

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

ORIGINAL ARTICLE
JEL Code: O47, C38, Q18
Submitted:
October, 2025
Accepted:
January, 2026

Tables:3
Figures:6
References:40

ORYGINALNY ARTYKUŁ
NAUKOWY
Klasyfikacja JEL O47,
C38, Q18
Zgłoszony:
Październik, 2025
Zaakceptowany:
styczeń, 2026

Tabele:3
Rysunki:6
Literatura:40

SOURCES OF AGRICULTURAL PRODUCTIVITY GROWTH IN THE EUROPEAN UNION (2007-2023): DECOMPOSITION OF THE MALMQUIST INDEX AND IMPACT OF COMMON AGRICULTURAL POLICY REFORMS

ŹRÓDŁA WZROSTU PRODUKTYWNOŚCI ROLNICTWA W UNII EUROPEJSKIEJ (2007-2023): DEKOMPOZYCJA INDEKSU MALMQUISTA I WPŁYW REFORM WSPÓLNEJ POLITYKI ROLNEJ

Robert Rusielik^{1,A-F}

¹Department of Management and Marketing, West Pomeranian University of Technology in Szczecin, Poland

¹Katedra Zarządzania i Marketingu, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Polska

Citation: Sources of agricultural productivity growth in the European Union (2007-2023): decomposition of the Malmquist index and impact of Common Agricultural Policy reforms / Źródła wzrostu produktywności rolnictwa w Unii Europejskiej (2007-2023): dekompozycja indeksu Malmquista i wpływ reform Wspólnej Polityki Rolnej, (2026) / *Economic and Regional Studies / Studia Ekonomiczne i Regionalne*, 19(3), 459-492. <https://doi.org/10.2478/ers-2026-0027>

Abstract

Subject and purpose of work: The aim of this article is to assess the productivity dynamics in EU agriculture from 2007 to 2023 and the impact of key reforms of the Common Agricultural Policy. The study fills a research gap by combining the analysis of Malmquist indices with sub-measures and structural data.

Materials and methods: The Malmquist index and its decomposition into technical efficiency and technological progress were used, supplementing the analysis with sub-measures and structural data. The survey covered Member States in a panel arrangement.

Results: The findings reveal a differentiated pace of productivity growth across EU countries. Technological progress was the dominant driver, while changes in technical efficiency varied across time and regions. In some member states, CAP reforms facilitated the adoption of innovative agricultural solutions.

Conclusions: Agricultural productivity growth in the EU during the studied period depended primarily on technological innovations, while agricultural policy played a complementary role by supporting modernization and reducing disparities between countries.

Keywords: agriculture, agricultural productivity, Common Agricultural Policy, Data Envelopment Analysis, EU-25

Address for correspondence / Adres korespondencyjny: Robert Rusielik, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Polska; (e-mail: Robert.Rusielik@zut.edu.pl) ORCID: 0000-0001-9821-4047

Journal included in: AgEcon Search; AGRO; Arianta; Baidu Scholar; BazEkon; Cabell's Journalytics; CABI; CNKI Scholar; CNPIEC – cnpLINKer; Dimensions; DOAJ; EBSCO; ERIH PLUS; ExLibris; Google Scholar; Index Copernicus International; J-Gate; JournalTOCs; KESLI-NDSL; MIAR; MyScienceWork; Naver Academic; Naviga (Softweco); Polish Ministry of Science and Higher Education; QOAM; ReadCube; Research Papers in Economics (RePEc); SCILIT; Scite; SCOPUS; Semantic Scholar; Sherpa/RoMEO; TDNet; Ulrich's PeriodicalsDirectory/ulrichsweb; WanFang Data; WorldCat (OCLC); X-MOL.

Copyright: © 2026, The Authors. Publisher: John Paul II University in Białą Podlaska, Poland.

Streszczenie

Przedmiot i cel pracy: Celem artykułu jest ocena dynamiki produktywności w rolnictwie UE w latach 2007-2023 i wpływu kluczowych reform Wspólnej Polityki Rolnej. Badanie wypełnia lukę badawczą poprzez połączenie analizy indeksów Malmquista z miernikami cząstkowymi i danymi strukturalnymi, co pozwala nie tylko na identyfikację ogólnych trendów, lecz także na wyodrębnienie odmiennych trajektorii rozwojowych grup państw UE.

Materiały i metody: Zastosowano indeks Malmquista oraz jego dekompozycję na efektywność techniczną i postęp technologiczny, uzupełniając analizę o mierniki cząstkowe i dane strukturalne. Badanie objęło państwa członkowskie w układzie panelowym.

Wyniki: Wyniki wskazują na zróżnicowane trajektorie rozwoju. Część krajów osiągnęła wzrost dzięki technologii (np. inwestycjom w innowacje), inne – poprawie efektywności technicznej. Wykazano, efekt doganiania wobec liderów oraz istotny wpływ kolejnych reform WPR, które w różnych okresach wspierały albo technologię, albo wydajność.

Wnioski: Przyszłe reformy WPR powinny równoważyć wsparcie dla innowacji technologicznych liderów z poprawą efektywności w krajach o niższym poziomie rozwoju, co sprzyjałoby spójności sektora rolnego UE.

Słowa kluczowe: rolnictwo, produktywność rolnictwa, Data Envelopment Analysis, Wspólna Polityka Rolna, EU-25

1. Introduction

Agricultural productivity is one of the key factors determining competitiveness, the stability of farmers' incomes, and food security in the European Union. In the face of intensifying climate challenges, rising production costs, and growing public expectations regarding sustainable development, the issue of productivity is not only economic one but also political and social. In this context, the Common Agricultural Policy (CAP) plays a fundamental role, shaping the framework for the agricultural sector's operation through a system of direct payments, investment support instruments, and pro-environmental measures. Previous research on productivity has considered both traditional partial measures (land, labour, or capital productivity) and more complex multifactor indicators (TFP – Total Factor Productivity). In recent decades, approaches based on Data Envelopment Analysis (DEA) and the Malmquist index have been increasingly used; these allow for the decomposition of productivity changes into two basic components: improvements in technical efficiency (EC) and technological progress (TC). This approach enables a more precise identification of the sources of growth and the mechanisms of convergence or divergence within the Common Agricultural Market. At the same time, there is a research gap in literature regarding long-term, comparative analyses of productivity changes in European agriculture that simultaneously account for the impact of CAP reforms. Most

1. Wstęp

Produktywność rolnictwa stanowi jeden z kluczowych czynników determinujących konkurencyjność, stabilność dochodów rolników oraz bezpieczeństwo żywnościowe w Unii Europejskiej. W warunkach nasilających się wyzwań klimatycznych, wzrostu kosztów produkcji oraz rosnących oczekiwań społecznych wobec zrównoważonego rozwoju, problematyka wydajności staje się nie tylko ekonomiczna, lecz także polityczna i społeczna. W tym kontekście Wspólna Polityka Rolna (WPR) odgrywa fundamentalną rolę, kształtując ramy funkcjonowania sektora rolnego poprzez system płatności bezpośrednich, instrumenty wsparcia inwestycyjnego i działania prośrodowiskowe. Dotychczasowe badania nad produktywnością uwzględniały zarówno tradycyjne miary cząstkowe (produktywność ziemi, pracy czy kapitału), jak i bardziej złożone wskaźniki wieloczynnikowe (TFP – Total Factor Productivity). W ostatnich dekadach coraz częściej stosuje się podejścia oparte na analizie obwiedni danych (DEA) i indeksie Malmquista, które pozwalają na dekompozycję zmian produktywności na dwie podstawowe składowe: poprawę efektywności technicznej (EC) oraz postęp technologiczny (TC). Ujęcie to umożliwia bardziej precyzyjne rozpoznanie źródeł wzrostu i mechanizmów konwergencji czy dywergencji w ramach wspólnego rynku rolnego. Jednocześnie w literaturze istnieje luka badawcza dotycząca długookresowych, porównawczych analiz

existing studies focus on selected countries or shorter time periods, whereas a comprehensive assessment of agricultural development across the entire EU requires a panel approach covering the full cycle of three consecutive agricultural policy reforms: the Health Check (2008), „greening” (2014-2020), and the new CAP (2021-2027).

The aim of this article is to assess the dynamics of agricultural productivity in EU Member States from 2007 to 2023, identify the sources of growth (efficiency versus technology), and analyse the impact of key CAP reforms on the diversification of development trajectories. The study employs Malmquist indices and their decomposition (MQ, EC, TC), supplementing the analysis with partial measures and structural data, which made it possible not only to identify productivity leaders and laggards but also to analyse the occurrence of the catching-up effect.

The following research questions were posed:

- How did agricultural productivity in EU countries evolve between 2007 and 2023?
- What were the main sources of growth – improvements in efficiency or technological progress?
- What impact did successive CAP reforms have on productivity growth and convergence processes among countries?

Attempting to answer these questions is significant not only from a theoretical perspective but also practical: they indicate how future CAP reforms can be designed to simultaneously support innovation, efficiency, and the sustainable development of European agriculture.

2. Literature Review

In economic literature, productivity is most often defined as the ratio of output volume to the use of resources (inputs), and thus as a measure of the ability to transform inputs into outputs (OECD, 2001; Latruffe, 2010). In agriculture, due to the complex structure of production factors (land, labour, capital, working capital) and the significant role of natural constraints, productivity is analysed both in terms of factor-specific and total productivity.

zmian produktywności w rolnictwie europejskim z jednoczesnym uwzględnieniem wpływu reform WPR. Większość dotychczasowych opracowań koncentruje się na wybranych krajach lub krótszych okresach, podczas gdy kompleksowa ocena rozwoju rolnictwa w skali całej UE wymaga ujęcia panelowego, obejmującego pełny cykl trzech kolejnych reform polityki rolnej: Health Check (2008), „greening” (2014-2020) oraz nowej WPR (2021-2027).

Celem niniejszego artykułu jest ocena dynamiki produktywności rolnictwa państw członkowskich UE w latach 2007-2023, identyfikacja źródeł wzrostu (efektywność kontra technologia) oraz analiza wpływu kluczowych reform WPR na różnicowanie trajektorii rozwojowych. W badaniu zastosowano indeksy Malmquista i ich dekompozycję (MQ, EC, TC), uzupełniając analizę o mierniki cząstkowe i dane strukturalne, co pozwoliło nie tylko wskazać liderów i outsiderów produktywności, lecz także przeanalizować występowanie efektu doganiania (catching-up).

Postawiono następujące pytania badawcze:

- Jak kształtowała się produktywność rolnictwa państw UE w latach 2007-2023?
- Jakie były główne źródła wzrostu – poprawa efektywności czy postęp technologiczny?
- Jakie znaczenie miały kolejne reformy WPR dla dynamiki produktywności i procesów konwergencji między krajami?

Próba odpowiedzi na te pytania ma znaczenie nie tylko poznawcze, lecz również aplikacyjne: wskazują bowiem, w jaki sposób przyszłe reformy WPR mogą być projektowane tak, aby wspierać równocześnie innowacyjność, efektywność i zrównoważony rozwój rolnictwa europejskiego.

2. Przegląd literatury

Produktywność w literaturze ekonomicznej najczęściej definiuje się jako relację wolumenu produkcji do zakresu wykorzystania zasobów (nakładów), a więc jako miarę zdolności przekształcania nakładów w efekty (OECD, 2001; Latruffe, 2010). W rolnictwie, z uwagi na złożoną strukturę czynników produkcji (ziemia, praca, kapitał, środki obrotowe) oraz istotną rolę ograniczeń przyrodniczych, produktywność analizuje się zarówno w ujęciu cząstkowym, jak i łącznym.

Partial productivity refers to a single factor of production, such as land productivity (yield or value of production per hectare), labour productivity (value of production per unit of labour input), or capital productivity (value of production per unit of capital employed). In contrast, a more complex measure is total factor productivity (TFP), defined as the ratio of aggregate output value to aggregate input value (Caves et al., 1982; OECD, 2001). An increase in TFP reflects that portion of output growth which is not the result of a simple increase in inputs but rather stems from improvements in technical efficiency, technological progress, organisational changes, or economies of scale (Diewert, 1980; Coelli, Rao, 2005; O'Donnell, 2010). Literature emphasizes that TFP is a key measure of the agricultural sector's long-term competitiveness, helps determine the level of farm income, and is an important factor in economic growth in rural areas (Ball et al., 2010; O'Donnell, 2010; Latruffe, 2010; Fuglie, 2018; Steensland, 2021).

Analyses by the FAO (2020), the OECD (2001), and the European Commission (2018) indicate that, from a sectoral perspective, TFP is the most appropriate measure for assessing long-term agricultural productivity. This is because it simultaneously accounts for changes in the use of all basic factors of production and allows for distinguishing the effects of intensification from a simple increase in inputs. Steensland (2021) emphasises that TFP allows for a comprehensive assessment of technological innovations, organisational changes, and improvements in resource management in agriculture, which takes on particular significance in the context of increasingly stringent environmental and climate requirements.

Two main methodological approaches dominate research on agricultural efficiency and productivity. On the one hand, nonparametric methods based on Data Envelopment Analysis (DEA) and numerical indices are used; on the other - parametric stochastic frontier analysis (SFA) models. Both approaches allow for the estimation of technical efficiency and the examination of changes in productivity over time (Bravo-Ureta et al., 2007; Fried et al., 2008; Kumbhakar and Lovell, 2000; Kumbhakar et al., 2014).

Produktywność cząstkowa odnosi się do pojedynczego czynnika produkcji, np. wydajności ziemi (plony lub wartość produkcji z hektara), produktywności pracy (wartość produkcji na jednostkę nakładu pracy) czy produktywności kapitału (wartość produkcji na jednostkę zaangażowanego kapitału). Z kolei bardziej złożoną miarą jest całkowita produktywność czynników produkcji (Total Factor Productivity, TFP), rozumiana jako relacja zagregowanej wartości produkcji do zagregowanej wartości nakładów (Caves i in., 1982; OECD, 2001). Wzrost TFP odzwierciedla tę część przyrostu produkcji, która nie jest efektem prostego zwiększania nakładów, lecz wynika z poprawy efektywności technicznej, postępu technologicznego, zmian organizacyjnych czy korzyści skali (Diewert, 1980; Coelli, Rao, 2005; O'Donnell, 2010). W literaturze podkreśla się, że TFP jest kluczowym miernikiem długookresowej konkurencyjności sektora rolnego, współokreśla poziom dochodów rolniczych oraz stanowi ważny czynnik wzrostu gospodarczego na obszarach wiejskich (Ball i in., 2010; O'Donnell, 2010; Latruffe, 2010; Fuglie, 2018; Steensland, 2021).

Analizy FAO (2020), OECD (2001) oraz Komisji Europejskiej (European Commission, 2018) wskazują, że z perspektywy sektorowej TFP jest najbardziej adekwatną miarą oceny długookresowej wydajności rolnictwa. Uwzględnia bowiem jednocześnie zmiany w wykorzystaniu wszystkich podstawowych czynników produkcji i pozwala oddzielić efekty intensyfikacji od prostego wzrostu nakładów. Steensland (2021) akcentują, że TFP umożliwia łączne ujęcie innowacji technologicznych, zmian organizacyjnych i poprawy zarządzania zasobami w rolnictwie, co nabiera szczególnego znaczenia w warunkach zaostrzających się wymogów środowiskowych i klimatycznych.

W badaniach efektywności i produktywności rolnictwa dominują dwa główne podejścia metodologiczne. Z jednej strony stosuje się nieparametryczne metody oparte na analizie obwiedni danych (Data Envelopment Analysis – DEA) oraz indeksach liczbowych, z drugiej – parametryczne modele stochastycznej granicy produkcji (Stochastic Frontier Analysis – SFA). Oba nurty umożliwiają szacowanie efektywności technicznej oraz

The classical, nonparametric construction of the TFP index was proposed by Caves, Christensen, and Diewert (1982), building on the concept developed by S. Malmquist (1953). The use of distance functions allows total factor productivity to be defined as the quotient of aggregated outputs and inputs, assuming that these functions are non-decreasing and linearly homogeneous. Färe et al. (1992, 1994) expanded on this concept by proposing a Malmquist index based on the geometric mean of two temporally adjacent TFP indices and its decomposition into two main components: efficiency change (EC) and technical change (TC). Extensions and applications of these concepts in agriculture are presented, among others, by Coelli and Rao (2005), Althin (2001a), Čechura et al. (2014), and Bokusheva and Čechura (2017).

The use of linear programming and DEA assumptions allows for the calculation of TFP indices without the need to know the price relationships between individual inputs and outputs. The distance functions for inputs and outputs are determined by solving the corresponding linear programming problems. In agricultural research, input-oriented models assuming variable returns to scale (VRS) are often used, which allow for the analysis of productivity changes in the context of minimising inputs for a given level of production (Coelli, Rao, 2005). A detailed description of the procedure for estimating distance functions and decomposing the Malmquist index is provided, among others, by O'Donnell (2011).

DEA and the Malmquist index have found wide application in agricultural research at both the sectoral level (countries, regions) and the microeconomic level (farms). Coelli and Rao (2005) analysed changes in TFP in agriculture across 93 countries from 1980 to 2000, highlighting divergent trends among groups of countries. In the European context, Čechura et al. (2014, 2019) and Bokusheva and Čechura (2017) applied DEA-Malmquist to measure TFP in the agriculture sectors of EU countries (based on FADN data), identifying significant heterogeneity in efficiency levels and TFP growth rates. At the production sector level, TFP indices were used, among other things, in studies of dairy farms (Reinhard et al., 1999) and in analyses of technical-environmental

badanie zmian produktywności w czasie (Bravo-Ureta i in., 2007; Fried i in., 2008; Kumbhakar, Lovell, 2000; Kumbhakar i in., 2014).

Klasyczną, nieparametryczną konstrukcję indeksu TFP zaproponowali Caves, Christensen i Diewert (1982), nawiązując do koncepcji S. Malmquista (1953). Wykorzystanie funkcji odległości pozwala zdefiniować całkowitą produktywność jako iloraz zagregowanych efektów i nakładów, przy założeniu, że funkcje te są niemalejące i liniowo jednorodne. Färe i in. (1992, 1994) rozwinęli tę koncepcję, proponując indeks Malmquista oparty na średniej geometrycznej dwóch sąsiadujących w czasie indeksów TFP oraz jego dekompozycję na dwa główne komponenty: zmianę efektywności technicznej (Efficiency Change – EC) oraz postęp technologiczny (Technical Change – TC). Rozwinięcia i zastosowania tych koncepcji w rolnictwie przedstawiają m.in. Coelli i Rao (2005), Althin (2001a), Čechura i in. (2014) oraz Bokusheva i Čechura (2017).

Zastosowanie programowania liniowego oraz założeń DEA umożliwia obliczanie indeksów TFP bez konieczności znajomości relacji cenowych poszczególnych nakładów i efektów. Funkcje odległości nakładów i efektów wyznacza się poprzez rozwiązanie odpowiednich zadań programowania liniowego. W badaniach rolnictwa często stosuje się modele zorientowane na nakłady, zakładające zmienne efekty skali (VRS), co pozwala analizować zmiany produktywności w kontekście minimalizacji nakładów dla zadanego poziomu produkcji (Coelli, Rao, 2005). Szczegółowy opis procedury estymacji funkcji odległości i dekompozycji indeksu Malmquista przedstawia m.in. O'Donnell (2011).

DEA i indeks Malmquista znalazły szerokie zastosowanie w badaniach rolnictwa zarówno na poziomie sektorowym (kraje, regiony), jak i mikroekonomicznym (gospodarstwa). Coelli i Rao (2005) analizowali zmiany TFP w rolnictwie 93 krajów w latach 1980-2000, wskazując na zróżnicowaną dynamikę między grupami państw. W kontekście europejskim Čechura i in. (2014, 2019) oraz Bokusheva i Čechura (2017) stosowali DEA-Malmquista do pomiaru TFP w rolnictwie państw UE (w oparciu o dane FADN), identyfikując znaczną heterogeniczność poziomu efektywności i tempa wzrostu TFP. Na poziomie działów

productivity (Chung et al., 1997; Reinhard et al., 1999; OECD, 2001).

Literature also points to the limitations of the classical Malmquist index, based on radial DEA models. These include, among others, the failure to account for slacks, the potential lack of transitivity of comparisons in long time series, and sensitivity to outliers (O'Donnell, 2010). In response, alternative indicators are being developed, such as the Luenberger-Hicks-Moorsteen or Malmquist-Luenberger indices, based on directional distance functions (O'Donnell, 2010). Approaches that integrate productivity assessment with environmental pressure ("green TFP") are also attracting increasing attention, as reflected in the work of FAO (2020) and Streimikis and Saraji (2022).

At the same time, a line of SFA research is developing in which TFP and technical efficiency are estimated in parametric models that account for a random component and exogenous determinants (Kumbhakar, Lovell, 2000; Fried et al., 2008). Examples of applications in European agriculture are presented, among others, by BravoUreta et al. (2007), Kumbhakar et al. (2014), and Reinhard et al. (1999).

Research on agricultural productivity in the European Union focuses primarily on the level and dynamics of TFP in individual countries, comparisons between the "old" (EU-15) and "new" Member States (NMS, EU-13), and on identifying sources of growth (technological progress, technical efficiency, economies of scale). Even at the global level, Coelli and Rao (2005) showed that among developed countries, the rate of TFP growth in agriculture is gradually declining, while relatively rapid productivity growth is observed in many emerging economies.

With regard to Europe, Čechura et al. (2014, 2019) and Bokusheva and Čechura (2017) demonstrated that TFP at the farm level varies significantly across countries. In some countries, technological progress is the dominant source of growth, while in others – improvements in technical efficiency and economies of scale. Błażejczyk-Majka et al. (2012) further highlighted significant differences in the efficiency and productivity of large field farms and mixed farms in

produkcji indeksy TFP wykorzystano m.in. w badaniach gospodarstw mlecznych (Reinhard i in., 1999) oraz w analizach produktywności techniczno-środowiskowej (Chung i in., 1997; Reinhard i in., 1999; OECD, 2001).

W literaturze wskazuje się również na ograniczenia klasycznego indeksu Malmquista, opartego na radialnych modelach DEA. Należą do nich m.in. nieuwzględnianie nadwyżek i niedoborów (slacks), potencjalny brak przechodniości porównań w długich szeregach czasowych oraz wrażliwość na obserwacje skrajne (O'Donnell, 2010). W odpowiedzi rozwijane są alternatywne wskaźniki, takie jak indeksy Luenbergera-Hicksa-Moorsteena czy Malmquist-Luenberger, oparte na directional distance functions (O'Donnell, 2010). Coraz większą uwagę przyciągają również podejścia integrujące ocenę produktywności z presją środowiskową („green TFP”), co również znajduje odzwierciedlenie w pracach FAO (2020), Streimikis, Saraji (2022).

Równolegle rozwija się nurt badań SFA, w którym TFP i efektywność techniczną szacuje się w modelach parametrycznych z uwzględnieniem składnika losowego oraz determinant egzogenicznych (Kumbhakar, Lovell, 2000; Fried i in., 2008). Przykłady zastosowań w rolnictwie europejskim przedstawiają m.in. Bravo-Ureta i in. (2007), Kumbhakar i in. (2014) czy Reinhard i in. (1999).

Badania produktywności rolnictwa w Unii Europejskiej koncentrują się przede wszystkim na poziomie i dynamice TFP w poszczególnych krajach, porównaniach między „starymi” (UE-15) a „nowymi” państwami członkowskimi (NMS, EU-13) oraz na identyfikacji źródeł wzrostu (postęp technologiczny, efektywność techniczna, efekty skali). Już w ujęciu globalnym Coelli i Rao (2005) pokazali, że w grupie krajów rozwiniętych tempo wzrostu TFP w rolnictwie stopniowo się obniża, podczas gdy w wielu gospodarkach wschodzących obserwuje się relatywnie szybki wzrost produktywności.

W odniesieniu do Europy Čechura i in. (2014, 2019) oraz Bokusheva i Čechura (2017) wykazali, że TFP na poziomie gospodarstw rolnych jest silnie zróżnicowana między państwami. W części krajów dominującym źródłem wzrostu jest postęp technologiczny, w innych – poprawa efektywności technicznej oraz efektywności skali. Błażejczyk-Majka i in. (2012) zwrócili dodatkowo uwagę na istotne

the “old” and “new” EU regions, reflecting differences in agricultural structures, scale of production, and modernisation trajectories.

Comparisons between the EU-15 and the new Member States occupy a special place in literature. Nowak and Kubik (2019) conducted an analysis of TFP in agriculture across the 27 EU countries from 2007 to 2016, based on the Malmquist index and its decomposition (MQ, EC, TC), supplemented by partial productivity indices for land, labour, and capital. The authors demonstrated that in the new Member States (NMS), TFP increased by approximately 9.5%, driven by both positive technological changes and improvements in technical efficiency, whereas in the EU-15, a slight decline in TFP was observed, resulting mainly from a deterioration in technical efficiency despite positive technological progress. An analysis of component indicators revealed that in the NMS, rising labour productivity played a key role in TFP growth, with capital productivity remaining relatively stable and a persistent gap in land and labour productivity relative to the EU15 (Nowak, Kubik, 2019).

Kijek et al. (2019) examined TFP levels and convergence processes in agriculture in the “old” and “new” EU Member States, confirming the existence of convergence processes in productivity levels, albeit at varying rates across individual countries. Stronger convergence trends were observed in the group of new Member States, which was attributed to the intensive modernisation of the sector following accession, an increase in investments co-financed by EU funds, and improvements in technical efficiency. At the same time, research by Zhu, Lansinka, and Van Ittersum (2012) indicates that the EU-15 maintains a sustained advantage in labour and land productivity, while the EU-13 is closing part of the gap mainly through increases in technical efficiency and, to a lesser extent, through technological innovation.

Research by Bielik et al. (2023) on EU-28 agriculture from 2007 to 2018 reveal marked variation in TFP levels and a very strong positive correlation between TFP and labour productivity. Countries with high labour productivity (including the Netherlands, Denmark, France, Germany, and Belgium) also achieve high levels

różnice w efektywności i produktywności dużych gospodarstw polowych oraz gospodarstw mieszanych w „starych” i „nowych” regionach UE, odzwierciedlające odmienność struktur agrarnych, skali produkcji i trajektorii modernizacji.

Szczególne miejsce w literaturze zajmują porównania między UE-15 a nowymi państwami członkowskimi. Nowak i Kubik (2019) przeprowadziły analizę TFP w rolnictwie 27 krajów UE w latach 2007-2016, opierając się na indeksie Malmquista i jego dekompozycji (MQ, EC, TC), uzupełnionej o wskaźniki cząstkowej produktywności ziemi, pracy i kapitału. Autorki wykazały, że w nowych państwach członkowskich (NMS) TFP wzrosła o ok. 9,5%, na co złożyły się zarówno dodatnie zmiany technologiczne, jak i poprawa efektywności technicznej, podczas gdy w UE-15 odnotowano niewielki spadek TFP, wynikający głównie z pogorszenia efektywności technicznej mimo dodatniego postępu technologicznego. Analiza wskaźników cząstkowych ujawniła, że w NMS kluczową rolę we wzroście TFP odgrywała rosnąca produktywność pracy, przy relatywnie stabilnej produktywności kapitału oraz utrzymującym się dystansie w zakresie wydajności ziemi i pracy względem UE-15 (Nowak, Kubik, 2019).

Kijek i in. (2019) badali poziom TFP oraz procesy jej konwergencji w rolnictwie „starych” i „nowych” państw członkowskich UE, potwierdzając występowanie procesów wyrównywania się poziomów produktywności, choć o zróżnicowanym tempie w poszczególnych krajach. Silniejsze tendencje konwergencyjne stwierdzono w grupie nowych państw członkowskich, co wiązano z intensywną modernizacją sektora po akcesji, wzrostem inwestycji współfinansowanych z funduszy unijnych oraz poprawą efektywności technicznej. Równoległe badania Zhu, Lansinka i Van Ittersuma (2012) wskazują, że UE-15 utrzymuje trwałą przewagę w produktywności pracy i ziemi, podczas gdy EU-13 nadrabia część dystansu głównie poprzez wzrost efektywności technicznej, a w mniejszym stopniu dzięki innowacjom technologicznym.

Badania Bielika i in. (2023) dotyczące rolnictwa UE-28 w latach 2007-2018 ukazują wyraźne zróżnicowanie poziomu TFP oraz bardzo silną dodatnią korelację między TFP a produktywnością pracy. Kraje o wysokiej produktywności pracy (m.in. Niderlandy, Dania, Francja, Niemcy, Belgia)

of TFP, while countries with low labour productivity (including Latvia, Poland, Croatia, and Romania) are characterised by lower total factor productivity.

In the context of the European Union, Bielik et al. (2023) analysed TFP convergence in EU-28 agriculture from 2007 to 2018, combining an analysis of TFP indices with measures of inequality (Gini coefficient, Theil index, coefficient of variation) and beta convergence models. The authors confirmed the existence of absolute beta-type convergence – countries with lower initial TFP levels exhibited higher productivity growth rates, indicating a process of “catching up” more developed agricultural economies. At the same time, sigma-divergence was observed, i.e. an increase in TFP variation among countries as measured by classical measures of dispersion. This suggests the coexistence of processes of convergence and divergence in productivity levels. Similar results were obtained by Di Liberto and Usai (2013), who analysed TFP convergence across EU-15 regions – despite certain convergent trends, significant spatial heterogeneity in productivity levels persisted.

At the global level, Miller and Upadhyay (2002) point to the existence of both absolute and conditional TFP convergence among countries, with the pace of convergence depending on factors such as the level of institutional development, trade openness, inflows of foreign direct investment, and the capacity for technology absorption and diffusion. With regard to agriculture, this implies that TFP convergence in the EU is largely determined by individual countries’ ability to utilise CAP instruments, invest in physical and human capital, and innovate, as well as by natural conditions and historical agricultural structures.

The cited studies show that TFP convergence processes in EU agriculture are heterogeneous. On the one hand, some new Member States are catching up; on the other hand, differences between countries in terms of productivity levels persist or are even increasing, especially in the context of varying production intensities, farm structures, and the pace of innovation adoption (Bielik et al., 2023; Kijek et al., 2019; Błażejczyk-Majka et al., 2012). The

osiągają równocześnie wysoki poziom TFP, natomiast państwa o niskiej wydajności pracy (m.in. Łotwa, Polska, Chorwacja, Rumunia) cechuje niższa łączna produktywność.

W kontekście Unii Europejskiej Bielik i in. (2023) przeanalizowali konwergencję TFP w rolnictwie UE-28 w latach 2007-2018, łącząc analizę indeksów TFP z miarami nierówności (współczynnik Giniego, indeks Theila, współczynnik zmienności) oraz modelami konwergencji beta. Autorzy potwierdzili występowanie absolutnej konwergencji typu beta – kraje o niższym wyjściowym poziomie TFP odznaczały się wyższym tempem wzrostu produktywności, co wskazuje na proces „doganiania” bardziej rozwiniętych gospodarek rolnych. Jednocześnie stwierdzono sigma-dywegencję, tj. wzrost zróżnicowania TFP między krajami mierzony klasycznymi miarami rozproszenia. Sugeruje to współistnienie procesów wyrównywania się i różnicowania poziomów produktywności. Zbliżone wyniki uzyskali Di Liberto i Usai (2013), analizując konwergencję TFP w regionach UE-15 – pomimo pewnych tendencji konwergencyjnych utrzymywała się istotna przestrzenna heterogeniczność poziomów produktywności.

Na poziomie globalnym Miller i Upadhyay (2002) wskazują na występowanie zarówno konwergencji absolutnej, jak i warunkowej TFP między krajami, przy czym tempo konwergencji zależy od takich czynników, jak poziom rozwoju instytucjonalnego, otwartość handlowa, napływ bezpośrednich inwestycji zagranicznych oraz zdolność do absorpcji i dyfuzji technologii. W odniesieniu do rolnictwa oznacza to, że konwergencja TFP w UE jest w dużej mierze determinowana przez zdolność poszczególnych państw do wykorzystania instrumentów WPR, inwestycji w kapitał rzeczowy i ludzki oraz innowacji, a także przez uwarunkowania przyrodnicze i historyczne struktury agrarne.

Z przywołanych badań wynika, że procesy konwergencji TFP w rolnictwie UE mają charakter niejednorodny. Z jednej strony obserwuje się nadrabianie zaległości przez część nowych państw członkowskich, z drugiej – utrzymywanie się lub wręcz narastanie różnic między krajami pod względem poziomu produktywności, zwłaszcza w kontekście zróżnicowanej intensywności produkcji, struktury gospodarstw oraz tempa

manner in which EU funds are utilised is also of great importance – analyses by Cechura et al. (2019) and Kumbhakar et al. (2014) show that financial and structural barriers limit the ability of some farms to implement advanced technologies, which may slow the convergence process.

The Common Agricultural Policy (CAP) plays a key role in shaping the economic conditions under which EU agriculture operates and, consequently, influences – both directly and indirectly – TFP growth. European Commission documents identify TFP as one of the main indicators for monitoring the achievement of CAP objectives, including improved competitiveness, stabilisation of agricultural incomes, and sustainable resource management (European Commission, 2018). Conceptually, TFP growth results from the combined impact of a number of factors, such as technological progress, investment in physical capital, human capital development, improvements in production organisation, the diffusion of innovation, and changes in the institutional environment (O'Donnell, 2010; Latruffe, 2010; Fuglie, 2018; FAO, 2020).

A significant portion of literature focuses on the consequences of key stages of CAP reforms. The 2008 Health Check – as noted by Matthews (2011) and Rizov, Pokrivcak, and Ciaian (2013) – by deepening the decoupling process and increasing Pillar II funding, promoted the modernisation of agriculture, particularly in the new Member States. In contrast, the 2014-2020 Reform (“greening”), introduced new environmental requirements (crop diversification, maintenance of the UAA, EFA areas). On the one hand, this contributed to improved environmental outcomes; on the other, it may have temporarily slowed the growth of technological productivity on high-intensity farms. In the most recent studies on the CAP 2021-2027, including analyses by Zhu and Soboh (2022) and the European Court of Auditors (European Court of Auditors, 2024), the growing importance of eco-schemes and a results-oriented approach is emphasised. This increases the complexity of the system and the requirements for managerial competence but, at the same time, creates a potential for long-term TFP growth, particularly through digital-green innovations.

adaptacji innowacji (Bielik i in., 2023; Kijek i in., 2019; Błażejczyk-Majka i in., 2012). Duże znaczenie ma także sposób wykorzystania środków unijnych – analizy Cechury i in. (2019) oraz Kumbhakara i in. (2014) pokazują, że bariery finansowe i strukturalne ograniczają zdolność części gospodarstw do wdrażania zaawansowanych technologii, co może spowalniać proces konwergencji.

Wspólna Polityka Rolna (WPR) odgrywa kluczową rolę w kształtowaniu warunków ekonomicznego funkcjonowania rolnictwa UE i w konsekwencji wpływa – pośrednio i bezpośrednio - na dynamikę TFP. Dokumenty Komisji Europejskiej wskazują TFP jako jeden z głównych wskaźników monitorowania realizacji celów WPR, w tym poprawy konkurencyjności, stabilizacji dochodów rolniczych oraz zrównoważonego gospodarowania zasobami (European Commission, 2018). W ujęciu koncepcyjnym wzrost TFP jest rezultatem łącznego oddziaływania szeregu czynników, takich jak postęp technologiczny, inwestycje w kapitał rzeczowy, rozwój kapitału ludzkiego, poprawa organizacji produkcji, dyfuzja innowacji oraz zmiany w otoczeniu instytucjonalnym (O'Donnell, 2010; Latruffe, 2010; Fuglie, 2018; FAO, 2020).

Znaczna część literatury koncentruje się na konsekwencjach kluczowych etapów reform WPR. Health Check z 2008 r. – jak wskazują Matthews (2011) oraz Rizov, Pokrivcak i Ciaian (2013) – poprzez pogłębienie procesu decouplingu oraz zwiększenie środków II filaru sprzyjał modernizacji rolnictwa, szczególnie w nowych państwach członkowskich. Natomiast Reforma 2014-2020 („greening”), wprowadziła nowe wymogi środowiskowe (dywersyfikacja zasiewów, utrzymanie TUZ, obszary EFA). Z jednej strony przyczyniło się to do poprawy wyników środowiskowych, z drugiej – mogło czasowo spowolnić wzrost produktywności technologicznej w gospodarstwach o wysokiej intensywności produkcji. W najnowszych pracach poświęconych WPR 2021-2027, w tym w analizach Zhu i Soboh (2022) oraz Europejskiego Trybunału Obrachunkowego (Europejski Trybunał Obrachunkowy, 2024), podkreśla się rosnące znaczenie ekoprogramów i orientacji na wyniki. Zwiększa to złożoność systemu i wymogi kompetencji zarządczych, ale jednocześnie tworzy potencjał dla wzrostu TFP w długim okresie, zwłaszcza poprzez innowacje cyfrowo-ekologiczne.

A key theme in literature is the impact of direct and investment support on the technical efficiency and productivity of farms. Rizov, Pokrivcak, and Ciaian (2013) demonstrated that the reform involving the decoupling of payments (decoupling) had a positive effect on the technical efficiency of farms in the EU, increasing the flexibility of production decisions and reducing investment distortions. In turn, Latruffe and Desjeux (2016) demonstrated that the impact of CAP payments on technical efficiency and TFP varies significantly depending on the structure of support – investment and agri-environmental instruments can stimulate modernisation, whilst certain forms of direct payments may hinder it.

The findings of Bielik et al. (2023) indicate that in EU agriculture, TFP growth is closely linked to improvements in labour productivity and investments in modern technologies, often co-financed with public funds. Analyses by the FAO (2020), Fuglie (2018), and Steensland (2021) emphasise that maintaining TFP growth whilst simultaneously reducing environmental pressure requires shifting the focus from simply increasing inputs to intensification based on knowledge and innovation – including human capital development, digitalisation, precision agriculture, and the improvement of agronomic practices. Within the “green TFP” framework, Streimikis et al. (2022) highlight the need to account for environmental costs and externalities when assessing agricultural efficiency, which takes on particular significance in the context of the European Green Deal and the “Farm to Fork” strategy.

Against this backdrop, this study is part of a growing body of research on EU agricultural productivity that uses DEA and the Malmquist index to identify sources of TFP growth and analyse their potential links to successive CAP reforms from 2007 to 2023. It complements existing research, such as that by Nowak and Kubik (2019), Kijek et al. (2019), Bielik et al. (2023), Zhu et al. (2012), and Cechura et al. (2019), by extending the time horizon, simultaneously accounting for efficiency and technological components, and providing an exploratory description of the links between CAP reforms and the dynamics and structure of TFP changes in the agriculture of European Union Member States.

Istotnym wątkiem w literaturze jest wpływ wsparcia bezpośredniego i inwestycyjnego na efektywność techniczną i produktywność gospodarstw. Rizov, Pokrivcak i Ciaian (2013) wykazali, że reforma polegająca na odłączeniu płatności (decoupling) oddziaływała pozytywnie na efektywność techniczną gospodarstw w UE, zwiększając elastyczność decyzji produkcyjnych i ograniczając zakłócenia inwestycyjne. Z kolei Latruffe i Desjeux (2016) pokazali, że wpływ płatności WPR na efektywność techniczną i TFP jest silnie zróżnicowany w zależności od struktury wsparcia – instrumenty inwestycyjne i rolno-środowiskowe mogą stymulować modernizację, podczas gdy niektóre formy płatności bezpośrednich mogą ją osłabiać.

Wyniki badań Bielika i in. (2023) wskazują, że w rolnictwie UE wzrost TFP jest ściśle powiązany z poprawą produktywności pracy oraz inwestycjami w nowoczesne technologie, często współfinansowanymi ze środków publicznych. Analizy FAO (2020), Fugliego (2018) oraz Steenslanda (2021) podkreślają, że utrzymanie wzrostu TFP przy równoczesnym ograniczaniu presji środowiskowej wymaga przesunięcia akcentu z prostego zwiększania nakładów na intensyfikację opartą na wiedzy i innowacjach – w tym rozwój kapitału ludzkiego, cyfryzację, rolnictwo precyzyjne oraz doskonalenie praktyk agronomicznych. W nurcie „zielonej produktywności” (green TFP) Streimikis i in. (2022) zwracają uwagę na konieczność uwzględniania kosztów środowiskowych i efektów zewnętrznych w ocenie efektywności rolnictwa, co nabiera szczególnego znaczenia w kontekście Europejskiego Zielonego Ładu i strategii „Od pola do stołu”.

Na tym tle niniejsze opracowanie wpisuje się w rozwijający się nurt badań nad produktywnością rolnictwa UE, wykorzystujących aparaturę DEA i indeks Malmquista do identyfikacji źródeł wzrostu TFP oraz analizy ich potencjalnych związków z kolejnymi reformami WPR w latach 2007-2023. Uzupełnia ono dotychczasowe badania, takie jak Nowak i Kubik (2019), Kijek i in. (2019), Bielik i in. (2023), Zhu i in. (2012) czy Cechura i in. (2019), poprzez wydłużenie horyzontu czasowego, jednoczesne ujęcie komponentów efektywnościowych i technologicznych oraz eksploracyjny opis powiązań między reformami WPR a dynamiką i strukturą zmian TFP w rolnictwie państw członkowskich Unii Europejskiej.

3. Data and Research Methods

3.1. Data

The data used in the study are sourced from the EUROSTAT database and cover the years 2007-2023. To ensure comparability and consistency in the analysis, variables reflecting the basic factors of production in agriculture were selected: land, capital, and labour. These variables were grouped into sets whose combination reflects the specific nature of the business model of agricultural holdings in European Union countries. The use of a single common efficiency frontier for all EU countries implies the assumption that the analysed decision-making units (countries) operate within a common set of production possibilities. This overlooks differences in natural conditions, production structures, or specialisations (e.g. vineyards, olive groves) but allows for a comparison of relative efficiency and TFP dynamics relative to the same "meta-technology". Structural differences between countries are indirectly reflected in the shape of the frontier and the distances observed relative to it. In further research, an interesting direction would be to apply a meta-frontier approach, which allows for the explicit modelling of technological heterogeneity.

The following set of variables was used for the analysis:

- (Y1) – agricultural output (million EUR),
- (X1) – agricultural land area (thousand ha),
- (X2) – labour input (thousand AWU),
- (X3) – direct costs (million EUR),
- (X4) – general economic costs,
- (X5) – depreciation (million EUR).

In this study, monetary data were used at current prices. This limitation stems from the unavailability of precise and comparable deflators for all variables, countries, and periods, which could introduce distortions.

Agricultural output (Y1) includes revenues from crop and livestock production, as well as from service activities and subsidies. Direct costs (X3) include expenditures on seeds and seed potatoes, fertilisers, plant protection products, veterinary services, and feed. In turn, general economic costs (X4) include expenditures on energy, materials, building maintenance, agricultural

3. Dane i metody badań

3.1. Dane

Dane wykorzystane w badaniach pochodzą z bazy EUROSTAT i obejmują lata 2007-2023. W celu zapewnienia porównywalności oraz spójności analizy, wyselekcjonowano zmienne odzwierciedlające podstawowe czynniki produkcji w rolnictwie: ziemię, kapitał oraz pracę. Zmienne te zostały pogrupowane w zestawy, których kombinacja odzwierciedla specyfikę modelu biznesowego gospodarstw rolnych w krajach Unii Europejskiej. Zastosowanie jednej wspólnej granicy efektywności dla wszystkich krajów UE oznacza przyjęcie założenia, że analizowane jednostki decyzyjne (kraje) funkcjonują w ramach wspólnego zbioru możliwości produkcyjnych. Pomija to różnicowanie warunków naturalnych, struktur produkcji czy specjalizacji (np. winnice, oliwki), ale umożliwia porównanie względnej efektywności i dynamiki TFP względem tej samej, „meta-technologii”. Różnice strukturalne między krajami odzwierciedlają się pośrednio w kształcie granicy i uzyskiwanych odległościach do niej. W dalszych badaniach interesującym kierunkiem byłoby zastosowanie podejścia meta-frontier, które pozwala explicite modelować heterogeniczność technologii.

Do analizy przyjęto następujący zestaw zmiennych:

- (Y1) – produkcja rolna (mln EUR),
- (X1) – powierzchnia użytków rolnych (tys. ha),
- (X2) – nakłady pracy (tys. AWU),
- (X3) – koszty bezpośrednie (mln EUR),
- (X4) – koszty ogólnogospodarcze,
- (X5) – amortyzacja (mln EUR).

W badaniu dane pieniężne zostały użyte w cenach bieżących. Jest to ograniczenie spowodowane niedostępnością precyzyjnych i porównywalnych deflatorów dla wszystkich zmiennych, krajów i okresów, co mogłoby wprowadzić zniekształcenia.

Produkcja rolna (Y1) obejmuje przychody z produkcji roślinnej i zwierzęcej, a także z działalności usługowej oraz subsydia. Koszty bezpośrednie (X3) obejmują wydatki na nasiona i sadzeniaki, nawozy, środki ochrony roślin, usługi weterynaryjne oraz pasze. Z kolei koszty ogólnogospodarcze (X4) uwzględniają wydatki na

services, depreciation, and other indirect costs. In the DEA model, the number of full-time equivalents (AWU) was adopted as a measure of labour input (X_2). This set of variables enables a comprehensive assessment of changes in productivity and resource use in the agriculture of EU countries during the analysed period.

Following an analysis of basic statistics and preliminary model calculations, Cyprus, Luxembourg, and Malta were excluded from the study, as their agricultural models differ too significantly. Consequently, the set of variables is not sufficiently consistent, making it unsuitable for use in the DEA models employed in this study. Data after 2020 also exclude the United Kingdom due to Brexit.

energię, materiały, utrzymanie budynków, usługi rolnicze, amortyzację oraz inne koszty pośrednie. W modelu DEA, jako miarę nakładów pracy przyjęto liczbę pełnozatrudnionych w przeliczeniu na jednostki AWU (X_2). Tak skonstruowany zestaw zmiennych umożliwia kompleksową ocenę zmian produktywności i wykorzystania zasobów w rolnictwie krajów UE w analizowanym okresie.

W wyniku analizy podstawowych statystyk oraz po wstępnej kalkulacji modeli, wykluczono z badań Cypr, Luksemburg i Maltę, jako kraje w których model działalności rolniczej jest zbyt odmienny. W konsekwencji układ zmiennych nie jest wystarczająco spójny, przez co jest niewskazany do zastosowania w zastosowanych w badaniach modelach DEA. Dane po roku 2020 nie obejmują także Wielkiej Brytanii ze względu na Brexit.

Table 1. Basic descriptive statistics of the variables for the years 2007, 2015, and 2023

Tabela 1. Podstawowe statystyki opisowe zmiennych w latach 2007, 2015, 2023

Wyszczególnienie	Rok	N	Średnia	Minimum	Maksimum	Odchylenie standardowe
Y	2007	25	14133,9	648,5	65289,4	17410,4
	2015	25	15968,3	876,3	72902	19564,3
	2023	24	21313,6	1305	92194,4	26376,7
X1	2007	25	7302,3	492,4	29385	7993,8
	2015	25	7141,3	476,9	29115,3	7789,6
	2023	24	6648,7	478,5	28240,8	7544,8
X2	2007	25	473,8	32,9	2299,3	621
	2015	25	379,1	20,3	1937,1	471,9
	2023	24	316,0	16,5	1427,5	383,7
X3	2007	25	4738,4	256,5	22366,2	5671,4
	2015	25	5631,7	367,3	26192,8	6901,1
	2023	24	7634,5	607,4	32263,2	9089,9
X4	2007	25	3340,1	133,3	15003,3	3914,1
	2015	25	4064,8	214,7	17774	4724,5
	2023	24	5164,5	311,7	23987,7	6229,3
X5	2007	25	2135,5	68	10988,8	2970,1
	2015	25	2440,9	113	12026,1	3357,9
	2023	24	3042,9	189,7	13515,8	4116

Source: author's own research.

Źródło: badania własne.

Between 2007 and 2023, EU agriculture was characterised by an increase in production accompanied by a decline in employment and agricultural land area. In contrast, financial inputs – both direct and aggregate – as well as depreciation increased, reflecting the process of intensification, modernisation, and concentration of production. At the same time, disparities among EU countries are growing, as evidenced by the rising standard deviations of most variables.

3.2. Measurement and Decomposition of TFP (Total Factor Productivity) Indices

An analysis of relative productivity dynamics in the EU agricultural sector was conducted using Malmquist's total factor productivity (TFP) indices. In the classical approach, for one-dimensional inputs and outputs, TFP is defined as the simple ratio of output to input. However, in the context of multidimensional analysis, characterised by the presence of multiple inputs and outputs, TFP is the ratio of aggregate output to aggregate input, which allows for a comprehensive assessment of changes in efficiency.

The theoretical foundations for the TFP indices used in this study were formulated by Caves, Christensen, and Diewert (1982). Their work was based on the concept of S. Malmquist (1953), which involved the use of a distance function to construct a synthetic index measuring changes in a selected factor over time, relative to a chosen base point. These ideas were further developed in the work of Färe et al. (1992), who proposed a model based on the geometric mean of two temporally adjacent Caves indices. A key achievement of Färe et al. was also the presentation of a decomposition of this index into two main components: efficiency change (EC) and technical change (TC).

The use of linear programming (LP) and the assumptions of the Data Envelopment Analysis (DEA) method makes it possible to calculate these indices without requiring information on the price relationships between individual inputs and outputs. In this case, the calculations are based solely on available data regarding inputs and outputs, using appropriate distance functions.

W latach 2007-2023 rolnictwo UE charakteryzowało się wzrostem produkcji przy jednoczesnym spadku zatrudnienia i powierzchni użytków rolnych. Wzrosły natomiast nakłady finansowe, zarówno bezpośrednie, jak i ogólnogospodarcze oraz amortyzacja, co odzwierciedla proces intensyfikacji, modernizacji i koncentracji produkcji. Jednocześnie rośnie zróżnicowanie między krajami UE, co widoczne jest w rosnących odchyleniach standardowych większości zmiennych.

3.2. Pomiar i dekompozycja indeksów produktywności TFP (Total Factor Productivity)

Analiza dynamiki produktywności względnej w sektorze rolnym UE została przeprowadzona z zastosowaniem indeksów produktywności całkowitej TFP Malmquista. W klasycznym ujęciu, dla jednowymiarowych nakładów i efektów, TFP jest definiowane jako prosty stosunek uzyskanego efektu do poniesionego nakładu. Jednakże w kontekście analizy wielowymiarowej, charakteryzującej się obecnością wielu nakładów i efektów, TFP stanowi iloraz zsumowanych efektów do zsumowanych nakładów, co pozwala na kompleksową ocenę zmian efektywności.

Podstawy teoretyczne dla indeksów TFP wykorzystanych w niniejszym badaniu zostały sformułowane przez Cavesa, Christensena i Diewerta (1982). Ich praca opierała się na koncepcji S. Malmquista (1953), która zakładała wykorzystanie funkcji odległości do konstrukcji syntetycznego indeksu mierzącego zmiany wybranego czynnika w czasie, w odniesieniu do przyjętego punktu bazowego. Rozwinięcie tych idei nastąpiło w pracach Färe i in. (1992), którzy zaproponowali model oparty na średniej geometrycznej dwóch sąsiadujących w czasie indeksów Cavesa. Kluczowym osiągnięciem Färe'a i in. było również przedstawienie dekompozycji tego wskaźnika na dwa główne komponenty: zmiany efektywności (Efficiency Change – EC) oraz zmiany technologiczne (Technical Change – TC).

Zastosowanie programowania liniowego (LP) oraz założeń metody Data Envelopment Analysis (DEA) umożliwia obliczenie wspomnianych indeksów bez konieczności posiadania informacji o relacjach cenowych poszczególnych nakładów

i efektów. W takim przypadku kalkulacje opierają się wyłącznie na dostępnych danych dotyczących nakładów i efektów, z wykorzystaniem odpowiednich funkcji odległości.

Przyjmując, że:

Assuming that:

$$x_{it} = (x_{1it}, \dots, x_{Kit})' \text{ i } q_{it} = (q_{1it}, \dots, q_{Jit})'$$

and are vectors of inputs and outputs, the total productivity of entity i in period t is:

i są wektorami nakładów i efektów to produktywność całkowita obiektu i w okresie t to:

$$TFP_{it} \equiv \frac{Q_{it}}{X_{it}}, \quad (1)$$

where $Q_{it} = Q(q_{it})$ is the aggregate output, $X_{it} = X(x_{it})$ is the aggregate input, $Q(\cdot)$ and $X(\cdot)$ are non-decreasing, non-negative, linearly homogeneous functions.

gdzie $Q_{it} = Q(q_{it})$ to zagregowany efekt, $X_{it} = X(x_{it})$ to zagregowany nakład natomiast $Q(\cdot)$ i $X(\cdot)$ są niemalejącymi, nieujemnymi, liniowo jednorodnymi funkcjami.

In turn, assuming that $D(\cdot)$ are the output or input distance functions, the Malmquist TFP index calculated in this way can be decomposed into two main components, namely efficiency changes (EC) and technology changes (TC). An example of this notation is presented in Equation (2), Althin (2001b):

Z kolei zakładając że $D(\cdot)$ to funkcje odległości efektów lub nakładów, to tak obliczony indeks TFP Malmquista można dekomponować na dwa główne komponenty tj. zmiany efektywności (EC) i zmiany technologii (TC). Przykładowy zapis przedstawiono w równaniu (2), Althin (2001b):

$${}^tM^{t+1}(q^t, x^t, q, x^{t+1}) = \underbrace{\frac{D^t(q^t, x^t)}{D^{t+1}(q^{t+1}, x^{t+1})}}_{\text{Zmiana efektywności (EC)}} \cdot \underbrace{\left[\frac{D^{t+1}(q^{t+1}, x^{t+1})}{D^t(q^{t+1}, x^{t+1})} \cdot \frac{D^{t+1}(q, x^t)}{D^t(q, x^t)} \right]^{\frac{1}{2}}}_{\text{Zmiana technologii (TC)}}. \quad (2)$$

where:

Change in efficiency (EC): Measures the change in the distance of the analysed entity from the efficiency frontier during the period under study relative to the previous period.

Change in technology (TC): Reflects the shift in the efficiency frontier itself compared to the previous year, indicating technological progress or regression.

It should be noted that the Malmquist index, despite its popularity, has certain limitations. As pointed out by Martinez and Thorne (2019), among others, it does not satisfy the transitivity condition, which can pose a challenge in long-term analyses.

Gdzie:

Zmiana efektywności (EC): Mierzy zmianę odległości analizowanego obiektu od granicy efektywności w badanym okresie w stosunku do okresu poprzedniego.

Zmiana technologii (TC): Odzwierciedla przesunięcie samej granicy efektywności w porównaniu do roku poprzedniego, wskazując na postęp lub regres technologiczny.

Należy zauważyć, że indeks Malmquista, mimo swojej popularności, posiada pewne ograniczenia. Jak wskazują m.in. Martinez i Thorne (2019), nie spełnia on warunku przechodniości (transitivity), co może stanowić wyzwanie w analizach długookresowych.

Furthermore, there are alternative indices, such as the Färe-Primont index, which may offer a different approach to decomposing productivity changes, taking these limitations into account. Despite these considerations, the Malmquist index was chosen for this study due to its widespread use and well-established position in the literature on agricultural productivity research.

The DEA model used in the study is radial, which means that inefficiency is measured by the proportional reduction of all inputs at a given level of outputs. This approach is standard in TFP analyses, but it should be noted that radial models may not fully capture potential slacks in individual inputs and outputs, which are better identified in non-radial models (e.g. SlackBased Measure). The results presented in this article should therefore be interpreted as an approximation of productivity changes, assuming proportional adjustments in inputs.

As mentioned, the output and input distance functions were estimated using the DEA method by solving the corresponding linear programming problems^[1]. The study employed an approach based on variable returns to scale (VRS) and input-oriented models – i.e. models assuming that a given output is achieved with the lowest possible level of inputs. The choice of an input-oriented approach was dictated by the assumption that, in the agricultural sector, policymakers and farm managers have greater control over the level and structure of inputs incurred than over the final level of output, which often depends on exogenous factors, such as weather. Furthermore, an input-oriented model is often preferred in the context of analysing resource efficiency.

Ponadto, istnieją alternatywne indeksy, takie jak indeks Färe-Primonta, które mogą oferować inne podejście do dekompozycji zmian produktywności, uwzględniające te ograniczenia. Mimo tych aspektów, w niniejszej pracy zdecydowano się na indeks Malmquista ze względu na jego powszechne zastosowanie i ugruntowaną pozycję w literaturze w badaniach produktywności rolnictwa.

Wykorzystany w badaniu model DEA ma charakter radialny, co oznacza, że nieefektywność jest mierzona poprzez proporcjonalną redukcję wszystkich nakładów przy danym poziomie efektów. Rozwiązanie to jest standardowe w analizach TFP, ale należy pamiętać, że modele radialne mogą nie wychwytywać w pełni potencjalnych luzów (slacks) w poszczególnych nakładach i efektach, które są lepiej identyfikowane w modelach nieradialnych (np. SlackBased Measure). Wyniki przedstawione w artykule należy zatem interpretować jako przybliżenie zmian produktywności przy założeniu proporcjonalnych dostosowań nakładów.

Jak wspomniano funkcje odległości efektów i nakładów zostały estymowane przy wykorzystaniu metody DEA przez rozwiązanie odpowiednich zadań programowania liniowego¹. Do badań zastosowano podejście zakładające zmienne efekty skali (VRS) i modele zorientowane na nakłady tj. zakładające osiągnięcie danego efektu przy najmniejszym możliwym poziomie nakładów. Wybór orientacji na nakłady podyktowany był założeniem, że w sektorze rolnym decydencki polityczni oraz zarządzający gospodarstwami mają większą kontrolę nad poziomem i strukturą ponoszonych nakładów niż nad ostatecznym poziomem produkcji, który często jest zależny od czynników egzogenicznych, np. pogodowych. Ponadto, model zorientowany na nakłady jest często preferowany w kontekście analizy efektywności gospodarowania zasobami.

¹ A detailed description of the method for estimating the unknown parameters of the distance function can be found, for example, in the publication by O'Donnel (2011).

¹ Szczegółowy opis sposobu estymacji nieznanych parametrów funkcji odległości można znaleźć np. w publikacji (O'Donnel 2011).

3.3. Grouping Based on the Decomposition of Malmquist Productivity Indices

In the first phase of the study, based on panel data covering the years 2007-2023, Malmquist TFP (MQ) productivity indices were estimated and decomposed into indices of changes in efficiency (EC) and changes in technology (TC). Based on the estimated indices, an analysis was conducted of the trajectories of changes in individual indices. For each country, the arithmetic mean of the MQ, EC, and TC indices was calculated. Based on these averages, countries were classified into one of five groups according to their dominant sources of growth, using the following assumptions and algorithm:

Threshold values:

- neutral threshold (1.0) – values in the range of 0.99–1.01,
- growth threshold (1.01) – values >1.01,
- stagnation/decline threshold (0.99) – values <0.99.

For the grouping, an algorithm was used that takes into account a hierarchy of classification criteria consistent with the logic of the Malmquist index decomposition:

- Total factor productivity growth due to technological progress (TC) – countries for which the average MQ value exceeds 1.01, and the average TC value exceeds 1.01.
- Total factor productivity growth due to improvements efficiency (EC) – countries for which the average MQ value exceeds 1.01, and the average EC value exceeds 1.01.
- Stagnation/decline in total productivity – countries for which the average MQ value is lower than 0.99.
- Stable/moderate growth – Other countries that do not meet the above conditions.
- Anomaly – France has been singled out as a special case due to the extreme volatility of its indicators, which prevents it from being reliably classified into the other groups.

The order in which the criteria are applied is important – a country meeting several conditions is placed in the first applicable group. This approach ensures the reproducibility and objectivity of the classification, and the adopted thresholds (1.01 and 0.99) allow for a clear distinction between countries with significantly different

3.3. Grupowanie na podstawie dekompozycji indeksów produktywności Malmquista

W pierwszej fazie badań na podstawie danych panelowych obejmujących lata 2007-2023 oszacowano indeksy produktywności TFP Malmquista (MQ) i dokonano ich dekompozycji na indeksy zmian efektywności (EC) i zmian technologii (TC). Na podstawie oszacowanych wskaźników przeprowadzono analizę kształtowania się trajektorii zmian poszczególnych indeksów. Dla każdego kraju obliczono średnią arytmetyczną indeksów MQ, EC i TC. Na podstawie średnich zaklasyfikowano kraje do jednej z pięciu grup wg dominujących źródeł wzrostu na bazie następujących założeń i algorytmu:

Wartości progowe:

- próg neutralny (1,0) – wartości w przedziale 0,99-1,01,
- próg wzrost (1,01) – wartości >1,01,
- próg stagnacja/spadek (0,99) – wartości <0,99.

W celu grupowania zastosowano algorytm uwzględniający hierarchię kryteriów podziału zgodną z logiką dekompozycji indeksu Malmquista:

- Wzrost produktywności całkowitej dzięki postępowi technologicznemu (TC) – kraje, dla których średnia wartość MQ przekracza 1,01 oraz średnia wartość TC przekracza 1,01.
- Wzrost produktywności całkowitej dzięki poprawie efektywności (EC) – Kraje, dla których średnia wartość MQ przekracza 1,01 oraz średnia wartość EC przekracza 1,01.
- Stagnacja/spadek produktywności całkowitej – Kraje, dla których średnia wartość MQ jest niższa niż 0,99.
- Stabilny/umiarkowany wzrost – Pozostałe kraje, które nie spełniają powyższych warunków.
- Anomalia – Francja została wyodrębniona jako przypadek szczególny ze względu na ekstremalną zmienność wskaźników, co nie pozwala na jej wiarygodne zaklasyfikowanie do pozostałych grup.

Kolejność stosowania kryteriów jest istotna – kraj spełniający kilka warunków trafia do pierwszej pasującej grupy. Takie podejście zapewnia powtarzalność i obiektywność klasyfikacji, a przyjęte progi (1,01 oraz 0,99) pozwalają na wyraźne rozróżnienie krajów o istotnie

productivity dynamics. A statistical analysis and Kruskal-Wallis tests were also conducted on the identified groups A-E to assess their diversity.

3.4. Analysis of Groups Based on Sub-Indices

In order to analyse and integrate the findings from the study on the development of the relative productivity indices MQ, EC, and TC with the actual picture of economic processes in agriculture, several sub-indicators were defined:

- Land productivity = agricultural output / UAA (thousand EUR/ha),
- Labor productivity = output / AWU (thousand EUR/AWU),
- Labor intensity = AWU / agricultural land area (AWU/ha),
- Capital productivity = output / depreciation,
- Input productivity = output / (direct costs + general operating costs).

4. Research Results

Based on the estimated Malmquist (MQ) TFP productivity indices and their decomposition into efficiency change (EC) and technology change (TC) indices, five groups of countries were identified according to the adopted algorithm, differing in terms of changes in relative agricultural productivity within the European Union:

Group A (stable countries) – stable/moderate growth (11 countries) – Austria, Czech Republic, Estonia, Finland, Greece, Ireland, Lithuania, Portugal, Slovenia, Spain, Sweden

Group B (efficiency-driven countries) – growth driven by efficiency (EC) (6 countries) – Croatia, Hungary, Poland, Romania, Slovakia, United Kingdom

Group C (technology-driven countries) – Growth driven by technology (TC) (5 countries) – Belgium, Denmark, Germany, Italy, Netherlands

Group D (stagnant countries) – Stagnation/decline in productivity – (2 countries) – Bulgaria, Latvia

Group E (Anomaly) – France

Table 2 presents the arithmetic mean of the analysed MQ, EC, and TC indices for each group.

odmiennej dynamice produktywności. Przeprowadzono również analizę statystyczną i testy Kruskala-Wallisa wyodrębnionych grup A-E pod względem zróżnicowania.

3.4. Analiza grup na podstawie wskaźników cząstkowych

W celu analizy i połączenia wniosków z badań kształtowania się indeksów produktywności względnej MQ, EC i TC z obrazem realnym procesów ekonomicznych w rolnictwie, zdefiniowano kilka wskaźników cząstkowych:

- Produktywność ziemi = produkcja rolna / powierzchnia UR (tys. EUR/ha),
- Produktywność pracy = produkcja / AWU (tys. EUR/AWU),
- Intensywność pracy = AWU / powierzchnia UR (AWU/ha),
- Produktywność kapitału = produkcja / amortyzacja,
- Produktywność nakładów = produkcja / (koszty bezpośrednie + koszty ogólnogospodarcze).

4. Wyniki badań

Na podstawie oszacowanych indeksów produktywności TFP Malmquista (MQ) i ich dekompozycji na indeksy zmian efektywności (EC) i zmian technologii (TC) wyodrębniono wg przyjętego algorytmu 5 grup krajów różniących się pod względem zmian produktywności względnej rolnictwa w Unii Europejskiej:

Grupa A (kraje stabilne) – stabilny/umiarkowany wzrost (11 krajów) – Austria, Czech Republic, Estonia, Finland, Greece, Ireland, Lithuania, Portugal, Slovenia, Spain, Sweden

Grupa B (kraje efektywnościowe) – wzrost dzięki efektywności (EC) (6 krajów) – Croatia, Hungary, Poland, Romania, Slovakia, United Kingdom

Grupa C (kraje technologiczne) – Wzrost dzięki technologii (TC) (5 krajów) – Belgium, Denmark, Germany, Italy, Netherlands

Grupa D (kraje stagnacyjne) – Stagnacja/spadek produktywności – (2 kraje) – Bulgaria, Latvia

Grupa E (Anomalia) – Francja

Średnie arytmetyczne poziomu analizowanych indeksów MQ, EC i TC w poszczególnych grupach przedstawia tabela 2.

Table 2. Average changes in productivity indices for the analysed groups of EU countries for the years 2007-2023**Tabela 2.** Średni poziom zmian indeksów produktywności analizowanych grup krajów UE za lata 2007-2023

Group Grupa	Description Opis	Number of Countries Liczba krajów	MQ	EC	TC
A	Stable/moderate growth Stabilny/umiarkowany wzrost	11	1,0030	1,0042	0,9994
B	Growth driven by efficiency (EC) Wzrost dzięki efektywności (EC)	6	1,0161	1,0206	0,9970
C	Growth driven by technology (TC) Wzrost dzięki technologii (TC)	5	1,0287	1,0024	1,0273
D	Stagnation/decline in productivity Stagnacja/spadek produktywności	2	0,9726	0,9981	0,9776
E	Anomalies (extreme TC volatility) Anomalie (ekstremalna zmienność TC)	1	1,3416	1,0000	1,3416

Source: author's own research.

Źródło: badania własne.

The adopted methodology allowed for grouping countries into clusters that differ not only in the levels of productivity changes but also in the factors influencing those changes. Partial indicators describe the intensity of a single factor's use but do not indicate whether a change results from improved technology, better management, intensified inputs, economies of scale, etc. They are not a measure of TFP. With a classification based on these assumptions, it is possible to analyse the trends in the partial measures.

4.1. Productivity of Land, Labour, Capital, and Inputs in the Analysed Groups

After discussing the overall results regarding total factor productivity (TFP), it is appropriate to deepen the analysis by applying partial measures which relate the value of agricultural production to selected production inputs. This approach allows for a better understanding of the structural diversity of agriculture across individual European Union countries and helps identify differences in the sources of productivity advantages. Due to the use of data at current prices, comparisons of indicator levels between countries may partially reflect differences in price levels; therefore, greater emphasis is placed on analysing the dynamics of these indicators and convergence processes.

Przyjęta metodologia pozwoliła pogrupować kraje na grupy, które różnią się między sobą nie tylko poziomem zmian produktywności a także czynnikami które miały wpływ na te zmiany. Wskaźniki cząstkowe opisują intensywność wykorzystania pojedynczego czynnika ale nie mówią czy zmiana wynika z lepszej techniki, lepszego zarządzania, intensyfikacji nakładów, efektów skali itp. Nie są miarą TFP. Mając podział oparty na tych założeniach można przeanalizować jak kształtują się miary cząstkowe.

4.1. Produktywność ziemi, pracy, kapitału i nakładów w analizowanych grupach

Po omówieniu wyników ogólnych w zakresie całkowitej produktywności czynników (TFP), uzasadnione staje się pogłębienie analizy poprzez zastosowanie mierników cząstkowych, które odnoszą wartość produkcji rolniczej do wybranych nakładów produkcyjnych. Ujęcie to pozwala lepiej uchwycić zróżnicowanie strukturalne rolnictwa w poszczególnych krajach Unii Europejskiej i zidentyfikować odmienności w źródłach przewagi w poziomie produktywności. Ze względu na wykorzystanie danych w cenach bieżących, porównania poziomów wskaźników między krajami mogą częściowo odzwierciedlać różnice poziomu cen; większą wagę przywiązuje się zatem do analizy dynamiki tych wskaźników oraz procesów konwergencji.

Partial measures serve a dual function here. First, they enable the identification of the development profile of agricultural holdings – they indicate whether dynamic growth in total factor productivity is based on intensified land use, mechanisation and reduced labour input, capital investments, or the rationalisation of overhead costs. Second, in the subsequent part of the study, they allow us to link the rate of change in TFP to reforms of the Common Agricultural Policy – from the Health Check (2008), through “greening” measures in 2014-2020, to the current CAP framework for 2021-2027, which places strong emphasis on eco schemes and environmental efficiency. At the same time, it should be emphasised that some of the sub-measures used are composite indicators, combining quantity and price components (e.g. output/AWU, output/inputs). Consequently, their trends should be interpreted with caution, as an approximate picture of structural and organisational changes rather than as a direct measure of pure technical progress.

The analysis includes five basic sub-indicators:

1. Land productivity (value of production per 1 ha of agricultural land),
2. Labor productivity (value of production per 1 AWU),
3. Labor intensity (number of AWUs per 1 ha of agricultural land),
4. Capital productivity (value of production relative to depreciation),
5. Input productivity (ratio of production to the sum of operating and general costs).

The summary results of the analysis are presented in Table 3.

Mienniki cząstkowe pełnią tutaj dwojaką funkcję. Po pierwsze, umożliwiają identyfikację profilu rozwoju gospodarstw rolnych – wskazują, czy dynamiczny wzrost produktywności całkowitej opiera się na intensyfikacji wykorzystania ziemi, mechanizacji i redukcji nakładów pracy, inwestycjach kapitałowych, czy racjonalizacji kosztów ogólnych. Po drugie, w dalszej części badań pozwalają powiązać tempo zmian TFP z reformami Wspólnej Polityki Rolnej – od Health Check (2008), poprzez działania „zazieleniające” w latach 2014-2020, aż po obecne ramy WPR na lata 2021-2027, kładące silny nacisk na ekoschematy i efektywność środowiskową. Należy jednocześnie podkreślić, że część stosowanych mienników cząstkowych ma charakter wskaźników mieszanych, łączących komponenty ilościowe i cenowe (np. produkcja/AWU, produkcja/nakłady). W związku z tym ich dynamika powinna być interpretowana ostrożnie, jako przybliżony obraz zmian strukturalnych i organizacyjnych, a nie jako bezpośrednia miara czystego postępu technicznego.

W analizie uwzględniono pięć podstawowych mienników cząstkowych:

1. Produktywność ziemi (wartość produkcji na 1 ha użytków rolnych),
2. Produktywność pracy (wartość produkcji na 1 AWU),
3. Intensywność pracy (liczba AWU na 1 ha UR),
4. Produktywność kapitału (wartość produkcji w relacji do amortyzacji),
5. Produktywność nakładów (relacja produkcji do sumy kosztów bieżących i ogólnych).

Syntetyczne wyniki analizy zostały przedstawione w tabeli 3.

Table 3. Analysis of partial metrics

Tabela 3. Analiza mienników cząstkowych

Group Grupa	Land productivity (thousands of EUR/ ha) Produktywność ziemi (tys. EUR/ha)	Labour productivity (thousand EUR/AWU) Produktywność pracy (tys. EUR/AWU)	Labour Intensity (AWU/ha) Intensywność pracy (AWU/ha)	Capital Productivity Factor Produktywność. kapitału	Input Productivity Produktywność nakładów
A	1,810	45,062	0,054	6,935	1,574
B	1,489	32,704	0,082	8,877	1,581
C	6,518	139,084	0,052	7,312	1,603
D	0,755	17,547	0,050	12,146	1,478
E	2,527	96,992	0,026	6,765	1,647

Source: author's own research.

Źródło: badania własne.

The table presents the average levels of agricultural productivity indicators in European Union countries grouped based on the decomposition of the Malmquist index. The analysis shows clear differences between the individual groups. This is also illustrated in Figure 1 after normalising the results.

The differences between the groups are illustrated in Figure 1.

Tabela przedstawia średnie poziomy wskaźników produktywności rolnictwa w krajach Unii Europejskiej pogrupowanych na podstawie dekompozycji indeksu Malmquista. Analiza pokazuje wyraźne zróżnicowanie między poszczególnymi grupami. Zostało to również zobrazowane na rysunku 1. po wcześniejszej normalizacji wyników.

Zróżnicowanie pomiędzy grupami obrazowano na rysunku 1.

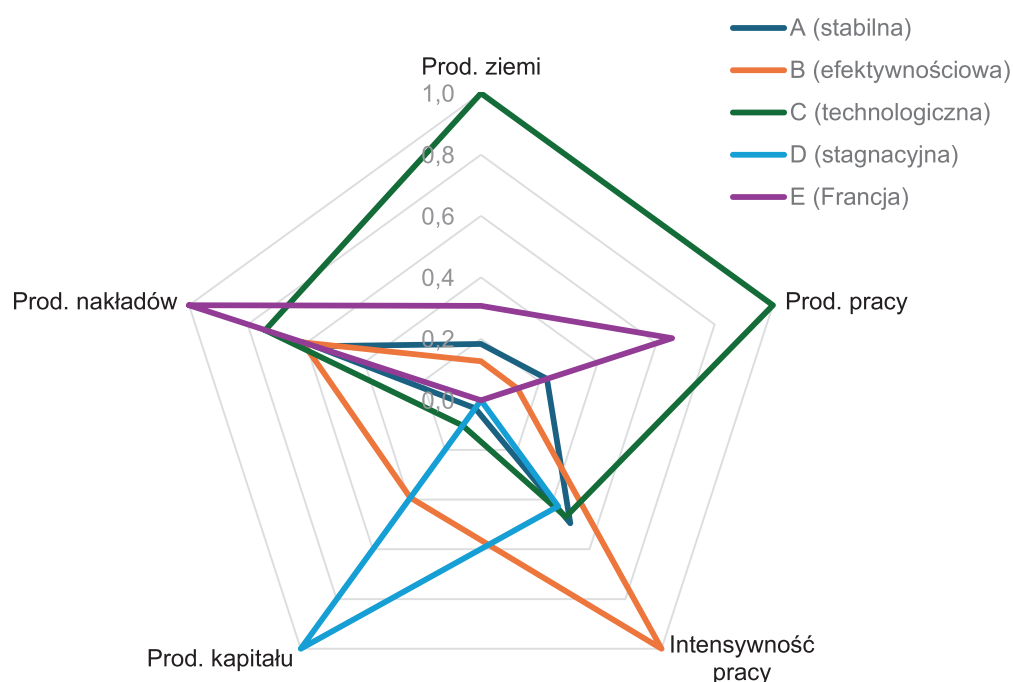


Figure 1. Normalised graph of the analysed sub-indicators of EU agricultural activity for the years 2007-2023

Rycina 1. Wykres znormalizowany poziomu analizowanych wskaźników częściowych działalności rolniczej UE za lata 2007-2023

Source: own research.

Źródło: badania własne.

Group **A** (stable) achieves moderate land productivity (1,810 EUR/ha) and labour productivity (45,062 EUR/AWU). With relatively low labour intensity (0.054 AWU/ha) and moderate capital productivity (6.935) and input productivity (1.574), this is a stable group, with no significant deviations either upward or downward.

Group **B** (efficiency-oriented) shows lower land productivity (1,489 EUR/ha) and labour productivity (32,704 EUR/AWU) but compensates for this with higher labour intensity (0.082 AWU/ha).

Grupa **A** (stabilna) osiąga umiarkowaną produktywność ziemi (1 810 EUR/ha) i pracy (45 062 EUR/AWU). Przy relatywnie niskiej intensywności pracy (0,054 AWU/ha) oraz umiarkowanej produktywności kapitału (6,935) i nakładów (1,574) jest to grupa stabilna, bez dużych odchyleń ani w górę, ani w dół.

Grupa **B** (efektywnościowa) wykazuje niższe wartości produktywności ziemi (1 489 EUR/ha) oraz pracy (32 704 EUR/AWU), ale rekompensuje to wyższą intensywnością pracy (0,082 AWU/ha).

It stands out particularly favourably in terms of capital productivity (8,877), as well as a good level of input productivity (1,581), which indicates an efficient use of resources despite lower labour and land productivity.

Group **C** (technological) is the clear leader in terms of productivity. It achieves the highest indicators for both land (6,518 EUR/ha) and labour (139,084 EUR/AWU), which attests to advanced mechanisation, a high level of technology, and efficient production organisation. Labor intensity remains low (0.052 AWU/ha), typical of highly mechanised agriculture, and input productivity (1.603) is among the highest in the ranking.

Group **D** (stagnant) is characterised by the lowest results – land productivity is only 755 EUR/ha, and labour productivity at 17,547 EUR/AWU. Labor intensity (0.050 AWU/ha) is comparable to that of other groups; however, low output combined with a relatively high depreciation value (capital productivity of 12.146) results in an unfavourable efficiency balance. Input productivity (1.478) is the lowest among all groups.

Group **E**, comprising only France, deserves special attention, as it represents a distinct anomaly. This country has a unique set of variables and requires a separate study. It is characterised by high land productivity (2,527 EUR/ha) and very high labour productivity (96,992 EUR/AWU) with exceptionally low labour intensity (0.026 AWU/ha). Capital productivity (6.765) remains at an average level, whereas input productivity (1,647) is the highest in the entire ranking, indicating an exceptionally favourable ratio of output to costs incurred.

In summary, Group C leads in technological efficiency, while France (Group E) outperforms other countries in terms of cost efficiency. Groups A and B maintain stable growth – thanks, respectively, to a balanced structure and improved efficiency. The weakest results are observed in Group D, which points to barriers to development and the need to modernise the sector.

Figures 2-5, in turn, show the trends in the analysed indicators for the years 2007-2023.

Szczególnie korzystnie wyróżnia się produktywnością kapitału (8,877), a także dobrym poziomem produktywności nakładów (1,581), co wskazuje na efektywne wykorzystanie zasobów mimo niższej wydajności pracy i ziemi.

Grupa **C** (technologiczna) jest zdecydowanym liderem w zakresie produktywności. Osiąga najwyższe wskaźniki zarówno dla ziemi (6 518 EUR/ha), jak i pracy (139 084 EUR/AWU), co świadczy o zaawansowanej mechanizacji, wysokim poziomie technologii i organizacji produkcji. Intensywność pracy pozostaje niska (0,052 AWU/ha), typowa dla rolnictwa silnie zmechanizowanego, a produktywność nakładów (1,603) należy do najwyższych w zestawieniu.

Grupa **D** (stagnacyjna) charakteryzuje się zdecydowanie najniższymi wynikami – produktywność ziemi wynosi zaledwie 755 EUR/ha, a pracy 17 547 EUR/AWU. Intensywność pracy (0,050 AWU/ha) jest porównywalna z innymi grupami, jednak niska produkcja przy relatywnie wysokiej wartości amortyzacji (produktywność kapitału 12,146) powoduje niekorzystny bilans efektywności. Produktywność nakładów (1,478) jest najniższa spośród wszystkich grup.

Na szczególną uwagę zasługuje Grupa **E**, obejmująca wyłącznie Francję, będącą swoistą anomalią. Jest to kraj o specyficznym układzie zmiennych i wymaga odrębnego studium. Wyróżnia się wysoką produktywnością ziemi (2 527 EUR/ha) oraz bardzo wysoką wydajnością pracy (96 992 EUR/AWU) przy wyjątkowo niskiej intensywności pracy (0,026 AWU/ha). Produktywność kapitału (6,765) pozostaje na średnim poziomie, natomiast produktywność nakładów (1,647) jest najwyższa w całym zestawieniu, co wskazuje na wyjątkowo korzystną relację produkcji do ponoszonych kosztów.

Podsumowując, liderem technologicznej efektywności jest Grupa C, natomiast Francja (Grupa E) przewyższa inne kraje pod względem efektywności kosztowej. Grupy A i B utrzymują stabilny rozwój – odpowiednio dzięki zrównoważonej strukturze oraz poprawie efektywności. Najsłabsze wyniki obserwuje się w Grupie D, co wskazuje na bariery rozwojowe i konieczność modernizacji sektora.

Z kolei dynamikę zmian analizowanych wskaźników w latach 2007-2023 pokazują rysunki 2-5.

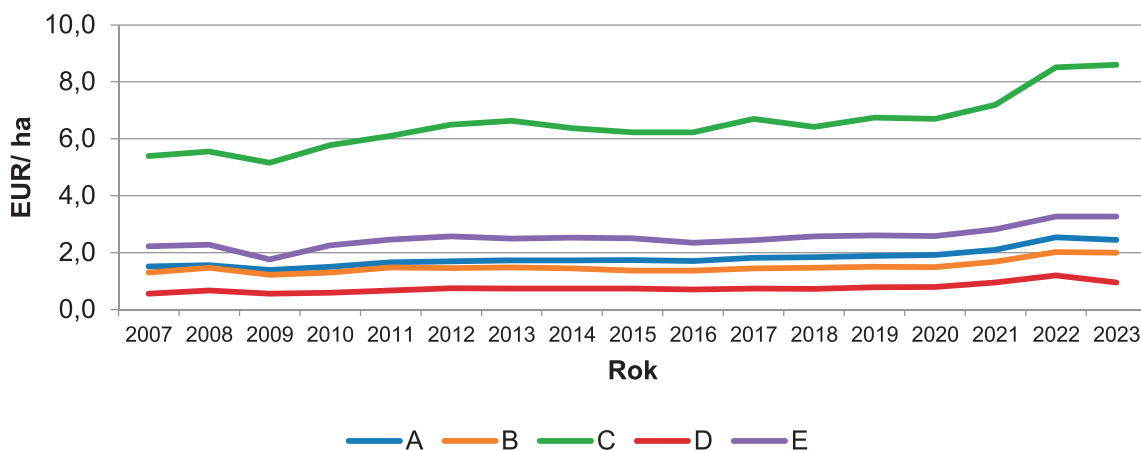


Figure 2. Land Productivity

Rycina 2. Produktywność ziemi

Source: own research.

Źródło: badania własne.

Land productivity increased in all groups. Group C remains the consistent leader, having raised its result from 5.4 to 8.6 thousand EUR/ha (+60%, with an average growth rate of $\approx 3\%$). Groups A and B recorded similar growth rates ($\approx 55\text{-}60\%$), reaching approximately 2.0-2.4 thousand EUR/ha, while France (E) improved by 47% to 3.3 thousand EUR/ha. Group D, despite the highest growth rate (+70%), remains significantly behind (0.95 thousand EUR/ha). The differences in levels between Group C and the other groups persisted throughout the entire analysis period.

We wszystkich grupach zwiększyła się wartość produktywności ziemi. Liderem niezmiennie pozostaje grupa C, która podniosła wynik z 5,4 do 8,6 tys. EUR/ha (+60 %, a średnie tempo wzrostu to $\approx 3\%$). Grupy A i B odnotowały zbliżone tempo wzrostu ($\approx 55\text{-}60\%$) osiągając w 2023 r. ok. 2,0-2,4 tys. EUR/ha, natomiast Francja (E) poprawiła się o 47 % do 3,3 tys. EUR/ha. Grupa D, mimo najwyższej dynamiki (+70 %), pozostaje wyraźnie w tyle (0,95 tys. EUR/ha). Różnice poziomów między grupą C a pozostałymi grupami utrzymały się w całym okresie analizy.

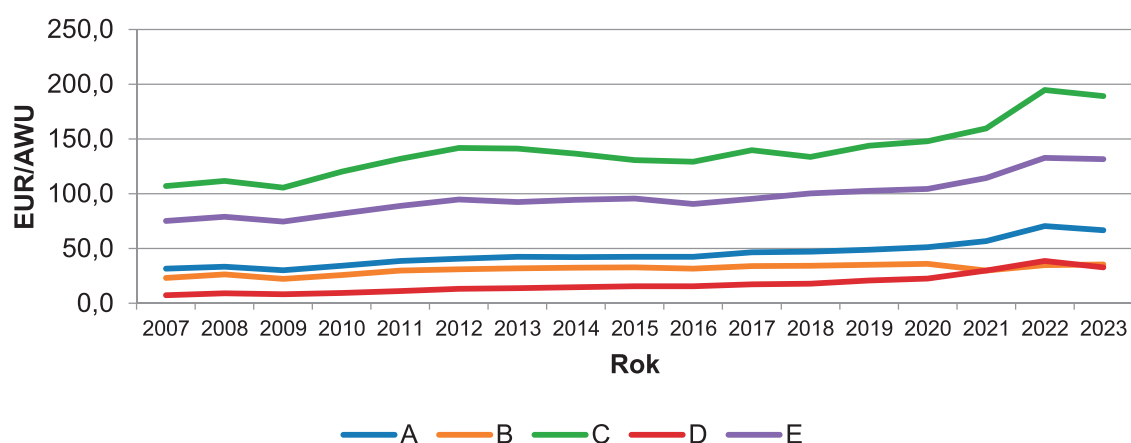


Figure 3. Labour Productivity

Rycina 3. Produktywność pracy

Source: own research.

Źródło: badania własne.

In terms of labour productivity (EUR/AWU), Group C recorded the highest and fastest-growing values (189,000 EUR/AWU; +77%), which may indicate that it is maintaining its technological and organisational advantage. France (E) holds second place (132,000; +75%). Group A doubled its result to 67,000 EUR/AWU (+110%) and overtook Group B (36,000; +54%). Group D improved by as much as 337% but from a very low baseline and still lags behind (33,000). The gap between C/E and the rest of the market remains significant.

W przypadku produktywności pracy (EUR/AWU), najwyższe i najszybciej rosnące wartości notuje grupa C (189 tys. EUR/AWU; +77 %), co może wskazywać na utrzymywanie przewagi technologiczno-organizacyjnej. Francja (E) utrzymuje drugą pozycję (132 tys.; +75 %). Grupa A podwoiła wynik do 67 tys. EUR/AWU (+110 %) i wyprzedziła grupę B (36 tys.; +54 %). Grupa D poprawiła się aż o 337 %, lecz z bardzo niskiego pułapu i wciąż odstaje (33 tys.). Rozwarstwienie między C/E a resztą rynku pozostaje znaczące.

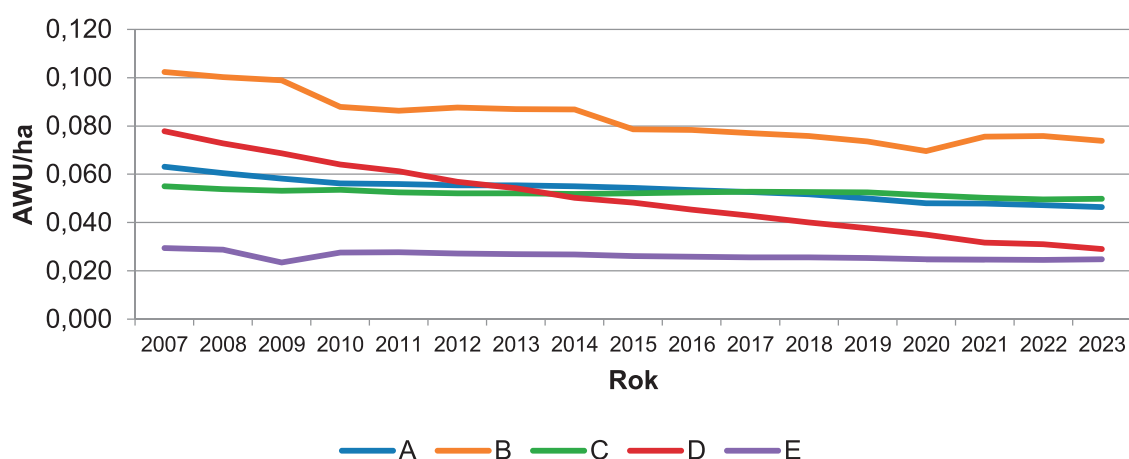


Figure 4. Labour intensity

Rycina 4. Intensywność pracy

Source: own research.

Źródło: badania własne.

In terms of labour intensity (AWU/ha), the indicator decreased across all groups, reflecting ongoing mechanisation. The sharpest declines were observed in Group D (-63%) and Group B (-28%). In 2023, group B still exhibits the highest labour intensity (0.074 AWU/ha), while France (E) is extremely mechanised (0.025). Convergence toward lower labour input is evident.

W przypadku intensywności pracy (AWU/ha), wskaźnik obniżył się we wszystkich grupach, co odzwierciedla postępującą mechanizację. Najsilniejszy spadek obserwujemy w grupie D (-63 %) i B (-28 %). W 2023 r. największą intensywność wciąż wykazuje grupa B (0,074 AWU/ha), podczas gdy Francja (E) jest skrajnie zmechanizowana (0,025). Konwergencja ku niższemu nakładowi pracy żywej jest wyraźna.

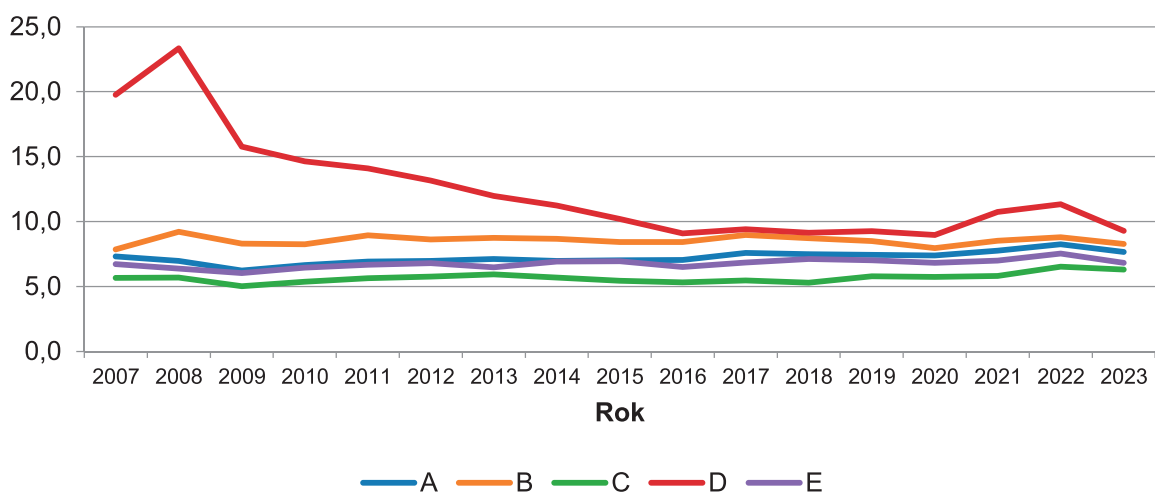


Figure 5. Capital productivity

Rycina 5. Produktywność kapitału

Surce: own research.

Źródło: badania własne.

Capital productivity. In Group D, the index fell by half ($19.8 \rightarrow 9.3$), shifting from an extremely capital-efficient position to an average position. In the other cases, Group B maintains its leading position (8.27; +5%), while Groups A and C recorded moderate growth. France (E) remains stable (~ 6.8). Overall, there is a levelling of capital productivity levels, with a marked deterioration in Group D.

Produktywność kapitału. W grupie D wskaźnik obniżył się o połowę ($19,8 \rightarrow 9,3$), przesuwając ją z pozycji skrajnie kapitało-oszczędnej do przeciętnej. W pozostałych przypadkach Grupa B utrzymuje pozycję lidera (8,27; +5 %), a A i C zanotowały umiarkowany wzrost. Francja (E) pozostaje stabilna ($\sim 6,8$). Generalnie widać wyrównywanie się poziomów produktywności kapitału z wyraźnym pogorszeniem w D.

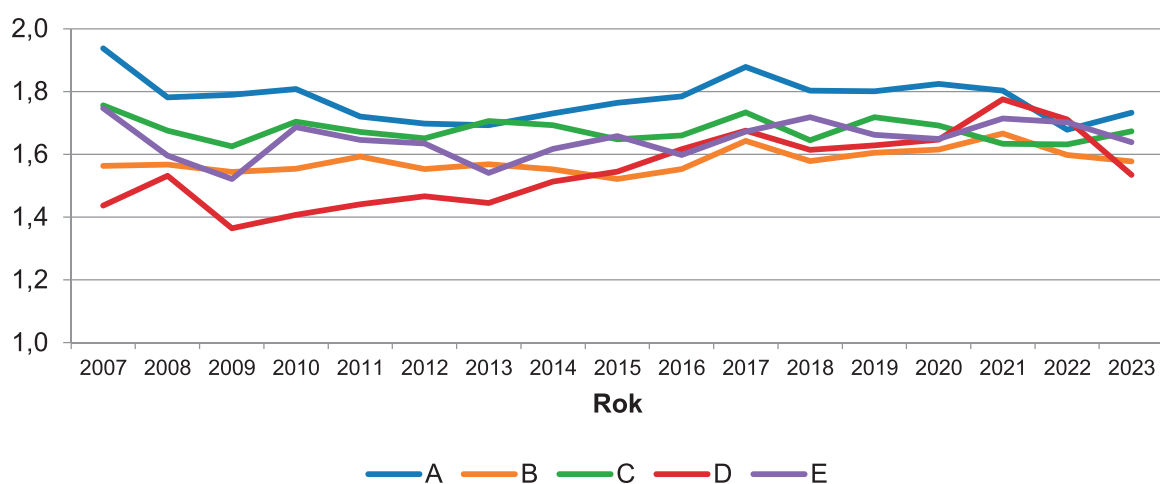


Figure 6. Factor productivity

Rycina 6. Produktywność nakładów

Surce: own research.

Źródło: badania własne.

Input productivity. Values fluctuate between 1.6 and 1.8, and changes are relatively minor. Groups A, C, and E recorded slight declines (-6 to -11%), Group B remained virtually unchanged, and D improved its ratio by 6.8%. The ranking in 2023 is similar: A (1.73) > E (1.64) > C ≈ D (1.67–1.53) > B (1.58). This indicates that the gap in input efficiency across the EU is narrowing.

Overall, the analysis confirms that Group C consistently leads in terms of land and labour productivity, while Group B is catching up mainly through improved allocation of costs and capital. Group A maintains moderate, steady growth, and France represents a rather unique combination of high labour productivity and strong cost efficiency. Group D – despite several spectacular percentage growth rates – remains the weakest in terms of overall performance, which confirms the need for further modernisation efforts.

4.2. The Relationship Between Key CAP Reforms and Productivity Trends (2007-2023)

An assessment of changes in agricultural productivity across European Union Member States requires consideration not only of endogenous factors, such as agricultural structure, technological level, and market access, but also institutional factors, including, above all, the evolution of the Common Agricultural Policy (CAP).

This chapter analyses the correlation between changes in agricultural productivity and successive stages of CAP reforms. It should be emphasised that the presented considerations are exploratory in nature and are based on a comparison of productivity trends with the reform timeline rather than on a formal cause-and-effect analysis. These conclusions should be treated as research hypotheses serving as a basis for further, in-depth econometric analyses. An attempt was made to answer the question: Did the successive stages of CAP reforms influence changes in agricultural productivity in EU countries, and how did differences manifest between groups of countries with varying production structures and development trajectories?

During the period 2007-2023, three landmark reforms took place in nature, the effects of which were reflected in the dynamics of total factor productivity (TFP):

Produktywność nakładów. Wartości oscylują wokół 1,6-1,8 i zmiany są relatywnie niewielkie. Grupy A, C i E odnotowały lekkie spadki (-6 ÷ -11 %), grupa B pozostała praktycznie bez zmian, a D poprawiła wskaźnik o 6,8 %. Ranking w 2023 r. jest zbliżony: A (1,73) > E (1,64) > C ≈ D (1,67–1,53) > B (1,58). Świadczy to o zacieśnianiu się rozpiętości efektywności nakładów w skali UE.

Łącznie analiza potwierdza, że grupa C konsekwentnie przewodzi pod względem wydajności ziemi i pracy, zaś grupa B nadrabia głównie poprawą alokacji kosztów i kapitału. Grupa A utrzymuje umiarkowany, równomierny rozwój, a Francja stanowi dość specyficzne połączenie wysokiej wydajności pracy z dużą efektywnością kosztową. Grupa D – mimo kilku spektakularnych wskaźników wzrostu procentowego – nadal pozostaje najsłabsza poziomowo, co potwierdza potrzebę dalszych działań modernizacyjnych.

4.2. Związek kluczowych reform WPR z dynamiką produktywności (2007-2023)

Ocena zmian w produktywności rolnictwa państw członkowskich Unii Europejskiej wymaga uwzględnienia nie tylko czynników endogenicznych, takich jak struktura agrarna, poziom technologii czy dostęp do rynków, lecz także czynników instytucjonalnych, w tym przede wszystkim ewolucji Wspólnej Polityki Rolnej (WPR).

W niniejszym rozdziale dokonano analizy zbieżności zmian w produktywności rolnictwa z kolejnymi etapami reform WPR. Należy podkreślić, że przedstawione rozważania mają charakter eksploracyjny i opierają się na zestawieniu dynamiki produktywności z harmonogramem reform, a nie na formalnej analizie przyczynowo-skutkowej. Wnioski te powinny być traktowane jako hipotezy badawcze stanowiące podstawę do dalszych, pogłębionych analiz ekonometrycznych. Podjęto próbę odpowiedzi na pytanie: czy kolejne etapy reform WPR oddziaływały na zmiany produktywności rolnictwa w państwach UE oraz jak kształtowały się różnice pomiędzy grupami krajów o odmiennych strukturach produkcyjnych i trajektoriach rozwojowych.

W okresie 2007-2023 miały miejsce trzy reformy o przełomowym charakterze, których efekty znalazły odzwierciedlenie w dynamice całkowitej produktywności czynników (TFP):

1. **Health Check (2008)** – this represented a deepening of the so-called Luxembourg reform, continuing the process of *decoupling* subsidies from production and introducing greater flexibility in direct payments. Loosening the link between the amount of support and the level of production gave farmers the opportunity to allocate resources more rationally, thereby promoting improved technical efficiency.
2. **The 2014-2020 reform (“greening”)** – introduced new environmental requirements (crop diversification, maintenance of permanent grassland, and ecological focus areas – EFAs) in response to growing public expectations regarding sustainable development and climate protection. However, this reform was accompanied by controversy regarding its impact on production efficiency: some studies point to a slowdown in the growth rate of total factor productivity (TFP) in intensive-production countries.
3. **The New CAP 2021-2027** – based on the 2018 reform – introduces a system of **strategic plans** and a clear shift in emphasis toward *eco-schemes* and the carbon economy. This phase initiated a process of deeper internalisation of climate and social objectives into agricultural policy, which creates new conditions for shaping farm productivity and competitiveness.

The presented results indicate not only varying productivity dynamics among country groups (A-E) but also differing sensitivities of national agricultural systems to CAP regulatory impulses. Of particular importance here is the so-called “catching-up” effect, which helps explain why some Central and Eastern European countries improved their efficiency performance despite a relatively lower initial level of productivity.

4.2.1. Health Check 2008

The 2008 reform completed the decoupling of payments from production, introduced modulation (the transfer of a portion of subsidies to the second pillar), and tightened standards and *cross-compliance* requirements. After comparing

1. **Health Check (2008)** – stanowił pogłębienie tzw. reformy luksemburskiej, kontynuując proces *decouplingu* dopłat od produkcji oraz wprowadzając większą elastyczność w zakresie płatności bezpośrednich. Rozluźnienie więzi między wysokością wsparcia a poziomem produkcji otworzyło rolnikom możliwość bardziej racjonalnej alokacji zasobów, sprzyjając poprawie efektywności technicznej.
2. **Reforma z okresu 2014-2020 („greening”)** – wprowadziła nowe wymogi środowiskowe (dywersyfikacja zasiewów, utrzymanie trwałych użytków zielonych, obszary proekologiczne – EFA), będąc odpowiedzią na rosnące oczekiwania społeczne związane ze zrównoważonym rozwojem i ochroną klimatu. Reformie tej towarzyszyły jednak kontrowersje dotyczące jej wpływu na efektywność produkcyjną: część badań wskazuje na ograniczenie tempa wzrostu produktywności technologicznej (TC) w państwach intensywnie produkujących.
3. **Nowa WPR 2021-2027** – bazująca na reformie z 2018 r., wprowadzająca system **planów strategicznych** oraz wyraźne przesunięcie akcentu w stronę *eko-schematów* i gospodarki węglowej. Etap ten rozpoczął proces głębszej internalizacji celów klimatycznych i społecznych w polityce rolnej, co tworzy nowe uwarunkowania dla kształtowania produktywności i konkurencyjności gospodarstw.

Zaprezentowane wyniki wskazują nie tylko na zróżnicowaną dynamikę produktywności pomiędzy grupami państw (A-E), lecz także na odmienną wrażliwość krajowych systemów rolnych na impulsy regulacyjne WPR. Szczególne znaczenie ma tu tzw. efekt doganiania (*catching-up*), który pozwala wyjaśnić, dlaczego część krajów Europy Środkowo-Wschodniej poprawiła wyniki efektywnościowe pomimo relatywnie niższego poziomu produktywności początkowej.

4.2.1. Health Check 2008

Reforma z 2008 r. dokończyła oddzielanie płatności od produkcji, wprowadziła modulację (przesunięcie części dopłat do II filaru) i zaostrzyła normy i wymogi wzajemnej zgodności (*cross-compliance*). Po zestawieniu średnich indeksów

the average *ex-ante* (2007-2008) and *ex-post* (2009-2013) indices, it can be concluded that:

- Group C (technology-driven countries) increased its average *TC* by ≈ 4 p.p., suggesting that the liberalisation of production decisions was channelled into capital and technology investments,
- Group B (efficiency-driven countries) increased *EC* by ≈ 3 p.p., which corresponds to the inflow of modernisation funds from the second pillar,
- Group D (Bulgaria, Latvia) saw declines in both *MQ* and *TC* (decrease > 2 p.p.) – limited absorption of aid and a low capital base neutralised the Health Check incentives,
- Group A remained nearly neutral, confirming “moderate growth” based on incremental management improvements.

Conclusion: The observed changes suggest that the decoupling of payments from production in 2008 may have benefited countries with high investment capacity (Group C) and those that quickly restructured their cost structures (Group B), whereas in peripheral countries (Group D), potential benefits may have been limited by a weaker capital base and lower absorption of support.

4.2.2. The 2014–2020 Reform (greening)

“Greening” made 30% of basic payments conditional on the implementation of pro-environmental practices (maintenance of ecological focus areas and good agricultural and environmental conditions, diversification). An analysis of the 2014-2020 period indicates that:

- in Group C, the growth rate of *TC* declined (average *TC* ≈ 1.017 compared to 1.027 before 2014), and *EC* did not increase – the costs of meeting environmental requirements temporarily limited technological expansion,
- in Group B, *EC* remained high (≈ 1.02) despite “green” redistribution, which can be linked to the intensive use of the Rural Development Program (PROW) for rural development and farm modernisation,
- Group A maintained *MQ* close to unity (1.003) – greening discipline was offset by a moderate improvement in organisation,

produktywności *ex-ante* (2007-2008) i *ex-post* (2009-2013) można stwierdzić, że:

- grupa C (kraje technologiczne) podniosła średni *TC* o ≈ 4 p.p., co sugeruje, że uwolnienie decyzji produkcyjnych skanalizowano w inwestycje kapitałowo-technologiczne,
- grupa B (kraje efektywnościowe) zwiększyła *EC* o ≈ 3 p.p., co koresponduje z napływem środków modernizacyjnych z II filaru,
- grupa D (Bułgaria, Łotwa) straciła zarówno na *MQ*, jak i *TC* (spadek > 2 p.p.) – ograniczona absorpcja pomocy i niska baza kapitałowa zneutralizowały bodźce Health Check,
- grupa A pozostała prawie neutralna, co potwierdza „umiarkowany wzrost” oparty na inkrementalnych usprawnieniach zarządczych.

Wniosek: obserwowane zmiany sugerują, że odłączenie płatności od produkcji w 2008 r. mogło sprzyjać krajom o wysokiej zdolności inwestycyjnej (grupa C) oraz tym, które szybko zreorganizowały strukturę kosztów (grupa B), natomiast w krajach peryferyjnych (grupa D) potencjalne korzyści mogły zostać ograniczone przez słabszą bazę kapitałową i niższą absorpcję wsparcia.

4.2.2. Reforma 2014-2020 (greening)

„Zazielenienie” przeniosło 30 % płatności podstawowych pod warunek realizacji praktyk prośrodowiskowych (utrzymanie obszarów proekologicznych i TUZ, dywersyfikacja). Analiza lat 2014-2020 wskazuje, że:

- w grupie C tempo wzrostu *TC* spadło (średni *TC* $\approx 1,017$ wobec 1,027 przed 2014 r.), a *EC* nie wzrosło – koszty spełnienia wymogów środowiskowych chwilowo ograniczyły ekspansję technologii,
- w grupie B *EC* pozostał wysoki ($\approx 1,02$) mimo „zielonej” redystrybucji, co można wiązać z intensywnym korzystaniem z PROW na rozwój obszarów wiejskich i modernizację gospodarstw,
- grupa A utrzymała *MQ* blisko jedności (1,003) – dyscyplina greeningu została skompensowana umiarkowaną poprawą organizacji,

- Group D showed a slight improvement in *TC* (from 0.978 to 0.983), which confirms the hypothesis that environmental subsidies act as a “second bonus” for lagging economies if they have the institutional capacity to absorb the funds.

Conclusion: Greening was associated with a more pronounced differentiation in growth mechanisms – in technology-leading countries, a slowdown in the rate of *TC* growth was observed, while in catching-up countries, a sustained improvement in *EC* was noted, which is consistent with the hypothesis that different groups of countries have varying sensitivities to new environmental requirements.

4.2.3. The New CAP 2021-2027 (Preliminary Analysis)

The new programming period shifts the focus from direct payments to results (Performance Framework) and eco-schemes (at least 25% of the Pillar I budget). Data from 2021-2023 indicate that:

- Group C is rebuilding its *TC* (averaging 1.06 in 2022-2023) thanks to the rapid commercialisation of digital and precision solutions (drones, VRT),
- Group B maintains a positive *EC* (≈ 1.04) and records the highest increase in *MQ* among all groups (+1.3 p.p. y/y 2022/2021) – this points to a growing catch-up effect supported by subsidies for small and medium-sized farms,
- The French anomaly (Group E) remains unstable but records an increase in *TC* (0.47 $\rightarrow$ 0.94) in 2023 following a sharp decline in 2022,
- Group D continues to hover around stagnation, as illustrated by the low uptake rate of eco-schemes (according to EC reports, 2024 < 40% of eligible farmland).

Conclusion: Although the observation period is short, the observed changes are consistent with the hypothesis that the resulting CAP model – 2027 may promote productivity convergence ($B > A$) and help leaders (C) maintain their technological advantage, while the risk of the gap widening in countries with low absorption capacity (D) persists.

- grupa D wykazała lekką poprawę *TC* (z 0,978 do 0,983), co potwierdza hipotezę, że subsydia środowiskowe działają jako „druga premia” dla gospodarek zacofanych, jeśli mają zdolność projektową do absorpcji środków.

Wniosek: greening wiązał się z wyraźniejszym zróżnicowaniem mechanizmów wzrostu – w krajach technologicznych zaobserwowano spowolnienie tempa wzrostu *TC*, natomiast w krajach doganiających utrzymującą się poprawę *EC*, co jest spójne z hipotezą o różnej wrażliwości grup krajów na nowe wymogi środowiskowe.

4.2.3. Nowa WPR 2021-2027 (analiza wstępna)

Nowy okres programowania przesuwają akcent z płatności bezpośrednich na wyniki (Performance Framework) i eko-schematy (minimum 25 % budżetu I filara). Dane z lat 2021-2023 sygnalizują, że:

- grupa C odbudowuje *TC* (średnio 1,06 w 2022-2023) dzięki szybkiej komercjalizacji rozwiązań cyfrowych i precyzyjnych (drony, VRT),
- grupa B utrzymuje dodatnie *EC* ($\approx 1,04$) oraz notuje najwyższy przyrost *MQ* wśród wszystkich grup (+1,3 p.p. r/r 2022/2021) – wskazuje to na rosnący efekt doganiania wsparty dopłatami do małych i średnich gospodarstw,
- francuska anomalia (grupa E) pozostaje niestabilna, ale w 2023 r. odnotowuje wzrost *TC* (0,47 $\rightarrow$ 0,94) po silnym spadku w 2022 r.,
- grupa D nadal oscyluje wokół stagnacji, co ilustruje niski wskaźnik wykorzystania eko-schematów (wg raportów KE 2024 < 40 % kwalifikowanych użytków).

Wniosek: choć okres obserwacji jest krótki, obserwowane zmiany są spójne z hipotezą, że model wynikowy WPR-2027 może sprzyjać konwergencji produktywności ($B > A$) oraz utrzymaniu przewagi technologicznej liderów (C), przy jednoczesnym utrzymującym się ryzyku pogłębiania luki w krajach o niskiej zdolności absorpcji (D).

4.3. Structural Analysis and the Catch-up Effect

4.3.1. Correlations Between Structural Characteristics and Productivity Growth

Based on the data, correlations between structural variables and the long-run average *MQ* (2008-2023) were estimated:

- agricultural land area (a proxy for farm size): $r \approx +0.62$ – confirms the thesis that larger scale promotes TFP growth, especially following the Health Check liberalisation,
- labour intensity (AWU/ha): $r \approx -0.20$ – the negative relationship indicates that faster-growing countries are reducing live labour inputs in favour of machinery and ICT,
- capital productivity (depreciation/ha): $r \approx +0.13$ – positive but weak, suggesting that capital volume alone is insufficient without complementary organisational changes,
- land productivity in the base year: $r \approx +0.12$ – a positive but modest relationship, implying that initial productivity does not determine the subsequent growth rate (the trajectory of modernisation is crucial).

Interpreting these correlations requires consideration of the broader institutional and political context. This study is limited to describing the interrelationships between structural characteristics and the long-term dynamics of *MQ*; the directions and strength of the impact of individual CAP instruments should be the subject of separate econometric analyses.

4.3.2. The Catching-Up Effect

When comparing the dynamics of *MQ* in countries characterised by relatively low values of sub-indices and efficiency indices in the base year 2007 (including Bulgaria, Romania, Latvia, and Poland) with the group of leaders (Belgium, Denmark, the Netherlands, and Germany):

- the average annual growth rate of *MQ* from 2008 to 2023 was 1.6% in the weaker group versus 0.9% in the stronger group,
- the difference in the land productivity ratio decreased from ~ 5.7 -fold to ~ 3.3 -fold,
- β convergence test (panel fixed-effects): coefficient -0.18 ($p < 0.05$), indicating statistically significant catch-up.

4.3. Analiza strukturalna i efekt doganiania

4.3.1. Korelacje między cechami strukturalnymi a wzrostem produktywności

Na podstawie danych oszacowano korelacje zmiennych strukturalnych z długookresową średnią *MQ* (2008-2023):

- powierzchnia użytków rolnych (proxy wielkości gospodarstw): $r \approx +0,62$ – potwierdza tezę, że większa skala sprzyja wzrostowi TFP, zwłaszcza po liberalizacji Health Check,
- intensywność pracy (AWU/ha): $r \approx -0,20$ – ujemny związek wskazuje, że kraje szybciej rosnące ograniczają nakłady pracy żywej na korzyść maszyn i ICT,
- produktywność kapitału (amortyzacja/ha): $r \approx +0,13$ – dodatnia, lecz słaba, co sugeruje, że sam wolumen kapitału nie wystarcza bez komplementarnych zmian organizacyjnych,
- produktywność ziemi w roku bazowym: $r \approx +0,12$ – relacja dodatnia, lecz niewielka, co implikuje, że startowa wydajność nie przesądza o dalszym tempie wzrostu (istotna jest trajektoria modernizacji).

Interpretacja tych korelacji wymaga uwzględnienia szerszego kontekstu instytucjonalnego i politycznego. Niniejsze badanie ogranicza się do opisanie współzależności między cechami strukturalnymi a długookresową dynamiką *MQ*; kierunki i siła oddziaływania poszczególnych instrumentów WPR powinny być przedmiotem odrębnych analiz ekonometrycznych.

4.3.2. Efekt doganiania (catching-up)

Porównując dynamikę *MQ* krajów charakteryzujących się relatywnie niskimi wartościami wskaźników cząstkowych i indeksów efektywności w roku bazowym 2007 (m.in. Bułgaria, Rumunia, Łotwa, Polska) z grupą liderów (Belgia, Dania, Niderlandy, Niemcy):

- średnie roczne tempo wzrostu *MQ* 2008-2023 wyniosło 1,6 % w grupie słabszej versus 0,9 % w grupie silnej,
- różnica wskaźnika produktywności ziemi zmniejszyła się z $\sim 5,7$ -krotności do $\sim 3,3$ -krotności,
- test konwergencji β (panelowy fixed-effects): współczynnik -0,18 ($p < 0,05$), co świadczy o statystycznie istotnym doganianiu.

The selection of these countries as the “weaker group” was based on their position in the distributions of land and labour productivity indices and their level of technical efficiency in the base year. The catch-up effect, however, is heterogeneous: EC-oriented countries (Group B) benefit more (Poland, Romania) than stagnant countries (Group D). The following factors prove to be key: absorption of Rural Development Program (RDP) funds, the pace of structural changes (land consolidation, modernisation of the machinery fleet), and the ability to meet growing environmental requirements after 2015.

5. Conclusions and Recommendations

5.1. Summary of Main Findings

The analysis of agricultural productivity in European Union countries for the years 2007-2023, based on the decomposition of the Malmquist index, identified distinctly different trajectories of total factor productivity (TFP) changes. Based on the average values of the MQ indices, EC, and TC, five groups of countries were identified, differing both in the rate of productivity change and in the dominant sources of that growth.

Countries classified in the technological group (C) were characterised by the highest rate of TFP growth, resulting primarily from positive technological changes (TC). In the efficiency group (B), however, productivity growth was driven mainly by improvements in technical efficiency (EC), which may indicate the significant importance of reorganisation processes and the rational use of resources. Group A exhibited moderate, stable TFP growth, whereas stagnant countries (D) were characterised by low growth rates in both efficiency and technology. France was identified as a special case due to the high volatility of its indicators.

An analysis of the component indicators revealed significant differences in the levels of land, labour, and capital productivity among the groups of countries. At the same time, these results confirm that the component indicators are not measures of TFP but rather reflect the structure of the use of individual factors of production,

Wybór tych krajów jako „grupy słabszej” oparto na ich pozycji w rozkładach wskaźników produktywności ziemi i pracy oraz poziomie efektywności technicznej w roku bazowym. Efekt doganiania jest jednak heterogeniczny: kraje EC-oriented (grupa B) korzystają bardziej (Polska, Rumunia) niż kraje stagnacyjne (grupa D). Kluczowe okazują się: absorpcja funduszy PROW, tempo zmian strukturalnych (scalanie gruntów, modernizacja parku maszynowego) oraz zdolność spełnienia rosnących wymogów środowiskowych po 2015 r.

5. Wnioski i rekomendacje

5.1. Podsumowanie głównych wyników

Przeprowadzona analiza produktywności rolnictwa w krajach Unii Europejskiej w latach 2007-2023, oparta na dekompozycji indeksu Malmquista, pozwoliła na identyfikację wyraźne zróżnicowanych trajektorii zmian całkowitej produktywności czynników (TFP). Na podstawie średnich wartości indeksów MQ, EC i TC wyodrębniono pięć grup państw, różniących się zarówno tempem zmian produktywności, jak i dominującymi źródłami tego wzrostu.

Kraje zaklasyfikowane do grupy technologicznej (C) charakteryzowały się najwyższym tempem wzrostu TFP, wynikającym przede wszystkim z dodatnich zmian technologicznych (TC). W grupie efektywnościowej (B) wzrost produktywności był natomiast determinowany głównie poprawą efektywności technicznej (EC), co może wskazywać na istotne znaczenie procesów reorganizacji i racjonalizacji wykorzystania zasobów. Grupa A wykazywała umiarkowany, stabilny wzrost TFP, natomiast kraje stagnacyjne (D) charakteryzowały się niską dynamiką zmian, zarówno w wymiarze efektywności, jak i technologii. Francja została wyodrębniona jako przypadek szczególnie ze względu na dużą zmienność wskaźników.

Analiza wskaźników cząstkowych ujawniła znaczne różnice w poziomach produktywności ziemi, pracy i kapitału pomiędzy grupami krajów. Jednocześnie wyniki te potwierdzają, że wskaźniki cząstkowe nie stanowią miary TFP,

including the degree of mechanisation, labour intensity, and cost relationships.

During the period under study, a catch-up effect was also observed, consisting of a relatively higher rate of TFP growth in countries with lower initial productivity levels, although this process varied and did not affect all countries to the same extent.

The results obtained should be interpreted as a description of the diverse mechanisms of productivity changes in EU agriculture rather than as a basis for formulating unambiguous assessments of the effectiveness of individual agricultural policy instruments.

5.2. Interpretation of Results and Possible Directions for Further Analysis

The following considerations are interpretive and exploratory in nature. They do not constitute direct normative recommendations for the Common Agricultural Policy but rather an attempt to organise the observed differences among EU countries and identify areas requiring further investigation. In particular, the results of the analysis do not allow for an unambiguous attribution of the observed changes in productivity to specific CAP instruments.

The results obtained primarily point to significant variation in the mechanisms driving productivity growth in agriculture across EU Member States. In some countries, technological progress plays a dominant role, while in others, improvements in technical efficiency or structural changes are key. For this reason, the key conclusion drawn from the analysis is not to identify specific policy solutions but rather the need to identify which growth drivers are at work in individual countries and groups of countries and to what extent they can be strengthened within the framework of future iterations of the Common Agricultural Policy.

This approach implies the need for further, in-depth research – in particular, cause-and-effect analyses – to distinguish the impact of CAP reforms from other endogenous and exogenous factors shaping agricultural productivity in the European Union.

lecz odzwierciedlają strukturę wykorzystania poszczególnych czynników produkcji, w tym stopień mechanizacji, intensywność pracy oraz relacje kosztowe.

W badanym okresie zaobserwowano również występowanie efektu doganiania, polegającego na relatywnie wyższym tempie wzrostu TFP w krajach o niższym poziomie produktywności początkowej, choć proces ten miał charakter zróżnicowany i nie obejmował wszystkich państw w jednakowym stopniu.

Uzyskane wyniki należy interpretować jako opis zróżnicowanych mechanizmów zmian produktywności w rolnictwie UE, a nie jako podstawę do formułowania jednoznacznych ocen skuteczności poszczególnych instrumentów polityki rolnej.

5.2. Interpretacja wyników i możliwe kierunki dalszych analiz

Poniższe rozważania mają charakter interpretacyjny i eksploracyjny. Nie stanowią one bezpośrednich rekomendacji normatywnych dla Wspólnej Polityki Rolnej, lecz próbę uporządkowania obserwowanych różnic między krajami UE oraz wskazania obszarów wymagających dalszego rozpoznania. W szczególności wyniki analizy nie pozwalają na jednoznaczne przypisanie zaobserwowanych zmian produktywności do konkretnych instrumentów WPR.

Uzyskane wyniki wskazują przede wszystkim na silne zróżnicowanie mechanizmów wzrostu produktywności w rolnictwie państw członkowskich UE. W jednych krajach dominującą rolę odgrywa postęp technologiczny, w innych poprawa efektywności technicznej lub zmiany strukturalne. Z tego względu kluczowym wnioskiem płynącym z przeprowadzonej analizy nie jest wskazanie konkretnych rozwiązań politycznych, lecz potrzeba rozpoznania, jakie impulsy wzrostowe działają w poszczególnych krajach i grupach państw, oraz w jakim stopniu mogą one być wzmacniane w ramach kolejnych edycji Wspólnej Polityki Rolnej.

Takie podejście implikuje konieczność dalszych, pogłębionych badań – w szczególności analiz przyczynowo-skutkowych – pozwalających oddzielić wpływ reform WPR od innych czynników endogenicznych i egzogenicznych kształtujących produktywność rolnictwa w Unii Europejskiej.

5.3. Limitations of the Study and Directions for Further Analysis

The analysis was based on Eurostat data, the scope of which – though broad – does not cover all dimensions of production quality (e.g. organisational innovation, environmental value added). Additionally, the DEA methods and Malmquist indices used do not account for price relationships, which limits the assessment of cost competitiveness in market terms. Another limitation is that variables expressed in monetary units were used at current prices, meaning that the growth rates of some indicators may reflect both quantitative changes and differences in price levels across countries and over time. Due to the sample size and time constraints of this phase of the study, a common deflation procedure based on uniform deflators for all countries was not applied. Future analyses plan to incorporate deflated data, which will allow for a more complete separation of real effects from price effects. Limitations also apply to the measurement tools used – the Malmquist index and the radial DEA model. The Malmquist index does not satisfy the transitivity condition, and radial models may not capture all forms of “slack” inefficiencies. Furthermore, the analysis of the relationships between CAP reforms and TFP dynamics was descriptive in nature and did not include a formal assessment of the policy’s impact (e.g. using panel models). For this reason, the conclusions presented regarding the role of the CAP should be treated as working hypotheses and a starting point for further, in-depth research. Another important limitation is the relatively short observation period for the new CAP (2021-2023), which does not yet allow for definitive conclusions to be drawn.

Areas for further research should also include:

- integrating productivity studies with assessments of emissions and the environmental footprint (e.g. eco-efficiency),
- an in-depth microeconomic analysis at the farm level in selected countries,
- and an examination of the long-term effects of climate policy in the context of the Green Deal and the “Farm-to-Table” strategy.

A detailed description of the method for estimating unknown parameters of the distance function can be found, for example, in (O’Donnel 2011).

5.3. Ograniczenia badań i kierunki dalszych analiz

Analiza opierała się na danych Eurostatu, których zakres – choć szeroki – nie obejmuje wszystkich wymiarów jakości produkcji (np. innowacji organizacyjnych, wartości dodanej środowiskowej). Dodatkowo, stosowane metody DEA oraz indeksy Malmquista nie uwzględniają relacji cenowych, co ogranicza ocenę konkurencyjności kosztowej w ujęciu rynkowym. Ograniczeniem jest fakt, że zmienne wyrażone w jednostkach pieniężnych zostały wykorzystane w cenach bieżących, co oznacza, że dynamika części wskaźników może odzwierciedlać zarówno zmiany ilościowe, jak i różnice oraz zmiany poziomu cen między krajami i w czasie. Ze względu na skalę próby oraz ograniczenia czasowe niniejszego etapu badań nie zastosowano wspólnej procedury deflacji opartej na jednorodnych deflatorach dla wszystkich krajów. W przyszłych analizach planowane jest uwzględnienie danych zdeflatorowanych, co pozwoli na pełniejsze oddzielenie efektów realnych od cenowych. Ograniczenia dotyczą także zastosowanego narzędzia pomiaru – indeksu Malmquista oraz radialnego modelu DEA. Indeks Malmquista nie spełnia warunku przechodniości, a modele radialne mogą nie wychwytywać wszystkich nieefektywności typu „slack”. Ponadto analiza związków między reformami WPR a dynamiką TFP miała charakter opisowy i nie obejmowała formalnej oceny wpływu polityki (np. przy użyciu modeli panelowych). Z tego względu przedstawione wnioski dotyczące roli WPR należy traktować jako hipotezy robocze i punkt wyjścia do dalszych, pogłębionych badań. Również ważnym ograniczeniem jest także relatywnie krótki okres obserwacji dla nowej WPR (2021-2023), co nie pozwala jeszcze na sformułowanie ostatecznych wniosków.

Kierunki dalszych badań powinny również obejmować:

- zintegrowanie badań produktywności z oceną emisji i śladu środowiskowego (np. eco-efficiency),
- pogłębioną analizę mikroekonomiczną na poziomie gospodarstw w wybranych krajach,
- badanie długofalowych efektów polityki klimatycznej w kontekście Zielonego Ładu i strategii „Od pola do stołu”.

References

1. Althin R. (2001), Measurement of Productivity Changes: Two Malmquist Index Approaches. *Journal of Productivity Analysis*, 16, 107-128. Kluwer Academic Publishers.
2. Althin, R. (2001b). Estimation of technical efficiency and productivity changes using panel data: A comparative study of methods. *Journal of Productivity Analysis*, 16(1), 59-74.
3. Ball, V.E., Butault, J.-P., Juan, C.S. and Mora, R. (2010), Productivity and international competitiveness of agriculture in the European Union and the United States. *Agricultural Economics*, 41: 611-627. <https://doi.org/10.1111/j.1574-0862.2010.00476.x>
4. Bielik, P., Pokrivčák, J., Mura, L., Schwarcz, P., Radu, M. (2023). Convergence processes in the European agriculture: Total factor productivity analysis. *Agricultural Economics – Czech*, 69(1), 1-15.
5. Bielik, P., Bajusová, Z. i in. (2023). Convergence Processes in the European Agriculture: Analysis of the Total Factor of Productivity. *Wseas Transactions on Business and Economics*. V. 20. 2023-2037. <https://doi.org/10.37394/23207.2023.20.176>
6. Błażejczyk-Majka L, Kala R, Maciejewski K (2012). Productivity and efficiency of large and small field crop farms and mixed farms of the old and new EU regions. *Agric. Econ. – Czech*. 58(2):61-71. <https://doi.org/10.17221/48/2011-AGRICECON>.
7. Bokusheva, R. and L. Čechura (2017), "Evaluating dynamics, sources and drivers of productivity growth at the farm level", *OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers*, No. 106, OECD Publishing, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/5f2d0601-en>
8. BravoUreta, B. E., Solís, D., Moreira López, V. H., Maripani, J. F., Thiam, A., & Rivas, T. E. (2007). Technical efficiency in agriculture: A metaregression analysis. *Journal of Productivity Analysis*, 27(1), 57-72. <https://doi.org/10.1007/s11123-006-0025-3>
9. Caves, D., Christensen, L., Diewert, E. (1982) The economic theory of index numbers and the measurement of input, output, and productivity. *Econometrica* 50(6): 1393-1414.
10. Čechura, L., Hockmann, H., Mala, Z., Maly M. (2014) Productivity and efficiency differences between Czech and Slovak milk producers, *Review of Agricultural and Applied Economics*, Slovak Agricultural University, Nitra, Vol. 17, Iss. 2, pp. 17-21, <https://doi.org/10.15414/raae.2014.17.02.17-21>
11. Čechura, L., Grau, A., Hockmann, H., Kroupova, Z., Levkovych, I. (2019). Total factor productivity in European agricultural production. *Journal of Agricultural Economics*, 70(3), 637-659.
12. Chung, Y. H., Färe, R., Grosskopf, S. (1997). Productivity and undesirable outputs: A directional distance function approach. *Journal of Environmental Management*, 51(3), 229-240. <https://doi.org/10.1006/jema.1997.0146>
13. Coelli, T.J. Rao, D.S.P. (2005), Total factor productivity growth in agriculture: a Malmquist index analysis of 93 countries, 1980-2000. *Agricultural Economics*, 32: 115-134. <https://doi.org/10.1111/j.0169-5150.2004.00018.x>
14. Di Liberto, A., Usai, S. (2013). TFP Convergence Across European Regions: A Comparative Spatial Dynamics Analysis. In: Crescenzi, R., Percoco, M. (eds) *Geography, Institutions and Regional Economic Performance. Advances in Spatial Science*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-33395-8_3
15. Diewert, W.E. (1980). Capital and the theory of productivity measurement. *American Economic Review*, 70(2), 260-267.
16. European Commission (2018). Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on the CAP Strategic Plans 2021-2027. COM(2018) 392 final. Brussels.
17. Europejski Trybunał Obrachunkowy (ECA) (2024). Sprawozdanie specjalne: Plany w ramach wspólnej polityki rolnej. Luxembourg.
18. FAO (2020). The State of Food and Agriculture 2020: Overcoming water challenges in agriculture. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

19. Färe R., Grosskopf, S., Lindgren, B., Roos, P., (1992). Productivity changes in Swedish pharmacies 1980-1989: a nonparametric Malmquist approach, *Journal of Productivity Analysis* 3, 85-101.
20. Färe, R., Grosskopf, S., Norris, M., Zhang, Z. (1994), Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries". *American Economic Review*, 84(1), 66-83.
21. Fried, H., Lovell, C., Schmidt, S. (2008). *The Measurement of Productive Efficiency. The Measurement of Productive Efficiency and Productivity Growth*. Oxford: Oxford University Press.
22. Fuglie, K. (2018). Is agricultural productivity slowing? *Global Food Security*, 17, 73-83. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2018.05.001>.
23. Kijek, A., Kijek, T., Nowak, A., Skrzypek, A. (2019). Productivity and its convergence in agriculture in new and old European Union member states. *Agricultural Economics*, 65(1), 01-09. <https://doi.org/10.17221/262/2017-AGRICECON>
24. Kumbhakar, S.C., Lovell, C.A.K. (2000). *Stochastic Frontier Analysis*. Cambridge: Cambridge University Press.
25. Kumbhakar, S. C., Lien, G., Hardaker, J. B. (2014). Technical efficiency in competing panel data models: A study of Norwegian farming. *Journal of Productivity Analysis*, 41(2), 321-337.
26. Latruffe, L. (2010). Competitiveness, productivity and efficiency in the agricultural and agri-food sectors. *OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers*, 30. <https://doi.org/10.1787/5km91nkdtd6d6-en>.
27. Latruffe, L., Desjeux, Y. (2016) Common Agricultural Policy support, technical efficiency and productivity change in French agriculture. *Rev Agric Food Environ Stud* 97, 15-28 (2016). <https://doi.org/10.1007/s41130-016-0007-4>
28. Malmquist, S. (1953). Index numbers and indifference surfaces. *Trabajos de Estadística*, 4(2), 209-242.
29. Martinez Cillero M., Thorne F., (2019). "Sources of productivity growth using the Färe-Primont decomposition. An empirical application to the Irish beef sector," *Applied Economics*, Taylor & Francis Journals, vol. 51(36), pages 3982-3994. <https://doi.org/10.1080/00036846.2019.1588944>
30. Matthews, A. (2011). Post-Health Check CAP reform: Impacts and challenges. *EuroChoices*, 10(1), 27-33. <https://doi.org/10.1111/j.1746-692X.2011.00246.x>.
31. Miller, S.M., Upadhyay, M.P. (2002). Total factor productivity and the convergence hypothesis. *Journal of Macroeconomics*, 24(2), 267-286. [https://doi.org/10.1016/S0164-0704\(02\)00022-8](https://doi.org/10.1016/S0164-0704(02)00022-8)
32. Nowak, A., Kubik, R. (2019). Changes in agricultural productivity in new and old member states of the European Union. *European Research Studies Journal*, Volume XXII, Issue 4, 101-114.
33. O'Donnell C.J., (2011) DPIN version 3.0: a program for decomposing productivity index numbers, Centre for Efficiency and Productivity Analysis, University of Queensland, Brisbane 2011.
34. OECD (2001). *Measuring Productivity: OECD Manual. Measurement of Aggregate and Industry-level Productivity Growth*. Paris: OECD Publishing.
35. Reinhard, S., Lovell, C., Thijssen, G. (1999). Econometric estimation of technical and environmental efficiency: An application to Dutch dairy farms. *American Journal of Agricultural Economics*, 81(1), 44-60.
36. Rizov, M., Pokrivcak, J., Ciaian, P. (2013). CAP subsidies and productivity of the EU farms. *Journal of Agricultural Economics*, 64(3), 537-557.
37. Steensland, A. (2021), 2021 Global Agricultural Productivity Report: Climate for sustainable agricultural growth. Virginia Tech College of Agriculture and Life Sciences.
38. 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.
39. Zhu, X., Lansink, A.O., & Van Ittersum, M. (2012). The contribution of productivity growth to Dutch agriculture: A nonparametric analysis. *American Journal of Agricultural Economics*, 94(4), 890-904.
40. Zhu, X., Soboh, R. (2022). Productivity and environmental performance in European agriculture: A frontier-based approach. *European Review of Agricultural Economics*, 49(3), 517-543.

