

Bazyli Czyżewski,
Łukasz Kryszak

Wpływ typów rolnictwa na emisję gazów cieplarnianych

Streszczenie: Problemy związane z jakością środowiska naturalnego należą obecnie do zasadniczych wyzwań stojących przed sektorem rolnym. Podstawową kwestią jest zanieczyszczenie powietrza, głównie poprzez emisję gazów cieplarnianych, ale także innych zanieczyszczeń gazowych. W zakresie wpływu rolnictwa na środowisko prowadzone są liczne badania, brakuje w nich jednak uwzględnienia determinant ekonomicznych. Celem artykułu było zbadanie, w jaki sposób cechy ekonomiczne poszczególnych typów rolnictwa wpływają na emisję zanieczyszczeń gazowych. Pod uwagę brano cechy zarówno w ujęciu mikro- (wynagrodzenie czynników wytwórczych, nakłady związane z intensywnością gospodarowania), jak i makroekonomicznym (PKB *per capita*, przeciętna wielkość gospodarstwa rolnego, poziom wsparcia sektora rolnego). Weryfikacji poddawana była hipoteza, że produktywność czynników wytwórczych oraz charakterystyki opisujące intensywność gospodarowania inaczej wpływają na emisję gazów cieplarnianych i innych zanieczyszczeń gazowych w zależności od typu rolnictwa. Zakres czasowy i przestrzenny badań obejmuje lata 1995–2009 w 40 krajach świata (regresja panelowa). Okazuje się, że typ rolnictwa dominujący w krajach wysokorozwiniętych pozwala skutecznie łączyć cele ekonomiczne i środowiskowe. W krajach mniej zamożnych rosnące wynagrodzenie pracy i kapitału wciąż sprzyja wzrostowi emisji zanieczyszczeń. W krajach średniozamożnych brakuje natomiast bodźców zachęcających do wprowadzania technologii energooszczędnych.

Słowa kluczowe: zanieczyszczenia powietrza, emisja gazów cieplarnianych, typy rolnictwa, intensyfikacja, wynagrodzenie czynników produkcji.

Dr hab. Bazyli Czyżewski, prof. nadzw. UEP, Zespół Badawczy Katedry Makroekonomii i Gospodarki Żywnościowej UEP, Katedra Edukacji i Rozwoju Kadr, Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu, Al. Niepodległości 10, 61-875 Poznań, b.czyzewski@ue.poznan.pl. **Mgr Łukasz Kryszak**, Katedra Makroekonomii i Gospodarki Żywnościowej, Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu, Al. Niepodległości 10, 61-875 Poznań, lukasz.kryszak@ue.poznan.pl.

1. Wstęp

Stosowanie pojęcia „zrównoważonego rozwoju” wymaga jego konceptualizacji w celu nadania mu bardziej praktycznego i aplikacyjnego wymiaru (von Wirén-Lehr 2001; Van Cauwenbergh i in. 2007). Definicje zrównoważonego rozwoju wskazują zwykle na potrzebę uwzględniania aspektów ekonomicznych, społecznych i środowiskowych. Ten ostatni element nabiera coraz większego znaczenia w odniesieniu do sektora rolnego¹. Wokół rolnictwa toczą się na świecie dyskusje, w jaki sposób można obniżyć jego niekorzystny wpływ na emisję zanieczyszczeń. Jest to bowiem dział, którego związki ze środowiskiem naturalnym są szczególnie silne, co oznacza również, że katalog wyzwań stojących przed rolnictwem w kontekście dobrostanu środowiska jest wyjątkowo szeroki (Walls 2006). Ocena wpływu rolnictwa na środowisko jest trudna przede wszystkim ze względu na ograniczoną dostępność danych oraz na mnogość zmiennych, które można wykorzystywać. Wpływ na środowisko można bowiem oceniać m.in. przez pryzmat emisji zanieczyszczeń, utrzymania bioróżnorodności czy odpowiedniej jakości wód i gleby. Najbardziej odczuwalne globalne efekty daje obecnie pierwszy z wymienionych czynników, tj. emisja zanieczyszczeń powietrza.

Związki między praktykami rolniczymi a ich wpływem na środowisko nie są jednoznacznie zbadane. Wynika to między innymi z mnogości indyktorów, które można wykorzystywać w ocenie tego wpływu. Wskaźniki te dzieli się na te bazujące na ocenie: efektów (*effect based*) oraz nakładów (*means based*) (van der Werf, Petit 2002). Istnienie wielu wskaźników częściowych skłania badaczy do podejmowania prób konstrukcji wskaźnika syntetycznego (Sabiha i in. 2015). Wysiłki te dotyczą jednak głównie poziomu mikroekonomicznego. Większość istniejących indyktorów ma taki właśnie charakter. Pokazują one, jak praktyki rolnicze (np. stosowanie nawozów, pestycydów itp.) na poziomie gospodarstwa wpływają na środowisko. Przegląd mechanizmów w ramach WPR wskazuje, że zarządzanie jakością środowiska naturalnego powinno być kluczowym kryterium w procesie alokacji subsydiów w rolnictwie. Wielu autorów proponuje metody i zestawy mierników na poziomie gospodarstwa (*farm level*), które wychodzą naprzeciw tym postulatam (Galan, Peschard, Boizard 2007; Torrellas, Antón, Montero 2013). Pojawia się jednak wątpliwość, czy perspektywa mikroekonomiczna jest wystarczająca? Nie odpowiada ona na pytanie, czy istnieją uniwersalne cechy rozwojowe rolnictwa, których wspieranie przynosi pozytywne skutki dla poprawy stanu środowiska naturalnego. Choć wskazuje się na potrzebę szerszego spojrzenia na sektor rolny (Payraudeau, van der Werf 2005), to wedle wiedzy autorów nie prowadzono dotychczas badań

¹ Przez sektor rolny autorzy rozumieją rolnictwo, leśnictwo, łowiectwo i rybołówstwo. Tak szerokie rozumienie sektora rolnego wynika z metodologii przyjętej w wykorzystywanej bazie danych.

makroekonomicznych dotyczących zależności między typami rolnictwa w różnych rejonach świata a oddziaływaniem środowiskowym tego sektora.

Typ rolnictwa w sensie jego modelu rozwojowego to złożone pojęcie. Składają się na niego czynniki strukturalne takie jak: zamożność kraju (mierzona np. mierzonym PKB *per capita*), średnia wielkość gospodarstw w danym kraju oraz polityka państwa wobec rolnictwa (np. poziom wsparcia mierzony wskaźnikiem NRA). Jednocześnie o specyfice rozwoju rolnictwa przesądzają czynniki mikroekonomiczne. Po pierwsze, wysokość oraz struktura wynagrodzenia czynników produkcji: pracy, kapitału i ziemi, czyli ich produktywność. Wynagrodzenie w przeliczeniu na jednostkę czynnika produkcji jest bowiem miarą jego wydajności. Po drugie, duże znaczenie ma intensywność gospodarowania, tj. poziom chemizacji, mechanizacji, elektryfikacji, zużycia paliw, gazu i wody na ha. W praktyce występują kraje o wysokim poziomie PKB *per capita*, gdzie praca, kapitał i ziemia są wysoce produktywne (rolnicy otrzymują wysokie dochody), a jednocześnie rolnictwo ma charakter ekstensywny i jest wspierane w umiarkowanym stopniu (np. Australia). Gdzie indziej wysokie dochody są skutkiem interwencjonizmu rolnego, a czynnik ziemi charakteryzuje się niższą produktywnością (np. Szwecja). Istnieją też kraje o bardzo intensywnym rodzaju gospodarowaniu oraz wysokiej produktywności czynników produkcji w warunkach dużego wsparcia, takie jak Belgia czy Holandia, ale również kraje o niskiej wydajności pracy w rolnictwie, gospodarce ekstensywnej i relatywnie niższym poziomie wsparcia, np. Brazylia. Reasumując, kombinacja czynników makroekonomicznych (PKB *per capita*, przeciętna powierzchnia gospodarstw rolnych, polityka rolna) i mikroekonomicznych (produktywność czynników wytwórczych i intensywność gospodarowania) decydują o typie rolnictwa w danym kraju. W literaturze funkcjonują różne nazwy ścieżek rozwojowych sektora rolnego: rolnictwo industrialne, postindustrialne, zachowawcze (*conservative model*), samozaopatrzeniowe (*subsistence farming*) rodzinne/chłopskie, zrównoważone, zrównoważona intensyfikacja czy rolnictwo precyzyjne (ekstensywne i intensywne). Trudno dokładnie rozgraniczyć te typy i przypisać im konkretne wskaźniki produktywności oraz intensywności. Są jednak pewne cechy dominujące. W typie industrialnym obserwuje się wysoki poziom intensyfikacji, a kapitał cechuje się wysoką produktywnością. W rolnictwie rodzinnym i samozaopatrzeniowym wynagrodzenie pracy własnej (produktywność) jest niższe, podobnie jak poziom intensywności gospodarowania. W typie zrównoważonym kładzie się nacisk na niższą intensywność, ale na ogół wymaga to wyższego poziomu wsparcia, żeby utrzymać odpowiednią dochodowość produkcji. Z kolei w rolnictwie precyzyjnym największe znaczenie przypisuje się wysokiej produktywności kapitału.

Przyjmuje się, że relatywnie najlepszym rozwiązaniem z punktu widzenia wpływu na środowisko jest zrównoważony typ rolnictwa. Niektórzy ekonomiści

uważają, że słabiej rozwinięte kraje, z mniej wydajnym ekonomicznie rolnictwem, mają w tym względzie tzw. rentę zacofania (Czyżewski, Stępień 2011), ponieważ nie muszą ograniczać intensywności gospodarowania, żeby zredukować negatywne oddziaływanie na środowisko. Powstaje pytanie, czy rzeczywiście małe, pracochłonne gospodarstwa są bardziej przyjazne dla środowiska?

Celem artykułu było zbadanie, jak cechy konstytutywne poszczególnych typów rolnictwa na poziomie makroekonomicznym (PKB, wielkość gospodarstw rolnych, poziom wsparcia) oraz mikroekonomicznym (produktywność czynników, intensywność gospodarowania) wpływają na emisję zanieczyszczeń powietrza. Emisja metanu, podtlenku azotu, amoniaku i dwutlenku węgla należy do najważniejszych efektów zewnętrznych produkcji rolnej wywierających globalny wpływ na środowisko. Szacuje się, że praktyki rolników (*farm practice*) odpowiadają aż za 25–30% emisji gazów cieplarnianych (nie wlicza się w to amoniaku), przy czym emisja jest szczególnie wysoka w przypadku produkcji zwierzęcej (Hamuda, Patkó 2010). W przypadku rolnictwa szczególną uwagę zwraca się na metan (CH_4), podtlenek azotu (N_2O) oraz amoniak (NH_3), które mają silne właściwości zanieczyszczające. N_2O jest emitowany do atmosfery z użytków rolnych, głównie w efekcie mikrobiologicznego przetwarzania nawozów azotowych w glebie. Emisje CH_4 i NH_3 są głównie wynikiem procesów trawiennych zwierząt przeżuwających (przede wszystkim krów i owiec). W sensie ilościowym (w kg) emisja CO_2 jest dominująca, jednakże efekty marginalne w modelach regresji (tabela 1) emisji gazów cieplarnianych wskazują, że zmienność tej emisji jest szczególnie uwarunkowana wzrostem emisji N_2O lub CH_4 , a nie CO_2 (tabela 1).

Tabela 1. Modele wpływu wzrostu emisji wybranych gazów (w tonach) na wzrost emisji zanieczyszczeń powietrza²

Table 1. Models of impact of increase in emission of selected gases on increase in total emissions of air pollutants

Gaz	Współczynnik	Błąd standardowy	t-Studenta	wartość p	R ²
CH_4	5,89338	0,29227	20,1645	<0,0001	0,917
N_2O	94,0206	2,91666	32,2357	<0,0001	0,966
CO_2	1,51147	0,02282	66,2319	<0,0001	0,991

Źródło: opracowanie własne na podstawie Environmental Accounts (World Input-Output Database).

Source: own study based on Environmental Accounts (World Input-Output Database).

² Poszczególne modele były szacowane z wyrazem wolnym, jednakże w tabeli pokazujemy wyłącznie współczynniki kierunkowe, które mają tutaj podstawowe znaczenie.

Uwzględnione przez autorów gazy (dwutlenek węgla, metan, amoniak i tlenek azotu) odpowiadały w badanej grupie krajów średnio za 93,51% całkowitej ilości emitowanych gazów. Z pewnym uproszczeniem można zatem przyjąć, że ich emisja odpowiada za zanieczyszczenie powietrza ogółem.

Problem zależności między typami rolnictwa a emisją zanieczyszczeń nie jest dostatecznie rozpoznany w literaturze, ale jego rozwiązanie ma niebagatelne znaczenie dla kształtowania polityki rolnej wobec małych gospodarstw, które dominują w rolnictwie wielu krajów. Nie jest więc jasne, czy polityka rolna powinna wspierać przetrwanie obecnej liczby małych gospodarstw, czy powinna stymulować procesy koncentracji ziemi?

2. Kierunki badań nad wpływem rolnictwa na środowisko naturalne

Oddziaływanie rolnictwa na środowisko naturalne, w tym jego wpływ na emisje zanieczyszczeń, był przedmiotem wielu badań. Wyróżnić można przede wszystkim trzy nurty rozważań. Dotyczą one związków stanu środowiska naturalnego z prowadzoną polityką rolną, zmianami technologicznymi oraz działaniami podejmowanymi przez samych rolników.

Badania dotyczące związków intensyfikacji produkcji rolnej i stanu środowiska nie dają jednoznacznych wyników. Dodatkowo otrzymane rezultaty były zależne od poziomu analizy (lokalny, regionalny, krajowy) (van der Werf, Petit 2002) oraz wykorzystanej metody. Na problem ten zwracali uwagę Richard N. German, Catherine E. Thompson i Tim G. Benton (2016) w podejściu nazwanym *choice potential* (CP). Wykorzystanie metody CP pokazuje, że przynajmniej do pewnego stopnia możliwe jest jednoczesne realizowanie celów środowiskowych i ściśle produkcyjnych. Przykładowo dążenie do osiągnięcia większych plonów nie musi oznaczać mniejszego stopnia realizacji innych celów zrównoważenia. Nie jest też jasny pozytywny wpływ rolnictwa ekologicznego i drobnych gospodarstw na realizację celów środowiskowych. W rolnictwie ekologicznym emituje się bowiem mniej CO₂ na hektar, ale już w przeliczeniu na jednostkę produkcji rolniczej wartości emisji są porównywalne lub nawet większe niż w rolnictwie tradycyjnym (Stolze i in. 2000). Gospodarstwa ekologiczne emitują co prawda mniej tlenu azotu, ale jednocześnie więcej metanu (Troccoli i in. 2015). Poza tym, wskazuje się, że gospodarstwa drobne (o małej wielkości ekonomicznej) mają poważne trudności w realizacji celów środowiskowych, podobnie jak gospodarstwa największe (Wrzaszcz 2013). Rolnicy prowadzący gospodarstwa średnie i duże, co zwykle wiąże się z ich lepszą sytuacją ekonomiczną, mogą przeznaczać większe środki na działania prośrodowiskowe (OECD 2001). Związek przyczynowo-skutkowy nie jest jednak w tym przypadku całkowicie wyjaśniony. Trudno stwierdzić, czy bogatsi

rolnicy uzyskują wyższe dochody na skutek swoich działań przyjaznych środowisku i sprzedaży lepszych jakościowo produktów albo dzięki płatnościom za dobra publiczne w ramach polityki rolnej, czy może to wyższe dochody umożliwiają im podjęcie troski o środowisko naturalne?

Osobnym problemem jest wpływ polityki rolnej na oddziaływanie środowiskowe rolnictwa. Podobnie jak w przypadku praktyk rolniczych, wpływ polityki rolnej nie jest jednoznaczny. Wskazuje się, że wpływ ten może zarówno pozytywny, jak i negatywny, gdy polityka wspiera intensyfikację produkcji (Stoate i in. 2009). Z drugiej strony programy wspierające ograniczenie produkcji, np. te prowadzone w USA, mogą sprzyjać poprawie stanu środowiska (Lubowski i in. 2006). Przywołani autorzy słusznie jednak zauważyli, że wpływ rolnictwa na środowisko zależy nie tylko od świadomie podejmowanych działań, ale również od naturalnych, przyrodniczych cech ziemi.

Oddziaływanie rolnictwa na środowisko można też rozważyć w kontekście rozwoju technologii. Przykładowo zwiększenie mechanizacji może oznaczać wzrost emisji spalin, jeśli jednak nowe maszyny byłyby tworzone z zastosowaniem bardziej nowoczesnych technologii, to można się spodziewać ograniczenia tejsze emisji, przynajmniej w przeliczeniu na ha bądź jednostkę produkcji. Adaptacja nowoczesnych technik produkcji w rolnictwie w krajach rozwijających się może spowodować, że mimo rosnącego popytu na żywność nie będzie potrzeby zwiększania areалу, gdyż możliwe będzie osiągnięcie większego plonu z jednego ha. To z kolei może powodować ograniczenie emisji zanieczyszczeń (Tilman i in. 2011).

3. Dane metody

Zastosowane podejście w istotnym stopniu różni się od dotychczas stosowanych ujęć w badaniu wpływu rolnictwa na środowisko. Skutki środowiskowe oceniono na podstawie skali emisji zanieczyszczeń powietrza przez rolnictwo w poszczególnych krajach. Badano sektor rolny jako całość, stosując podejście input-output na podstawie makroekonomicznego modelu gospodarki, którego prekursorem był Wassily Leontief (1966). Dział „Agriculture, Hunting, Forestry and Fishing” w tabeli input-otput przyjęto jako agregat rolnictwa. W rzeczywistości badany sektor obejmował producentów wszystkich surowców żywnościowych i pochodzenia organicznego. Źródłem danych była baza World Input-Output Database, satelickie rachunki Socio Economic Accounts oraz Environmental Accounts, a także dane Banku Światowego dotyczące wsparcia rolnictwa (wskaźnik NRA) oraz Międzynarodowego Funduszu Walutowego w zakresie PKB *per capita*. Badano okres 1995–2009 (uwarunkowany dostępnością danych) w 40 krajach świata.

Analiza została podzielona na dwa etapy. W pierwszym etapie wyznaczono typy rolnictwa na podstawie czynników o charakterze strukturalnym (makroekonomicznym). W tym celu wykonano analizę skupień, wykorzystując zestandaryzowane wartości wskazanych trzech zmiennych strukturalnych:

- PKB *per capita* w USD według parytetu siły nabywczej (źródło: Międzynarodowy Fundusz Walutowy),
- średnia powierzchnia gospodarstwa rolnego w danym kraju w ha (źródło: Lowder, Skoet, Singh 2014),
- poziom wsparcia rolnictwa mierzony wskaźnikiem NRA (*nominal rate of assistance*) z 2009 r. (na podstawie bazy World Bank's Distortions to Agricultural Incentives; Anderson, Nelgen 2013).

W drugim etapie oszacowano modele regresji panelowej dla każdego ze skupień A, B i C, jak w równaniu 1:

$$ZAN_{it} = W_{prod\ it} + C_{prod\ it} + L_{prod\ it} + Chem_{nakl\ it} + Mach_{nakl} + Elec_{nakl\ it} + \beta' x_i + \lambda' x_t + u \quad 1)$$

gdzie:

i – kraj; t – rok; ZAN – zanieczyszczenia powietrza (metan, tlenek azotu, amoniak i dwutlenek węgla, suma w kg na hektar); W_{prod} – produktywność pracy (wynagrodzenie pracy własnej w tys. USD na 1 rolnika); C_{prod} – produktywność kapitału (wskaźnik obejmujący wynagrodzenie kapitału w relacji do inwestycji w majątek trwały [GFCF] w tys. USD); L_{prod} – produktywność ziemi (wartość produkcji rolniczej w tysiącach USD na 1 ha); $Chemi_{nakl}$ – nakłady na środki chemiczne w tys. USD na ha; $Mach_{nakl}$ – nakłady na mechanizację w tys. USD na ha; $Elec_{nakl}$ – nakłady na elektryczność, gaz i zaopatrzenie w wodę w tys. USD na ha; $Chemi_{nakl} + Mach_{nakl} + Elec_{nakl}$ = nakłady związane z intensyfikacją produkcji; β' jest wektorem parametrów zmiennych zero-jedynkowych (*dummy variables*) dla krajów; λ' jest wektorem parametrów zmiennych zero-jedynkowych (*dummy variables*) dla lat; u – błąd losowy.

Wybrano liniową postać funkcji, ponieważ była najlepiej dopasowana. Problem intensyfikacji produkcji postrzegano nie tylko przez pryzmat wielkości nakładów sektora rolnego na środki chemiczne, mechaniczne, elektryczność, wodę i gaz (na ha), ale także poprzez to, co powinno być, przynajmniej w założeniu, skutkiem intensyfikacji, a więc wzrost wynagrodzenia czynników wytwórczych. W modelu ujęto sektorowe wydatki na środki chemiczne, elektryczność, gaz, wodę oraz maszyny, ale także wynagrodzenie czynnika pracy własnej rolnika, czynnika kapitału (wynagrodzenie kapitału w relacji do inwestycji w majątek trwały [GFCF] w tys. USD) oraz wydajność czynnika ziemi (wartość produkcji na hektar) przeliczone wg

wartości dolara z 1995 r. Zmienną objaśnianą było zanieczyszczenie powietrza (metan, tlenek azotu, amoniak i dwutlenek węgla) przez rolnictwo danego kraju w kg na hektar.

Żeby wyeliminować wpływ wahań kursów walutowych, wszystkie zmienne wyrażone są w tys. USD z 1995 r. Przyjęto, że różnice w stopach inflacji w poszczególnych krajach odzwierciedlone są w kursach walut narodowych w stosunku do dolara³.

W modelowaniu zastosowano następującą procedurę. Na podstawie macierzy korelacji oceniono współliniowość zmiennych. Następnie szacowano modele bazowe metodą najmniejszych kwadratów (KMNK) (wraz ze zmiennymi zero-jedynkowymi lat), uwzględniając jednak tylko te zmienne, które nie były współliniowe z pozostałymi ($VIF < 10$)⁴. W przypadku odrzucenia hipotezy o zasadności stosowania tego podejścia (na podstawie testu Breuscha–Pagana) estymowano modele panelowe z efektami stałymi i losowymi. Wpływ zmiennych zero-jedynkowych (tzw. *dummy variables*, DV) dla czynnika czasu pokazano również w modelach panelowych, żeby uchwycić starania różnych krajów na rzecz zmniejszenia emisji zanieczyszczeń powietrza. Ocena, który z tych modeli (z efektami stałymi – FE [*fixed effects*] czy losowymi – RE [*random effects*]) jest właściwy, została przeprowadzona na podstawie testu Hausmana. Docelowe modele estymowano, uwzględniając „odporne” (*robust*) błędy standardowe PCSE (Beck–Katz). W części wynikowej zaprezentowano dla każdego skupienia najpierw bazowy model KMNK ze zmiennymi zerojedynkowymi dla lat i dla krajów⁵ oraz docelowy model panelowy z odpornymi błędami standardowymi PCSE (Beck–Katz).

4. Wyniki

Przeprowadzenie analizy skupień pozwoliło na wyznaczenie trzech skupień. Wykorzystano metodę Warda z zastosowaniem odległości euklidesowej. W tabeli 2 zamieszczono wartości podstawowych statystyk opisowych dla poszczególnych skupień. Dla każdego ze skupień zaprezentowano model oszacowany metodą najmniejszych kwadratów oraz odpowiedni model panelowy.

³ Metodologia tworzenia rachunków w projekcie WIOD została omówiona w: Timmer i in. 2015; Gouma, Timmer, de Vries 2014; Genty, Arto, Neuwahl 2012.

⁴ Stąd zmienna „wartość produkcji w tys. USD przeliczeniu na ha” nie weszła ostatecznie do żadnego z trzech modeli.

⁵ Dodanie zmiennych zero-jedynkowych dla krajów w modelu MNK powoduje, że jego oszacowanie jest tożsame z modelem z efektami stałymi (FE). Uznano jednak, że warto pokazać współczynniki regresji dla poszczególnych krajów, które w modelu FE są zagregowane w wyrazie wolnym. Poza tym, jak zostało wspomniane, w docelowych modelach były stosowane odporne błędy standardowe.

Tabela 2. Statystyki opisowe skupień wykorzystanych w modelach regresji
Table 2. Descriptive statistics of designated clusters used in regression models

Statystyka		A	B	C
Wielkość gospodarstwa w ha	średnia	5,24	14,40	274,59
	mediana	6,50	11,31	55,52
	odchylenie standardowe	3,73	14,47	771,69
Średnia wartość PKB <i>per capita</i> PPP w USD	średnia	21 773,62	10 299,51	32 983,14
	mediana	22 190,36	11 235,53	31 709,98
	odchylenie standardowe	5 502,47	4 195,11	10 256,76
Średnia wartość NRA	średnia	0,41	0,18	0,26
	mediana	0,31	0,18	0,28
	odchylenie standardowe	0,22	0,13	0,08

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Banku Światowego, MFW oraz Lowder, Skoeth, Singh 2014.
 Source: Own study based on World Bank, IMF and Lowder, Skoeth, Singh 2014 data.

Skupienie A tworzyły państwa (Rumunia, Indonezja, Indie, Chiny, Turcja, Łotwa, Litwa, Słowacja, Estonia, Meksyk, Bułgaria, Brazylia) zazwyczaj relatywnie słabo rozwinięte (średnia wartość PKB *per capita* PPP 10 300 USD), w których rolnictwo, średnio biorąc, jest wspierane w niższym stopniu (średni poziom NRA 0,18). W grupie tej znajdują się państwa, gdzie przeciętna wielkość gospodarstwa jest najczęściej niewielka lub na średnim poziomie (średnio w skupieniu 14,4 ha). Wyjątek stanowiła Brazylia, gdzie dominowały duże gospodarstwa, jednakże tamtejszy typ rolnictwa jako całość kwalifikuje się do skupienia A.

Tabela 3. Efekty marginalne dla skupienia A w modelu z efektami stałymi (kraje o niskim PKB PPS *per capita*, małe gospodarstwa, zróżnicowane i rozdrobnione rolnictwo, niski poziom wsparcia)

Table 3. Marginal effect for A cluster in fixed effect model (countries with the lowest GDP per capita, small farms, fragmented or polarised agriculture, and low level of support)

	Współczynnik	Błąd standardowy	t-Studenta	Wartość p	Istotność
Const	213,082	11,1374	19,1321	< 0,0001	***
Wynagrodzenie kapitału w relacji do inwestycji w majątek trwały (GFCF) w tys. USD	1,65591	0,898105	1,8438	0,0923	*

Tabela 3. cd.
Table 3 – continued

	Współczynnik	Błąd standardowy	t-Studenta	Wartość p	Istotność
Wynagrodzenie pracy własnej w tys. USD na osobę	0,248971	0,136225	1,8276	0,0948	*
Nakłady na mechanizację w tys. USD na ha	-128,445	86,3656	-1,4872	0,1650	
1996	5,84095	14,1753	0,4120	0,6882	
1997	7,12385	14,6815	0,4852	0,6370	
1998	0,767826	14,4322	0,0532	0,9585	
1999	-7,86816	14,4922	-0,5429	0,5980	
2000	-4,95838	14,5686	-0,3403	0,7400	
2001	13,5033	14,6439	0,9221	0,3763	
2002	26,6479	14,7174	1,8106	0,0976	*
2003	29,7755	14,8235	2,0087	0,0698	*
2004	36,7731	14,8482	2,4766	0,0308	**
2005	36,6722	15,1077	2,4274	0,0336	**
2006	32,6521	15,1607	2,1537	0,0543	*
2007	34,9731	15,2531	2,2928	0,0426	**
2008	35,7887	15,3235	2,3355	0,0395	**
2009	36,1996	15,3168	2,3634	0,0376	**
Zmienne zerojedynkowe dla krajów w modelu szacowanym KMNK					
Bułgaria (ref. Brazylia)	98,5018	20,031	4,9175	< 0,0001	***
Chiny	137,04	12,6759	10,8111	< 0,0001	***
Estonia	112,523	12,7931	8,7956	< 0,0001	***
Indie	177,661	12,7552	13,9286	< 0,0001	***
Indonezja	258,355	13,4957	19,1435	< 0,0001	***
Litwa	24,1267	12,7172	1,8972	0,0597	*
Łotwa	163,155	12,6863	12,8607	< 0,0001	***
Meksyk	63,5078	12,6491	5,0207	< 0,0001	***
Rumunia	-50,2455	14,5375	-3,4563	0,0007	***
Słowacja	-49,172	12,7087	-3,8692	0,0002	***
Turcja	217,266	16,7552	12,9671	< 0,0001	***

Tabela 3 – cd.

Table 3 – continued

Statystyki opisowe wykorzystanych zmiennych			
Średn. arytm. zm. zależnej	234,78	Odch. stand.	105,12
W_{prod}	19,29	W_{prod}	44,76
C_{prod}	2,22	C_{prod}	3,94
L_{prod}	6,14	L_{prod}	11,99
$Chem_{nakt}$	0,20	$Chem_{nakt}$	0,36
$Mach_{nakt}$	0,04	$Mach_{nakt}$	0,09
$Elec_{nakt}$	0,06	$Elec_{nakt}$	0,10
KMNK DV R-kwadrat	0,908515	Wewnętrzny R-kwadrat	0,231804
Logarytm wiarygodności	-877,5880	Kryt. inform. Akaike'a	1813,176
Test Breuscha–Pagana: $p = \text{prob}(\text{chi-kwadrat}(1) > 743,125) = 1,25374\text{e-}163$			
Test Hausmana: $p = 0,00839581$			

***, **, * oznaczają poziom istotności, odpowiednio 1%, 5%, 10%.

Estymacja: ustalone efekty, z wykorzystaniem 180 obserwacji.

Zmienna zależna (Y): emisja zanieczyszczeń powietrza w kg na ha.

Odporne błędy standardowe Beck–Katz.

Źródło: opracowanie własne na podstawie rachunków National Input-Output Databases, Socio Economic Accounts i Environmental Accounts w ramach projektu World Input-Output Database.

Source: own study based on National Input-Output Databases, Socio Economic Accounts and Environmental Accounts, parts of the World Input-Output Database project.

Najlepiej dopasowanym modelem okazał się model panelowy z efektami stałymi (por. test Breuscha–Pagana oraz Hausmana, tabela 3). Wyjaśnił on niemal 91% zmienności emisji zanieczyszczeń powietrza, uwzględniając efekty indywidualne krajów (LSDV $R^2 = 0,9085$), które są stałe w czasie (a różne w przestrzeni). Zawierają się one w wyrazie wolnym modelu 3, natomiast szczegółowo przedstawiają je współczynniki DV (*dummy variables*) z modelu KMNK (tabela 3). Wewnętrzny R^2 wyjaśnił 23% zmienności emisji zanieczyszczeń. Należy przypomnieć, że analizowany był stos szeregów czasowych (tj. lata 1995–2009 dla każdego kraju), czyli „within R^2 ” przypisywał zmienność emisji zanieczyszczeń do zmiennych objaśniających, które wahały się w czasie (pomijając efekty indywidualne krajów). Czas miał mniejsze znaczenie niż efekty indywidualne krajów. Świadczy to o powolnej ewolucji kierunków rozwoju rolnictwa w tych krajach. Potwierdziła to analiza zmiennych zero-jedynkowych dla poszczególnych lat w tabeli 3, z której wyraźnie wynika, że w porównaniu z pierwszym rokiem analizy (1995) w kolejnych okresach tendencja spadkowa emisji zanieczyszczeń nie wystąpiła. W latach

1999–2000 emisja na ha była niższa niż w 1995, ale później tendencja uległa odwróceniu. W 2009 r. emisja była o 36,2 kg/ha wyższa niż w 1995.

Jeśli chodzi o efekty marginalne, to:

- znak przy zmiennej dotyczącej wydatków na mechanizację wskazuje, że wzrost tych nakładów zmniejsza emisję zanieczyszczeń (na każdy 1000 USD emisja spada o 128,5 kg na ha). Zmienna okazała się jednak nieistotna statystycznie, dodatkowo była niestabilna (zależna od specyfikacji modelu), stąd nie można na jej podstawie jednoznacznie wnioskować. Wzrost dochodów pracy własnej przekładał się na wyższą emisję zanieczyszczeń (czyli bogatsi rolnicy w większym stopniu szkodzili środowisku), podobnie zresztą jak rentowność kapitału. W uproszczeniu przyjęto, że bogatsi rolnicy (rybacy) w tych krajach w większym stopniu inwestują w technologie intensywne, szkodliwe dla środowiska, jednakże nie stwierdzono dokładnie, jaki charakter mają te inwestycje.
- Fakt, że w modelu istotna była wyłącznie dochodowość, wskazuje, że gospodarstwa w skupieniu znajdują się na stosunkowo wczesnym etapie rozwoju, była to w pewnym sensie faza preindustrialna. Emisja zanieczyszczeń była tam wciąż na niskim poziomie, jednak bogacenie się rolników pozwalało zwiększyć im intensywność gospodarowania, co skutkowało stopniowym wzrostem emisji.
- Analiza efektów indywidualnych pozwoliła zbudować interesujący ranking krajów w tej grupie według poziomu emisji zanieczyszczeń na ha. Najgorzej wypadają Indonezja, Turcja, Indie, a najlepiej Rumunia, Słowacja i Brazylia.
- Należy zauważyć, że przeciętne wartości zmiennej objaśnianej w badanej grupie były zdecydowanie najniższe, czyli emisja w biedniejszych krajach pozostawała w badanym okresie na niższym poziomie. Praca własna była średnio wynagradzana nawet lepiej niż w skupieniu B, jednak przy znacznie wyższym zróżnicowaniu między krajami, na co wskazuje wysoka wartość odchylenia standardowego, znacznie przekraczającego średnią. Względnie dobrze w tym skupieniu wynagradzany był kapitał, co mogło wynikać ze specyfiki w zakresie własności gospodarstw. Jeśli chodzi o nakłady, to były one relatywnie niskie. Wydatki na technologie energochłonne i na mechanizację wyniosły odpowiednio 60 i 40 USD 1995 na hektar). Co ciekawe, wydatki na chemizację były względnie wysokie (średnio 200 USD na ha).

Skupienie B obejmowało 11 krajów (Cypr, Grecja, Japonia, Korea Południowa, Malta, Polska, Rosja, Słowenia, Tajwan, Węgry, Włochy). Jest to skupienie, w którym dominują państwa o przeciętnej wielkości PKB *per capita* PPP (średnio 21 774 USD), średnia wielkość gospodarstwa jest względnie najniższa (5,24 ha), wysoki jest za to poziom wsparcia NRA (średnio 0,41).

Tabela 4. Efekty marginalne dla skupienia B w modelu z efektami stałymi (średnie wartości PKB *per capita*, małe gospodarstwa, rozdrobnione i zróżnicowane rolnictwo, średni poziom wsparcia)

Table 4. Marginal effects for B cluster in fixed effect model (medium GDP per capita, small farms, fragmented or polarised agriculture, medium level of support)

	Współczynnik	Błąd standardowy	t-Studenta	Wartość p	Istotność
Const	1033,67	198,812	5,1992	0,0004	***
Wynagrodzenie kapitału w relacji do inwestycji w majątek trwały (GFCF) w tys. USD	18,0787	12,2836	1,4718	0,1718	
Wynagrodzenie pracy własnej w tys. USD na osobę	62,2455	10,9137	5,7034	0,0002	***
Nakłady na środki chemiczne w tys. USD na ha	-633,707	302,935	2,0919	0,0629	*
Nakłady na mechanizację w tys. USD na ha	555,309	706,371	0,7861	0,4500	
Nakłady na elektryczność, gaz i zaopatrzenie w wodę w tys. USD na ha	4309,4	1123,32	3,8363	0,0033	***
1996 (ref. 1995)	-65,1121	145,09	-0,4488	0,6632	
1997	-100,848	146,706	-0,6874	0,5074	
1998	-234,152	148,122	-1,5808	0,1450	
1999	-300,861	151,278	-1,9888	0,0748	*
2000	-299,444	153,702	-1,9482	0,0800	*
2001	-358,116	162,33	-2,2061	0,0519	*
2002	-414,19	166,684	-2,4849	0,0323	**
2003	-516,344	173,977	-2,9679	0,0141	**
2004	-582,979	178,612	-3,2639	0,0085	***
2005	-765,624	186,538	-4,1044	0,0021	***
2006	-1096,53	202,396	-5,4178	0,0003	***
2007	-1259,15	212,215	-5,9334	0,0001	***
2008	-1593,33	244,76	-6,5098	< 0,0001	***
2009	-1589,61	244,24	-6,5084	< 0,0001	***

Tabela 4 – cd.

Table 4 – continued

	Współczynnik	Błąd standardowy	t-Studenta	Wartość p	Istotność
Zmienne zero-jedynkowe dla krajów w modelu szacowanym KMNK					
Grecja (ref. Cypr)	696,593	216,873	3,2120	0,0017	***
Japonia	4975,09	348,039	14,2946	< 0,0001	***
Korea Południowa	6437,31	385,886	16,6819	< 0,0001	***
Malta	86,3327	370,051	0,2333	0,8159	
Polska	1168,03	301,295	3,8767	0,0002	***
Rosja	881,08	274,215	3,2131	0,0017	***
Słowenia	-66,7645	214,718	-0,3109	0,7564	
Tajwan	4191,44	272,728	15,3686	< 0,0001	***
Węgry	804,685	245,947	3,2718	0,0014	***
Włochy	-307,383	169,321	-1,8154	0,0718	*
Statystyki opisowe wykorzystanych zmiennych					
Średn. arytm. zm. zależnej	1755,06	Odch. stand.		2009,55	
W_{prod}	16,29	W_{prod}		9,64	
C_{prod}	-0,27	C_{prod}		5,62	
L_{prod}	11,92	L_{prod}		11,74	
$Chem_{nakł}$	0,43	$Chem_{nakł}$		0,50	
$Mach_{nakł}$	0,12	$Mach_{nakł}$		0,20	
$Elec_{nakł}$	0,11	$Elec_{nakł}$		0,11	
KMNK DV R-kwadrat	0,977105	Wewnętrzny R-kwadrat		0,440504	
Logarytm wiarygodności	-1127,015	Kryt. inform. Akaike'a		2314,031	
Test Hausmana: $p = 1,20372e-017$					
Test Breuscha-Pagana: $p = \text{prob}(\text{chi-kwadrat}(1) > 119,721) = 7,28291e-028$					

***, **, * oznaczają poziomy istotności, odpowiednio 1%, 5%, 10%.

Estymacja: ustalone efekty, z wykorzystaniem 165 obserwacji.

Zmienna zależna (Y): emisja zanieczyszczeń powietrza w kg na ha.

Błędy standardowe (Beck-Katz).

Źródło: opracowanie własne na podstawie rachunków National Input-Output Databases, Socio Economic Accounts i Environmental Accounts w ramach projektu World Input-Output Database.

Source: own study based on National Input-Output Databases, Socio Economic Accounts and Environmental Accounts, parts of the World Input-Output Database project.

Model wyjaśnił niemal 98% zmienności emisji zanieczyszczeń powietrza, uwzględniając efekty indywidualne krajów (KMNK DV $R^2 = 0,9771$), które są stałe

w czasie (a różne w przestrzeni). Wewnątrzgrupowy R^2 wyjaśnił 44% zmienności wewnątrz skupienia. Świadczy to o szybszej ewolucji kierunków rozwoju rolnictwa w tych krajach niż w skupieniu A. Potwierdza to analiza zmiennych zero-jedynkowych dla poszczególnych lat w tabeli 4, z której wynika, że w porównaniu z pierwszym rokiem analizy (1995) widać wyraźną tendencję spadkową emisji zanieczyszczeń. W roku 2009 emisja na ha była niższa od tej w 1995 o 1589,6 kg/ha. W tej grupie krajów proekologiczne dostosowania rolnictwa były najbardziej widoczne, w całym okresie analizy.

Co do efektów marginalnych:

- Co ciekawe, wzrost wydatków na chemizację (w tys. USD z 1995), prowadził do mniejszej emisji zanieczyszczeń (o 663 kg/ha). W artykule nie analizuje się biochemicznych aspektów tego problemu. Istnieją raporty, które pokazują, że postęp technologiczny w produkcji nawozów i agrotechniczny w nawożeniu jest relatywnie najszybszy i przyczynia się do znacznej redukcji zanieczyszczeń (EAA 2009). Efektywność stosowania azotu w krajach wysoko rozwiniętych wzrosła z 30% w połowie lat 80. do średnio 60% w 2009 r. (EAA 2009). Niektóre analizy (np. IFA 2009) wskazują, że prawidłowe używania nawozów sztucznych sprawia, iż rośliny produkują więcej energii niż jest potrzebne podczas procesu produkcji, transportu i zastosowania nawozu. Ponadto możliwa jest konwersja CO_2 w biomasę poprzez proces fotosyntezy. Pozytywny wpływ agrotechniki i jakości nawozów na emisję potwierdzony został m.in. przez Catherine Henault i współpracowników (1998), Elizabeth A. Kaiser i współpracowników (1998) czy Marka Zielińskiego (2014). Usprawnienia technologiczne w stosowaniu nawozów niewątpliwie przyczyniły się więc do redukcji emisji N_2O (Parton i in. 2011). Poza tym w skupieniu B wyjściowy poziom nawożenia był relatywnie niski. Mimo wzrostu nawożenia poziom stężenia azotu w glebie, przy którym rośnie emisja N_2O , nie został osiągnięty. Dyfuzja postępu technologicznego i agrotechnicznego była w tej grupie duża za sprawą względnie wysokiego poziomu wsparcia dla rolnictwa.
- Wzrost wydatków na mechanizację w tej grupie krajów potencjalnie zwiększał emisję zanieczyszczeń, jednakże zmienna ta okazała się statystycznie nieistotna i wysoce zależna od specyfikacji modelu.
- Jednocześnie wzrost dochodów pracy przekłada się na wyższą emisję, podobnie jak rentowność kapitału (ta druga zmienna jest jednak nieistotna statystycznie). Można więc w uproszczeniu przyjąć interpretację, że bogatsi rolnicy (rybacy) w tych krajach inwestują w technologie energochłonne, mniej przyjazne środowisku, zapewne związane z produkcją zwierzęcą.
- Zmienna „elektryczność, gaz, zaopatrzenie w wodę” wywiera silny wpływ na emisję w tej grupie. Był to skutek dominacji produkcji zwierzęcej w badanym skupieniu, która jednak emituje więcej gazów niż produkcji roślinna.

- Analiza efektów indywidualnych wskazuje, że w tej grupie najgorzej wypadają Korea Południowa, Japonia, Tajwan, a najlepiej Cypr, Włochy, Słowenia.

Państwa w skupieniu B odznaczały się najwyższą średnią, jeśli chodzi o emisję zanieczyszczeń na ha. Może to wskazywać na dążenie w tych krajach do industrialnego typu rozwoju rolnictwa, który nastawiony jest na osiągnięcie wysokich efektów, nawet jeśli towarzyszyć miałyby temu negatywne efekty zewnętrzne i znaczne nakłady. Takie wnioskowanie zdają się potwierdzać dane dotyczące przeciętnej produktywności ziemi w skupieniu (choć należy zauważyć, że średnia jest kształtowana głównie dzięki wysokiej wartości produkcji z ha w krajach azjatyckich) oraz ponoszonych nakładów. Średnie wartości nakładów są w tym skupieniu najwyższe we wszystkich kategoriach (chemizacja, mechanizacja, technologie elektrochłonne).

Największe skupienie (C) obejmowało 17 względnie wysoce rozwiniętych krajów (PKB *per capita* PPP wynosi 32 983 USD). Były to Portugalia, Hiszpania, Niemcy, Finlandia, Irlandia, Belgia, Holandia, Austria, Luksemburg, Wielka Brytania, Szwecja, Francja, Kanada, Dania, Czechy, USA, Australia). Średnia wartość wsparcia NRA wynosi 0,26 i na tle innych skupień jest względnie równa między krajami (niskie odchylenie standardowe). W skupieniu znalazły się kraje, gdzie średnia powierzchnia gospodarstwa jest względnie wysoka.

Tabela 5. Efekty marginalne dla skupienia C w modelu z efektami stałymi (wysoki PKB PPS *per capita*, średnie i duże gospodarstwa, homogeniczne rolnictwo, wysoki poziom wsparcia)

Table 5. Marginal effects for C cluster in fixed effect model (high GDP per capita, medium and large farms, homogeneous agriculture, high level of support)

	Współczynnik	Błąd standardowy	t-Studenta	Wartość p	Istotność
Const	1300,89	61,6649	21,0961	<0,0001	***
Wynagrodzenie kapitału w relacji do inwestycji w majątek trwały (GFCF) w tys. USD	-10,6675	15,7413	-0,6777	0,5077	
Wynagrodzenie pracy własnej w tys. USD na osobę	-4,26629	1,97587	-2,1592	0,0464	**
Nakłady na środki chemiczne w tys. USD na ha	-992,687	260,957	-3,8040	0,0016	***
Nakłady na mechanizację w tys. USD na ha	-538,375	302,783	-1,7781	0,0944	*

Tabela 5 – cd.

Table 5 – continued

	Współczynnik	Błąd standardowy	t-Studenta	Wartość p	Istotność
Nakłady na elektryczność, gaz i zaopatrzenie w wodę w tys. USD na ha	-1546,31	196,056	-7,8871	<0,0001	***
1996 (ref. 1995)	41,945	29,9803	1,3991	0,1809	
1997	-21,7272	30,1257	-0,7212	0,4812	
1998	-23,4265	30,2496	-0,7744	0,4500	
1999	-40,0171	30,7488	-1,3014	0,2115	
2000	-69,9916	31,2894	-2,2369	0,0399	**
2001	-54,6498	31,5941	-1,7298	0,1029	
2002	-93,7054	32,2985	-2,9012	0,0104	**
2003	-84,4556	32,6479	-2,5869	0,0199	**
2004	-75,5083	33,0053	-2,2878	0,0361	**
2005	-65,3555	34,2124	-1,9103	0,0742	*
2006	-63,222	34,6031	-1,8271	0,0864	*
2007	-39,2588	35,5821	-1,1033	0,2862	
2008	20,3431	51,292	0,3966	0,6969	
2009	-35,6072	57,8743	-0,6153	0,5470	
Zmienne zero-jedynkowe w modelu szacowanym metodą najmniejszych kwadratów					
Austria (ref. Australia)	545,515	68,547	7,9583	< 0,0001	***
Belgia	3079,57	150,176	20,5064	< 0,0001	***
Czechy	759,537	53,2065	14,2753	< 0,0001	***
Dania	1307,69	51,8458	25,2227	< 0,0001	***
Finlandia	1264,01	53,7001	23,5384	< 0,0001	***
Francja	860,237	67,0413	12,8315	< 0,0001	***
Hiszpania	482,47	55,7431	8,6552	< 0,0001	***
Holandia	7302,45	176,349	41,4092	< 0,0001	***
Irlandia	478,429	47,5963	10,0518	< 0,0001	***
Kanada	132,303	51,8474	2,5518	0,0115	**
Luksemburg	582,024	76,8505	7,5735	< 0,0001	***
Niemcy	1014,24	74,2532	13,6592	< 0,0001	***
Portugalia	466,534	69,0539	6,7561	< 0,0001	***
Szwecja	149,259	44,5875	3,3475	0,0010	***

Tabela 5 – cd.
Table 5 – continued

	Współczynnik	Błąd standardowy	t-Studenta	Wartość p	Istotność
USA	188,686	34,5436	5,4623	< 0,0001	***
Wielka Brytania	536,988	42,2317	12,7153	< 0,0001	***
Statystyki opisowe wykorzystanych zmiennych					
Średn. arytm. zm. zależnej	845,49	Odch. stand.		1279,67	
W_{prod}	27,78	W_{prod}		13,92	
C_{prod}	1,01	C_{prod}		1,41	
L_{prod}	3,34	L_{prod}		3,64	
$Chem_{nakt}$	0,13	$Chem_{nakt}$		0,12	
$Mach_{nakt}$	0,05	$Mach_{nakt}$		0,07	
$Elec_{nakt}$	0,09	$Elec_{nakt}$		0,18	
KMNK DV R-kwadrat	0,996063	Wewnątrzgrupowy R-kwadrat		0,565165	
Logarytm wiarygodności	-1346,187	Kryt. inform. Akaike'a		2764,373	
Test Hausmana: $p = 1,87996e-255$					
Test Breuscha–Pagana: $p = \text{prob}(\text{chi-kwadrat}(1) > 270,478) = 8,92843e-061$					

**, **, * oznaczają poziom istotności, odpowiednio 1%, 5%, 10%.

Estymacja: ustalone efekty, z wykorzystaniem 232 obserwacji.

Zmienna zależna (Y): emisja zanieczyszczeń powietrza w kg na ha.

Odporne błędy standardowe Beck–Katz.

Źródło: opracowanie własne na podstawie rachunków National Input-Output Databases, Socio Economic Accounts i Environmental Accounts w ramach projektu World Input-Output Database.

Source: own study based on National Input-Output Databases, Socio Economic Accounts and Environmental Accounts, parts of the World Input-Output Database project.

W skupieniu C dominowały bogate kraje UE. Oznacza to, że Europejski Model Rolnictwa, mimo krytyki i zarzutów dotyczących braku spójnej wizji, najlepiej na świecie realizuje koncepcję rozwoju zrównoważonego. Powyższy model wyjaśnił 99% zmienności emisji zanieczyszczających gazów, uwzględniając efekty indywidualne krajów (KMNK DV $R^2 = 0,9961$), które są stałe w czasie (a różne w przestrzeni)⁶. Wewnątrzgrupowy R^2 wyjaśnia 56% zmienności wewnątrz skupienia. Wskazuje to na najlepsze dopasowanie wśród badanych skupień. Czynniki

⁶ Zmienna wielkość produkcji na ha jest silnie współliniowa ze zmiennymi z obrazującymi nakłady związane z intensyfikacją produkcji (współczynnik korelacji liniowej powyżej 0,8), ale jej usunięcie w niewielkim stopniu zmienia współczynniki regresji i nie wpływa na wnioski. W celu utrzymania porównywalności między skupieniami zmienna została pozostawiona w modelu.

czasu miał w tej grupie relatywnie największe znaczenie. Świadczy to o najszybszej ewolucji istniejącego typu rolnictwa w porównaniu z innymi skupieniami. Współczynniki regresji przy latach wskazują jednak (tabela 5), że najszybszy środowiskowy postęp zachodził do roku 2004, a potem emisja zanieczyszczeń uległa stabilizacji.

Co do efektów marginalnych:

- Tylko w tym modelu wzrost dochodów pracy własnej przekładał się na niższą emisję zanieczyszczeń (czyli bogatsi rolnicy w mniejszym stopniu szkodzili środowisku), podobnie jak wzrost rentowności kapitału (jest to jednak zmienna nieistotna statystycznie). W uproszczeniu przyjęto interpretację, że bogatsi rolnicy (rybacy) w tych krajach inwestowali w technologie przyjazne środowisku, we wszystkich obszarach: chemizacji, mechanizacji, dostarczaniu energii. Świadczy to o rosnącej świadomości środowiskowej i wiedzy agrotechnicznej, a także o szybkiej dyfuzji postępu technicznego. W krajach skupienia C zaobserwowano postindustrialny etap rozwoju rolnictwa.
- Efekt marginalny zmiennej „elektryczność, gaz, zaopatrzenie w wodę” był wyjątkowo silny: wzrost wydatków o 1000 USD powodował spadek emisji zanieczyszczeń powietrza o 1546 kg/ha. Oznacza to szybki postęp w dziedzinie energooszczędnych technologii produkcji.
- Jeśli chodzi o porównania między krajami, w skupieniu pozytywnie wyróżniały się kraje takie jak Kanada, Szwecja, USA. Z kolei Holandia, Belgia i Dania odznaczały się wyższym poziomem emisji.

Najbogatsze kraje skupienia C charakteryzował umiarkowany poziom emisji zanieczyszczeń powietrza. Wysoka wartość odchylenia standardowego wskazuje jednak na silne zróżnicowanie w tej grupie państw. Nakłady związane z intensyfikacją w przeliczeniu na ha są we wszystkich kategoriach niższe niż w skupieniu A, nie przeszkadzało to jednak w uzyskiwaniu wysokiego wynagrodzenia czynnika pracy (średnio 27,8 tys. USD na pracownika). Wydaje się zatem, że kraje skupienia C w najwyższym stopniu realizowały zrównoważony typ rozwoju rolnictwa we wszystkich jego aspektach.

W tabeli 6 zamieszczono podsumowanie kierunku i względnej siły wpływu poszczególnych zmiennych (*ceteris paribus*) na emisję zanieczyszczeń powietrza (strzałka „w górę” oznacza pozytywny wpływ, czyli zmniejszanie emisji). Strzałki „w dół” w obszarze zmiennych związanych z intensywnością gospodarowania (z szarym wypełnieniem) wskazują na problemowe obszary rozwoju rolnictwa.

Tabela 6. Porównanie efektów marginalnych dla modeli A, B i C*
Table 6. Comparison of marginal effects for models A, B and C*

Wpływ na emisję zanieczyszczeń (kg per ha): ↑ pozytywny ↓ negatywny	Kraje skupienia A (niski PKB PPS <i>per capita</i> , małe gospodarstwa zróżnicowane i rozdrobnione rolnictwo, niski poziom wsparcia)	Kraje skupienia B (przeciętny PKB PPS <i>per capita</i> , małe gospodarstwa, zróżnicowane i rozdrobnione rolnictwo, średni poziom wsparcia)	Kraje skupienia C (wysoki PKB PPS <i>per capita</i> , średnie i duże gospodarstwa, homogeniczne rolnictwo, wysoki poziom wsparcia)
Wynagrodzenie pracy własnej w tys. USD na 1 rolnika	↓	↓	↑
Wynagrodzenie kapitału w relacji do inwestycji w majątek trwały (GFCF) w tys. USD	↓	↓	↑
Nakłady na mechanizacja w tys. USD na ha	↑	↓	↑
Nakłady na elektryczność, gaz i zaopatrzenie w wodę w tys. USD na ha	–	↓↓	↑↑
Nakłady na środki chemiczne w tys. USD na ha	–	↑	↑↑
czas	–	↑↑ (cały okres)	↑↑↑ (do 2004)

* Dokładne wartości efektów marginalnych zamieszczono w tabelach 3–5.

Źródło: opracowanie własne.
 Source: own study.

5. Podsumowanie

Przeprowadzone analizy dowiodły, że sprzeczność między realizacją celów środowiskowych i ekonomicznych w sektorze rolnym nie musi występować. Przykładem tego jest skupienie C składające się w większości z krajów „starej” UE15. Zaprezentowane modele wskazują na pozytywną korelację wynagrodzenia czynników wytwórczych i realizacji celów ekologicznych w postaci obniżki emisji zanieczyszczeń w tych krajach. Odpowiada to po części na wątpliwości postawione w przywoływanym raporcie OECD (2001). Zamożność rolników oceniana przez pryzmat ich dochodów sprzyja realizacji celów środowiskowych. Przedmiotem dalszych badań może być próba odpowiedzi, w jakim stopniu jest to spowodowane rosnącą świadomością rolników, a w jakim wymogami polityki rolnej

i środowiskowej, czy po prostu możliwością inwestowania w technologie bardziej przyjazne środowisku.

Badania były również próbą wskazania obszarów problemowych w rozwoju rolnictwa w skupieniach A i B, na których powinna koncentrować się polityka rolna i środowiskowa. Chodzi tutaj o wskazanie ogólnego kierunku działania, a nie szczegółowe wytyczne. W grupie krajów średniozamożnych brakuje naturalnych uwarunkowań i bodźców do implementacji technologii energooszczędnych – należy więc je tworzyć. Problematyczna jest też kwestia mechanizacji. Jej wpływ na emisję zanieczyszczeń w tej grupie nie jest oczywisty. Wynika to ze specyficznego procesu, który dokonuje się w tej grupie krajów polegającego na wymianie parku maszynowego, co jest stymulowane wsparciem inwestycyjnym, np. w ramach wspólnej polityki rolnej. W grupie krajów najsłabiej rozwiniętych jest wiele barier dla zrównoważonego rozwoju. Modele wskazują na problem inwestycji w prawdopodobnie przestarzałe rozwiązania technologiczne. Paradoksalnie może to też być kwestia niskiej zamożności rolników. Co prawda wzrost wynagrodzenia pracy w tej grupie powoduje jeszcze wzrost emisji, ale być może z czasem osiągnięcie podobnego poziomu dochodów jak w skupieniu C może przyczynić się do wzrostu świadomości ekologicznej rolników, inwestowania w technologie bardziej przyjazne środowisku i tym samym ograniczenia emisji.

Bibliografia

- Anderson K., Nelgen S. (2013). *Updated National and Global Estimates of Distortions to Agricultural Incentives, 1955 to 2011*. Washington DC: World Bank.
- Cauwenbergh Van N., Biala K., Bielders C., Brouckaert V., Franchois L., Ciudad V.G., [...] Sauvenier X. (2007). SAFE – A hierarchical framework for assessing the sustainability of agricultural systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 120 (2), 229–242.
- Czyżewski A., Stępień S. (2011). Wspólna polityka rolna UE po 2013 r. a interesy polskiego rolnictwa. *Ekonomista*, 1, 9–36.
- EAA (2009). Technical raport 4, <http://www.copacogeca.be/Download.ashx?ID=836589> [dostęp: 4.09.2016].
- Eurostat (2016). *Greenhouse Gas Emissions by Industries and Households*. http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Greenhouse_gas_emissions_by_industries_and_households#CO2.C2.A0equivalents [dostęp: 01.09.2016].
- Galan M.B., Peschard D., Boizard H. (2007). ISO 14 001 at the farm level: Analysis of five methods for evaluating the environmental impact of agricultural practices. *Journal of Environmental Management*, 82 (3), 341–352.
- Genty A., Arto I., Neuwahl F. (2012). *Final Database of Environmental Satellite Accounts: Technical Report on Their Compilation*. WIOD Documentation.

- German R.N., Thompson C.E., Benton T.G. (2016). Relationships among multiple aspects of agriculture's environmental impact and productivity: A meta-analysis to guide sustainable agriculture. *Biological Reviews*, 92 (2), 716–738.
- Gouma R., Timmer M., de Vries G. (2014). Employment and Compensation in the WIOD Socio-Economic Accounts (SEA): Revision for 2008–2009 and new data for 2010/2011, http://www.wiod.org/protected3/data13/update_sep12/SEA%20Sources_June2014.pdf [dostęp: 01.09.2016].
- Hamuda H.E.A.F.B., Patkó I. (2010). Relationship between environmental impacts and modern agriculture. *Óbuda University e-Bulletin*, 1, 87–98.
- Henault C., Devis X., Page S., Justes E., Reau R., Germon J.C. (1998). Nitrous oxide emissions from different soil and land management conditions. *Biology and Fertility of Soils*, 26 (3), 199–207.
- IFA (2009). *Climate Change and Enhancing Agricultural Productivity and Sustainability*. International Fertilizer Industry Association, Paris, 3–10.
- Kaiser E.A., Kohrs K., Kucke M., Schnug E., Heinemeyer O., Munch J.C. (1998). Nitrous oxide release from arable soil: Importance of N-fertilisation, crops and temporal variation. *Soil Biology and Biochemistry*, 30 (12), 1553–1563.
- Leontief W. (1966). *Input-output Economics*. New York: Oxford University Press.
- Lesschen J.P., Velthof G.L., de Vries W., Kros J. (2011). Differentiation of nitrous oxide emission factors for agricultural soils. *Environmental Pollution*, 159, 3215–3222.
- Lowder S.K., Skoet J., Singh S. (2014). *What do we Really Know about the Number and Distribution of Farms and Family Farms in the World?* Background paper for the State of Food and Agriculture, 8. Rome FAO, Agricultural Development Economics Div.
- Lubowski R.N., Bucholtz S., Claassen R., Roberts M.J., Cooper J.C., Gueorguieva A., Johansson R. (2006). Environmental effects of agricultural land-use change. *Economic Research Report*, 25, 1–75.
- OECD (2001). *Environmental Indicators for Agriculture: Methods and Results*. Organisation for Economic Co-operation and Development.
- Parton W.J., Del Grosso S.J., Marx E., Swan A.L. (2011). Agriculture's role in cutting greenhouse gas emissions. *Issues in Science and Technology*, 27 (4).
- Payraudeau S., van der Werf H.M. (2005). Environmental impact assessment for a farming region: A review of methods. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 107 (1), 1–19.
- Sabiha N.E., Salim R., Rahman S., Rola-Rubzen M.F. (2015). Measuring environmental sustainability in agriculture: A composite environmental impact index approach. *Journal of Environmental Management*, 166, 84–93.
- Stoate C., Báldi A., Beja P., Boatman N.D., Herzog I., Van Doorn A., [...] Ramwell C. (2009). Ecological impacts of early 21st century agricultural change in Europe – a review. *Journal of Environmental Management*, 91 (1), 22–46.
- Stolze M., Piorr A., Häring A.M., Dabbert S. (2000). *Environmental Impacts of Organic Farming in Europe*. Stuttgart-Hohenheim: Universität Hohenheim (seria: Organic farming in Europe: Economics and Policy, t. 6).

- Tilman D., Balzer C., Hill J., Befort B.L. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108 (50), 20260–20264.
- Timmer M.P., Dietzenbacher E., Los B., Stehrer R., Vries G.J. (2015). An illustrated user guide to the world input–output database: The case of global automotive production. *Review of International Economics*, 23 (3), 575–605.
- Torrellas M., Antón A., Montero J.I. (2013). An environmental impact calculator for greenhouse production systems. *Journal of Environmental Management*, 118, 186–195.
- Troccoli A., Maddaluno C., Mucci M., Russo M., Rinaldi M. (2015). Is it appropriate to support the farmers for adopting conservation agriculture? Economic and environmental impact assessment. *Italian Journal of Agronomy*, 10 (4), 169–177.
- Walls M. (2006). *Agriculture and Environment*. SCAR Foresight Group.
- Werf Van der H.M., Petit J. (2002). Evaluation of the environmental impact of agriculture at the farm level: A comparison and analysis of 12 indicator-based methods. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 93 (1), 131–145.
- Wirén-Lehr S. von (2001). Sustainability in agriculture – an evaluation of principal goal-oriented concepts to close the gap between theory and practice. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 84 (2), 115–129.
- Wrzaszcz W. (2013). Zrównoważenie indywidualnych gospodarstw rolnych w Polsce objętych FADN. *Zagadnienia Ekonomiki Rolnej*, 334 (1), 73–90.
- Zieliński M. (2014). Emisja gazów cieplarnianych a efektywność funkcjonowania polskich gospodarstw specjalizujących się w produkcji roślinnej. *Zeszyty Naukowe SGGW w Warszawie. Problemy Rolnictwa Światowego*, 14 (3), 226–235.

The Influence of Farming Types on Greenhouse Gases Emissions

Abstract: Problems related to the quality of natural environment are currently the major challenges facing the agricultural sector. The main issue is the air pollution associated with greenhouse gases but also with other pollutants. In terms of the impact of agriculture on the environment numerous studies have been conducted, however, they often fail to take into account economic determinants. The main goal of the article was to examine how the economic characteristics of different types of farming affect pollutants emissions. Characteristics both in micro- (remuneration of work force, expenditures related to the intensity of land management) and macro-scale (GDP per capita, average farm size, level of financial support to the agricultural sector) are taken into account. The hypothesis is that the productivity of factors and the characteristics describing the intensity of farming otherwise affect the emission of air pollutants according to the type of agriculture. The study covers the years 1995–2009 in 40 countries by using panel regression. It turns out that the type of agriculture in developed countries can effectively combine economic and

environmental goals. In less developed countries growing labour and capital compensation still promote the increase of air pollutants emissions. In the middle-income countries there is a need for incentives to introduce energy-saving technologies.

Key words: air pollution, types of agriculture, intensification, production factors compensation.