

Tomasz Kijek¹, Anna Nowak²

¹ Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej

Wydział Ekonomiczny

Instytut Ekonomii i Finansów

Katedra Mikroekonomii i Ekonomii Stosowanej

tomasz.kijek@mail.umcs.pl,  <https://orcid.org/0000-0002-0134-4943>

² Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Wydział Agrobiżynierii

Katedra Ekonomii i Agrobiznesu

anna.nowak@up.lublin.pl,  <https://orcid.org/0000-0003-1741-8692>

Regionalne zróżnicowanie środowiskowej efektywności rolnictwa w Polsce¹

Zarys treści: Celem opracowania jest ocena środowiskowej efektywności rolnictwa w Polsce na poziomie województw. W badaniu zastosowano metodę DEA (*Data Envelopment Analysis*). Pozwoliło to na przeprowadzenie oceny efektywności produkcyjnej oraz efektywności środowiskowej badanych regionów. W przypadku ośmiu województw odnotowano pełną efektywność produkcyjną, a włączenie do modelu komponentu środowiskowego (emisji gazów cieplarnianych) nie spowodowało pogorszenia miejsca wśród badanych województw. W odniesieniu do pozostałych regionów obserwuje się zmiany pozycji w rankingu dotyczącego wskaźnika efektywności środowiskowej w stosunku do efektywności produkcyjnej. Z badań wynika, że redukcja tylko niechcianych rezultatów jest w przypadku produkcji rolniczej bardzo trudna, natomiast możliwa jest jednoczesna redukcja rezultatów pozytywnych i negatywnych.

Słowa kluczowe: rolnictwo, efektywność środowiskowa, Polska, regiony, DEA (*Data Envelopment Analysis*)

Wprowadzenie

Rolnictwo odgrywa kluczową rolę w debatach na temat koncepcji zrównoważonego rozwoju (Streimikis, Saraji 2022, Mergoni i in. 2024). Specyfika tego sektora wynika z wielokierunkowych powiązań z otoczeniem społeczno-gospodarczym

¹ Niniejsza publikacja jest efektem stażu naukowego odbywanego w Katedrze Ekonomii i Mikroekonomii Stosowanej, w Instytucie Ekonomii i Finansów Wydziału Ekonomicznego UMCS w Lublinie.

oraz środowiskiem naturalnym (Pawlak, Kołodziejczak 2020). Ważny kierunek badań ekonomicznych i rolniczych stanowi analiza produktywności rolnictwa, gdyż pozwala ona poznać czynniki i skalę zmian w przekształcaniu nakładów w wyniki (Baležentis i in. 2021). Produktywność rolnictwa stanowi jeden ze wskaźników wzrostu gospodarczego kraju, przyczynia się zatem do zrównoważonego rozwoju (Kerstens i in. 2018). Wśród wyzwań stojących przed rolnictwem znajduje się z jednej strony potrzeba zagwarantowania bezpieczeństwa żywnościowego w sytuacji wzrostu populacji mieszkańców świata, z drugiej zaś wzmocnienie jego odporności i dostosowanie do zmian klimatycznych (Dedieu, Prados 2022, Kryszak i in. 2023). Rolnictwo jest jednocześnie uważane za główny sektor przyczyniający się do zanieczyszczenia środowiska, ponieważ obecne praktyki rolnicze nie są wystarczająco zrównoważone (Richterová i in. 2021, Hamid, Wang 2022). Z tego względu sektor rolniczy jest szczególnie ważny dla osiągnięcia Celów Zrównoważonego Rozwoju (SDGs) (Scown, Nicholas 2020). W ciągu ostatniego stulecia wiele czynników, w tym dotacje publiczne i innowacje techniczne, doprowadziło do intensyfikacji rolnictwa. Jednak wzrost plonów oraz produkcji osiągnięty został kosztem zwiększonych szkód dla środowiska (Ait Sidhoum i in. 2023). W związku z tym rolnictwo jako główny dysponent zasobów środowiska naturalnego powinno uwzględniać w strategiach rozwoju zmiany w środowisku naturalnym i związane z tym zmiany klimatyczne (Viana i in. 2022). Skłania to do odchodzenia od tradycyjnego podejścia do oceny produktywności rolnictwa i uwzględniania w tej ocenie aspektów środowiskowych. Brakuje jednak badań z tego zakresu, zwłaszcza w odniesieniu do poziomu regionalnego (Richterová i in. 2021). Potrzeba badań efektywności rolnictwa na poziomie mezo wynika także z tego, że sektor ten różni się nie tylko między krajami, ale istnieją ogromne dysproporcje między regionami w obrębie wielu krajów UE. Regiony europejskie w szczególności charakteryzują się różnymi uwarunkowaniami naturalnymi, które kształtują ich strukturę rolniczą (Bianchi i in., 2020, Richterová i in. 2021).

Z przeglądu literatury przeprowadzonego przez Streimikis i Saraji (2021) oraz Staniszewskiego i Matuszczak (2023) wynika, że najpopularniejszą metodą w ocenie efektywności środowiskowej rolnictwa jest analiza obwiedni (wartości granicznych) danych (*Data Envelopment Analysis* – DEA²), a także stochastyczna analiza graniczna (*Stochastic Frontier Analysis* – SFA). Przy wykorzystaniu metody DEA lub SFA konieczne są jednak dodatkowe dostosowania, w tym włączenie do modelu dodatkowych, niepożądanych efektów lub dodatkowych nakładów środowiskowych. Badania takie można odnaleźć w literaturze, ale dotyczą one najczęściej skali krajowej lub międzynarodowej (Staniszewski, Czyżewski 2018, Baležentis i in. 2021), a także poziomu gospodarstw rolnych (Czyżewski, Smędzik 2010, Alem 2023). Brakuje natomiast opracowań odnoszących się do poziomu regionów zarówno w Polsce, jak i w innych krajach członkowskich UE. Lukę tę wypełniają prezentowane badania dotyczące poziomu NUTS 2 w Polsce, które dodatkowo wpisują się w potrzebę badań zrównoważonego rozwoju.

² Istotą DEA jest zbudowanie matematycznej obwiedni – granicy efektywności, która służy jako punkt odniesienia do pomiaru efektywności wszystkich badanych jednostek.

Zróżnicowanie przestrzenne polskiego rolnictwa, jego zasobów oraz kierunków i intensywności ich wykorzystania, determinuje potrzebę prowadzenia badań tego sektora w odniesieniu do bardziej jednorodnych jednostek przestrzennych. Biorąc to pod uwagę, za cel opracowania przyjęto ocenę środowiskowej efektywności rolnictwa w Polsce na poziomie NUTS 2, czyli według województw. Znaczenie tego typu badań wzrasta w świetle współczesnych wyzwań stawianych przed rolnictwem związanych ze zwiększoną konkurencją o alternatywne wykorzystanie zasobów naturalnych, zachowaniem różnorodności biologicznej, bezpieczeństwem żywności oraz łagodzeniem zmian klimatu.

Przegląd literatury

Sektor rolny odgrywa kluczową rolę w debatach na temat koncepcji zrównoważonego rozwoju (Tsangas i in. 2020, Streimikis, Saraji 2022, Mergoni i in. 2024). Ocena rolnictwa w kontekście tej idei powinna wykraczać poza aspekty dotyczące produkcji dla zapewnienia bezpieczeństwa żywnościowego czy efektywności ekonomicznej i uwzględniać związki tego sektora ze środowiskiem naturalnym (Kuo i in. 2014, Hamid, Wang 2022). Podejmowanych jest wiele wysiłków w celu zmierzenia wyników rolnictwa pod względem środowiskowym, czego odzwierciedleniem są wskaźniki rolno-środowiskowe (Bureau, Antón 2022). O ile dość dużo uwagi poświęcono w literaturze samym relacjom rolnictwo–środowisko naturalne (Wrzaszcz, Wigier 2024), o tyle włączenie aspektów środowiskowych do oceny produktywności tego sektora nie znalazło zbyt dużego zainteresowania badaczy, zwłaszcza w odniesieniu do skali regionalnej. Wynika to poniekąd z tego, że jak dotąd nie opracowano żadnej uniwersalnej metody oceny efektywności środowiskowej (Staniszewski 2017). Najszerzej rozpowszechnione i akceptowane podejście do włączenia aspektów środowiskowych produkcji rolniczej do oceny efektywności związane jest z wykorzystaniem granicznych metod oceny efektywności, a zwłaszcza DEA oraz SFA (Emrouznejad, Yang 2018, Stanisławski, Matuszczak 2023). Z przeglądu literatury z tego zakresu wynika, że autorzy często wykorzystywali klasyczne modele efektywności ekonomicznej wzbogacając je o dodatkowe nakłady o charakterze środowiskowym. Podejście to było szczególnie popularne w badaniach SFA. W badaniach DEA najczęściej stosowane są podstawowe modele dla stałych CCR lub zmiennych efektów skali BCC (Staniszewski, Matuszczak 2023). Przykłady badań z zakresu środowiskowej efektywności rolnictwa przedstawiono w tabeli 1.

W odniesieniu do Polski zdiagnozować można wyraźną lukę badawczą w zakresie środowiskowej efektywności rolnictwa, zarówno w skali kraju, jak i regionów. Wielu autorów odnosi się do związków rolnictwa ze środowiskiem naturalnym, a nawet bada siłę oddziaływania gospodarstw rolnych na środowisko naturalne (Kagan 2014, Góral, Rembisz 2017, Harasim 2018), jednak nie dokonują one oceny zmian produktywności sektora rolnego z uwzględnieniem aspektów środowiskowych. Wyjątek stanowi tu praca Bieńkowskiego i in. (2014), którzy wykorzystali w swoich analizach metodę DEA. Badając produkcję rolniczą

Tabela 1. Wybrane badania środowiskowej efektywności rolnictwa

Autor/ autorzy badań	Zakres przestrzenny badań	Metoda badań	Komponent środowiskowy uwzględniony w badaniach
Alem (2023)	Norwegia	stochastyczna funkcja odległości wejściowej z wieloma technologiami produkcji środowiskowej wejścia-wyjścia	emisja CH ₄ z gospodarstw mleczarskich
Baležentis i in. (2021)	wybrane kraje UE	rozszerzony model produkcji zintegrowano ze środowiskowym wskaźnikiem produktywności Luenbergera-Hicksa-Moorsteena opartym na kierunkowych funkcjach odległości nakładów i wyników	emisja gazów cieplarnianych w tonach ekwiwalentu CO ₂
Vlontzos i in. (2014)	25 krajów UE	nieradialny model Data Envelopment Analysis (DEA)	emisja CO ₂ , bilans składników odżywczych brutto (gross nutrient balance)
Bieńkowski i in. (2014)	Polska	model DEA, indeks efektywności środowiskowej według Färe i Grosskopf	emisja GHG w produkcji zwierzęcej oraz emisja GHG w uprawach polowych
Pishgar-Komleh i in. (2021)	27 krajów UE	Window Slack-Based Measurement Data Envelopment Analysis (W-SBM-DEA), model uwzględniający niepożądane wyniki	emisje GHG
Li i in. (2024)	23 kraje Ameryki Łacińskiej	nowy rozkład wskaźnika Luenbergera-Hicksa-Moorsteena (LHM)	emisja CO ₂ , zużycie pestycydów, zużycie nawozów
Yang i in. (2022)	Chiny (28 prowincji)	wskaźnik produktywności Malmquista oparty na nieradialnej i niekątowej funkcji odległości kierunkowej SBM	emisje dwutlenku węgla i zanieczyszczenia rolnicze pochodzące ze źródeł rozproszonych
Peng i in. (2024)	Chiny (prowincja Shandong)	modele SBM-DEA i Malmquista	zużycie nawozów, ilość zanieczyszczeń w rolnictwie
Hamid i in. (2023)	sześć krajów Azji Południowo-Wschodniej	indeks produktywności Malmquista-Luenbergera	emisja CO ₂

Źródło: opracowanie własne.

w kontekście środowiskowym, posłużyli się indeksem według Färe i Grosskopf. Jest on wyznaczany jako relacja dwóch wskaźników – jeden z nich dotyczy pozytywnych efektów, drugi zaś efektów negatywnych (niepożądanych). Z tego względu niniejsze opracowanie wpisuje się w debatę dotyczącą zmian środowiskowej efektywności rolnictwa, co jest szczególnie ważne w kontekście wyzwań związanych ze zmianami klimatycznymi, obecnego kształtu Wspólnej Polityki Rolnej (WPR), a także regionalnego zróżnicowania rolnictwa w Polsce.

Materiał i metody

W celu oceny efektywności środowiskowej rolnictwa w ujęciu regionalnym w Polsce zastosowano metodę DEA (*Data Envelopment Analysis*). Istotą metody DEA, bazującej na technikach programowania liniowego, jest porównanie efektywności w grupie obiektów decyzyjnych – DMUs (*Decision Making Units*), które za pomocą wielu nakładów uzyskują wiele efektów. Analizowane DMUs uważa się za efektywne, jeżeli znajdują się na krzywej efektywności. Natomiast DMUs znajdujące się poza krzywą efektywności traktowane są jako nieefektywne. Klasyfikacji modeli DEA można dokonać za pomocą kryterium orientacji modelu i charakteru korzyści skali. Model CCR, opracowany przez Charnesa i in. (1978), jest zorientowany na nakłady, czyli na minimalizację nakładów, i zakłada stałe korzyści skali. Z kolei model BCC, opracowany przez Bankera i in. (1984), jest zorientowany na wyniki, czyli na maksymalizację efektów, i zakłada zmienne korzyści skali. W sytuacji, gdy w zbiorze efektów produkcyjnych znajdują się efekty niepożądane (*undesirable outputs*), np. zanieczyszczenia lub odpady, zastosowanie standardowego modelu BCC, który zakłada, że wzrost efektów przy stałych nakładach oznacza poprawę efektywności, jest niewłaściwe. W celu uwzględnienia w modelu BCC niekorzystnych efektów produkcyjnych Seiford i Zhu (2002) zaproponowali ich liniową transformację polegającą na pomnożeniu efektów niepożądanych przez „-1” i znalezieniu takiego wektora przesunięcia w , który zapewni, że będą one dodatnie.

Zmodyfikowany model BCC uwzględniający efekty niepożądane przyjmuje następującą postać:

$$\max h$$

przy ograniczeniach:

$$\sum_j z_j y_j^g \geq h y_0^g$$

$$\sum_j z_j \bar{y}_j^b \geq h \bar{y}_0^b$$

$$\sum_j z_j x_j \leq x_0$$

$$\sum_j z_j = 1$$

$$z_j \geq 0 \quad j = 1, 2, 3, \dots, n$$

gdzie:

- h – efektywność obiektu,
- y_j^g – wektor pożądaných rezultatów,
- $\bar{y}_j^b$ – wektor niepożądanych rezultatów, dla którego $\bar{y}_j^b = -y_j^b + w > 0$,

- x_j – wektor nakładów,
- z_j – wagi.

W badaniu obiekty analizy stanowiły polskie województwa ($n = 16$). Dane na temat nakładów i efektów produkcji rolniczej w 2022 r. pozyskano z Banku Danych Lokalnych (BDL 2025), opracowań GUS (2023, 2024) oraz Krajowego Ośrodka Bilansowania i Zarządzania Emisjami. Za miarę produkcji sektora rolnego przyjęto produkcję globalną w cenach bieżących (mln zł). Mrówczyńska-Kamińska (2009) podkreśla, że zależy ona przede wszystkim od ilości czynników produkcji w rolnictwie oraz od ich produktywności. Nakłady w produkcji rolniczej obejmują ziemię, pracę i kapitał. Ich poziom i struktura w poszczególnych regionach wyznaczają skalę i strukturę produkcji rolniczej (Nowak, Wójcik 2013). Z tego powodu uwzględniono w badaniu każdy z tych czynników. Nakłady ziemi wyrażono w powierzchni użytków rolnych (ha). Czynnik pracy ujęto liczbą osób zatrudnionych w rolnictwie w poszczególnych województwach. Warto dodać, że zbyt wysoki poziom zatrudnienia w rolnictwie stanowi barierę poprawy wydajności pracy w tym sektorze, ograniczając jednocześnie możliwość osiągnięcia celów zrównoważenia rolnictwa w aspekcie ekonomicznym (Kołodziejczak 2018). Kapitał wyrażono wartością brutto środków trwałych w rolnictwie (tys. zł). Stanowią one nie tylko organizacyjne uwarunkowania produkcji rolniczej, ale także determinują wyniki produkcyjno-ekonomiczne w sektorze rolnym (Kołoszko-Chomentowska 2016). Uwzględniono także zużycie nawozów mineralnych w przeliczeniu na czysty składnik w tysiącach ton. Piwowar (2011) podkreśla, że są one najważniejszym plonotwórczym czynnikiem produkcji rolnej, a jednocześnie odzwierciedlają poziom intensywności produkcji rolniczej.

Natomiast jako efekt niepożądany (dodatkowy) przyjęto emisje gazów cieplarnianych z rolnictwa – GHG (tys. ton), obejmujące dwutlenek węgla, metan oraz podtlenek azotu. Dane te z podziałem na województwa pozyskano z Krajowego Ośrodka Bilansowania i Zarządzania Emisjami. Zgodnie z tym, co przedstawiono w tabeli 1, emisje GHG lub emisje samego CO₂ wykorzystywane były także przez innych autorów jako komponent środowiskowy (negatywny) w badaniach środowiskowej efektywności rolnictwa (Bieńkowski i in. 2014, Pishgar-Komleh i in. 2021, Li i in. 2024).

Wyniki badań i dyskusja

W tabeli 2 przedstawiono statystyki opisowe zmiennych przyjętych do wyznaczenia efektywności produkcyjnej i środowiskowej dla 16 województw w Polsce w 2022 r.

Potencjał produkcyjny rolnictwa stwarza warunki do wytwarzania określonego poziomu produkcji (Krasowicz, Matyka 2021). Przestrzenne rozmieszczenie zasobów ziemi użytkowanej rolniczo oraz jej jakość determinują charakter produkcji w poszczególnych regionach. Najbardziej zasobne w czynnik ziemi są województwa mazowieckie, wielkopolskie oraz lubelskie, które dysponują łącznie 34,8% użytków rolnych w Polsce. Najmniejsze zasoby ziemi mają natomiast takie

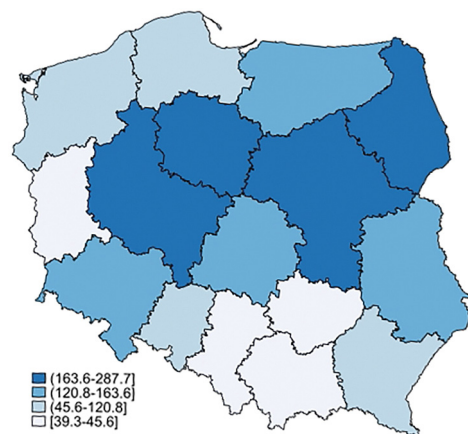
Tabela 2. Statystyki deskryptywne zmiennych nakładowych i wynikowych przyjętych do badania

Zmienna	Średnia	Odchylenie standardowe	Min.	Maks.
Produkcja globalna (mln zł)	12 507	9 622	3 602	3 5219,6
Emisja gazów cieplarnianych (tys. ton)	124,2	76,1	39,3	287,7
Nakład pracy (os.)	7 6124,1	4 7931,8	16 239	168 963
Nakład kapitału (tys. zł)	11 361 361	6 096 817	4 342 657	25 736 656
Nakład ziemi (ha)	919 505,1	469 097,7	370 527	1 972 634
Zużycie nawozów mineralnych (tys. ton)	112,1	63,5	30,1	245

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych BDL, GUS oraz Krajowego Ośrodka Bilansowania i Zarządzania Emisjami.

województwa, jak śląskie i lubuskie. Zasoby pracy są także zróżnicowane regionalnie, co wynika z roli rolnictwa w poszczególnych województwach, ale także ze struktury agrarnej. W województwach lubelskim, małopolskim, mazowieckim i wielkopolskim liczba pracujących w rolnictwie jest największa. Jednak z uwagi na rozdrobnienie agrarne w dwóch pierwszych regionach liczba zatrudnionych w przeliczeniu na 100 ha UR należy do najwyższych w kraju – odpowiednio 10,6 oraz 27,1 osób/100 ha. Wartość brutto środków trwałych w rolnictwie wahała się od 25 mld w województwie mazowieckim i wielkopolskim do 4 mld w lubuskim. Z kolei wysokie całkowite zużycie nawozów mineralnych w przeliczeniu na czysty składnik charakterystyczne jest zwłaszcza dla takich regionów, jak wielkopolski, mazowiecki, lubelski i kujawsko-pomorski. Analizując wartość rolniczej produkcji globalnej, można stwierdzić, że liderami są województwa mazowieckie i wielkopolskie, które w 2022 r. łącznie wytworzyły 34,4% produkcji krajowej. Kolejne miejsca zajmują lubelskie, łódzkie, kujawsko-pomorskie i podlaskie. Najmniejszy wpływ na produkcję krajową mają województwa lubuskie (1,8%), śląskie (2,4%) i podkarpackie (2,1%).

Proces produkcji rolniczej odznacza się tym, że towarzyszy mu powstawanie tzw. negatywnych efektów zewnętrznych o charakterze środowiskowym. Należą do nich między innymi emisje gazowe (Bieńkowski i in. 2014). W skali światowej sektor rolny jest odpowiedzialny za ponad 18% emisji gazów cieplarnianych (GHG), w przypadku Polski udział ten jest o połowę niższy i wynosi 8,8% całkowitych emisji (KOBiZE 2024). Do emisji z sektora rolnego nie są wliczane emisje wynikające z wykorzystania energii elektrycznej, paliw kopalnych oraz produkcji nawozów – są one rozliczane w sektorze paliw lub przemysłu. Emisje z rolnictwa obejmują głównie metan z fermentacji jelitowej zwierząt gospodarskich (39,4% emisji krajowych) oraz emisje podtlenku azotu z gleb rolniczych (pochodzącego z nawożenia) (80,2% krajowych emisji). Udział rolnictwa w krajowej emisji CO₂ w roku 2022 wyniósł zaledwie 0,4%. Emisja CO₂ z rolnictwa zależna jest od intensywności produkcji roślinnej, zwłaszcza od wapnowania gleb, aplikacji nawozów mocznikowych i uwalniania CO₂ w trakcie orki po aplikacji nawozów. Warto zaznaczyć, że zgodnie z „Krajowym Raportem Inwentaryzacyjnym 2024” (KOBiZE 2024) sektor rolny odznacza się znacznym spadkiem emisji. W latach 1988–2022



Ryc. 1. Rozkład przestrzenny emisji gazów cieplarnianych pochodzących z produkcji rolniczej w 2022 r. (tys. ton)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Krajowego Ośrodka Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBIZE).

spadek ten wyniósł 33,5%. Było to spowodowane zmianami o charakterze strukturalnym oraz ekonomicznym, czego przejawem było m.in. zmniejszenie produkcji zwierzęcej w Polsce. Przykładowo pogłowie bydła w latach 1988–2022 zmniejszyło się o około 4 mln szt., a owiec o około 3,7 mln szt.

Polskie rolnictwo odznacza się regionalnym zróżnicowaniem zarówno pod względem cech strukturalnych, jak i posiadanego potencjału, efektywności jego wykorzystania oraz kierunków produkcji (Krasowicz, Matyka 2021, Lichaczewska-Ziembka, Gradziuk 2024, Nowak 2024). Determinuje to przestrzenne zróżnicowanie emisji gazów cieplarnianych z tego sektora (ryc. 1). Do regionów

o największych łącznych emisjach GHG z rolnictwa (metan, CO_2 i podtlenek azotu), a także o najwyższych emisjach metanu i podtlenku azotu, należą województwa wielkopolskie, mazowieckie i podlaskie. W 2022 r. miały one 36,6% udziału w krajowych emisjach gazów cieplarnianych oraz 52,4% udziału w krajowej emisji metanu z sektora rolnego. Wysokie emisje metanu należy tłumaczyć tym, że regiony te odznaczają się najwyższą w Polsce obsadą bydła na 100 ha użytków rolnych (pierwsze 3 lokaty), a w przypadku województwa wielkopolskiego także najwyższą obsadą trzody chlewnej (1 lokata) (GUS 2023). W województwie podlaskim obsada zwierząt wyrażona w sztukach dużych (SD) na 100 ha UR wyniosła w 2022 r. 82,2 SD/100 ha, w wielkopolskim 81,7 SD/100 ha, a w mazowieckim 59,5 SD/100 ha, sytuując te regiony na trzech pierwszych miejscach wśród 16 województw. Ponadto według danych GUS (2024) w roku gospodarczym 2022/2023 w województwach wielkopolskim i mazowieckim występowało najwyższe wśród województw zużycie nawozów mineralnych w przeliczeniu na czysty składnik (odpowiednio 1 i 2 lokata), co determinowało wysoką emisję podtlenku azotu. Na drugim biegunie, tj. wśród województw o najniższej emisji GHG, znalazły się podkarpackie, małopolskie, śląskie, świętokrzyskie oraz lubuskie, których udział w całkowitych emisjach z rolnictwa wynosił w 2022 r. niepełna 11%. W większości są to regiony o niekorzystnej strukturze agrarnej, co wiąże się z niższą intensywnością produkcji. Ponadto odznaczały się one także relatywnie niską obsadą zwierząt gospodarskich oraz zajmowały ostatnie pięć lokat pod względem zużycia nawozów mineralnych w przeliczeniu na czysty wskaźnik (łącznie 12,4% zużycia krajowego) (GUS 2024).

Kolejnym krokiem badań było dokonanie oceny efektywności produkcyjnej (bez uwzględnienia efektów zewnętrznych) oraz efektywności środowiskowej

rolnictwa (z uwzględnieniem emisji gazów cieplarnianych z rolnictwa) w skali regionów za pomocą modelu BCC. Pozwoliło to na uporządkowanie poszczególnych województw pod względem poziomu osiągniętej efektywności oraz na określenie efektywności względnej obiektu w badanym zbiorze regionów (tab. 3). Z przeglądu badań dotyczących środowiskowej efektywności rolnictwa dokonanej przez Staniszewskiego i Matuszczak (2023) wynika, że podejście metodologiczne tego typu analiz było zróżnicowane. Przejawem tego było chociażby to, że emisje gazów cieplarnianych oraz zużycie nawozów mineralnych było ujmowane zarówno w kategoriach nakładów, jak i efektów.

Tabela 3. Efektywność produkcyjna i środowiskowa rolnictwa w Polsce według województw w 2022 r.

Województwo	Efektywność środowiskowa	Pozycja w rankingu	Województwo	Efektywność produkcyjna	Pozycja w rankingu
zachodniopomorskie	1	1	zachodniopomorskie	1	1
lubuskie	1	1	lubuskie	1	1
wielkopolskie	1	1	wielkopolskie	1	1
kujawsko-pomorskie	1	1	kujawsko-pomorskie	1	1
śląskie	1	1	śląskie	1	1
łódzkie	1	1	łódzkie	1	1
mazowieckie	1	1	mazowieckie	1	1
świętokrzyskie	1	1	świętokrzyskie	1	1
małopolskie	0,984	2	opolskie	0,967	2
podkarpackie	0,977	3	małopolskie	0,927	3
opolskie	0,967	4	podlaskie	0,922	4
pomorskie	0,924	5	warmińsko-mazurskie	0,911	5
podlaskie	0,922	6	pomorskie	0,889	6
warmińsko-mazurskie	0,911	7	lubelskie	0,837	7
lubelskie	0,891	8	dolnośląskie	0,663	8
dolnośląskie	0,782	9	podkarpackie	0,563	9

Uwaga: Dla obiektów nieefektywnych dokonano transformacji wskaźnika efektywności zgodnie z formułą

Źródło: opracowanie własne.

Z badań wynika, że osiem regionów osiągało pełną efektywność produkcyjną (wskaźnik wynoszący 1). Co ciekawe, uwzględnienie w analizie emisji gazów cieplarnianych nie zaburzyło pozycji tych regionów w rankingu efektywności. Należą do nich województwa zachodniopomorskie, lubuskie, wielkopolskie, kujawsko-pomorskie, śląskie, łódzkie, mazowieckie oraz świętokrzyskie. Zaskakiwać może znalezienie się w tej grupie zwłaszcza województw świętokrzyskiego i lubuskiego. Warto zwrócić jednak uwagę, że są to regiony o relatywnie niskiej emisji gazów cieplarnianych z rolnictwa (odpowiednio 15 i 16 lokata pod względem całkowitych emisji GHG z sektora rolnego). Ponadto Richterová i in. (2021) badając ekoefektywność zaliczyli obydwa te regiony do grupy „regionów postępowych” z rosnącą tendencją ekoefektywności, technicznej ekoefektywności

i postępu technologicznego w rolnictwie. W przypadku pozostałych regionów obserwuje się zmiany pozycji w rankingu dotyczącym wskaźnika efektywności środowiskowej w stosunku do ich pozycji pod względem efektywności produkcyjnej. Województwa podkarpackie, pomorskie i małopolskie odnotowały poprawę efektywności przy uwzględnieniu komponentu środowiskowego, w przypadku pierwszego z nich aż o 6 lokat. Natomiast województwa opolskie, podlaskie, warmińsko-mazurskie, lubelskie i dolnośląskie odnotowały niższe pozycje w rankingu opartym na wskaźniku efektywności środowiskowej o jedną lub dwie pozycje w stosunku do pozycji wynikających z rankingu opartego na efektywności produkcyjnej. Warto zwrócić uwagę, że wielu autorów w swoich badaniach dotyczących regionalnego zróżnicowania rolnictwa wskazuje na Podkarpacie jako na region o niskiej efektywności i konkurencyjności rolnictwa (Bereźnicka, Wicki 2023, Nowak 2024). Jest to związane z niekorzystną strukturą agrarną i niekorzystnymi relacjami pomiędzy czynnikami produkcji. Z drugiej strony niższa intensywność produkcji rolniczej w tym regionie przekłada się na wyższą efektywność środowiskową. Podobne spostrzeżenia można sformułować także w odniesieniu do województwa małopolskiego. Można jednocześnie wnioskować, że w regionach o pełnej efektywności produkcyjnej rolnictwa uwzględnienie w ocenie emisji gazów cieplarnianych nie wpłynęło na obniżenie efektywności środowiskowej. W przypadku tych regionów należy oczekiwać, że redukcja niechcianych rezultatów oznacza redukcję rezultatów pożądaných lub kosztowną zmianę technologii. Podsumowując, można stwierdzić, że uzyskane wyniki wskazują na dominującą rolę efektów produkcyjnych w całościowej ocenie efektywności rolnictwa.

Podsumowanie i wnioski

Rolnictwo stanowi specyficzny sektor gospodarki, odznaczający się wyjątkowymi powiązaniami ze środowiskiem naturalnym. Tworzy to określone perspektywy dla rozwoju tego sektora, ale także stawia przed nim szereg wyzwań. Wypełniając swoją misję zrównoważenia środowiskowego, dzisiejsze rolnictwo powinno zatem integrować szeroki wachlarz celów związanych z zapotrzebowaniem na żywność i surowce rolnicze z wyzwaniami środowiskowymi. Ocena efektywności rolnictwa z uwzględnieniem aspektów środowiskowych jest zagadnieniem złożonym, co wynika z dwukierunkowych związków tego sektora ze środowiskiem. Z jednej strony efekty produkcji rolniczej zależne są od zasobów naturalnych i stanu środowiska naturalnego, z drugiej zaś działalność produkcyjna w rolnictwie przyczynia się do emisji zanieczyszczeń. W niniejszym opracowaniu zaproponowano włączenie emisji gazów cieplarnianych do nieparametrycznego modelu DEA, co pozwoliło na analizę 16 polskich regionów z punktu widzenia środowiskowej efektywności rolnictwa. Dzięki takiemu rozwiązaniu możliwe było przeprowadzenie równoległej oceny efektywności produkcyjnej oraz efektywności środowiskowej badanych województw. Włączenie do analizy komponentu środowiskowego (emisji GHG) nie wpłynęło na zmiany w rankingu województw o wysokiej efektywności produkcyjnej. Osiągnięcie wysokiej produkcji pociąga w tym

przypadku za sobą relatywnie wysoką emisję gazów cieplarnianych. Można tu wnioskować o braku niskokosztowych technologii produkcji, które pozwoliłyby na utrzymanie wysokiej efektywności produkcyjnej bez zanieczyszczeń. Zidentyfikowano także takie regiony (podkarpackie i małopolskie), gdzie efektywność produkcyjna jest bardzo niska, ale również nieduże są zanieczyszczenia, co jest konsekwencją uwarunkowań strukturalnych i pewnych zapóźnień technologicznych. Wydaje się zatem, że redukcja tylko niechcianych rezultatów jest w przypadku produkcji rolniczej bardzo trudna, natomiast możliwa jest jednoczesna redukcja rezultatów pozytywnych i negatywnych.

Konflikt interesów

Autorzy deklarują brak występowania konfliktu interesów. Oświadczają, że tekst artykułu jest w całości ich dziełem.

Podział pracy przy artykule obrazował się następująco:

- konceptualizacja: TK, AN,
- metodologia: TK, AN,
- organizacja badań: TK, AN,
- analiza formalna: TK, AN,
- pisanie: TK, AN.

Literatura / References

- Ait Sidhoum A., Canessa C., Sauer J. 2023. Effects of agrienviroment schemes on farm-level eco-efficiency measures: Empirical evidence from EU countries. *Journal of Agricultural Economics*, 74: 551–569.
- Alem H. 2023. The role of green total factor productivity to farm-level performance: evidence from Norwegian dairy farms. *Agricultural Economics* 11, 2. <https://doi.org/10.1186/s40100-023-00243-0>
- Baležentis T., Blancard S., Shen Z., Štreimikienė D. 2021. Analysis of Environmental Total Factor Productivity Evolution in European Agricultural Sector. *Decision Sciences*, 52(2): 483–511. <https://doi.org/10.1111/deci.12421>
- Bereźnicka J., Wicki L. 2023. Land and labor efficiency changes in polish agriculture in regional terms. *Annals PAAAE*, 25(2): 23–39. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0016.3035>
- Bieńkowski J.F., Jankowiak J., Holka M., Dąbrowicz R. 2014. Środowiskowa ocena rozwoju rolnictwa w Polsce w ujęciu regionalnym. *Roczniki Naukowe SERiA*, 16(1): 14–19.
- Banker R.D., Charnes A., Cooper W.W. 1984. Some methods for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, 30(9): 1078–1092.
- Bureau J.C., Antón J. 2022. Agricultural Total Factor Productivity and the environment: A guide to emerging best practices in measurement. *OCDE Food, Agriculture and Fisheries Paper*, 177.
- Charnes A., Cooper W.W., Rhodes E. 1978. Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6): 429–444.
- Czyżewski A., Smeździk K. 2010. Efektywność techniczna i środowiskowa gospodarstw rolnych w Polsce według ich typów i klas wielkości w latach 2006–2008. *Roczniki Nauk Rolniczych*, G, 97(3): 61–71.
- Dedieu B., Prados E. 2022. What are the challenges facing agriculture? Agriculture and digital technology: Getting the most out of digital technology to contribute to the transition to sustainable agriculture and food systems. *INRIA*, 6, White book.

- Emrouznejad A., Yang G.-L. 2018. A survey and analysis of the first 40 years of scholarly literature in DEA: 1978–2016. *Socio-Economic Planning Sciences*, 61: 4–8. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2017.01.008>
- Góral J., Rembisz W. 2017. Produkcja w rolnictwie w kontekście ochrony środowiska. *Roczniki Naukowe Ekonomii Rolnictwa i Rozwoju Obszarów Wiejskich*, 104(1): 7–21. <https://doi.org/10.22630/RNR.2017.104.1.1>
- GUS 2023. *Rocznik statystyczny rolnictwa 2023*. Warszawa.
- GUS 2024. *Środki produkcji w rolnictwie w roku gospodarczym 2022/2023*. Warszawa.
- BDL 2025. Rolnictwo. <https://bdl.stat.gov.pl/bdl/dane/podgrup/temat> (dostęp: 10.01.2025).
- Hamid S., Wang K. 2022. Environmental total factor productivity of agriculture in South Asia: A generalized decomposition of Luenberger-Hicks-Moorsteen productivity indicator. *Journal of Cleaner Production*, 351: 131483. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131483>
- Hamid S., Wang Q., Wang K. 2023. The spatiotemporal dynamic evolution and influencing factors of agricultural green total factor productivity in Southeast Asia (ASEAN-6). *Environment, Development and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03975-7>
- Harasim A. 2018. Środowiskowe aspekty specjalizacji gospodarstw rolnych. *Annals PAAAE*, 20(2): 65–71. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0011.8117>
- Kagan A. 2014. Techniczna i środowiskowa efektywność wielkotowarowych przedsiębiorstw rolnych w Polsce. IERiGŻ-PIB, Warszawa.
- Kerstens K., Shen Z., van de Woestyne I. 2018. Comparing Luenberger and Luenberger-Hicks-Moorsteen productivity indicators: How well is total factor productivity approximated? *International Journal of Production Economics*, 195: 311–318. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.10.010>
- KOBiZE 2024. Krajowy Raport Inwentaryzacyjny 2024. Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE), Warszawa.
- Kołodziejczak W. 2018. Zatrudnienie i wartość dodana brutto w sektorach gospodarki państw Unii Europejskiej w latach 2002 i 2016. *Problemy Rolnictwa Światowego*, 18(4): 270–283. <https://doi.org/10.22630/PRS.2018.18.4.117>
- Kołoszko-Chomentowska Z. 2016. Efektywność wykorzystania środków trwałych w gospodarstwach rolnych. *Roczniki Naukowe SERiA*, 18(3): 178–183.
- Krasowicz S., Matyka M. 2021. Produkcja towarowa jako kryterium wykorzystania potencjału rolnictwa w różnych regionach Polski. *Zagadnienia Ekonomiki Rolnej*, 367(2): 48–72. <https://doi.org/10.30858/zer/134170>
- Kryszak Ł., Świerczyńska K., Staniszewski J. 2023. Measuring total factor productivity in agriculture: a bibliometric review. *International Journal of Emerging Markets*, 18(1): 148–172. <https://doi.org/10.1108/IJOEM-04-2020-0428>
- Kuo H.F., Chen H.L., Tsou K.W. 2014. Analysis of farming environmental efficiency using a DEA model with undesirable outputs. *APCBEE Procedia*, 10: 154–158. <https://doi.org/10.1016/j.apcbee.2014.10.034>
- Li T., Ormeño-Candelario V., Chen X. 2024. Assessing Agricultural Green Total Factor Productivity in Latin America. *Agribusiness*. <https://doi.org/10.1002/agr.22006>
- Lichaczewska-Ziemia M., Gradziuk P. 2024. Przemiany i zróżnicowanie regionalne struktury obszarowej gospodarstw rolnych w Polsce. *Annals PAAAE*, 26(3): 96–111. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0054.7548>
- Mergoni A., Dipierro A.R., Colamartino C. 2024. European agricultural sector: The tortuous path across efficiency, sustainability and environmental risk. *Socio-Economic Planning Sciences*, 92: 101848. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2024.101848>
- Mrówczyńska-Kamińska A. 2009. Przepływy materiałowe w rolnictwie w krajach Unii Europejskiej. *Zeszyty Naukowe SGGW W Warszawie – Problemy Rolnictwa Światowego*, 9: 128–139. <https://doi.org/10.22630/PRS.2009.9.61>
- Nowak A. 2024. Konkurencyjność rolnictwa w Polsce w ujęciu regionalnym. *Wię i Rolnictwo*, 3(204): 29–52. <https://doi.org/10.53098/wir.2024.3.204/02>
- Nowak A., Wójcik E. 2013. Potencjał produkcyjny rolnictwa województw Polski wschodniej. *Roczniki Naukowe SERiA*, 15(2): 233–238.
- Pawlak K., Kołodziejczak M. 2020. The role of agriculture in ensuring food security in developing countries: Considerations in the context of the problem of sustainable food production. *Sustainability*, 12: 5488. <https://doi.org/10.3390/su12135488>

- Pishgar-Komleh S.H., Čechura L., Kuzmenko E. 2021. Investigating the dynamic eco-efficiency in agriculture sector of the European union countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(35): 48942–48954. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-021-13948-w>
- Richterová E., Richter M., Sojková Z. 2021. Regional eco-efficiency of the agricultural sector in V4 regions, its dynamics in time and decomposition on the technological and pure technical eco-efficiency change. *Equilibrium. Quarterly Journal of Economics and Economic Policy*, 16(3): 553–576. <http://dx.doi.org/10.24136/eq.2021.020>
- Seiford L.M., Zhu J. 2002. Modeling undesirable factors in efficiency evaluation. *European Journal of Operational Research*, 142: 16–20.
- Scown M.W., Nicholas K.A. 2020. European agricultural policy requires a stronger performance framework to achieve the Sustainable Development Goals. *Global Sustainability* 3, e11: 1–11. <https://doi.org/10.1017/sus.2020.5>
- Staniszewski J. 2017. The economic and environmental productivity of agriculture in the process of development. *Research Papers in Economics and Finance*, 2(1): 7–18. <https://doi.org/10.18559/ref.2017.1.1>
- Staniszewski J., Czyżewski A. 2018. Interdependence of economic and environmental efficiency in agriculture in the European Union. *Acta Scientiarum Polonorum, Oeconomia* 17(4): 159–169. <https://doi.org/10.22630/ASPE.2018.17.4.63>
- Streimikis J., Saraji M.K. 2022. Green productivity and undesirable outputs in agriculture: a systematic review of DEA approach and policy recommendations. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 35(1): 819–853. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2021.1942947>
- Tsangas M., Gavriel I., Doula M., Xeni F., Zorpas A.A. 2020. Life cycle analysis in the framework of agricultural strategic development planning in the Balkan region. *Sustainability*, 12(5): 1813. <https://doi.org/10.3390/su12051813>
- Viana C.M., Freire D., Abrantes P., Rocha J., Pereira P. 2022. Agricultural land systems importance for supporting food security and sustainable development goals: A systematic review. *Science of the Total Environment*, 806(3): 150718. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150718>
- Vlontzos G., Ntavi S., Manos B. 2014. A DEA approach for estimating the agricultural energy and environmental efficiency of EU countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40: 91–96. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.153>
- Wrzaszcz W., Wigier M. (red.) 2024. Środowiskowo-klimatyczne uwarunkowania rozwoju rolnictwa i obszarów wiejskich w Polsce w latach 2004–2030. *Studia i Monografie*, 201. IERiGŻ PIB, Warszawa.
- Yang Y., Ma H., Wu G. 2022. Agricultural Green Total Factor Productivity under the Distortion of the Factor Market in China. *Sustainability*, 14: 9309. <https://doi.org/10.3390/su14159309>

Regional differentiation of environmental efficiency of agriculture in Poland

Abstract: The aim of this study is to assess the environmental efficiency of agriculture in Poland at the regional level, specifically at the NUTS 2 level. The significance of such research has grown in response to contemporary challenges faced by agriculture, including increased competition for alternative uses of natural resources, biodiversity conservation, food security, and climate change mitigation. This study employed the Data Envelopment Analysis (DEA) method, utilizing a modified BCC model that accounts for undesirable effects. Data on agricultural inputs and outputs for 2022 were sourced from the Local Data Bank, CSO studies, and the National Center for Balancing and Emissions Management. An analysis of the spatial variation in greenhouse gas (GHG) emissions revealed that regions with the lowest emissions were primarily those with unfavorable agrarian structures, which were associated with lower production intensity. Conversely, high emissions were observed in regions with high livestock density, particularly the Wielkopolska, Mazowieckie, and Podlaskie voivodeships. The study also assessed both production efficiency (excluding externalities) and environmental efficiency (including GHG emissions from agriculture) at the regional scale. Eight voivodeships – Zachodniopomorskie, Lubuskie, Wielkopolskie, Kujawsko-Pomorskie, Śląskie, Łódzkie, Mazowieckie, and Świętokrzyskie – demonstrated the highest production efficiency. The inclusion of the environmental

component (i.e., greenhouse gas emissions) did not negatively affect their ranking among the studied voivodeships. For these regions, it is expected that reductions in undesirable outcomes would either lead to a decrease in desired outcomes or necessitate costly technological changes. In contrast, other regions exhibited changes in their rankings based on the environmental efficiency coefficient when compared to their production efficiency rankings. The results highlight the dominant role of production effects in the overall assessment of agricultural efficiency.

Keywords: agriculture, environmental efficiency, Poland, regions, DEA (Data Envelopment Analysis)