

**WYKORZYSTANIE METODY DEA DO ANALIZY ZMIAN
PRODUKTYWNOŚCI I EFEKTYWNOŚCI
W ZAKRESIE PRODUKCJI ZBÓŻ WEDŁUG WOJEWÓDZTW
W LATACH 1997-2019**

Urszula Grzybowska  <https://orcid.org/0000-0001-7342-5382>

Instytut Informatyki Technicznej
Szkola Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
e-mail: urszula_grzybowska@sggw.edu.pl

Ludwik Wicki  <https://orcid.org/0000-0002-7602-8902>

Instytut Ekonomii i Finansów
Szkola Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
e-mail: ludwik_wicki@sggw.edu.pl

Streszczenie: W artykule badano efektywność produkcji zbóż w Polsce w okresie od 1997 do 2019 roku przy wykorzystaniu metody DEA. Wyznaczono efektywność województw oraz ich ranking przed i po wejściu Polski do UE, a także zmiany efektywności i produktywności między badanymi okresami. Uzyskane wyniki mogą być podstawą do stwierdzenia, że w regionach o lepszej strukturze obszarowej gospodarstw proces zwiększania efektywności gospodarowania przebiega szybciej. Istotnym czynnikiem zmian są możliwości rozwoju wynikające z korzystnych dla rolnictwa warunków otoczenia gospodarczego, jak to obserwowano po akcesji Polski do UE.

Słowa kluczowe: DEA, indeks Malmquista, efektywność rolnictwa, nawożenie mineralne, środki ochrony roślin

JEL classification: C67, O18, Q18

WSTĘP

W niniejszej pracy badano efektywność produkcji zbóż w Polsce w okresie od 1997 do 2019 roku przy wykorzystaniu metody DEA. Zastosowanie metody DEA do badania efektywności szeroko rozumianego rolnictwa nie jest zagadnieniem nowym. Istnieje wiele publikacji dotyczących tego problemu w różnym ujęciu.

<https://doi.org/10.22630/MIBE.2022.23.4.12>

Publikacje te różnią się zestawem wykorzystywanych zmiennych, badanym okresem bądź badanym obszarem, [por. Baran 2014 a, 2014 b, Jankowiak i in. 2013, Bieńkowski i in. 2014, Marzec i in. 2019, Nowak 2017, Rusielik 2010a, 2014, 2015, Rusielik i Świtłyk 1999, 2003, 2009, Świtłyk 2021]. Podobny zakres badania w układzie województw jest w parcy R. Rusielika [2010b], z tym, że efektem jest tam wartość skupu, a nie cała produkcja rolnicza. W pracy zaproponowano odmienny od dotychczas wykorzystywanych zestaw zmiennych. Mianowicie, w zestawie nakładów przyjęto zużycie nawozów (NPK), środków ochrony roślin oraz nasion kwalifikowanych. Są to podstawowe nakłady plonotwórcze, które istotnie wpływają na poziom plonów [Dudek i Wicki 2019, Wicki 2019a], w tym także poprzez transfer postępu. Takie ujęcie wynika z faktu, że od tych nakładów bezpośrednio zależy poziom produkcji, ale jednocześnie lepsze ich użycie ogranicza emisję z rolnictwa do otoczenia [Kopiński 2018]. Oczekiwane jest np. ograniczenie emisji gazów cieplarnianych z rolnictwa wynikające z racjonalizacji użycia nakładów [Wicka i Wicki 2022]. Oznacza to większe dostarczanie dóbr publicznych przez rolnictwo [Daniłowska 2015]. Jako dodatkową motywację przyjęto sytuację geopolityczną w 2022 r., z powodu której ekonomiczna dostępność nawozów sztucznych dla rolników obniżyła się, co może istotnie wpływać na zbiory. Ponadto, Komisja Europejska w ramach Europejskiego Zielonego Ładu 22 czerwca 2022 roku zaproponowała ograniczenie stosowania pestycydów w rolnictwie o 50 procent do końca bieżącej dekady.

OPIS METOD

Stosowana w pracy metoda DEA jest nieparametryczną metodą pozwalającą na badanie efektywności obiektów (tzw. DMU) w zakresie przekształcania nakładów w wyniki. Dzięki zastosowaniu DEA możemy w grupie badanych obiektów wskazać obiekty efektywne, a dla obiektów nieefektywnych, zaproponować zmianę technologii, prowadzącą do poprawy efektywności. W obliczeniach wykorzystano podstawowy model DEA, CCR, ukierunkowany na nakłady, który można sformułować następująco [Guzik 2009]. Załóżmy, że mamy n obiektów, które oznaczamy przez DMU $_o$, $o = 1, 2, \dots, n$. Przez x_{ij} , $i=1, 2, \dots, m$, oznaczamy wielkości nakładów, zaś przez y_{rj} $r=1, 2, \dots, s$, wyniki dla obiektu j , $j = 1, 2, \dots, n$. Dla każdego obiektu DMU $_o$, $o = 1, \dots, n$, opisywanego nakładami x_{io} , $i = 1, 2, \dots, m$ i wynikami y_{ro} , $r = 1, 2, \dots, s$, wyznaczmy miarę efektywności θ_o jako rozwiązanie zadania optymalizacyjnego. W modelu CCR zadanie zorientowane na nakłady przyjmuje postać:

$$\begin{aligned} \theta_o^* &= \min \theta_o \text{ przy warunkach} \\ \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_{jo} &\leq \theta_o x_{io} \quad i = 1, 2, \dots, m \\ \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_{jo} &\geq y_{ro} \quad r = 1, 2, \dots, s \end{aligned} \quad (1)$$

$$\lambda_{jo} \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

Dla obiektów efektywnych miara efektywności wynosi 1, zaś dla nieefektywnych jest mniejsza od 1.

Do badania zmian efektywności oraz produktywności można zastosować indeks Malmquista, zaproponowany w 1982 r przez Cavesa [Coelli i in. 2005, s. 67].

Indeks produktywności Malmquista (MPI) może być stosowany zarówno dla zadań ukierunkowanych na nakłady jak i wyniki. Jest on dany wzorem:

$$MPI_o = \left[\frac{\theta_o^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{\theta_o^t(x^t, y^t)} \cdot \frac{\theta_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{\theta_o^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (2)$$

gdzie $\theta_o^s(x^t, y^t)$ oznacza efektywność o-tego obiektu dla technologii wspólnej z okresu s i technologii obiektu o z okresu t [Świątyk i Wilczyński, 2015] i rozkłada się na dwa czynniki; zmianę efektywności (ECH):

$$\frac{\theta_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{\theta_o^t(x^t, y^t)} \quad (3)$$

oraz postęp technologiczny (TCH):

$$\left[\frac{\theta_o^t(x^t, y^t)}{\theta_o^{t+1}(x^t, y^t)} \cdot \frac{\theta_o^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{\theta_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Szczegółową dekompozycję indeksu Malmquista można znaleźć np. w [Ćwiakła-Małys i Nowak 2011, Baran 2014]. Wartość indeksu Malmquista $MPI > 1$ dla danego obiektu świadczy o tym, produktywność obiektu poprawiła się. Jeżeli $MPI < 1$, to produktywność obiektu zmniejszyła się. Dla $MPI = 1$ mamy brak zmiany produktywności. Podobnie interpretujemy indeks ECH (zmiana efektywności) oraz indeks postępu technicznego TCH. Wartość $ECH > 1$ wskazuje na wzrost efektywności, $TCH > 1$ na techniczny postęp, zaś $ECH < 1$ wskazuje na spadek efektywności, a $TCH < 1$ na techniczny regres. W pracy indeks Malmquista wyznaczony był dla orientacji zadań na nakłady.

Przy pomocy modelu SE-CCR [Guzik 2009: s. 153] otrzymano ranking województw ze względu na ich efektywność.

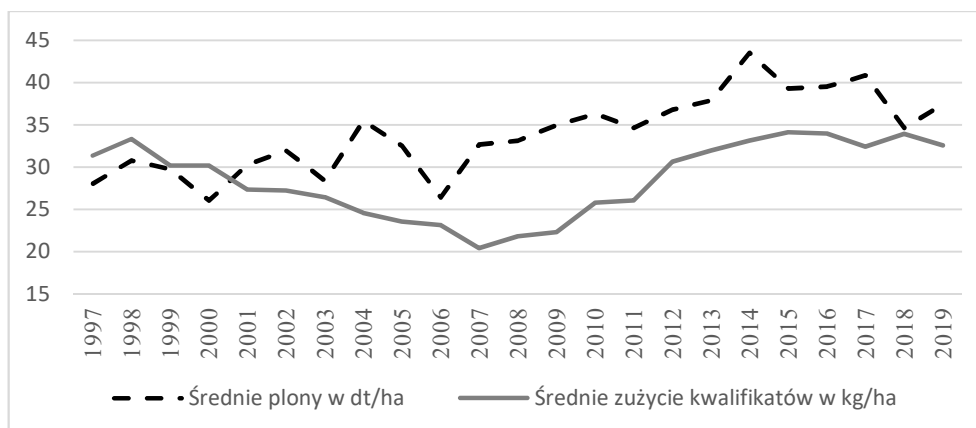
Obliczenia przeprowadzono w pakiecie SAS.

OPIS DANYCH

Analizą objęto produkcję rolną Polski w okresie 1997-2019 z podziałem na 16 województw. Jako pierwszy nakład przyjęto średnie zużycie kwalifikowanego ziarna siewnego zbóż podstawowych (pszenica, żyto, jęczmień, owies, pszenżyto) wyrażone w kilogramach na hektar [kg/ha] (w dalszej części opracowania będziemy używać określenia „nasiona kwalifikowane”), jako drugi nakład przyjęto zużycie nawozów sztucznych wyrażone w kilogramach na hektar użytków rolnych, jako trzeci nakład przyjęto zużycie środków ochrony roślin w kg/ha GO. Jako wynik

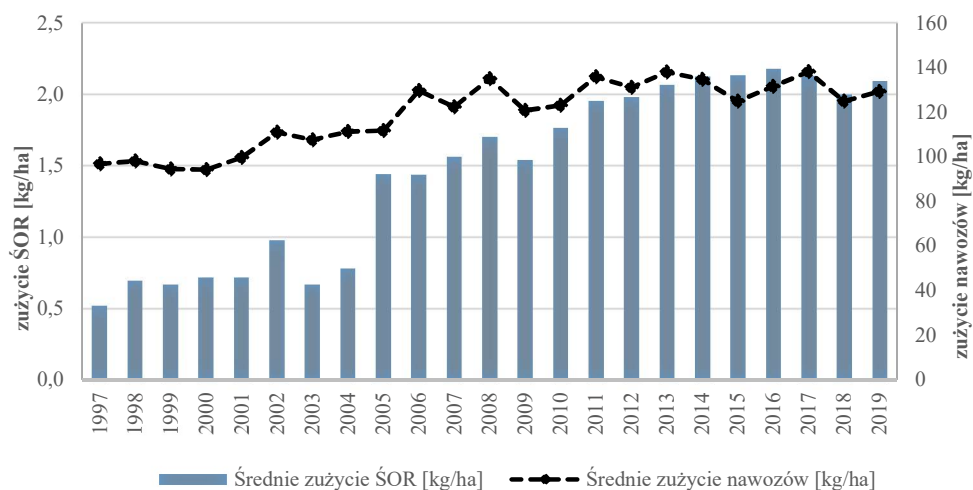
przyjęto średnie plony podstawowych zbóż (pszenica, żyto, jęczmień, owies, pszenżyto) w dt/ha. Ujęcie zarówno nakładów i efektów w przeliczeniu na 1 ha motywowane jest tym, że w takim przypadku unika się zniekształcającego wpływu struktury produkcji roślinnej na wyniki oraz wpływu samej wielkości województw, zachowana jest przy tym relacja wielkości ujętych w badaniu nakładów i wielkości produkcji. Efektywność technologiczna, to skuteczność (sprawność) przekształcania nakładów w rezultaty. W badaniu efektywności województw jest to skuteczność przekształcania nasion kwalifikowanych, nawozów i środków ochrony roślin w plony. Taki zestaw zmiennych nie był rozważany w znanych nam publikacjach. Na rysunku 1 przedstawiono średnie zużycie nasion kwalifikowanych i średnie plony zbóż. Obserwuje się tendencję wzrostową obu czynników. Na rysunku 2 przedstawiono średnie nawożenie i zużycie środków ochrony roślin w latach 1997–2019. W okresie tym zużycie nawozów wzrosło o 34%, natomiast zużycie środków ochrony roślin wzrosło aż o 400%, czyli czterokrotnie. Znaczny wzrost zużycia środków ochrony roślin nastąpił po wejściu Polski do UE, od 2005 roku, co wynikało zarówno z ciągłego rozwoju technologii, jak też z polepszenia sytuacji dochodowej gospodarstw.

Rysunek 1. Plony średnie zbóż i zużycie nasion kwalifikowanych w latach 1997–2019



Źródło: opracowanie własne

Rysunek 2. Poziom nawożenia i zużycia środków ochrony roślin w latach 1997–2019



Źródło: opracowanie własne

Ze względu na poprawienie czytelności wykresów, województwa oznaczono numerami (tabela 1). W analizie efektywności pod uwagę wzięto także jakość gleby mierzoną wskaźnikiem bonitacji gleb WBG dostosowanym do potrzeb modelu.

Tabela 1. Numery przyporządkowane województwom oraz jakość gleby

Województwo	Numer	WBG	Województwo	Numer	WBG
DOLNOŚLĄSKIE	1	1.02	PODKARPACKIE	9	0.94
KUJAWSKO-POMORSKIE	2	0.94	PODLASKIE	10	0.67
LUBELSKIE	3	1.02	POMORSKIE	11	0.84
LUBUSKIE	4	0.73	ŚLĄSKIE	12	0.8
ŁÓDZKIE	5	0.74	ŚWIĘTOKRZYSKIE	13	0.91
MAŁOPOLSKIE	6	0.94	WARMIŃSKO-MAZURSKIE	14	0.86
MAZOWIECKIE	7	0.74	WIELKOPOLSKIE	15	0.78
OPOLSKIE	8	0.99	ZACHODNIOPOMORSKIE	16	0.87

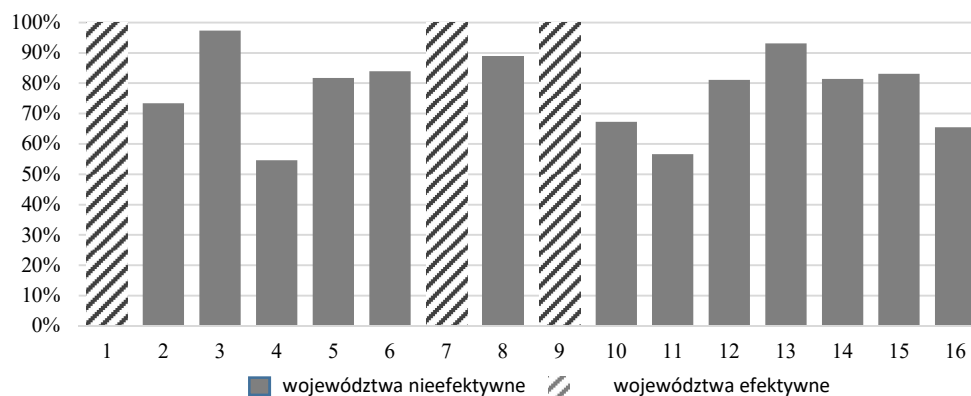
Źródło: opracowanie własne

Najlepszą jakość gleby mają województwa dolnośląskie i lubelskie. Kolejno dobrą glebą charakteryzują się województwa opolskie, małopolskie, podkarpackie i kujawsko-pomorskie. Niska średnio jakość gleby obserwowana jest w województwach lubuskim, łódzkim i mazowieckim.

WYNIKI ANALIZ

Badany okres podzielono na dwa podokresy 1997-2004 oraz 2005-2019 uznając, że wejście Polski do Unii Europejskiej otwiera nowy etap w produkcji rolniczej. Pierwszą analizę przeprowadzono dla okresu 1997-2004 wykorzystując do obliczeń średnie wartości kwalifikatów, plonów, nawozów oraz ŚOR w tym okresie. Dla rozważanego okresu wyznaczono wskaźniki efektywności województw (rysunek 3) oraz przy pomocy modelu SE-CCR ranking województw (tabela 2).

Rysunek 3. Kształtowanie się efektywności produkcji zbóż wg województw w latach 1997–2004



Źródło: opracowanie własne

W badanym okresie wyróżniono trzy województwa z efektywną produkcją zbóż, dolnośląskie (1), mazowieckie (7) oraz podkarpackie (9). Produkcja zbóż w pozostałych województwach była nieefektywna. Dwa województwa z efektywną produkcją zbóż mają dość wysoki wskaźnik WBG (dolnośląskie i podkarpackie). Można zauważyć, że województwa lubelskie i opolskie mają wyższy wskaźnik gleby WBG niż województwo mazowieckie, ale nie są efektywne. Produkcja zbóż w woj. mazowieckim, pomimo słabej jakości gleby, jest efektywna. Wszystkie trzy województwa z efektywną produkcją zbóż charakteryzują się zużyciem nawozów i ŚOR poniżej średniej. Najniższą efektywnością produkcji zbóż charakteryzują się województwa zachodniopomorskie, pomorskie i lubuskie. Powodem jest wysokie zużycie nawozów i ŚOR w stosunku do innych obiektów uzyskujących podobne plony.

Tabela 2. Ranking województw ze względu na efektywność produkcji zbóż

Województwo	Wskaźnik efektywności	Województwo	Wskaźnik efektywności
MAZOWIECKIE	1.37	ŁÓDZKIE	0.82
PODKARPACKIE	1.23	WARMIŃSKO-MAZURSKIE	0.81
DOLNOŚLĄSKIE	1.10	ŚLĄSKIE	0.81
LUBELSKIE	0.97	KUJAWSKO-POMORSKIE	0.73
ŚWIĘTOKRZYSKIE	0.93	PODLASKIE	0.67
OPOLSKIE	0.89	ZACHODNIOPOMORSKIE	0.66
MAŁOPOLSKIE	0.84	POMORSKIE	0.57
WIELKOPOLSKIE	0.83	LUBUSKIE	0.55

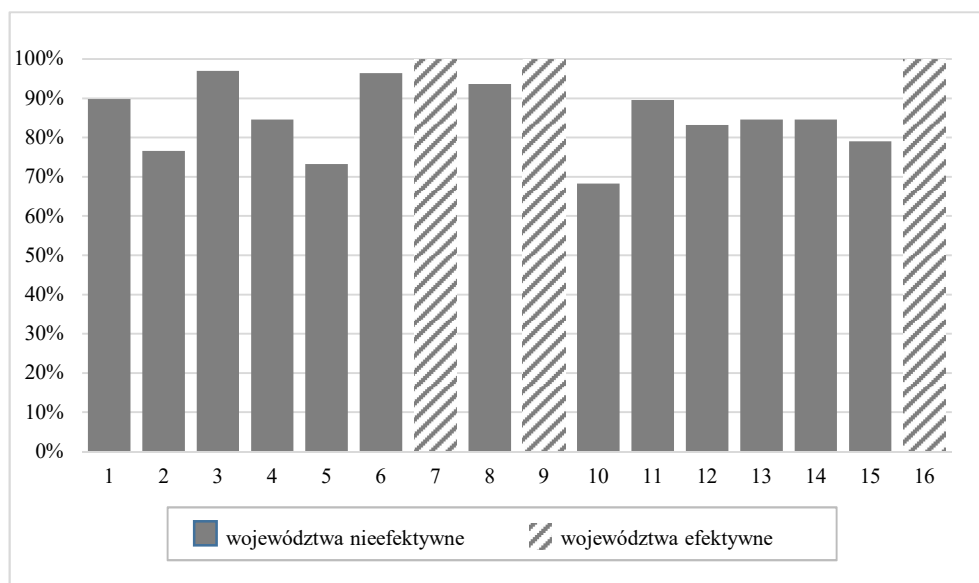
Źródło: opracowanie własne

Kolejną analizę przeprowadzono dla okresu 2005-2019, wykorzystując do obliczeń średnie wartości kwalifikatów, plonów, nawozów oraz ŚOR w tym okresie.

Porównanie wartości średnich (rysunki 1 i 2) ukazuje, że nieznacznie wzrosło średnie zużycie nasion kwalifikowanych oraz plonów w stosunku do lat 1997-2004, zaś nastąpił znaczny wzrost średniego zużycia ŚOR oraz nawozów.

Analiza DEA przeprowadzona dla kolejnego okresu, 2005-2019, wyłoniła trzy obiekty z efektywną produkcją zbóż. Są to województwa mazowieckie, podkarpackie oraz zachodniopomorskie (rysunek 4). Wykorzystując metodę SE-CCR uzyskano ranking województw efektywnych (tabela 3). Pierwsze było województwo podkarpackie. Najniższą efektywność ma produkcja zbóż w województwach łódzkim, podlaskim i kujawsko-pomorskim.

Rysunek 4. Kształtowanie się efektywności produkcji zbóż wg województw w latach 2005-2019



Źródło: opracowanie własne

Tabela 3. Ranking województw ze względu na efektywność produkcji zbóż w latach 2005–2019

Województwo	Wskaźnik efektywności	Województwo	Wskaźnik efektywności
PODKARPACKIE	1.25	LUBUSKIE	0.85
ZACHODNIOPOMORSKIE	1.09	ŚWIĘTOKRZYSKIE	0.85
MAZOWIECKIE	1.06	WARMIŃSKO-MAZURSKIE	0.85
LUBELSKIE	0.97	ŚLĄSKIE	0.83
MAŁOPOLSKIE	0.96	WIELKOPOLSKIE	0.79
OPOLSKIE	0.94	KUJAWSKO-POMORSKIE	0.77
DOLNOŚLĄSKIE	0.90	ŁÓDZKIE	0.73
POMORSKIE	0.90	PODLASKIE	0.68

Źródło: opracowanie własne

Kolejna analiza dotyczyła zmian produktywności i efektywności pomiędzy okresem pierwszym obejmującym lata 1997-2004 a okresem drugim obejmującym lata 2005-2019. Wyniki zawarto w tabeli 4. Można zauważyć, że dla 9 województw nastąpił wzrost efektywności produkcji zbóż między pierwszym i drugim badanym okresem. Największy wzrost efektywności zaobserwowano dla województw zachodniopomorskiego i pomorskiego. W analizowanym okresie tylko dla województwa zachodniopomorskiego zanotowano wzrost produktywności. Dla wszystkich

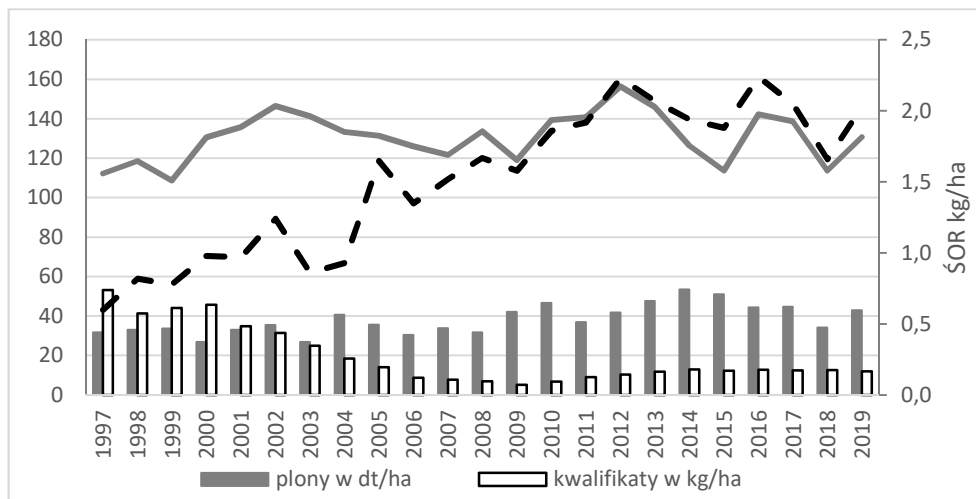
pozostałych województw MPI jest mniejszy od 1. Ponadto, dla wszystkich województw między badanymi okresami zauważamy regres techniczny, spowodowany wyższym wzrostem zużycia ŚOR i nawozów niż wzrostem osiągniętych plonów. Jest to zgodne z prawem malejących produktywności nakładów i jest powszechnie obserwowane, w tym dla polskiego rolnictwa [Wicki 2011], mimo, że obserwuje się wzrost produkcji rolniczej, przy danych nakładach co wynika z wzrostu TFP. Obserwacje takie są jednak częstsze dla całego rolnictwa, gdy ujmuje się wszystkie nakłady i całą produkcję, w tym zwierzęcą [Wicki 2021]. Postęp technologiczny odpowiada za prawie 80% przyrostu produkcji [USDA 2019].

Tabela 4. Indeks MPI i zmiany efektywności pomiędzy okresem 1997–2004 a 2005–2019

Nr	Województwo	Okres 1 1997-2004	Okres 2 2005-2019	Zmiana efektywności (ECH)	Postęp techniczny (TCH)	MPI
1	DOLNOŚLĄSKIE	1.00	0.90	0.90	0.56	0.50
2	KUJAWSKO-POMORSKIE	0.73	0.77	1.04	0.52	0.54
3	LUBELSKIE	0.97	0.97	1.00	0.76	0.76
4	LUBUSKIE	0.55	0.85	1.55	0.59	0.92
5	ŁÓDZKIE	0.82	0.73	0.90	0.55	0.49
6	MAŁOPOLSKIE	0.84	0.96	1.15	0.66	0.76
7	MAZOWIECKIE	1.00	1	1.00	0.85	0.85
8	OPOLSKIE	0.89	0.94	1.05	0.53	0.56
9	PODKARPACKIE	1.00	1	1.00	0.73	0.73
10	PODLASKIE	0.67	0.68	1.01	0.68	0.69
11	POMORSKIE	0.57	0.90	1.58	0.55	0.87
12	ŚLĄSKIE	0.81	0.83	1.03	0.58	0.60
13	ŚWIĘTOKRZYSKIE	0.93	0.85	0.91	0.72	0.65
14	WARMIŃSKO-MAZURSKIE	0.81	0.85	1.04	0.64	0.66
15	WIELKOPOLSKIE	0.83	0.79	0.95	0.53	0.51
16	ZACHODNIOPOMORSKIE	0.66	1	1.53	0.71	1.08

Źródło: opracowanie własne

Rysunek 5. Plony oraz zużycie nasion kwalifikowanych, nawozów i ŚOR dla województwa zachodniopomorskiego w okresie 1997-2019



Źródło: opracowanie własne

Warto przyjrzeć się dokładniej zmianom jakie zachodziły w zużyciu kwalifikatów, ŚOR, nawozów oraz wielkości plonów dla województwa zachodniopomorskiego i porównać te zmiany do średnich zmian czynników dla ogółu województw. W okresie 1997-2004 województwo zachodniopomorskie zajmowało 3. miejsce pod względem zużycia ŚOR oraz było na 4. miejscu pod względem zużycia nawozów. W okresie 2005-2019 zużycie ŚOR i nawozów wzrosło, jednakże województwo zachodniopomorskie zajmuje dopiero 9. miejsce pod względem zużycia ŚOR i 7. pod względem zużycia nawozów w tym okresie. Jednocześnie w województwie tym wzrosły plony, przy znacznym zmniejszeniu zużycia nasion kwalifikowanych. Jest to jednocześnie region z największymi gospodarstwami rolnymi w Polsce. Jak wynika z badań większe gospodarstwa charakteryzują się wyższą efektywnością nakładów, a także szybszym jej wzrostem i ogólnie trwałością [Wicki 2019b, Wojewodziec 2010, Ziętara 2014]. Pod względem zużycia nasion kwalifikowanych województwo zachodniopomorskie zajmuje dopiero 12. miejsce i w tym samym okresie awansowało na 3 miejsce pod względem plonów.

PODSUMOWANIE

W pracy wyznaczono efektywność produkcji zbóż w Polsce w okresie od 1997 do 2019 roku przy wykorzystaniu metody DEA. Wyznaczono efektywność województw w tym zakresie oraz ich ranking dla dwóch okresów: przed i po wejściu Polski do UE, a także zmiany efektywności i produktywności między badanymi

okresami. Ustalono, że województwo zachodniopomorskie, które przed 2004 rokiem było w grupie województw o najmniej efektywnej produkcji zbóż, stało się efektywne pod tym względem w okresie kilkunastu lat. Mogło to wynikać z korzystnej struktury obszarowej gospodarstw, gdyż w większych gospodarstwach poziom korzystania z postępu oraz efektywność wykorzystania nakładów jest wyższa niż w mniejszych [Kusz i in. 2022]. Jest to także jedyne województwo, w którym nastąpił wzrost produktywności produkcji zbóż. Przykład ten pokazuje, że możliwe jest uzyskiwanie wzrostu efektywności (plonów) bez nadmiernego zwiększenia zużycia nawozów oraz środków ochrony roślin. Konieczna jest jednak odpowiednia struktura agrarna, chłonność gospodarstw na postęp, utrzymanie korzystnych dla rozwoju warunków makroekonomicznych i ulepszanie stosowanych technik wytwórczych.

BIBLIOGRAFIA

- Baran J. (2014 a) Regionalne zróżnicowanie efektywności rolnictwa w Polsce. *Roczniki Naukowe Ekonomii Rolnictwa i Rozwoju Obszarów Wiejskich*, 101(2), 20-28.
- Baran J. (2014 b) Changes in the Productivity of Agriculture after Polish Accession to the European Union., *Acta Scientiarum Polonorum. Oeconomia*, 13(3), 5-15.
- Baran J. (2016) Efektywność polskiego rolnictwa na tle pozostałych krajów Unii Europejskiej. *Więś i Rolnictwo*, 3(172), 69-85. <https://doi.org/10.53098/wir032016/03>.
- Bieńkowski J. F., Jankowiak J., Holka M., Dąbrowicz R. (2014) Środowiskowa ocena rozwoju rolnictwa w Polsce w ujęciu regionalnym. *Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu*, 16(1), 14-19. <https://doi.org/DOI: 10.22004/ag.econ.201480>.
- Coelli T. J., Prasada Rao D. S., O'Donnell C. J., Battese G. (2005) *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*, Springer.
- Ćwiakła-Małys A., Nowak W. (2011) Dekompozycja indeksu produktywności Malmquista w modelu DEA. *Acta Universitatis Wratislaviensis, Przegląd Prawa i Administracji*, 3322, Wrocław.
- Daniłowska A. (2015) Provision of Public Goods by Agriculture in Poland. *Economic Science for Rural Development*, (37), 142-151. dostępne: http://lufb.llu.lv/conference/economic_science_rural/2015/Latvia_ESRD_37_2015-142-151.pdf
- Dudek H., Wicki L. (2019) Factors Influencing Cereals Yield in Polish Agriculture. *Economia Agro-Alimentare* 21(3), 793-806. <https://doi.org/10.3280/ECAG2019-003012>
- Guzik B. (2009) Podstawowe modele DEA w badaniu efektywności gospodarczej i społecznej, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, Poznań.
- Jankowiak J., Bieńkowski J. F., Holka M., Dąbrowicz R. (2013) Zmiany produktywności polskiego rolnictwa po wstąpieniu do Unii Europejskiej w ujęciu przestrzennym. *Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu*, 5(4), 146--151.
- Kopiński J. (2018) Ocena zmian organizacyjno-produkcyjnych w polskim rolnictwie w kontekście wybranych oddziaływań środowiskowych. *Zeszyty Naukowe SGGW*

- w Warszawie – Problemy Rolnictwa Światowego, 18 (4), 284-294.
<https://doi.org/10.22630/PRS.2018.18.4.118>
- Kusz B., Kusz D., Bąk I., Oesterreich M., Wicki L., Zimon G. (2022) Selected Economic Determinants of Labor Profitability in Family Farms in Poland in Relation to Economic Size. *Sustainability*, 14(21), 13819. <https://doi.org/10.3390/su142113819>.
- Marzec J., Pisulewski A., Prędko A. (2019) Efektywność techniczna i produktywność polskich gospodarstw rolnych specjalizujących się w uprawach polowych. *Gospodarka Narodowa*, 2(298), 95–125. [https://doi.org/DOI: 10.33119/GN/108607](https://doi.org/DOI:10.33119/GN/108607)
- Nowak A. (2017) Przestrzenne zróżnicowanie zmian produktywności całkowitej rolnictwa w Polsce w latach 2005-2014 *Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu*, 19(1), 131-136. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0009.8353>.
- Rusielik R. (2010a) Wykorzystanie parametrycznej i nieparametrycznej metody analizy granicznej do pomiaru efektywności technicznej rolnictwa – analiza porównawcza. *Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu*, 12(1), 174-179.
- Rusielik R. (2010b) Zmiany efektywności działalności rolniczej w województwach polski po akcesji do Unii Europejskiej. *Zeszyty Naukowe SGGW - Ekonomia i Organizacja Gospodarki Żywnościowej*, (84), 13-21.
- Rusielik R. (2014) Efektywność i produktywność rolnictwa w Polsce – analiza z wykorzystaniem indeksów TFP Hicksa-Moorsteena. *Metody Ilościowe w Badaniach Ekonomicznych*, 15(4), 137-148.
- Rusielik R. (2015) Produktywność rolnictwa w Polsce – Analiza z wykorzystaniem zagregowanych indeksów produktywności Färe-Primonta. *Metody Ilościowe w Badaniach Ekonomicznych*, 16(4), 95-106.
- Rusielik R., Świtłyk M. (1999) Zastosowanie metody DEA do oceny efektywności rolnictwa w Polsce. *Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis, Oeconomica*, 196(36), 179-190.
- Rusielik R., Świtłyk M. (2009) Zmiany efektywności technicznej rolnictwa w Polsce w latach 1998-2006. *Roczniki Nauk Rolniczych, Seria G*, 96(3), 20-27.
- Świtłyk M., Rusielik R. (2003) The Technical Efficiency of Cereals' Fertilization in 1999-01 in Poland — Analysis Based on the Application of DEA Method. *Folia Universitatis Stetinensis. Oeconomica*, 421, 145-154.
- Świtłyk M., Artur Wilczyński A. (2015) Zastosowanie indeksu Mälmqvista do badania zmian efektywności uczelni publicznych. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, 415, 514-524.
- Świtłyk M. (2021) Using the Färe-Primont Index to Measure Changes in Total Factor Productivity of Dairy Farms. *Problems of Agricultural Economics*, 368(3), 141-159. <https://doi.org/10.30858/zer/139281>
- USDA (2019) *International Agricultural Productivity*. Washington, DC.
<https://www.ers.usda.gov/data-products/international-agricultural-productivity/>
- Wicka A., Wicki L. (2022) Is the EU Agriculture Becoming Low-Carbon? Trends in the Intensity of GHG Emissions from Agricultural Production. *Economic Science for Rural Development*, 56, 68–78). <https://doi.org/10.22616/ESRD.2022.56.007>
- Wicki L. (2011) Changes in Efficiency of Fertilisers Use in Poland in the Years 1992-2009. *Economic Science for Rural Development*, 24, 123-130.

- Wicki L. (2019a) Biological Progress and the Use of Nitrogen by Cereal Varieties. *Economic Sciences for Rural Development*, 52, 403-409. <https://doi.org/10.22616/ESRD.2019.148>
- Wicki L. (2019b) Size vs Effectiveness of Agricultural Farms. *Annals of the Polish Association of Agricultural and Agrobusiness Economists*, 21(2), 285-296. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0013.2212>
- Wicki L. (2021) The Role of Technological Progress in Agricultural Output Growth in the NMS upon European Union Accession. *Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu*, 13, 82-96. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0014.7880>
- Wojewodzic T. (2010) Dywesticje w gospodarstwach rolnych – istota, definicje, podział, *Więś i Rolnictwo*, (2), 96-108.
- Ziętara W. (2014) Koncentracja i specjalizacja gospodarstw rolniczych w procesie integracji z Unią Europejską. *Zeszyty Naukowe SGGW W Warszawie - Problemy Rolnictwa Światowego*, 14(1), 157-169. <https://doi.org/10.22630/PRS.2014.14.1.16>

**APPLICATION OF DEA TO EXAMINING CHANGES IN
PRODUCTIVITY AND EFFICIENCY OF POLISH VOIVODESHIPS
IN CEREAL PRODUCTION BETWEEN 1997 AND 2019**

Abstract: In this article we examine the efficiency of cereal production in Poland from 1997 to 2019 using the DEA. The efficiency of voivodeships and their ranking before and after Poland's accession to the EU were determined, as well as changes in efficiency and productivity between the studied periods. The obtained results may be the basis for stating that in regions where large farms dominate, the process of increasing farming efficiency is much faster. An important factor of change are the development opportunities resulting from the favorable conditions of the economic environment for agriculture, as was observed after Poland's accession to the EU.

Keywords: DEA, Malmquist productivity index, efficiency of agricultural production, use of artificial fertilisers, pesticides

JEL classification: C67, O18, Q18