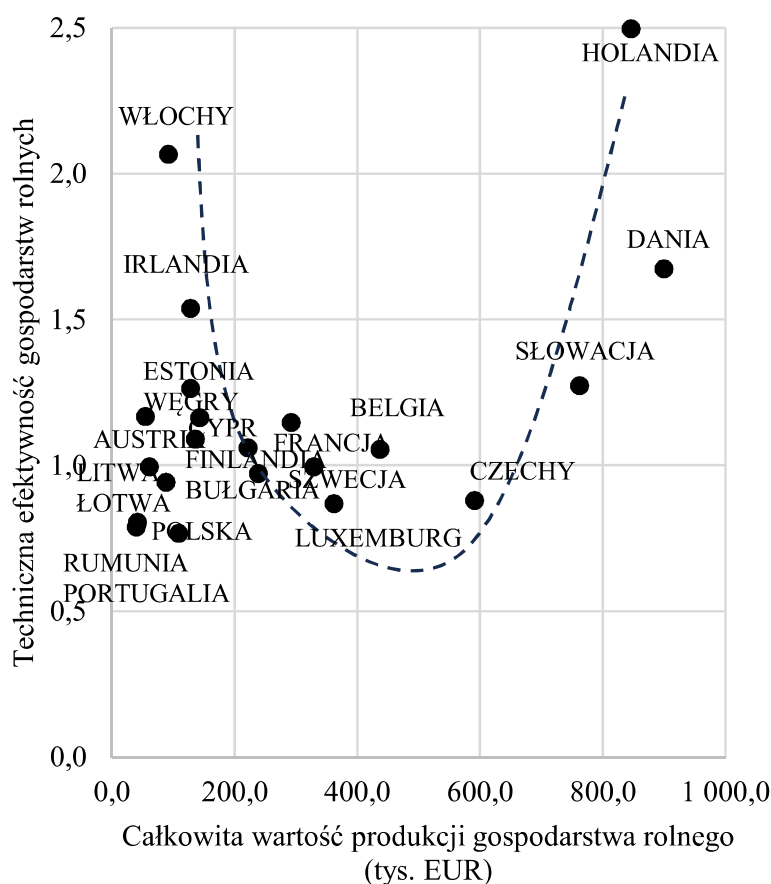
Źródło: obliczenia własne na podstawie: FADN Data Base; <https://agridata.ec.europa.eu/extensions/FADNPublicDatabase/FADNPublicDatabase.html> (31.01.2024).

Polskie gospodarstwa rolne na tle krajów Unii Europejskiej cechowały się wysokim poziomem efektywności technicznej osiągając wartość 0,995. W rankingu krajów, jednak wynik ten umiejscowił polskie gospodarstwa dopiero na czternastym miejscu, z dużą różnicą pomiędzy gospodarstwami rolnymi Holandii, których wskaźnik efektywności technicznej wyniósł 2,497. Pozytywnym aspektem efektywności technicznej polskich gospodarstw rolnych jest fakt, że wykorzystują one technologię produkcji bardziej efektywnie, niż gospodarstwa

rolne większości krajów, które w 2004 roku razem z Polską weszły do Unii Europejskiej – wyższe miejsca rankingowe osiągnęły jedynie Słowacja, Bułgaria i Węgry.

Wyniki badania efektywności technicznej gospodarstw rolnych (wskaźniki super-efektywności technicznej) zestawiono z przeciętnym poziomem całkowitej wartości ich produkcji wyrażonej w tys. EUR, który w analizie odzwierciedla skalę działalności gospodarstw rolnych. Wykres 2 przedstawia rozrzut pomiędzy wskaźnikiem obrazującym skalę działalności gospodarstw rolnych, tj. wartością całkowitej produkcji gospodarstw rolnych analizowanych krajów, a ich efektywnością techniczną. Rozrzut obiektów, w badanej grupie krajów, wskazuje, że wraz ze wzrostem skali działalności gospodarstwa rolnego rośnie jego efektywność techniczna. Obiekty w układzie współrzędnych układają się w literę U, co zaznaczono linią przerywaną na wykresie 2. Efektywność techniczna gospodarstw rolnych jest najwyższa w gospodarstwach rolnych krajów o najwyższej i najniższej całkowitej wartości produkcji, niska i przeciętna wartość produkcji cechuje gospodarstwa rolne osiągające relatywnie niskie poziomy efektywności technicznej.

Rozmieszczenie obiektów w układzie współrzędnych podzieliło grupę analizowanych gospodarstw rolnych krajów UE na dwie podgrupy. Pierwsza grupa gospodarstw rolnych, do których zostały zaliczone gospodarstwa rolne w Słowacji, Danii i Holandii oraz we Włoszech i Irlandii to liderzy pod względem efektywności technicznej. Spostrzeżenie to pozwala przypuszczać, że jedynie duża i mała skala działalności gospodarstw rolnych prowadzi do najbardziej efektywnej transformacji nakładów w efekty. Druga grupa gospodarstw rolnych to gospodarstwa, których skalę działalności można określić jako średnią i są to gospodarstwa rolne w Belgii, Bułgarii, Czechach, Estonii, Francji, na Cyprze, Łotwie, Litwie, Luxemburgu, Węgiel, Austrii, Polsce, Portugalii, Rumunii, Finlandii i Szwecji. W grupie tych krajów znalazły się, zarówno gospodarstwa rolne najmniej efektywne technicznie, tj. gospodarstwa rolne w Czechach, Luxemburgu oraz Portugalii, Rumunii i na Łotwie, jak i te cechujące się efektywną transformacją nakładów w efekty, tj. gospodarstwa rolne Bułgarii, Cypru, Austrii, Francji, Węgier, Finlandii i Belgii. Spostrzeżenie to wskazuje, że gospodarstwa rolne w większości krajów UE wciąż poszukują rozmiarów produkcji, które pozwoliłyby osiągnąć im wyższą efektywność techniczną.



Wykres 2. Wartość produkcji gospodarstw rolnych krajów Unii Europejskiej i ich efektywność techniczna (2022 rok)

Źródło: obliczenia własne na podstawie: FADN Data Base; <https://agridata.ec.europa.eu/extensions/FADNPublicDatabase/FADNPublicDatabase.html> (31.01.2024).

5. Podsumowanie

Literatura ekonomiczna podejmująca tematykę efektywności ekonomicznej jest bogata. Szeroko opisywane jest klasyczne podejście do jej definiowania i pomiaru, które pozwala na określenie efektywności w kategoriach finansowych m.in. jako rentowność, dochodowość, produktywność. Razem z podejściem klasycznym, w literaturze opisywane są alternatywne metody definiowania i pomiaru efektywności ekonomicznej. Metody te opisują efektywność ekonomiczną jako miarę relatywną, definiując efektywność ekonomiczną badanego obiektu na tle grupy podobnych obiektów.

Efektywność techniczna jest istotną składową efektywności ekonomicznej, odnosi się do sposobu transformacji nakładów w efekty. W sytuacji więcej niż jednego nakładu i/lub więcej niż jednego efektu do jej pomiaru wykorzystuje się

metody parametryczne i nieparametryczne, przy czym metody nieparametryczne, w tym metodę DEA wskazuje się jako najdokładniejsze narzędzie do jej pomiaru.

Wyniki przeprowadzonej analizy empirycznej pozwoliły na dokonanie spostrzeżeń dotyczących poziomu efektywności technicznej gospodarstw rolnych w Polsce i krajach Unii Europejskiej. Odpowiednio:

- gospodarstwa rolne w Polsce w 2022 roku cechowały się wysokim poziomem efektywności technicznej – wskaźnik efektywności technicznej osiągnął poziom 0,995;
- gospodarstwa rolne w Polsce w 2022 roku mimo wysokiego poziomu efektywności technicznej na tle gospodarstw rolnych pozostałych krajów Unii Europejskiej zajęły dopiero czternaste miejsce w rankingu na dwadzieścia jeden pozycji;
- w Unii Europejskiej w 2022 roku najwyższym poziomem efektywności technicznej cechowały się gospodarstwa rolne osiągające najwyższe wartości produkcji oraz te cechujące się niewielką wartością produkcji.

Przegląd literatury oraz zaprezentowane wyniki badania empirycznego pozwoliły na weryfikację sformułowanych hipotez. Hipotezę 1 zweryfikowano pozytywnie: efektywność techniczna polskich gospodarstw rolnych jest wysoka – polskie gospodarstwa rolne nieomal w sposób w pełni efektywny transformują nakłady w efekty. Natomiast, hipoteza 2 została zweryfikowana jedynie częściowo pozytywnie, bowiem jak wykazało przeprowadzone badanie zarówno gospodarstwa rolne cechujące się najwyższymi, jak i niskimi wartościami całkowitej produkcji osiągnęły najwyższy poziom efektywności technicznej. Zatem, wzrost efektywności technicznej gospodarstw rolnych nie następuje proporcjonalnie do wzrostu skali ich działalności. Ograniczeniem w interpretacji wyników badania empirycznego oraz formułowaniu stanowczych wniosków jest zakres przyjętych obiektów do analizy. Z uwagi na brak danych w bazie FADN z analizy wyłączono gospodarstwa rolne sześciu krajów UE. Wyniki badania empirycznego warto sprawdzić na pełnej grupie krajów UE – co zostanie odzwierciedlone w przyszłych publikacjach Autorki.

BIBLIOGRAFIA

Abeyrathna, S. P. G. M., & Priyadarshana, A. J. M. (2019). Impact of Firm size on Profitability. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 9(6), 561-564.

Aldeseit, B. (2013). Measurement of scale efficiency in dairy farms: data envelopment analysis (DEA) Approach. *Journal of Agricultural Science*, 5(9), 37.

Ali, A. I., & Seiford, L. M. (1993). The mathematical programming approach to efficiency analysis. *The Measurement of Productive Efficiency: Techniques*

and Applications, 120, 159, [in:] Fried, H. O., Schmidt, S. S., & Lovell, C. K. (Eds.). *The measurement of productive efficiency: techniques and applications*. Oxford University Press, 120-160.

Arnade, C. A. (1994). *Using data envelopment analysis to measure international agricultural efficiency and productivity* (No. 1831). US Department of Agriculture, Economic Research Service.

Baran, J. (2016). Efektywność polskiego rolnictwa na tle pozostałych krajów Unii Europejskiej. *Wies i Rolnictwo*, 172(3), 69-85.

Bojarszczuk, J., & Księżak, J. (2023). Efektywność ekonomiczna uprawy soi w zależności od sposobu uprawy. *Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu*, 25(4), 26-34.

Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444.

Charnes, A., Cooper, W. W., Golany, B., Seiford, L., & Stutz, J. (1985). Foundations of data envelopment analysis for Pareto-Koopmans efficient empirical production functions. *Journal of Econometrics*, 30(1-2), 91-107.

Charnes, A., Cooper, W., Lewin, A. Y., & Seiford, L. M. (1997). Data envelopment analysis theory, methodology and applications. *Journal of the Operational Research society*, 48(3), 332-333.

Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Zhu, J. (Eds.). (2011). *Handbook on Data Envelopment Analysis*, New York: Springer.

Ederer, N. (2015). Evaluating capital and operating cost efficiency of offshore wind farms: A DEA approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 1034-1046.

FADN Data Base; <https://agridata.ec.europa.eu/extensions/FADNPublicDatabase/FADNPublicDatabase.html> (31.01.2024).

Fallahi, A., Ebrahimi, R., & Ghaderi, S. F. (2011). Measuring efficiency and productivity change in power electric generation management companies by using data envelopment analysis: A case study. *Energy*, 36(11), 6398-6405.

Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society Series A: Statistics in Society*, 120(3), 253-281.

Fried, H. O., Schmidt, S. S., & Lovell, C. K. (Eds.). (1993). *The measurement of productive efficiency: techniques and applications*. Oxford University Press.

Greene, W. H. (2008). The econometric approach to efficiency analysis. *The Measurement of Productive Efficiency and Productivity Growth*, 1(1), 92-250, [in:] Fried, H. O., Schmidt, S. S., & Lovell, C. K. (Eds.). *The measurement of*

productive efficiency: techniques and applications. Oxford University Press, 68-120.

Herrero, I., & Pascoe, S. (2002). Estimation of technical efficiency: a review of some of the stochastic frontier and DEA software. *Computers in Higher Education Economics Review*, 15(1), 38-43.

Iribarren, D., Hospido, A., Moreira, M.T., & Feijoo, G. (2011). Benchmarking Environmental and Operational Parameters Through Eco-Efficiency Criteria for Dairy Farms. *Science of the total environment*, 409(10), 1786-1798.

Kagan, A. (2023). Ocena konkurencyjności przedsiębiorstw rolnych. *Wiadomości Statystyczne. The Polish Statistician*, 68(04), 13-34.

Keating, B. A., Carberry, P. S., Bindraban, P. S., Asseng, S., Meinke, H., & Dixon, J. (2010). Eco-efficient agriculture: Concepts, challenges, and opportunities. *Crop Science*, 50, S-109.

Kremen, C., & Merenlender, A. M. (2018). Landscapes that work for biodiversity and people. *Science*, 362(6412), eaau6020, 1-9.

Kwon, O. S., & Lee, H. (2004). Productivity improvement in Korean rice farming: parametric and non-parametric analysis. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 48(2), 323-346.

Madau, F. A., Furesi, R., & Pulina, P. (2017). Technical efficiency and total factor productivity changes in European dairy farm sectors. *Agricultural and Food Economics*, 5(1), 1-14.

Ozkan, B., Ceylan, R. F., & Kizilay, H. (2009). A review of literature on productive efficiency in agricultural production. *Journal of Applied Sciences Research*, 5(7), 796-801.

Pan, Z., Wang, Y., Zhou, Y., & Wang, Y. (2020). Analysis of the water use efficiency using super-efficiency data envelopment analysis. *Applied Water Science*, 10:139.

Pietrzak, M., Domagała, J., & Chlebicka, A. (2023). Konkurencyjność, produktywność i efektywność spółdzielni rolniczych na przykładzie polskiego sektora przetwórstwa mleka. *Zagadnienia Ekonomiki Rolnej*, 376(3), 1-25.

Radlińska, K. (2023). Some Theoretical and Practical Aspects of Technical Efficiency—The Example of European Union Agriculture. *Sustainability*, 15(18), 13509.

Sanyé-Mengual, E., Gasperi, D., Michelon, N., Orsini, F., Ponchia, G., & Gianquinto, G. (2018). Eco-efficiency assessment and food security potential of home gardening: A case study in Padua, Italy. *Sustainability*, 10(7), 2124.

Scheel, H. (2000). EMS: Efficiency Measurement System User's Manual.

Sickles, R. C., & Zelenyuk, V. (2019). *Measurement of productivity and efficiency*. Cambridge University Press.

Staniszewski, J., & Matuszczak, A. (2023). Environmentally Adjusted Analysis of Agricultural Efficiency: A Systematic Literature Review of Frontier Approaches/Analiza skorygowanej środowiskowo efektywności rolnictwa—systematyczny przegląd literatury wykorzystującej podejście graniczne. *zagadnienia ekonomiki Rolnej/Problems of Agricultural Economics*, 374 (1), 20-41.

Tamulevičienė, D. (2016). Methodology of complex analysis of companies' profitability. *Entrepreneurship and sustainability issues*, 4, 53-63.

Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418(6898), 671-677.

Tomczak, F. (2001). Ekonomia a rozwój nauk rolniczych. *Postępy Nauk Rolniczych*, 48(3), 7-22.

Wang, G., Shi, R., Mi, L., & Hu, J. (2022). Agricultural eco-efficiency: Challenges and progress. *Sustainability*, 14(3), 1051.

Worthington, A. C. (2001). An empirical survey of frontier efficiency measurement techniques in education. *Education Economics*, 9(3), 245-268.

Worthington, A. C. (2004). Frontier efficiency measurement in health care: a review of empirical techniques and selected applications. *Medical Care Research and Review*, 61(2), 135-170.