

Michał Świtlyk

e-mail: michal.switlyk@zut.edu.pl

ORCID: 0000-0002-9494-2802

EFEKTYWNOŚĆ TECHNICZNA I PRODUKTYWNOŚĆ NAWOŻENIA MINERALNEGO W POLSCE

DOI: 10.15611/pn.2022.3.12

JEL Classification: C61, Q13, Q18

© 2022 Michał Świtlyk

Praca opublikowana na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa-Na tych samych warunkach 4.0 Międzynarodowe (CC BY-SA 4.0). Skrócona treść licencji na <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.pl>

Cytuj jako: Świtlyk, M. (2022). Efektywność techniczna i produktywność nawożenia mineralnego w Polsce. *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, 66(3).

Streszczenie Celem badań była ocena efektywności technicznej i produktywności nawożenia mineralnego w Polsce. Do oceny produktywności zastosowano zagregowany indeks produktywności całkowitej Färe-Primonta. Wykorzystano dane z lat 1998-2019. Efektywność techniczna nawożenia mineralnego w latach 1998-2019 mieściła się w przedziale 79,5% (2008) – 99,6% (2005). Średnia wielkość produktywności całkowitej (dTFP) wzrosła o 9,3%. Głównym źródłem wzrostu produktywności całkowitej był postęp technologiczny (dMP), który wzrósł o 13,2%. Na spadek produktywności całkowitej Färe-Primonta (dTFP) miały wpływ zmiany efektywności (dTFPE), które w badanym okresie zmniejszyły się o 3,5%. Na wzrost efektywności (dTFPE) wpływała efektywność techniczna (1,039), a jej na spadek wpływały efektywność skali (dISE) i efektywność rezedualna mieszana (dRME). Średnie wielkości tych indeksów wynosiły 0,977 i 0,951.

Słowa kluczowe: rolnictwo, produktywność, indeks produktywności całkowitej Färe-Primonta.

1. Wstęp

W gospodarce każdego państwa rolnictwo ma znaczącą rolę, która wynika przede wszystkim z pełnienia przez ten sektor funkcji produkcyjnej i dochodowej. Waga funkcji produkcyjnej wynika z faktu, że rolnictwo produkuje żywność, zaś rola funkcji dochodowej polega na tym, że dochody uzyskane z produkcji żywności stanowią podstawę dochodów rolników. Od wielkości tych dochodów zależą poziom konsumpcji rolników i ich rodzin oraz poziom inwestycji rolniczych. Z kolei poziom

dochodów rolniczych jest uwarunkowany cenami uzyskiwanymi przez rolników, cenami środków produkcji i poziomem kwalifikacji rolników (Stachak, 1998). Natomiast od kwalifikacji rolników i przebiegu warunków przyrodniczych produkcji rolnej zależy poziom efektywności technicznej i produktywność produkcji rolnej.

W 1998 roku udział produkcji roślinnej w strukturze globalnej produkcji rolnej (Rocznik Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej 1999) wynosił 54,7%, a produkcja zbóż stanowiła w niej 17,5%, w tym produkcja zbóż podstawowych miała udział w wysokości 14,9%. W 2019 roku produkcja roślinna w strukturze globalnej produkcji rolnej w stanowiła 47,5% (Rocznik Statystyczny Rolnictwa, 2020), w tym produkcja zbóż stanowiła w produkcji globalnej 16,0%, a produkcja zbóż podstawowych – 12,8%.

Polskie rolnictwo w 2018 roku produkowało 9,1% produkcji zbóż w Unii Europejskiej (Rocznik Statystyczny Rolnictwa 2020), a udział Polski w produkcji zbóż w 2019 rok w Unii Europejskiej wynosił: pszenica – 7,1% (5 miejsce), żyto – 34,6% (2 miejsce), jęczmień – 5,4% (6 miejsce), owies – 15,1% (2 miejsce). Zboża są również ważnym produktem eksportowym. Eksport zbóż w latach 1998-2019 wzrósł ponad 9 razy – z 554 tys. ton w 1998 roku do 5190 tys. ton w 2019 roku.

Celem badań była ocena w latach 1998-2019 efektywności technicznej i produktywności nawożenia mineralnego w Polsce. Oceny efektywności technicznej nawożenia mineralnego dokonano z wykorzystaniem metody DEA. Do oceny produktywności nawożenia mineralnego zastosowano zagregowany indeks produktywności całkowitej Färe-Primonta, który został zdekomponowany na indeks zmian efektywności i indeks zmian technologicznych. Indeks zmian efektywności składał się z indeksu zmian efektywności technicznej, indeksu efektywności skali i efektywności rezedualnej mieszanej. Oprócz celu poznawczego wyniki tych badań mają duże znaczenie praktyczne, ponieważ mogą zostać wykorzystane do kształtowania polityki gospodarczej, w tym polityki rolnej, między innymi do poprawy transferu wiedzy do rolnictwa.

W niniejszym artykule po raz pierwszy w Polsce do oceny efektywności technicznej i produktywności nawożenia mineralnego zastosowano indeks produktywności całkowitej Färe-Primonta.

Problematyka badania efektywności nawożenia ma w Polsce długą tradycję. Badania takie były prowadzone m.in. przez Grochowskiego (1960), Plebańskiego (1963), Rychlika (1963a, 1963b), Gagoś (1973), Stachaka i Krawca (1980), Stachaka, Woźniaka i Gałęziewskiego (1982), Kuśnierz-Gozdałik (1984), Stachaka i Woźniaka (1987a, 1987b, 1989), Woźniaka i Stachaka (1982, 1989), Gradziuka (1990), Fotymę, Krasowicza i Kurek (1990), Świtłyka i Rusielika (2003). Badania tych autorów dotyczyły skali zarówno mikro, jak i makro. Zdecydowana większość polskiego piśmiennictwa zawiera wyniki badań efektywności nawożenia mineralnego oparte na równaniach funkcji produkcji. Wyjątkiem jest praca Świtłyka i Rusielika (2003), w której zastosowano metodę DEA do oceny efektywności technicznej nawożenia mineralnego w Polsce w latach 1999-2001. Jeżeli chodzi o literaturę światową, to publikacje dotyczące oceny efektywności nawożenia związane są z zawartością

próchnicy w profilu glebowym bądź zawartością składników pokarmowych w warstwie korzeniowej i mieszczą się w obszarach badawczych chemii rolnej, fizjologii roślin lub gleboznawstwa. Natomiast publikacje z zakresu ekonomii czy – wężej – ekonomiki rolnictwa dotyczą produktywności rolnictwa w różnych krajach (skala makro) bądź produktywności gospodarstw różnych typów (skala mikro).

2. Źródła danych i metodyka badania

W badaniach wykorzystano dane pochodzące z roczników statystycznych województw za lata 1999-2020, Rocznika Statystycznego Rolnictwa 2020, roczników statystycznych Rzeczypospolitej Polskiej za lata 1999 i 2020 oraz opracowania GUS (*Środki produkcji w rolnictwie...*, 2021) dotyczącego zużycia środków produkcji w rolnictwie w roku gospodarczym 2019/2020. Z roczników statystycznych województw pozyskano dane o plonach zbóż w latach 1998-2019 oraz zużyciu nawozów mineralnych na 1 ha użytków rolnych w okresie 1998-2018. Natomiast z opracowania dotyczącego zużycia środków produkcji w rolnictwie w roku gospodarczym 2019/2020 pozyskano dane dotyczące nawożenia mineralnego w 2019 roku. Dane dotyczące wielkości współczynników waloryzacji rolniczej pozyskano z publikacji Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa (IUNG) (Witek, 1994).

Do obliczeń przyjęto model produkcji roślinnej, który składał się z następujących kategorii: efektem modelu (Y) były plony zbóż (dt/ha), zaś zmiennymi nakładów (X) były następujące zmienne: X_1 – poziom nawożenia azotowego (kg/ha), X_2 – poziom nawożenia fosforowego (kg/ha), X_3 – poziom nawożenia potasowego (kg/ha), X_4 – poziom nawożenia wapniowego (kg/ha), X_5 – wielkość współczynników waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej. Do analizy przyjęto dane z 16 województw, zaś zakres czasowy badań obejmował okres 1998-2019.

Efektem modelu były plony zbóż, ponieważ w badanym okresie udział zbóż ogółem w strukturze zasiewów był znaczący i wynosił od 69,1% (1998) do 72,4% (2019), w tym udział zbóż podstawowych w strukturze zasiewów w latach objętych badaniem wyniósł przeciętnie 56,9%.

Wskaźnik waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej charakteryzuje jej potencjał produkcyjny, który wynika z warunków przyrodniczych. Wskaźnik ten uwzględnia jakość gruntów, cechy agroklimatu, warunki wodne i rzeźbę terenu. Wskaźnik ten został opracowany przez IUNG w Puławach (Witek, 1994).

W celu obliczenia efektywności technicznej produkcji zbóż metodą DEA i zmian indeksu produktywności całkowitej Färe-Primonta w badaniu zastosowano model opisany uprzednio. Był on zorientowany na minimalizację nakładów i uwzględniał zmienne efekty skali (VRS). Wybór modelu wynikał z dwóch przesłanek. Pierwszą było przyjęcie założenia, że minimalizacja nakładów jest podstawowym modelem w podejmowaniu decyzji przez rolników. Uzasadnieniem przyjęcia tego założenia jest znajomość przez rolników warunków klimatycznych, warunków glebowych

i możliwości plonowania roślin w konkretnym środowisku. Do tych warunków rolnik dobiera wielkości stosowanych nakładów.

Za wyborem podejścia VRS przemawiało zróżnicowanie badanych województw, m.in. pod względem struktury produkcji, powierzchni gospodarstw, stosowanych technologii produkcji, jakości użytków rolnych, cech agroklimatu. Przyjęcie alternatywnego podejścia stałych efektów skali (CRS) wymagało uwzględnienia założenia, że badane obiekty (województwa) funkcjonują w identycznych warunkach. W przypadku analizy rolnictwa, niezależnie od jej celu, jest to założenie nierealne. Zaznaczyć należy, że oba podejścia (VRS i CRS) wykorzystywane są do obliczenia współczynników efektywności skali.

W badaniach do obliczenia efektywności technicznej metodą DEA wykorzystano technikę przedstawioną przez Coelliego, Rao i Battese'a (1998). Ogólnym założeniem metody jest to, że efektywność danego czynnika produkcji jest ilorazem danego nakładu do zamierzonego efektu. Po sprowadzeniu nakładów i efektów do wielkości syntetycznych, przy zastosowaniu programowania liniowego, obliczany jest współczynnik efektywności technicznej. Efektywność techniczna dotyczy racjonalności podejmowania decyzji operacyjnych.

Indeks produktywności całkowitej Färe-Primonta zaproponowany został przez O'Donnella w 2008 roku i jest on zaliczany do grupy kompletnych indeksów produktywności, w pełni multiplikatywnych i umożliwiających porównania multitemporalne (w czasie) i multilateralne (pomiędzy obiektami). Indeks ten powstał przez połączenie dwóch indeksów opracowanych przez Färe i Primonta i spełnia on wymogi aksjomatycznej teorii indeksów numerycznych (Baleženitis, 2015; Dakpo, Desjeux, Jeanneaux i Latruffe, 2019; O'Donnell, 2008). Indeks produktywności całkowitej Färe-Primonta jest definiowany jako relacja zagregowanych indeksów produktywności efektów do zagregowanych indeksów produktywności nakładów.

W badaniu produktywności referencyjnym obiektem było województwo kujawsko-pomorskie i pierwszy rok (1998) badań. Wybór ten jest subiektywny. Dokonano go na podstawie wstępnych wyników badań. Uwzględnia on m.in. pozycję województwa kujawsko-pomorskiego w produkcji rolniczej w Polsce, jakość gleb, przeciętną wielkość gospodarstwa, wyposażenie techniczne oraz kulturę rolną. W badaniach wstępnych i opracowanych na tej podstawie rankingach województwo to zajmowało 2-5 pozycję.

O'Donnell (2008) wykazał, że wszystkie kompletne indeksy produktywności mogą być dekomponowane na indeksy zmian technologicznych i indeksy zmian efektywności. Indeks zmian produktywności całkowitej dla obiektu a w okresie pomiędzy t i $t + 1$ jest następujący:

$$FPP_a^{t,t+1} = \frac{D_O(x_0, y_a^{t+1}, t_0)}{D_O(x_0, y_a^t, t_0)} \times \frac{D_I(x_a^t, y_0, t_0)}{D_I(x_a^{t+1}, y_0, t_0)}, \quad (1)$$

gdzie (x_{it}, y_{it}, t_{it}) to wektory ilości nakładów i efektów oraz okres obserwacji, który został wybrany jako reprezentatywny dla badania (O'Donnell, 2011). Odpowiednio $D_o(\cdot)$ i $D_f(\cdot)$ są funkcjami dystansu efektów i nakładów.

Pierwsza część wzoru zamieszczona po prawej stronie równania jest indeksem pomiaru zmian efektów, natomiast druga część równania jest indeksem zmian nakładów. Równanie to jest relacją indeksów produktywności efektów i nakładów.

Indeks produktywności całkowitej Färe-Primonta (O'Donnell, 2008, 2010a, 2010b; Dakpo i in., 2019) może być dekomponowany na różne miary efektywności:

- efektywność techniczną zorientowaną na nakłady (ITE) obliczaną przy przyjęciu założenia zmiennych efektów skali (VRS); efektywność techniczna mierzy relację rzeczywistego TFP do maksymalnie osiąganego TFP przy użyciu tej samej ilości zagregowanych danych wejściowych,
- efektywność skali (ISE), która jest obliczana jako relacja wyników efektywności technicznej obliczonych z uwzględnieniem stałych efektów skali (CRS) do wyników efektywności technicznej obliczonych z uwzględnieniem zmiennych efektów skali (VRS); ISE odnosi się do optymalnej wielkości operacji w stosunku do obiektów, które są technicznie efektywne;
- efektywność rezedualną mieszaną (RME), która mierzy różnicę między TFP w punkcie efektywności technicznej i efektywności skali a maksymalnym TFP możliwym do uzyskania poprzez zmianę wielkości nakładów i efektów przy zastosowaniu istniejącej technologii; innymi słowy, RME pokazuje wpływ decyzji dostosowawczych na zmiany efektywności technicznej i produktywności.

Używając powyższych definicji, można zdefiniować efektywność produktywności (TFPE) jako relację pomiędzy obserwowanym TFP_t i maksymalną produktywnością TFP_t^* (O'Donnell, 2010a, 2010b).

$$TFPE_t = \frac{TFP_t}{TFP_t^*}, \quad (2)$$

gdzie

$$TFPE_t = ITE_t \times ISE_t \times RME_t, \quad (3)$$

Wykorzystując równania (2-3), można wyprowadzić wzór na zmiany TFP pomiędzy okresem t i $t + 1$:

$$TFP_{t,t+1} = \frac{TFP_{t+1}}{TFP_t} = \frac{TFP_{t+1}^*}{TFP_t^*} \times \frac{TFPE_{t+1}}{TFPE_t}. \quad (4)$$

W równaniu (4) relacja TFP_{t+1}^*/TFP_t^* jest zmianą technologiczną (dMP) indeksu zmian produktywności całkowitej (TFP). Iloraz $TFPE_{t+1}^*/TFPE_t^*$ jest zmianą efektywności (TFPE).

Zmiany technologiczne są oceniane w punktach maksymalnej produktywności, które są wspólne dla wszystkich obserwacji w danym roku (ze względu na wskaźnik oparty na stałych wagach). Uzasadnienie tego podają Asmild i Tam (2007, s. 137-138 za Dakpo i in., 2019): „przesunięcie granicy lub zmiana technologiczna może być uważana za zjawisko globalne, spowodowane takimi czynnikami, jak zmienione warunki ekonomiczne lub dostępność ulepszonej technologii. W wielu przypadkach można racjonalnie założyć, że czynniki są identyczne lub co najmniej bardzo podobne dla wszystkich obserwacji w analizie (które są już uważane za porównywalne), a zatem można użyć jednej wartości do przedstawienia przesunięcia granicy dla wszystkich obiektów”. Innymi słowy wszystkie obiekty mają dostęp do takiej samej lub podobnej technologii.

Indeks efektywności TFPE rozłożyć można na następujące części składowe:

$$TFPE_{t,t+1} = \frac{ITE_{t+1}}{ITE_t} \times \frac{ISE_{t+1}}{ISE_t} \times \frac{RME_{t+1}}{RME_t}, \quad (5)$$

gdzie pierwsza relacja jest zmianą efektywności technicznej, druga jest zmianą efektywności skali, a trzecia relacja jest zmianą efektywności rezedualnej mieszanej.

Związek pomiędzy metodą DEA i indeksem produktywności całkowitej polega na tym, że w obliczeniach wykorzystuje się metodę DEA do oszacowania technologii produkcji oraz poziomu produktywności i efektywności. Należy podkreślić, że wszystkie przedstawione dekompozycje TFP dotyczą również obliczeń ukierunkowanych na efekty.

Wskaźniki efektywności technicznej mieszczą się w zakresie od 0,00% do 100%, gdzie 100% oznacza obiekt efektywny. Indeks produktywności całkowitej i jego elementy składowe większe od 1 oznaczają wzrost, równe 1 – stagnację, mniejsze od 1 – oznaczają zmniejszenie poziomu indeksu. Przy interpretacji wyników należy zaznaczyć, że wielkość indeksu Färe-Primonta i jego elementów składowych obliczona dla danego roku oznacza zmianę w stosunku do roku poprzedniego.

Współczynniki efektywności technicznej (metoda DEA) są podane w formie średnich arytmetycznych, zaś średnimi geometrycznymi są wielkości indeksu zmian produktywności całkowitej Färe-Primonta i jego części składowe.

Średnie tempo wzrostu współczynników indeksu produktywności całkowitej Färe-Primonta i jego elementów składowych obliczono na podstawie średniej geometrycznej z uzyskanych wyników dla skrajnych lat badania.

W pracy wykorzystano następujące programy użytkowe: productivity R package version 1.1.0 (Dakpo i in., 2018), Frontier Analyst ver. 4.2.0 firmy Banxia oraz Statistica 13.1.

Szczegółowy opis zastosowanej metody znaleźć można m.in. w pracach O’Donnella (2008, 2010a, 2010b, 2011), Baležentisa (2015), Dakpo i in. (2018a, 2018, 2019) oraz w pracy Zawalińskiej i in. (2022).

3. Charakterystyka badanej zbiorowości

W badanym okresie (tab. 1) zmniejszyła się w Polsce powierzchnia użytków rolnych o 3745 tys. ha – z 18 435 tys. w 1998 roku ha do 14 690 tys. ha w 2019 roku (o 21,3%), zmniejszeniu uległa też powierzchnia zasiewów o 1687 tys. ha (z 12 585 tys. ha

Tabela 1. Wybrane dane charakteryzujące produkcję roślinną w latach 1998 i 2020

Wyszczególnienie	1998	2019	2019/1998 (w %)
Powierzchnia użytków rolnych i powierzchnia zasiewów (tys. ha)			
Powierzchnia użytków rolnych	18 435	14 690	79,7
Powierzchnia zasiewów	12 585	10 898	86,6
Powierzchnia zbóż ogółem, w tym:	8 701	7 891	90,7
• pszenica	2 583	2 511	97,2
• żyto	2 243	904	40,3
• jęczmień	1 107	975	88,1
• owies	572	496	86,7
• pszenżyto	660	1 315	199,2
• ziemniaki	1 268	303	23,9
• buraki cukrowe	372	242	65,1
• rzepak i rzepik	545	875	160,6
Zbiory (tys. ton)			
Zbiory zbóż ogółem,	25 750	28 990	112,6
w tym zbóż podstawowych:	21 177	22 664	107,0
• pszenica	9 051	11 012	121,7
• żyto	5 181	2 461	47,5
• jęczmień	3 401	3 374	99,2
• owies	1 447	1 233	85,2
• pszenżyto	2 097	4 584	218,6
• ziemniaki	19 927	6 482	32,5
• buraki cukrowe	12 564	13 836	110,1
• rzepak i rzepik	1 132	2 373	209,6
Plony (dt/ha)			
Plony zbóż ogółem,	29,6	36,7	124,0
w tym zbóż podstawowych:	29,6	36,6	123,6
• pszenica	35,0	43,9	125,4
• żyto	23,1	27,2	117,7
• jęczmień	30,7	34,6	112,7
• owies	25,3	24,9	98,4
• pszenżyto	31,8	34,9	109,7
• ziemniaki	157,0	214,0	136,3
• buraki cukrowe	338,0	575,0	170,1
• rzepak i rzepik	20,8	27,1	130,3

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych GUS.

w 1998 roku do 10 898 tys. ha w 2019 roku), tj. o 13,4%. W latach 1998-2019 zmieniła się powierzchnia zasiewów roślin uprawnych. Powierzchnia zasiewów zbóż ogółem zmniejszyła się o 810 tys. ha (9,3%).

Powierzchnia uprawy pszenżyta wzrosła prawie dwukrotnie – z 660 tys. ha w 1998 roku do 1315 tys. ha w 2019 roku, powierzchnia zasiewów rzepaku i rzepiku wzrosła o prawie 61% – z 545 tys. ha w 1999 roku do 875 tys. ha w 2019 roku. Zmniejszyła się powierzchnia uprawianego żyta o 1339 tys. ha (o 59,7%), buraków cukrowych – o 130 tys. ha (34,9%), ziemniaków – o 965 tys. ha (76,1%).

W badanym okresie zbiory zbóż ogółem wzrosły o 12,6%, w tym zbiory zbóż podstawowych o 7,0%. W zbożach podstawowych zbiory pszenicy wzrosły o 21,7%, pszenżyta – o 118,6%, buraków cukrowych – o 10,1%, rzepaku i rzepiku – o 109,6%. W zbożach podstawowych zbiory żyta zmniejszyły się o 52,5%. Natomiast plony zbóż ogółem wzrosły z 29,6 dt/ha w 1998 roku do 36,7 dt/ha w 2019 roku, tj. o 12,6%. Najwyższy wzrost plonów odnotowano w przypadku plonów pszenicy – o 25,4%, ziemniaków – o 36,3%, buraków cukrowych – o 70,1%, i roślin oleistych – o 30,3%.

W tabeli 2 zamieszczono statystyki opisowe dla okresu 1998-2019 oraz dla pierwszego (1998) i ostatniego (2019) roku badań. W badanym okresie plon zbóż wzrósł z 30,9 dt/ha w 1998 roku do 37,2 dt/ha w 2019 roku, tj. o 20,2%, co przekłada się na średnioroczny przyrost plonu wynoszący 0,3 dt/rok.

Tabela 2. Statystyki opisowe zmiennych przyjętych do modelu

Wyszczególnienie	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności	Skośność
1998-2019, $n = 352$							
Plon (dt/ha)	34,2	32,9	14,9	61,7	7,5	21,9	0,7
N (kg/ha)	63,2	63,0	4,3	129,0	21,5	34,0	0,4
P (kg/ha)	22,1	20,7	8,8	58,9	6,8	30,9	1,1
K (kg/ha)	28,9	27,2	12,8	81,2	10,2	35,2	0,9
Ca (kg/ha)	67,1	54,7	4,2	262,7	48,5	72,3	1,3
WRPP (pkt.)	66,8	66,9	50,9	81,4	7,2	10,8	-0,3
1998, $n = 16$							
Plon (dt/ha)	30,9	29,6	24,8	42,6	4,8	15,4	1,1
N (kg/ha)	50,1	46,0	25,0	78,7	15,6	31,2	0,3
P (kg/ha)	17,6	17,5	10,4	28,4	4,4	25,0	0,8
K (kg/ha)	22,9	22,5	13,1	36,5	7,1	30,8	0,5
Ca (kg/ha)	145,2	130,8	72,9	262,7	60,9	41,9	0,4
2019, $n = 16$							
Plon (dt/ha)	37,2	38,4	28,4	51,7	6,3	16,9	0,5
N (kg/ha)	68,6	67,7	38,9	105,7	18,6	27,1	0,3
P (kg/ha)	23,6	23,2	13,6	32,6	5,3	22,4	-0,1
K (kg/ha)	37,1	35,9	26,0	51,9	7,8	21,0	0,3
Ca (kg/ha)	90,5	89,2	50,9	146,5	27,7	30,6	0,6

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych GUS.

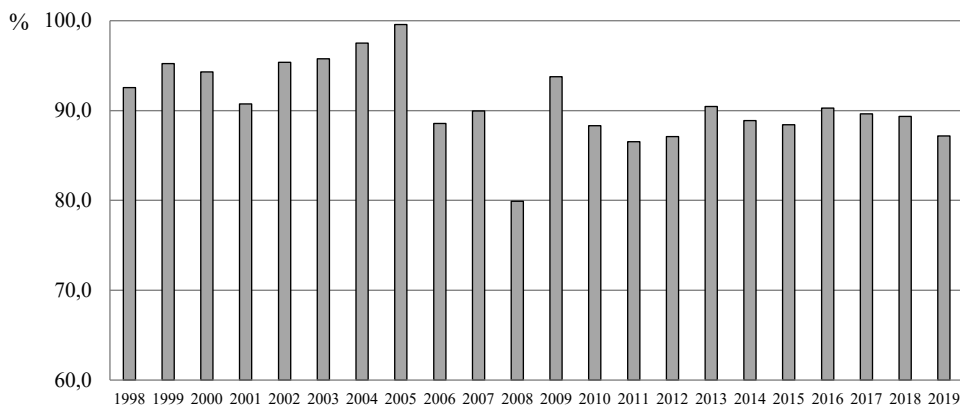
Nawożenie mineralne (NPK) w badanym okresie wzrosło z 89,6 kg/ha użytków rolnych w 1998 roku do 132,9 kg/ha w 2019 roku (wzrost o 48,3%). Natomiast nawożenie wapniowe w 2019 roku w porównaniu z 1998 rokiem zmniejszyło z 145,2 kg/ha do 90,5 kg/ha (o 37,7%).

Przeciętne nawożenie azotowe o wzrosło z 50,1 kg/ha w 1998 roku do 68,6 kg/ha w 2019 roku, tj. o 18,5 kg/ha (o około 37,0%). Poziom nawożenia fosforowego zwiększył się o 6,3 kg/ha (o 29,4%), zaś przeciętna dawka nawożenia potasowego w czystym składniku wzrosła z 22,9 kg/ha w 1998 roku do 37,1 kg/ha w 2019 roku (wzrost o 62,0%). Spadek poziomu nawożenia wapniowego pomiędzy latami 1998 i 2019 wyniósł ponad 54,7 kg/ha i wynika on ze zniesienia po 2004 roku dopłat do nawożenia wapniowego.

4. Efektywność techniczna nawożenia mineralnego

Na rysunku 1 i w tabeli 3 zamieszczono wyniki obliczeń efektywności technicznej. Współczynniki efektywności technicznej są podane w formie średnich arytmetycznych.

Minimalne wielkości przeciętnych współczynników efektywności technicznej nawożenia mineralnego wystąpiły w 2008 roku i wynosiły przeciętnie 79,9%, zaś maksymalne wielkości charakteryzowały 2005 rok (99,6%).



Rys. 1. Przeciętne współczynniki efektywności technicznej VRS w latach 1998-2019

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych GUS.

W dwunastu badanych latach przeciętne współczynniki efektywności technicznej były wyższe od 90%, a w dziesięciu latach – niższe od 90%. Wśród badanej zbiorowości województw trzy województwa (mazowieckie, opolskie i podlaskie) były efektywne technicznie w każdym z badanych lat. Województwo podkarpackie

Tabela 3. Współczynniki efektywności technicznej VRS w latach 1998-2019 (%)

Województwo rok	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Dolnośląskie	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	95,0	91,5
Kujawsko-pomorskie	79,4	89,1	86,3	84,5	90,5	89,7	100,0	97,5	93,0	81,7	41,6
Lubelskie	100,0	84,2	78,7	75,7	75,6	99,0	90,3	95,7	55,3	61,2	57,5
Lubuskie	71,8	89,3	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	75,0	80,5	64,4
Łódzkie	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	57,4	63,5	64,5
Małopolskie	91,2	82,6	85,6	75,1	81,7	100,0	95,6	100,0	94,5	100,0	100,0
Mazowieckie	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Opolskie	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Podkarpackie	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Podlaskie	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Pomorskie	56,5	84,4	88,6	63,4	83,9	71,4	74,3	100,0	100,0	94,2	68,5
Śląskie	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Świętokrzyskie	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	63,7	84,5	77,8
Warmińsko-mazurskie	88,9	99,1	100,0	77,3	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	87,6	89,5
Wielkopolskie	100,0	100,0	91,9	100,0	100,0	88,3	100,0	100,0	78,3	99,1	51,5
Zachodniopomorskie	92,8	95,0	77,5	76,0	93,9	83,7	100,0	100,0	100,0	91,9	71,7
Średnia	92,5	95,2	94,3	90,7	95,4	95,7	97,5	99,6	88,6	90,0	79,9
Województwo rok	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Dolnośląskie	100,0	100,0	100,0	91,5	100,0	80,4	96,8	100,0	87,5	88,1	93,9
Kujawsko-pomorskie	97,4	63,3	64,8	59,4	100,0	68,2	48,7	57,2	58,5	51,5	65,3
Lubelskie	63,5	57,5	53,2	51,9	57,0	70,3	88,8	100,0	83,4	81,1	45,4
Lubuskie	100,0	100,0	70,9	100,0	100,0	100,0	97,1	100,0	100,0	100,0	100,0
Łódzkie	73,6	68,8	70,4	73,6	58,4	75,9	68,5	70,4	71,6	88,1	46,5
Małopolskie	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Mazowieckie	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Opolskie	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Podkarpackie	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	98,1	100,0
Podlaskie	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Pomorskie	87,2	72,0	77,8	68,7	72,9	76,3	87,5	78,7	88,2	85,2	100,0
Śląskie	100,0	78,3	100,0	90,1	89,9	72,2	97,3	90,7	84,5	100,0	100,0
Świętokrzyskie	100,0	100,0	100,0	98,3	68,8	100,0	69,1	81,4	89,5	89,6	91,8
Warmińsko-mazurskie	78,6	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Wielkopolskie	100,0	73,0	57,2	80,4	100,0	79,0	60,7	65,7	79,8	62,0	51,7
Zachodniopomorskie	100,0	100,0	90,2	79,6	100,0	100,0	100,0	100,0	90,9	85,8	100,0
Średnia	93,8	88,3	86,5	87,1	90,4	88,9	88,4	90,3	89,6	89,3	87,2

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych GUS.

było efektywne technicznie w ciągu 21 lat (z wyjątkiem 2018 roku). Województwa lubuskie, małopolskie, śląskie i warmińsko-mazurskie były efektywne w 15 latach, a województwo dolnośląskie było efektywne technicznie w 14 latach badania. Województwo zachodniopomorskie było efektywnie technicznie w dziesięciu latach, łódzkie – w ośmiu, województwo pomorskie – w trzech, a województwa kujawsko-pomorskie i lubelskie – w dwóch latach badania. Udział województw efektywnych technicznie w zbiorowości ogólnej wynosił od 43,8% (2012, 2015, 2017, 2018) do 87,5% (2005). Uwagę zwracają stosunkowo niskie współczynniki efektywności technicznej w województwach kujawsko-pomorskim, lubelskim, łódzkim oraz pomorskim. Wynikać one mogą z: niekorzystnego przebiegu pogody w okresie wegetacji roślin (np. susza, zły rozkład opadów), niedostosowanych do warunków pogodowych terminów stosowania nawozów azotowych, zawyżonych dawek nawozów mineralnych, złych terminów stosowania innych środków plonotwórczych, w niektórych przypadkach – ze słabej jakości gleby (łódzkie) lub/i negatywnego wpływu dopłat rolniczych na efektywność techniczną. W celu wyjaśnienia przyczyn nieefektywności technicznej nawożenia mineralnego należy przeprowadzić podobne badania w skali mikro oparte na danych polskiego FADN.

5. Produktywność całkowita nawożenia mineralnego i jej elementy składowe w latach 1998-2019

W tabeli 4 i na rysunku 2 zamieszczono przeciętne wielkości indeksu zmian produktywności całkowitej Färe-Primonta (dTFP) oraz jego części składowych, takich jak: zmiany postępu technologicznego (dMP) i zmiany efektywności (dTFPE), dla okresu 1998-2019. Wielkości indeksu dTFP i jego elementów składowych są średnimi geometrycznymi.

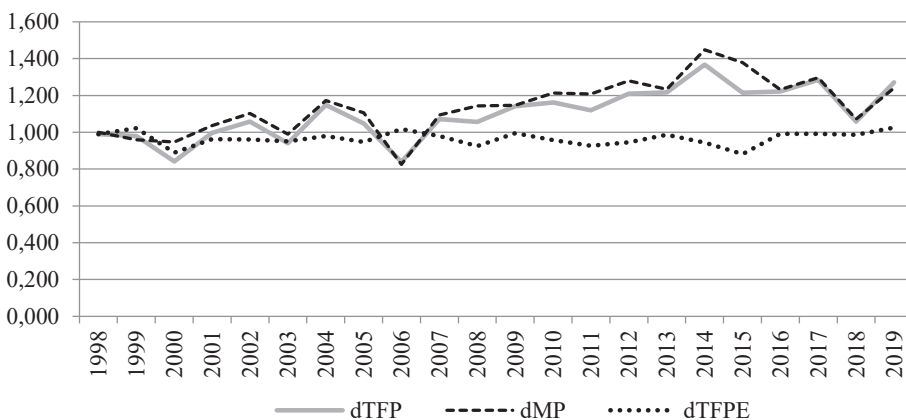
Tabela 4. Przeciętne wielkości indeksu produktywności całkowitej Färe-Primonta oraz jego części składowych w latach 1998-2019

Rok	Zmiany		
	dTFP	dMP	dTFPE
1	2	3	4
1998	0,990	1,000	0,990
1999	0,980	0,960	1,021
2000	0,842	0,947	0,890
2001	0,996	1,035	0,962
2002	1,058	1,102	0,960
2003	0,940	0,989	0,950
2004	1,148	1,173	0,979
2005	1,047	1,106	0,947
2006	0,839	0,825	1,017

1	2	3	4
2007	1,071	1,093	0,979
2008	1,056	1,143	0,924
2009	1,141	1,147	0,995
2010	1,162	1,214	0,957
2011	1,119	1,208	0,927
2012	1,210	1,280	0,945
2013	1,216	1,233	0,986
2014	1,367	1,448	0,944
2015	1,214	1,378	0,881
2016	1,221	1,232	0,991
2017	1,285	1,296	0,991
2018	1,058	1,072	0,987
2019	1,272	1,240	1,025
Średnia	1,093	1,132	0,965

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych GUS.

Przeciętna wielkość zmian produktywności całkowitej (dTFP) Färe-Primonta w latach 1998-2019 wynosiła 1,093, co przekłada się na średnioroczne tempo wzrostu TFP o 1,2% rocznie. Głównym komponentem wzrostu produktywności całkowitej jest postęp technologiczny (dPM), który wyniósł 1,132, tj. 13,2%, co przekłada się na jego średnioroczny wzrost wynoszący 1%. Na zmniejszenie produktywności całkowitej (TFP) wpływało zmniejszenie efektywności (dTFPE), której przeciętny indeks zmian wyniósł 0,965 (zmniejszenie o 3,5%), co oznacza jej średnie tempo spadku wynoszące 0,2% rocznie.



Rys. 2. Przeciętne wielkości indeksu produktywności całkowitej Färe-Primonta oraz jego części składowych w latach 1998-2019

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych GUS.

Minimalna wielkość indeksu zmian produktywności całkowitej Färe-Primonta (dTFP) wynosiła 0,839 w 2006 roku, zaś maksymalna wielkość tego indeksu wystąpiła w 2014 roku i wyniosła 1,367. Zwraca uwagę fakt, że okresie 1998-2008 indeks ten był mniejszy od 1, a w latach 2009-2019 latach był większy od 1.

Minimalna wielkość zmian postępu technologicznego (dMP) wystąpiła w 2006 roku i wyniosła 0,825, zaś wielkość maksymalna tego indeksu w 2015 roku wyniosła 1,448. W czterech latach badania indeks ten był mniejszy od 1, a w 18 latach był większy od 1.

Tabela 5. Przeciętne wielkości elementów TFPE w latach 1998-2019

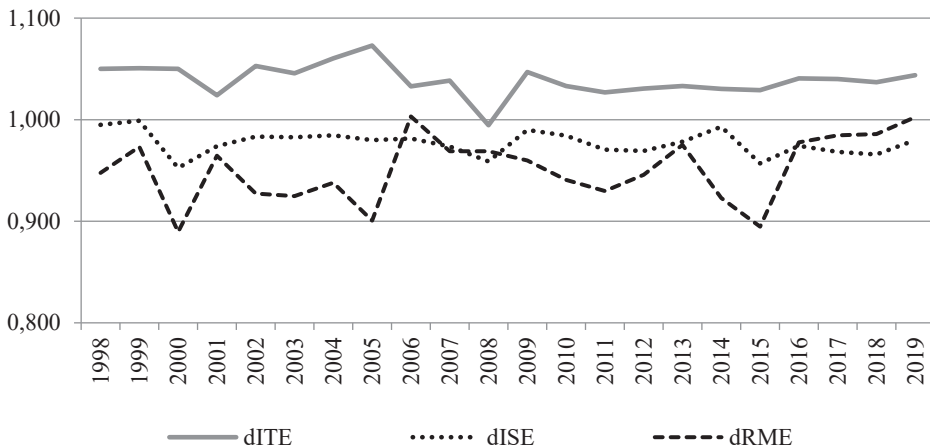
Rok	Elementy TFPE			Rok	Elementy TFPE		
	dITE	dISE	dRME		dITE	dISE	dRME
1998	1,050	0,995	0,948	2009	1,047	0,990	0,960
1999	1,051	0,999	0,973	2010	1,033	0,984	0,941
2000	1,050	0,953	0,890	2011	1,027	0,970	0,930
2001	1,024	0,974	0,965	2012	1,031	0,969	0,946
2002	1,053	0,983	0,927	2013	1,033	0,978	0,975
2003	1,046	0,983	0,925	2014	1,030	0,993	0,923
2004	1,060	0,984	0,938	2015	1,029	0,957	0,895
2005	1,073	0,980	0,901	2016	1,041	0,974	0,978
2006	1,033	0,981	1,003	2017	1,040	0,968	0,984
2007	1,038	0,974	0,969	2018	1,037	0,966	0,986
2008	0,995	0,959	0,969	2019	1,044	0,980	1,002
Średnia					1,039	0,977	0,951

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych GUS.

Minimalna wielkość zmian efektywności (dTFPE) wystąpiła w 2015 roku (0,881), zaś wielkość maksymalna ukształtowała się na poziomie 1,025 (2019). W 19 latach badania indeks ten był mniejszy od 1, jedynie w trzech latach (2000, 2006, 2019) jego wielkość była większa od 1. W związku tym, że zmiany efektywności (dTFPE) wpływają na wielkość produktywności całkowitej Färe-Primonta, w tabeli 5 zamieszczono jego elementy składowe w postaci zmian efektywności technicznej (dITE), zmian efektywności skali (dISE) i zmian efektywności rezedualnej mieszanej (dRME). Wyniki zamieszczone w tabeli 5 wskazują, że negatywny wpływ na wielkość efektywności (dTFPE) mają pozostałe elementy składowe TFPE, tj. zmiany efektywności skali (dISE) i zmiany efektywności rezedualnej mieszanej (dRME).

Na rysunku 3 przedstawiono wielkości poszczególnych elementów efektywności produktywności (dTFPE) w badanym okresie. Jej przeciętna wielkość wynosiła (tab. 4 i rys. 2) 1,039 i wahała się od 1,024 (2001) do 1,073 (2005), co oznacza śred-

nioroczny wzrost o 0,2%. Wielkość efektywności technicznej w badanym okresie była większa od 1, z wyjątkiem 2008 roku, w którym obniżyła się ona do poziomu 0,995. Zwraca uwagę względną stabilizacja efektywności technicznej w latach 2009-2019. W tym okresie mieściła się ona w przedziale od 1,027 (2011) do 1,047 (2009) i wpływała na zwiększenie efektywności produktywności (dTFPE).



Rys. 3. Elementy TFPE w latach 1998-2019

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych GUS.

Na zmniejszenie efektywności produktywności (dTFPE) miały wpływ spadki efektywności skali (dISE) i efektywności rezedualnej mieszanej (dRME). Przeciętne wielkości obu indeksów były mniejsze od 1. W przypadku efektywności skali (dISE) jego średnia wielkość wynosiła 0,997 i mieściła się w granicach od 0,953 (2000) do 0,993 (2014). Przeciętna wielkość efektywności rezedualnej mieszanej (dRME) ukształtowała się na poziomie 0,951 i zawierała się w przedziale od 0,890 (2000) do 1,003 (2006).

6. Produktywność całkowita nawożenia mineralnego i jej elementy składowe w województwach w latach 1998-2019

Tabele 6-8 zawierają informacje o przeciętnych zmianach produktywności całkowitej i ich części składowych oraz wyniki obliczeń dynamiki produktywności całkowitej i jej poszczególnych elementów. W opisie tabel wykorzystano cechę własności tranzytywności tego indeksu.

W tabeli 6 zamieszczono wyniki średnich obliczeń zmian produktywności całkowitej (dTFP) Färe-Primonta i jej elementów składowych dla województw w okresie 1998-2019. Spadki produktywności całkowitej wystąpiły w trzech województwach:

świętokrzyskim (0,911), lubelskim (0,950) i łódzkim (0,994). Z kolei wzrost produktywności całkowitej odnotowano w 13 województwach, w tym wartości maksymalne produktywności całkowitej charakteryzowały województwa: opolskie (1,241), dolnośląskie (1,225), śląskie (1,195), zachodniopomorskie (1,163), wielkopolskie (1,151).

Dokonując porównań pomiędzy wielkościami przeciętnymi dla województw, można stwierdzić, że województwa świętokrzyskie i lubelskie charakteryzowały się niższą produktywnością całkowitą, odpowiednio o 25,6% i 22,4%, w porównaniu z województwem dolnośląskim.

Tabela 6. Przeciętne wielkości indeksu produktywności całkowitej Färe-Primonta w województwach oraz jego części składowych w latach 1998-2019

Wyszczególnienie	Zmiany			Zmiany		
	dTFP	dMP	dTFPE	dITE	dISE	dRME
Dolnośląskie	1,225	1,132	1,082	1,064	0,995	0,948
Kujawsko-pomorskie	1,061	1,132	0,937	0,985	0,999	0,973
Lubelskie	0,950	1,132	0,839	0,934	0,953	0,890
Lubuskie	1,118	1,132	0,988	1,045	0,974	0,965
Łódzkie	0,994	1,132	0,878	1,000	0,983	0,927
Małopolskie	1,079	1,132	0,953	1,058	0,983	0,925
Mazowieckie	1,147	1,132	1,013	1,078	0,984	0,938
Opolskie	1,241	1,132	1,096	1,078	0,980	0,901
Podkarpackie	1,032	1,132	0,911	1,077	0,981	1,003
Podlaskie	1,044	1,132	0,922	1,078	0,974	0,969
Pomorskie	1,119	1,132	0,988	1,009	0,959	0,969
Śląskie	1,195	1,132	1,055	1,063	0,990	0,960
Świętokrzyskie	0,911	1,132	0,804	1,032	0,984	0,941
Warmińsko-mazurskie	1,121	1,132	0,990	1,061	0,970	0,930
Wielkopolskie	1,151	1,132	1,017	1,034	0,969	0,946
Zachodniopomorskie	1,163	1,132	1,027	1,044	0,978	0,975
Średnia	1,093	1,132	0,965	1,039	0,993	0,923

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych GUS.

Przeciętna wielkość zmian technologicznych wyniosła 13,2% i była taka sama we wszystkich województwach. Wynika to z założenia stosowanej metody – jednokowego dostępu do wykorzystywanych technologii.

Przeciętna wielkość efektywności (dTFPE) wynosiła 0,965 i ukształtowała się poniżej 1 w dziesięciu województwach, a w sześciu była ona większa od 1. Spadki efektywności odnotowano w województwach: świętokrzyskim (0,804), lubelskim (0,839), łódzkim (0,878), podkarpackim (0,911). Najwyższą efektywność (dTFPE)

wykazywały województwa zachodniopomorskie (1,027), śląskie (1,055), dolnośląskie (1,082) i opolskie (1,096). W porównaniu z wielkością maksymalną dTFPE województwa świętokrzyskie i lubelskie charakteryzowały się niższą efektywnością o odpowiednio 22,6% i 23,4%.

Przeciętna efektywność techniczna (dITE) wyniosła 1,039, co oznacza jej pozytywny wpływ na wielkość efektywności (dTFPE) i produktywności (dTFP). Efektywność techniczna w dwóch województwach była mniejsza od 1, zaś w 14 województwach była większa od 1. Minimalne przeciętne wielkości efektywności technicznej charakteryzowały województwa lubelskie (0,934) i kujawsko-pomorskie (0,985), zaś maksymalne wielkości wystąpiły w województwach: dolnośląskim (1,064), podkarpackim (1,077) oraz mazowieckim, opolskim i podlaskim (1,078). Porównując najwyższe wielkości efektywności technicznej (dITE) z wielkościami minimalnymi, zauważyć można, że w województwach lubelskim i kujawsko-pomorskim efektywność techniczna jest niższa o 13,3% i 8,6% w porównaniu z województwem dolnośląskim.

Przeciętna wielkość zmian efektywności skali (dISE) ukształtowała się na poziomie 0,993 i mieściła się w granicach od 0,953 (lubelskie) do 0,999 (kujawsko-pomorskie). W latach 1998-2019 wszystkie województwa przyczyniały się do zmniejszenia efektywności (TFPE) i w konsekwencji do zmniejszenia produktywności całkowitej (TFP).

W latach badania zmiany efektywności rezedualnej mieszanej (RME) wpływały negatywnie na wielkość efektywności (TFPE) i na wielkość produktywności całkowitej. Przeciętna wielkość współczynnika (dRME) wyniosła 0,993 i tylko województwo podkarpackie wykazywało większą od 1 (1,003) wielkość tego wskaźnika.

W tabeli 7 zamieszczono obliczenia przeciętnej dynamiki produktywności całkowitej Färe-Primonta (dTFP). Dynamika produktywności w latach 1998-2019 wyniosła 28,4%. Województwami o najwyższej dynamice produktywności całkowitej były województwa: pomorskie (50,3%), warmińsko-mazurskie (46%), podkarpackie (43,8%), małopolskie (41,5%), zachodniopomorskie (41,9%). Z kolei najniższa dynamika produktywności całkowitej wystąpiła w województwach łódzkim (7,9%) i wielkopolskim (5,0%).

Dynamika postępu technologicznego (dMP) w badanych latach wyniosła 24,0% i była jednakowa we wszystkich badanych latach. Wynika to z właściwości metody omówionej wcześniej.

Dynamika efektywności (dTFPE) w latach 1998 i 2019 wyniosła przeciętnie 3,6%. W dziesięciu województwach odnotowano wzrost dynamiki, a w sześciu wystąpił jej spadek. Najwyższą dynamiką efektywności charakteryzowały się województwa: pomorskie (21,2%), podkarpackie (15,9%), warmińsko-mazurskie (17,7%). Najwyższe spadki dynamiki odnotowano w województwach: wielkopolskim (15,4%), łódzkim (13,0%), świętokrzyskim (6,2%).

Tabela 7. Dynamika indeksu produktywności całkowitej Färe-Primonta i jego wybranych elementów składowych w latach 1998 i 2020

Wyszcze- gólnienie	Zmiany								
	dTFP			dMP			dTFPE		
	1998	2019	2019/1998	1998	2019	2019/1998	1998	2019	2019/1998
Dolnośląskie	1,101	1,352	1,228	1,000	1,240	1,240	1,101	1,090	0,991
Kujawsko- pomorskie	1,000	1,263	1,263	1,000	1,240	1,240	1,000	1,018	1,018
Lubelskie	0,848	1,193	1,407	1,000	1,240	1,240	0,848	0,962	1,134
Lubuskie	0,980	1,237	1,263	1,000	1,240	1,240	0,980	0,998	1,018
Łódzkie	0,989	1,068	1,079	1,000	1,240	1,240	0,989	0,861	0,870
Małopolskie	0,947	1,341	1,415	1,000	1,240	1,240	0,947	1,081	1,141
Mazowieckie	1,103	1,281	1,161	1,000	1,240	1,240	1,103	1,033	0,937
Opolskie	1,092	1,391	1,273	1,000	1,240	1,240	1,092	1,121	1,027
Podkarpackie	0,885	1,272	1,438	1,000	1,240	1,240	0,885	1,026	1,159
Podlaskie	0,987	1,195	1,211	1,000	1,240	1,240	0,987	0,963	0,976
Pomorskie	0,938	1,410	1,503	1,000	1,240	1,240	0,938	1,137	1,212
Śląskie	1,047	1,401	1,338	1,000	1,240	1,240	1,047	1,130	1,079
Świętokrzyskie	0,876	1,012	1,156	1,000	1,240	1,240	0,876	0,816	0,932
Warmińsko- mazurskie	0,959	1,401	1,460	1,000	1,240	1,240	0,959	1,130	1,177
Wielkopolskie	1,145	1,202	1,050	1,000	1,240	1,240	1,145	0,969	0,846
Zachodnio- pomorskie	1,001	1,420	1,419	1,000	1,240	1,240	1,001	1,145	1,144
Średnia	0,990	1,272	1,284	1,000	1,240	1,240	0,990	1,025	1,036

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych GUS.

W tabeli 8 zamieszczono dane dotyczące dynamiki elementów składowych efektywności (dTFPE). W 2019 roku w porównaniu z 1998 rokiem zmniejszyła się efektywność techniczna (dITE) o 0,6%. W 2019 roku wzrost dynamiki (dITE) zaobserwowano w sześciu województwach. W pięciu województwach odnotowano stagnację poziomu efektywności technicznej, a w czterech wystąpił jej spadek. Najwyższą dynamikę efektywności technicznej (dITE) odnotowano w województwach: pomorskim (14,3%), lubuskim (9,7%), warmińsko-mazurskim (5,7%), zaś spadki dynamiki dotyczyły województw: lubelskiego (12,7%), łódzkiego (12,6%), wielkopolskiego (6,9%).

W 1999 roku najwyższą efektywność techniczną (dITE) odnotowano w dziesięciu województwach i wynosiła ona 1,078. W województwach lubuskim (0,983)

i pomorskim (0,943) odnotowano jej najniższe wielkości. Były one niższe od maksymalnych wielkości o odpowiednio 8,8% i 12,5%.

W 2019 roku podobnie, jak w 1998 roku, maksymalne wielkości efektywności technicznej wystąpiły w dziesięciu województwach i wynosiły 1,078. Jej minimalne wielkości wystąpiły w województwach lubelskim (0,941) i łódzkim (0,942) i były niższe od wielkości maksymalnych odpowiednio o 12,7% i 12,6%.

Tabela 8. Dynamika elementów indeksu zmian efektywności (dTFPE) w latach 1998 i 2020

Wyszcze- gólnienie	dITE			dISE			dRME		
	1999	2020	2020/1999	1999	2020	2020/1999	1999	2020	2020/1999
Dolnośląskie	1,078	1,046	0,971	1,006	0,998	0,992	1,015	1,044	1,028
Kujawsko- -pomorskie	1,000	1,003	1,003	1,000	0,999	0,999	1,000	1,016	1,016
Lubelskie	1,078	0,941	0,873	0,992	0,993	1,000	0,793	1,030	1,299
Lubuskie	0,983	1,078	1,097	0,975	1,006	1,031	1,022	0,920	0,900
Łódzkie	1,078	0,942	0,874	1,006	0,884	0,879	0,913	1,034	1,132
Małopolskie	1,044	1,078	1,033	0,990	1,006	1,016	0,917	0,997	1,088
Mazowieckie	1,078	1,078	1,000	1,006	0,951	0,946	1,018	1,008	0,990
Opolskie	1,078	1,078	1,000	1,000	1,006	1,006	1,013	1,034	1,021
Podkarpackie	1,078	1,078	1,000	1,006	1,006	1,000	0,816	0,946	1,159
Podlaskie	1,078	1,078	1,000	0,960	1,006	1,047	0,954	0,889	0,932
Pomorskie	0,943	1,078	1,143	0,978	1,006	1,028	1,017	1,049	1,032
Śląskie	1,078	1,078	1,000	1,006	1,006	1,000	0,966	1,042	1,079
Świętokrzyskie	1,078	1,009	0,936	1,006	0,868	0,863	0,808	0,933	1,154
Warmińsko- -mazurskie	1,019	1,078	1,057	0,979	1,006	1,028	0,962	1,042	1,084
Wielkopolskie	1,078	1,003	0,931	1,006	0,948	0,943	1,057	1,019	0,964
Zachodnio- pomorskie	1,049	1,078	1,027	1,005	1,006	1,001	0,949	1,057	1,113
Średnia	1,050	1,044	0,994	0,995	0,980	0,985	0,948	1,002	1,058

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych GUS.

W tabeli 8 zawarto wyniki obliczeń dynamiki komponentów indeksu zmian efektywności. Dynamika zmian efektywności technicznej (dITE) obliczona dla Polski wykazywała średnioroczny spadek w stosunku do roku wyjściowego o 0,6%. W sześciu województwach wśród badanych 16 odnotowano jej wzrost, w pięciu – stagnację, a w pięciu województwach nastąpił jej spadek. Województwami, w których odnotowano najwyższe jej wzrosty, były pomorskie (wzrost o 14,3%) i warmińsko-mazurskie (wzrost o 5,7%). Największe spadki dynamiki wykazywały województwa lubelskie (0,873 tj. 12,7%) i łódzkie (0,874 tj. 12,6%). Stagnację tego

indeksu obserwowano w województwach mazowieckim, opolskim, podkarpackim, podlaskim i śląskim.

Przeciętna dynamika zmian efektywności skali (dISE) wynosiła (0,985), co oznacza jej spadek o 1,5%. W siedmiu województwach wśród badanych odnotowano jej wzrost w porównaniu do okresu wyjściowego, w trzech – jej stagnację, a w sześciu – jej spadek. Wzrost dynamiki był stosunkowo niewielki i wynosił od 0,1% (zachodniopomorskie) do 4,7% (podlaskie). Natomiast spadki dynamiki mieściły się w przedziale od 13,7% (0,863) w województwie świętokrzyskim do 0,1% (0,999) w kujawsko-pomorskim.

Średnia dynamika zmian efektywności rezydualnej mieszanej (dRME) w latach 1998-2019 wyniosła 5,8%. W badanej zbiorowości województw znajdowało się 12 województw, w których odnotowano jej wzrost, a w czterech – jej spadek. Wzrost dynamiki tego indeksu mieścił się w granicach od 1,6% (kujawsko-pomorskie) do 29,9% (lubelskie). Natomiast spadki dynamiki tego indeksu mieściły się w przedziale od 1,0% (podlaskie) do 10,0% (lubuskie).

Dysponując wielkościami produktywności całkowitej Färe-Primonta i jej elementów składowych w pierwszym i ostatnim roku badań, obliczono średnie tempo wzrostu dla poszczególnych województw (tab. 9).

Tabela 9. Średnie tempo wzrostu indeksu produktywności całkowitej Färe-Primonta i jego części składowych w województwach w latach 1998-2019

Województwo	Średnie tempo wzrostu					
	dTFP	dMP	dTFPE	dITE	dISE	dRME
Dolnośląskie	1,0	1,1	0,0	-0,1	0,0	0,1
Kujawsko-pomorskie	1,2	1,1	0,1	0,0	0,0	0,1
Lubelskie	1,7	1,1	0,6	-0,6	0,0	1,3
Lubuskie	1,2	1,1	0,1	0,4	0,1	-0,5
Łódzkie	0,4	1,1	-0,7	-0,6	-0,6	0,6
Małopolskie	1,8	1,1	0,7	0,2	0,1	0,4
Mazowieckie	0,8	1,1	-0,3	0,0	-0,3	0,0
Opolskie	1,2	1,1	0,1	0,0	0,0	0,1
Podkarpackie	1,8	1,1	0,7	0,0	0,0	0,7
Podlaskie	1,0	1,1	-0,1	0,0	0,2	-0,3
Pomorskie	2,1	1,1	1,0	0,6	0,1	0,1
Śląskie	1,5	1,1	0,4	0,0	0,0	0,4
Świętokrzyskie	0,7	1,1	-0,4	-0,3	-0,7	0,7
Warmińsko-mazurskie	1,9	1,1	0,8	0,3	0,1	0,4
Wielkopolskie	0,2	1,1	-0,8	-0,3	-0,3	-0,2
Zachodniopomorskie	1,8	1,1	0,7	0,1	0,0	0,5
Średnia	1,2	1,1	0,2	0,0	0,0	0,3

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych GUS.

Przeciętne roczne tempo wzrostu produktywności całkowitej (dTFP) w badanym okresie wyniosło 1,2% i mieściło się w granicach od 0,2% (wielkopolskie) do 2,1% (pomorskie). Przeciętny roczny wzrost postępu technologicznego (dMP) wyniósł 1,1%, natomiast średnioroczne tempo wzrostu efektywności produktywności było równe 0,2% i mieściło się w zakresie od -0,8% (wielkopolskie) do 0,8% (warmińsko-mazurskie).

Efektywność techniczna (dITE) średnio wykazywała stagnację. Zwraca uwagę fakt, że w pięciu województwach tempo jej wzrostu nie zmieniało się, a w pięciu województwach wystąpiły jego spadki wynoszące od -0,6% do -0,1%. W sześciu województwach odnotowano niewielki wzrost, który wyniósł od 0,1% (zachodniopomorskie) do 0,6% (pomorskie). Minimalne tempo spadku tego efektywności technicznej wyniosło -0,6% (lubelskie i łódzkie).

Przeciętne tempo wzrostu efektywności skali (dISE) wykazywało stagnację i wahało się od -0,6% (łódzkie) do 0,2% (podlaskie). W siedmiu województwach wystąpiła jego stagnacja, w czterech odnotowano spadek, a w pięciu województwach – niewielki wzrost (0,1%-0,3%).

Przeciętne tempo wzrostu efektywności rezedualnej mieszanej (dRME) wyniosło 0,3% rocznie i jego wielkości wahały się od -0,5% (lubuskie) do 0,7% (świętokrzyskie). W jednym województwie wystąpiła jego stagnacja, w trzech odnotowano spadek, a w 12 – niewielki wzrost. Wzrost ten mieścił się w przedziale od 0,1% do 0,7% rocznie.

7. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań nad efektywnością techniczną i produktywnością nawożenia mineralnego w Polsce w latach 1998-2019 sformułowano następujące wnioski ogólne:

1. Efektywność techniczna nawożenia mineralnego w latach 1998-2019 mieściła się w przedziale od 79,5% (2008) do 99,6% (2005), przy czym udział województw efektywnych technicznie wynosił od 43,8% (2012, 2015, 2017, 2018) do 87,5% (2005). Uwagę zwracają stosunkowo niskie współczynniki efektywności technicznej nawożenia mineralnego w województwach: kujawsko-pomorskim, lubelskim, łódzkim i pomorskim.

2. Przeciętna wielkość zmian produktywności całkowitej (dTFP) wynosiła 1,093, co oznacza jej wzrost w latach 1998-2019 o 9,3%. Głównym komponentem wzrostu produktywności całkowitej był postęp technologiczny (dMP), który wyniósł w badanym okresie 1,132, tj. 13,2%. Na zmniejszenie produktywności całkowitej Färe-Primonta (dTFP) miało wpływ zmniejszenie efektywności (dTFPE), która w badanych latach zmniejszyła się o 3,5% (0,965).

3. Na wielkość efektywności (dTFPE) wpływ miały jej elementy składowe. Na jej zwiększenie wpływał wzrost efektywności technicznej (1,039), natomiast na zmniejszenie efektywności (dTFPE) oddziaływały spadki efektywności skali (dISE)

i efektywności rezedualnej mieszanej (dRME). Przeciętne wielkości tego zmniejszenia wynosiły 0,977 i 0,951.

4. W badań wynika, że tempo wzrostu produktywności całkowitej mierzonej indeksem Färe-Primonta zależy przede wszystkim od postępu technologicznego. Uwagę zwraca fakt, że zależy ono w niewielkim stopniu od wzrostu efektywności produktywności i jej części składowych. Stagnacja efektywności technicznej (dITE) wskazuje na braki wiedzy (ogólnej i sytuacyjnej) rolników. Niskie tempo wzrostu efektywności rezedualnej mieszanej (dRME) wskazuje z kolei na słabość transferu wiedzy do rolników i niedomagania doradztwa rolniczego, które funkcjonuje bez podstawowych informacji niezbędnych w nowoczesnym doradztwie rolniczym. Wielkość efektywności rezedualnej mieszanej (RME) wskazuje na inną kombinację zastosowanych nakładów i uzyskanych efektów przy wykorzystaniu tej samej technologii. Samo zastosowanie nowoczesnych maszyn, nawozów, środków ochrony roślin oczywiście może poprawić efektywność gospodarowania, ale nie zwalnia producentów rolnych od podejmowania racjonalnych decyzji dotyczących stosowania nakładów produkcyjnych i dostosowywania swoich decyzji do warunków przyrodniczych. Do tego potrzebna jest nowoczesna wiedza rolnicza i chęci rolnika do jej zastosowania.

5. W celu dokładnego ustalenia efektywności technicznej i produktywności polskiego rolnictwa oraz wypracowania zleceń do reorganizacji doradztwa rolniczego w Polsce niezbędne jest przeprowadzenie na danych FADN badań podobnych do badań wykonanych przez np. przez Baležentisa (2015) oraz Dakpo i in. (2018b, 2019).

Literatura

- Baležentis, T. (2015). The sources of the total factor productivity growth in Lithuanian family farms: A Färe-Primont index approach. *Prague Economic Papers*, 24(02), 225-241. Pobrano z https://www.researchgate.net/publication/281223853_The_Sources_of_the_Total_Factor_Productivity_Growth_in_Lithuanian_Family_Farms_A_Fare-Primont_Index_Approach DOI:10.18267/j.pep.510
- Coelli, T. J., Rao, P. D. S. i Battese, G. E. (1998). *An introduction to efficiency and productivity analysis*. Boston: Kluwer. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4615-5493-6>
- Dakpo, K. H., Desjeux, Y., Jeanneaux, P. i Latruffe, L. (2019). Productivity, technical efficiency and technological change in French agriculture during 2002-2015: A Färe-Primont index decomposition using group frontiers and meta-frontierok. *Applied Economics*, 51(2), 1-17. doi: <https://doi.org/10.1080/00036846.2018.1524982>. Pobrano z https://www.researchgate.net/publication/328323336_Productivity_technical_efficiency_and_technological_change_in_French_agriculture_during_2002-2015_a_Fare-Primont_index_decomposition_using_group_frontiers_and_meta-frontierok
- Dakpo, K. H., Desjeux, Y. i Latruffe, L. (2018a). *Productivity: Indices of productivity and profitability using data envelopment analysis (DEA). R package version 1.1.0*. Pobrano z <https://CRAN.R-project.org/package=productivity/>
- Dakpo, K. H., Jeanneaux, P., Latruffe, L., Mosnier, C. i Veysset, P. (2018b). Three decades of productivity change in French beef production: A Färe-Primont index decomposition. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, (62), 352-372. Pobrano z <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1467-8489.12264>

- Fotyma, M., Krasowicz, S. i Kurek, E. (1990). Analiza sytuacji w zakresie plonów roślin i nawożenia mineralnego w latach 1975-1988. *Studia i Raporty Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa*, (70), S.
- Gagoś, K. (1973). Efektywność nawożenia w kluczu Państwowych Gospodarstw Rolnych Sosnowica. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska Lublin*, VII(11), H, 249-272.
- Gradziuk, P. L. (1990). *Produkcyjna efektywność nawożenia mineralnego jako podstawa rozdysponowania nawozów mineralnych w województwie zamojskim* (rozprawa doktorska). Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie.
- Grochowski, Z. (1960). Efektywność nawożenia w Polsce i za granicą. *Zagadnienia Ekonomiki Rolnej*, 39(3), 15-36.
- Kuśnierz-Goźdzalik, U. (1984). *Struktura zasiewów i warunki przyrodniczo-glebowe a poziom i efektywność zużycia nawozów w Polsce w latach 1977-1979* (rozprawa doktorska). Akademia Rolnicza w Lublinie.
- O'Donnell, C. J. (2008). *An aggregate quantity-price framework for measuring and decomposing productivity and profitability change* (Centre for efficiency and productivity Analysis Working Papers WP07/2008). Queensland: University of Queensland.
- O'Donnell, C. J. (2010a). Measuring and decomposing agricultural productivity and profitability change. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 54(4), 1-34. DOI: 10.22004/ag.econ.162052
- O'Donnell, C. J. (2010b). *DPIN version 1.0: A program for decomposing productivity index numbers* (Centre for Efficiency and Productivity Analysis Working Papers WP01/2010). Queensland: University of Queensland. Pobrano z <https://uq.edu.au/economics/cepa/docs/WP/WP012010.pdf>
- O'Donnell, C. J. (2010c). *Nonparametric estimates of the components of productivity and profitability change in U.S. agriculture* (Working Paper Series No. WP 02/2010). Queensland: School of Economics University of Queensland. Pobrano z <https://economics.uq.edu.au/files/5253/WP022010.pdf>
- O'Donnell, C. J. (2011). *Econometric estimation of distance functions and associated measures of productivity and efficiency change* (Centre for Efficiency and Productivity Analysis Working Papers WP01/2011). Queensland: University of Queensland. Pobrano z <https://economics.uq.edu.au/files/5217/WP012011.pdf>
- Plebański, T. (1963). Efektywność nawożenia mineralnego. *Zagadnienia Ekonomiki Rolnej* 57(3), 87-104. Pobrano z <http://www.zerokwaw.pl/efektywnosc-nawozenia-mineralnego,86774,0,1.html>
- Rocznik Statystyczny Rolnictwa 2020. Warszawa: GUS. Pobrano z <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/roczniki-statystyczne/roczniki-statystyczne/rocznik-statystyczny-rolnictwa-2020,6,14.html>
- Rocznik Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej 1999. Warszawa: GUS.
- Rocznik Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej 2020. Warszawa: GUS. Pobrano z <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/roczniki-statystyczne/roczniki-statystyczne/rocznik-statystyczny-rzeczypospolitej-polskiej-2020,2,20.html>
- Rocznik Statystyczny Województw 1999-2005. Warszawa: GUS .
- Rocznik Statystyczny Województw 2006-2020. Warszawa: GUS. Pobrano z <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/roczniki-statystyczne/roczniki-statystyczne/rocznik-statystyczny-wojewodztw>
- Rychlik, T. (1963a). Efektywność nawożenia w różnych warunkach glebowych. *Zagadnienia Ekonomiki Rolnej*, 57(3), 49-68. Pobrano z <http://www.zerokwaw.pl/efektywnosc-nawozenia-w-roznych-warunkach-glebowych,86769,0,1.html>
- Rychlik, T. (1963b). Efektywność nawożenia w różnych warunkach glebowych. *Zagadnienia Ekonomiki Rolnej*, 58(4), 3-22. Pobrano z <http://www.zerokwaw.pl/efektywnosc-nawozenia-w-roznych-warunkach-glebowych,86846,0,1.html>
- Stachak, S. (1998). *Ekonomika agrofirmy*. Warszawa: PWN.
- Stachak, S. i Krawiec, B. (1980). Zróżnicowanie nawożenia w Polsce a jego efektywność. *Zeszyty Naukowe AR w Szczecinie: Nauk Społecznych i Ekonomicznych*, 86(11), 251-265.

- Stachak, S., Woźniak, Z. i Gałęziewski, B. (1982). Analiza wartościowa wpływu nawożenia na plony w Polsce. *Zeszyty Naukowe AR w Szczecinie: Nauk Społecznych i Ekonomicznych*, 98(15), 197-213.
- Stachak, S. i Woźniak, Z. (1987a). Ceny nawozów a efektywność nawożenia w Polsce (1981-1984). *Zeszyty Naukowe AR w Szczecinie: Nauk Społecznych i Ekonomicznych*, 128(24), 243-259.
- Stachak, S. i Woźniak, Z. (1987b). Zróżnicowanie nawożenia a jego efektywność w Polsce (1981-1983). *Zeszyty Naukowe AR w Szczecinie: Nauk Społecznych i Ekonomicznych*, 128(24), 229-242.
- Środki produkcji w rolnictwie w roku gospodarczym 2019/2020*. Warszawa: GUS. Pobrano z <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/rolnictwo-lesnictwo/rolnictwo/srodki-produkcji-w-rolnictwie-w-roku-gospodarczym-20192020,6,17.html>
- Świtłyk, M. i Rusielik, (2003). Efektywność techniczna nawożenia zbóż w Polsce w latach 1999-2001 – analiza przy zastosowaniu metody DEA. *Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis, Oeconomia*, 232(42), 145-154.
- Witek, T. (red.). (1994). *Waloryzacja rolniczej przestrzeni produkcyjnej Polski wg gmin* (A-57, suplement). Puławy: IUNG.
- Woźniak, Z. i Stachak, S. (1982). Analiza ilościowa wpływu nawożenia na plony w Polsce. *Zeszyty Naukowe AR w Szczecinie: Nauk Społecznych i Ekonomicznych*, 98(15), 215-230.
- Woźniak, Z. i Stachak, S. (1989). Wpływ poziomu nawożenia na plony w Polsce (1981-1983). *Zeszyty Naukowe AR w Szczecinie: Nauki Społeczne i Ekonomiczne*, 136(26), 81-99.
- Zawalińska, K., Wąs, A., Kobus, P. i Bańkowska, K. (2022). A framework linking farming resilience with productivity: Empirical validation from Poland in times of crises. *Sustainability Science*, (17), 81-103. Pobrano z <https://doi.org/10.1007/s11625-021-01047-1>

TECHNICAL EFFICIENCY AND PRODUCTIVITY OF MINERAL FERTILIZATION IN POLAND

Abstract: The aim of the study was to assess the technical effectiveness and productivity of mineral fertilization in Poland. The Färe-Primont total productivity index was used to assess productivity. Data from 1998-2019 were used. The technical efficiency of mineral fertilization in the years 1998-2019 was in the range of 79.5% (2008) – 99.6% (2005). The average total productivity (dTFP) increased by 9.3%. The main source of total productivity growth was technological progress (dMP), which increased by 13.2%. The decrease in Färe-Primont's total productivity (dTFP) was influenced by efficiency changes (dTFPE), which decreased by 3.5% over the period considered. The increase in efficiency (dTFPE) was influenced by technical efficiency (1.039), and its decrease was influenced by scale efficiency (dISE) and mixed residual efficiency (dRME). The average sizes of these indices were 0.977 and 0.951.

Keywords: agriculture, productivity, Färe-Primont total productivity index.