Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
Wydział Ekonomiczny
Kierunek: Ekonomia
numer albumu 140 753

**Joanna Łukasiewicz**

# INTENSYWNOŚĆ ENERGETYCZNA PRODUKCJI ŻYWNOŚCI W POLSCE

# ENERGY INTENSITY OF FOOD PRODUCTION IN POLAND

Praca magisterska

| | |
|---|---|
| Katedra: | Katedra ekonomii i polityki gospodarczej w agrobiznesie |
| Seminarium: | prof. dr hab. Walenty Poczta |
| Promotor: | dr Bartłomiej Bajan |

Pracę przyjęto

.....
(data i podpis promotora)

Poznań, 2023

**Spis treści**

Streszczenie ..... 3
Wstęp ..... 4
Cel i zakres badań ..... 6
Materiał i metoda badań ..... 7
1. Zużycie energii w gospodarce ..... 8
1.1 Ewolucja roli energii w rozwoju gospodarczym ..... 8
1.2 Intensywność energetyczna – istota i sposoby pomiaru ..... 13
1.3 Źródła i uwarunkowania prawne zużycia energii w Polsce ..... 16
2. Zużycie energii w produkcji żywności ..... 21
2.1 Rozkład zużycia energii w łańcuchu dostaw żywności ..... 21
2.2 Intensywność energetyczna produkcji żywności na świecie - przegląd literatury 25
2.3 Sposób pomiaru intensywności energetycznej produkcji żywności w Polsce ..... 30
3. Charakterystyka systemu produkcji żywności w Polsce ..... 44
3.1 Potencjał produkcyjny rolnictwa ..... 44
3.2 Struktura zużycia energii ..... 51
3.3 Struktura nakładów gałęzi produkujących żywność ..... 57
4. Pomiar intensywności energetycznej produkcji żywności ..... 64
4.1 Wyniki dochodowe gałęzi produkujących żywność ..... 64
4.2 Wyniki intensywności energetycznej gałęzi produkujących żywność ..... 69
Podsumowanie ..... 76
Literatura ..... 80
Spis tabel ..... 93
Spis rysunków ..... 94
Aneks ..... 95

**Streszczenie**

Produkcja żywności jest odpowiedzialna za znaczące zużycie energii, przez co zwraca się coraz większą uwagę na ograniczenie zużycia energii w systemach produkcji żywności oraz zmniejszenie intensywności energetycznej, czyli ilości energii wykorzystanej do wyprodukowania jednostki produkcji. Celem pracy było obliczenie i ocena intensywności energetycznej produkcji żywności w Polsce dla lat 2000, 2005, 2010 oraz 2015. Obliczenia opierały się na danych zamieszczonych w tabelach przepływów międzygałęziowych dla Polski. Analizie poddano osiem gałęzi produkujących żywność, zarówno w ramach produkcji roślinnej, jak i zwierzęcej. Energochłonność obliczono dla trzech faz systemu produkcji, a także na poziomie bramy gospodarstwa rolnego. Przeprowadzone badanie wykazało zmniejszenie intensywności energetycznej analizowanych gałęzi produkujących żywność w Polsce. System produkcji żywności wytwarzał coraz większą wartość dodaną, przy czym obserwowano coraz mniejsze zużycie energii, co świadczy o poprawie efektywności energetycznej produkcji żywności w Polsce.

**Summary**

Food production is responsible for significant energy consumption, therefore more and more attention is paid to reducing energy consumption in food production systems and reducing energy intensity, i.e. the amount of energy used to produce a unit of production. The aim of the study was to calculate and assess the energy intensity of food production in Poland for the years 2000, 2005, 2010 and 2015. The calculations were based on data included in the input-output tables for Poland. Eight food-producing industries, both in plant and animal production, were analyzed. Energy intensity was calculated for three phases of the production system, as well as at the farm gate level. The study showed a decrease in the energy intensity of the analyzed industries of food production in Poland. The food production system generated more and more added value, while decreasing energy consumption was observed, which proves the improvement of the energy efficiency of food production in Poland.

## Wstęp

W ostatnich latach obserwowany jest dynamiczny przyrost liczby ludzi na świecie. Dodatkowo, prognozy wskazują na dalszy wzrost liczby ludności, w związku z czym, będzie można zaobserwować rosnący popyt na żywność. Do zaspokojenia rosnącego popytu na żywność i wyżywienia ludności na świecie niezbędne jest rolnictwo, którego główną funkcją jest dostarczanie żywności. Organizacja Narodów Zjednoczonych ds. Wyżywienia i Rolnictwa (FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations) wskazuje na rosnącą produkcję żywności, jednak towarzyszy temu zmniejszenie powierzchni użytków rolnych. Świadczy to o intensyfikacji produkcji rolniczej, dzięki której możliwe jest wyprodukowanie większej ilości żywności na mniejszym obszarze. Jednak istotnym problemem przy produkcji żywności jest znaczące zużycie energii, pochodzącej głównie z paliw kopalnych (Harchaoui i Chatzimpiros, 2019). Na uwadze należy mieć fakt, że paliwa kopalne są wyczerpywalne i nieodnawialne, a obecnie, produkcja żywności jest od nich uzależniona.

Biorąc pod uwagę również to, że produkcja żywności uznawana jest za energochłonną, konieczne jest ograniczenie zużycia energii w systemach produkcji żywności oraz zmniejszenie intensywności energetycznej, czyli ilości energii wykorzystanej do wytworzenia jednostki produkcji. Racjonalne i ostrożne wykorzystanie nieodnawialnych źródeł energii jest konieczne do zrównoważonej produkcji żywności i zapewnienia dostępu do zasobów naturalnych dla obecnych i przyszłych pokoleń. Również Unia Europejska (UE) zwraca szczególną uwagę na konieczność środowiskowego zrównoważenia łańcuchów żywnościowych, co znajduje odzwierciedlenie w jej polityce (Czubak i Pawłowski, 2020). Od wielu lat realizowane są różne strategie czy też programy zrównoważonego rozwoju. Pojawiają się dyrektywy oraz rozporządzenia, w których kładzie się nacisk na racjonalne wykorzystanie energii i zasobów naturalnych, jednak potrzeby poprawy sytuacji środowiskowej są nadal duże.

Należy pamiętać o tym, że każdy produkt charakteryzuje się inną intensywnością energetyczną. Literatura zwykle wskazuje na większą energochłonność produkcji zwierzęcej, w porównaniu do produkcji roślinnej, jednak również w obrębie danej grupy produktów intensywność energetyczna różni się pomiędzy poszczególnymi produktami. Istotne różnice w energochłonności produkcji żywności obserwuje się także w zależności od analizowanego kraju. Istnieje wiele badań dotyczących intensywności energetycznej samego rolnictwa, czy też systemów żywnościowych

obejmujących sferę zaopatrzenia rolnictwa, rolnictwa oraz przemysłu spożywczego. W ostatnich latach pojawiły się także badania dotyczące intensywności energetycznej poszczególnych gałęzi produkujących żywności, jednak brakuje takich badań dla Polski. Dlatego, przedstawione w pracy wyniki dążą do wypełnienia istniejącej luki badawczej i przedstawiają pomiar intensywności energetycznej dla ośmiu gałęzi produkujących żywność w Polsce w podziale na trzy fazy produkcji żywności. Wyniki mogą przyczynić się do poszerzenia wiedzy na temat energochłonności polskiego systemu produkcji żywności. Badanie może również posłużyć decydentom w określaniu rozwiązań mających na celu poprawę sytuacji związanej ze zużyciem energii przy produkcji rolniczej w Polsce. Posiadając wiedzę, które produkty charakteryzują się niewielką intensywnością energetyczną, a które mają znaczącą energochłonność, możliwe będzie ustalenie rozwiązań służących poprawie efektywności energetycznej produkcji, a także lepsze dostosowanie się do unijnych celów w zakresie efektywności energetycznej rolnictwa i systemów żywnościowych.

## Cel i zakres badań

Celem pracy było obliczenie i ocena intensywności energetycznej produkcji żywności w Polsce. Realizując postawiony cel pracy, omówiono teoretyczne kwestie zużycia energii w gospodarce oraz przy produkcji żywności, a także wybrane metody pomiaru intensywności energetycznej oraz potencjał produkcyjny polskiego rolnictwa. Zbadano strukturę nakładów gałęzi produkujących żywność, strukturę zużycia energii oraz wyniki dochodowe i wskaźniki intensywności energetycznej gałęzi produkujących żywność. W badaniu uwzględniono osiem gałęzi produkujących żywność w Polsce dla lat 2000, 2005, 2010 oraz 2015. Przy analizie struktury nakładów gałęzi produkujących żywność, uwzględniono strumienie nakładów płynące do każdej z analizowanych gałęzi z dwunastu zagregowanych sektorów gospodarki. Natomiast przy badaniu struktury zużycia energii, wyników dochodowych oraz wskaźników intensywności energetycznej gałęzi produkujących żywność, rezultaty przedstawiono dla wszystkich analizowanych gałęzi w podziale na trzy fazy produkcji żywności (zaopatrzenie rolnictwa, rolnictwo oraz przetwórstwo pierwotne).

Praca składa się z czterech rozdziałów. W rozdziale pierwszym omówiono kwestie związane ze zużyciem energii w gospodarce narodowej, jej rolę w rozwoju gospodarczym, a także sposoby pomiaru intensywności energetycznej, które powszechnie wykorzystywane są w badaniach. Dodatkowo, zwrócono uwagę na źródła pozyskiwania energii oraz na aspekty prawne zużycia energii w Polsce. Rozdział drugi zawiera charakterystykę zużycia energii w systemach produkcji żywności. Omówiono zużycie energii na poszczególnych etapach łańcucha dostaw żywności, dokonano szczegółowego przeglądu literatury dotyczącego badań nad intensywnością energetyczną produkcji żywności na świecie oraz przedstawiono wykorzystany w pracy sposób pomiaru intensywności energetycznej w Polsce. W rozdziale trzecim skupiono się na charakterystyce polskiego systemu produkcji żywności, w szczególności na potencjale produkcyjnym rolnictwa, strukturze zużycia energii oraz na strukturze nakładów wykorzystywanych w gałęziach produkujących żywność w Polsce. Natomiast w rozdziale czwartym przedstawiono obliczone wyniki dochodowe gałęzi produkujących żywność oraz wskaźniki intensywności energetycznej systemu produkcji żywności w Polsce w latach 2000-2015.

## Materiał i metoda badań

Literaturowa część pracy została oparta na artykułach naukowych oraz na publikacjach zwartych i aktach prawnych, z kolei badanie empiryczne przeprowadzono przy pomocy danych wtórnych z międzynarodowych baz danych. W pracy wykorzystano dane pochodzące z Głównego Urzędu Statystycznego (GUS), Organizacji Narodów Zjednoczonych ds. Wyżywienia i Rolnictwa (FAO) oraz bazy danych EXIOBASE, z której zaczerpnięto tabele przepływów międzygałęziowych, na podstawie których dokonano większości obliczeń.

W badaniu została wykorzystana analiza opisowa wsparta tabelaryczną i rysunkową prezentacją danych, a także podstawowymi miarami statystyki opisowej. Przy analizie zużycia energii, wyników dochodowych, a także nakładów wykorzystywanych w gałęziach produkujących żywność, zastosowano wskaźniki struktury. Natomiast do obliczenia wskaźników intensywności energetycznej w ramach wybranych gałęzi produkujących żywność w Polsce, dokonano obliczeń opierających się na analizie przepływów międzygałęziowych[1].

[1] Szerzej na ten temat zobacz rozdział 2.3.

# 1. Zużycie energii w gospodarce

## 1.1 Ewolucja roli energii w rozwoju gospodarczym

Ludzie potrzebują energii do zaspokojenia podstawowych potrzeb, do których można zaliczyć gotowanie jedzenia, ogrzewanie czy oświetlanie pomieszczeń. Bez ich zaspokojenia, przetrwanie ludzi na ziemi mogłoby być zagrożone. Wychodząc poza aspekt przetrwania, energia jest istotną determinantą rozwoju każdego kraju, chociażby poprzez dostarczanie siły napędowej dla przemysłu, wytwarzanie i konserwowanie żywności, transportowanie produktów oraz komunikację (Martinez i Ebenhack, 2008).

Energia ma kluczowe znaczenie dla osiągnięcia powiązanych ze sobą celów ekonomicznych, społecznych i środowiskowych w rozwoju każdego kraju (Goldemberg, 2001). Ludzka egzystencja uzależniona jest w dużym stopniu od nieodnawialnych źródeł energii, które stały się warunkiem rozwoju każdej cywilizacji i siłą napędową każdego działania (Wysokiński i in., 2021). Potwierdza to współczesna zależność ludzkości od energii, która determinuje rozwój gospodarczy, poziom życia, a nawet może być źródłem konfliktów międzynarodowych (Stern, 2004).

Rozwój i wzrost gospodarczy, z perspektywy energetycznej, ma wiele takich samych cech jak podstawowy proces wzrostu, który podejmuje każda żywa istota na Ziemi podczas swojego życia. Energia jest wychwytywana przez system (gospodarkę lub stworzenie) i przeznaczana jest najpierw na utrzymanie systemu, a następnie, na wzrost i/lub reprodukcję (Murphy i Hall, 2011). Nie można jednak określić roli energii w rozwoju gospodarczym bez uprzedniego zrozumienia jej roli w procesie produkcji (Stern, 2011). W zrozumieniu znaczenia energii w produkcji, pomóc może zasada bilansu materiałowego, mówiąca o tym, że w celu uzyskania danego produktu (*material output*), większe lub równe ilości materii muszą być użyte jako nakłady (*material input*), przez co istnieją minimalne wymagania materiałowe, również w postaci energii, dla każdego procesu produkcyjnego (Ayres i Kneese, 1969). Należy pamiętać, że tak naprawdę cała produkcja wiąże się z pracą, do której wykonania potrzebny jest chociaż minimalny nakład energii (Baumgärtner, 2004). Również wszelka działalność gospodarcza wymaga zużycia energii, która jest istotnym czynnikiem umożliwiającym realizację produkcji (Stern, 1997).

Rola energii w życiu każdego człowieka oraz w rozwoju gospodarczym ulegała jednak ewolucji. W prehistorii wszelkie wysiłki zmierzające do kontrolowania lub

zwiększenia przepływów energii były ograniczane przez siłę ludzkich organizmów oraz nieefektywne wykorzystanie ognia (Smil, 2004). Opisując przemiany dotyczące rozwoju oraz znaczenia energii, można wyróżnić trzy okresy przełomowe (Toffler, 1985):

- powstanie rolnictwa w epoce agrarnej,
- przeobrażenia wywołane rewolucjami przemysłowymi,
- powstanie ery społeczeństwa wiedzy.

W przypadku epoki agrarnej, głównym źródłem energii była siła ludzi oraz zwierząt (Goliński, 2011). Rolnictwo było mało wydajne, przez co wymagało zaangażowania bardzo dużej siły roboczej (Kociszewski, 2010). Udomowienie zwierząt pociągowych i ujarzmienie ognia do produkcji metali i innych trwałych materiałów stanowiło pierwszą dużą przemianę energetyczną, ponieważ poleganie na tych pozasomatycznych nośnikach energii istotnie podniosło przepustowość energetyczną społeczeństw (Smil, 2004). Jednak nadal wszystkie czynności, takie jak wytwarzanie prostych narzędzi i maszyn, produkcja nasion czy nawozów, kultywacja gleby, czy też przetwarzanie produktów odbywały się w gospodarstwach rolnych i należały do codziennych obowiązków rolników (Woś, 1998). Dopiero rozwój gospodarczy spowodował wyodrębnienie się podmiotów, które zaczęły specjalizować się jedynie w niektórych procesach towarzyszących produkcji rolnej, na przykład przetwórcy czy dystrybutorzy. Zaczęły tworzyć się także gałęzie gospodarki, których segmenty były dedykowane głównie rolnikom. Przykładem może być przemysł chemiczny, który zaczął specjalizować się w produkcji nawozów dla rolnictwa (Woś, 1996).

Z kolei podczas pierwszej rewolucji przemysłowej, która rozpoczęła się w XVIII wieku, nastąpiła konwersja technologii pracy opartej na ludziach oraz zwierzętach do maszyn (Mohajan, 2021). Głównym źródłem energii był wtedy węgiel, następnie, na początku XX wieku, coraz większego znaczenia nabrały ropa oraz energia elektryczna, natomiast koniec XX wieku charakteryzował się wzrostem znaczenia gazu ziemnego (Prisecaru, 2016). Rewolucje przemysłowe przyczyniły się do diametralnych zmian i rozwoju praktycznie wszystkich sektorów gospodarek (Mohajan, 2021).

Wraz ze wzrostem znaczenia energii w gospodarce, zaczęto obserwować różne, wynikające z tego prawidłowości. Coraz większe znaczenie zaczęły mieć kwestie związane ze zrównoważoną gospodarką i wzrastającą konsumpcją zasobów naturalnych. Problemem zaczęło być coraz większe zagrożenie dla środowiska naturalnego, które towarzyszyło rozwojowi gospodarczemu (Pieńkowski, 2012).

Między innymi W. S. Jevons, który badał kwestie związane z wydobyciem i konsumpcją węgla w Anglii, zauważył, że zwiększenie efektywności wykorzystania energii skutkuje wzrostem popytu na energię, co definiowane jest jako paradoks Jevonsa (Rybicki, 2017). Paradoks ten oznacza, że postęp technologiczny będzie przyspieszał zużycie zasobów oraz skutki środowiskowe ich pozyskiwania i wykorzystania, co będzie skutkowało pogarszaniem się jakości ekosystemów (Pieńkowski, 2012).

Z kolei w erze społeczeństwa wiedzy, definiowanej jako porządek ekonomiczny, w którym kluczowym zasobem jest wiedza, a nie praca, surowce czy kapitał (Beyer, 2012), coraz większe znaczenie mają odnawialne źródła energii (Goliński, 2011). Zasoby paliw kopalnych, czyli nieodnawialnych źródeł energii ulegają wyczerpaniu, a ich eksploatacja w negatywny sposób wpływa na środowisko, dlatego rozwiązania problemów energetycznych poszukuje się w racjonalnym wykorzystaniu energii oraz pozyskiwaniu energii ze źródeł odnawialnych (Sadowski i in., 2008). Według Graczyka (2017), obserwuje się wzrost efektywności energetycznej odnawialnych źródeł energii, a także spadek cen tej energii, co powinno sprzyjać dalszemu rozwojowi jej wykorzystania w gospodarce.

Pomimo że w ostatnich latach zaobserwować można wzrost produkcji energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych, wciąż nie jest on wystarczający w odniesieniu do zapotrzebowania na energię (Ntanos i in., 2018). Dodatkowo, potencjał odnawialnych źródeł energii jest dość rozproszony, a jego wykorzystanie wiąże się z koniecznością koncentracji, a co za tym idzie, ze zwiększonymi nakładami inwestycyjnymi. Dlatego, koszty inwestycyjne wytwarzania energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych są często większe niż koszty pozyskania i przetwarzania paliw kopalnych (Zimny, 2010). Ze względu na wysokie nakłady inwestycyjne i energetyczne potrzebne do pozyskania odnawialnych zasobów energii, często nie jest to opłacalne, dlatego też można spotkać się z niechęcią producentów i użytkowników energii działających w gospodarce rynkowej, do wprowadzania odnawialnych źródeł energii (Wójcicki, 2006).

Jednym z głównych problemów jest istnienie przede wszystkim nieodnawialnych źródeł energii, których ilość jest z natury ograniczona, przez co istnieje potrzeba odpowiedniego zarządzania energią, tak aby uwzględniać potrzeby obecnych i przyszłych pokoleń mieszkańców Ziemi (Schefold, 1985). Jak wynika z wielu badań, przynajmniej do 2050 roku światowa produkcja energii będzie uzależniona od paliw kopalnych (Edenhofer i in., 2014). Pomimo zmniejszającej się produkcji

energii netto z paliw kopalnych, w wyniku rosnących nakładów energetycznych potrzebnych do ich wydobycia (Gagnon i in., 2009), nadal jest ona wyższa od produkcji energii netto z odnawialnych źródeł energii (Hall i in., 2014; King i Van Den Bergh, 2018). Dodatkowo, Brockway i in. (2019) twierdzą, że produkcja energii netto z paliw kopalnych jest zdecydowanie niższa niż sugerują to wcześniejsze badania, co w rzeczywistości może oznaczać szybsze niż zakładano, ograniczenie w ilości energii dostępnej dla społeczeństwa.

Mając świadomość znaczenia energii w rozwoju gospodarczym, istotne jest, aby kraje zagwarantowały sobie bezpieczeństwo energetyczne, definiowane jako dostęp do energii w każdym czasie, w różnych formach, a także w wystarczającej ilości i po rozsądnej cenie, czyli cenie możliwej do zapłacenia (Goldemberg, 2001). Poziom bezpieczeństwa energetycznego zależy od wielu czynników, do których można zaliczyć (Mazurkiewicz, 2008):

- wielkość i zróżnicowanie krajowej bazy surowcowej,
- dywersyfikację oraz wykorzystanie zarówno krajowych, jak i zagranicznych źródeł zaopatrzenia w surowce energetyczne,
- stan techniczny systemu zaopatrzenia,
- możliwość magazynowania surowców energetycznych,
- wewnętrzną i międzynarodową politykę gospodarczą kraju.

Z kolei brak ciągłości dostaw oraz niewystarczające zasoby energii w gospodarce mogą przyczynić się do zatrzymania rozwoju i niosą za sobą szereg zagrożeń, które mogą mieć charakter (Müller-Kraenner i in., 2008):

- ilościowy – gdy obserwuje się ograniczenia w swobodnym dostępie do energii i surowców energetycznych;
- jakościowy – kiedy surowce energetyczne nie spełniają określonych wymogów jakościowych w danym kraju;
- ekonomiczny – obserwuje się wzrost kosztów pozyskania oraz dystrybucji energii;
- społeczny – kiedy na skutek braku dostępu do wystarczającej ilości energii obserwuje się brak dostępu do energii elektrycznej na niektórych obszarach zamieszkałych przez ludzi.

Społeczne skutki niedoboru energii nazywane są ubóstwem energetycznym, które może być spowodowane niskimi dochodami, ale także nieracjonalnym zarządzaniem energią w gospodarstwach domowych lub nieefektywnością energetyczną

mieszkań (Węglarz i in., 2014). W kontekście bezpieczeństwa energetycznego krajów, coraz większego znaczenia nabiera także bezpieczeństwo ekologiczne, czyli produkcja energii w taki sposób, aby nie niszczyć nadmiernie środowiska naturalnego oraz nie powodować nieodwracalnych zmian związanych z wykorzystaniem zasobów (Wilczyński, 2017).

Z kolei, do głównych wyzwań obserwowanych w procesie ewolucji ludzkości można zaliczyć dostęp do wody, energii oraz żywności (Malko i in., 2015). Obecny poziom życia ludzi jest możliwy dzięki eksploatacji zasobów naturalnych na szeroką skalę, co powoduje coraz większą ingerencję w stan środowiska (Meadows i in., 1972; Pakulska, 2002; Kronenberg i in., 2010). Natomiast dostępność energii dla społeczeństwa jest ważna chociażby z tego powodu, aby zaspokoić ich podstawowe potrzeby, związane na przykład z potrzebami żywieniowymi. Od zakończenia Drugiej Wojny Światowej liczba ludności na świecie stale rośnie, ponadto prognozy do 2100 roku wskazują, że będzie rosła nadal (UN, 2019), a co za tym idzie, będzie rósł popyt na żywność. W połączeniu z licznymi prognozami wskazującymi na niedobór energii w stosunku do przyrostu popytu na żywność (Bundschuh i in., 2014), jest to niepokojące zjawisko. Może ono skutkować ograniczeniami w zdolności do wytwarzania wystarczającej ilości energii, która zaspokoi zapotrzebowanie na produkcję żywności (Bolandnazar i in., 2014). Na bazie powyższych prognoz, zaczęto ponownie rozważać prawdziwość teorii maltuzjańskich o niewystarczającym wzroście produkcji żywności w stosunku do szybszego wzrostu populacji (Montano i García-López, 2020). W tym kontekście, istotne jest rolnictwo, którego główną funkcją jest wyżywienie rosnącej liczby ludności na świecie. Zwiększenie produkcji rolnictwa w ostatnich kilku dekadach było możliwe dzięki zastosowaniu nawozów, pestycydów, poprawie gospodarki wodnej, czy innowacjom technologicznym (Muller i in., 2012). Niepokojący jest jednak fakt, że stosowane techniki produkcji w rolnictwie są silnie uzależnione od paliw kopalnych (Cruse i in., 2010), a na dodatek wzrost produktywności rolnictwa w ostatnich latach charakteryzował się wzrostem użycia energii pochodzącej z paliw kopalnych (Harchaoui i Chatzimpiros, 2019), których zasoby są ograniczone.

W związku z powyższym, coraz większego znaczenia nabierają kwestie związane z racjonalnym oraz efektywnym zużyciem energii, a energia jest kluczowym czynnikiem działań na rzecz ochrony środowiska i zrównoważonego rozwoju (Graczyk, 2017). Istotne jest zmniejszenie środowiskowej intensywności produkcji (zwiększenie efektywności), rozumianej jako stosunek negatywnego wpływu na środowisko do

wielkości produkcji (Poore i Nemecek, 2018). W Unii Europejskiej (UE) podejmuje się wiele działań w celu poprawy efektywności energetycznej gospodarek. Istotne jest tutaj również oddzielenie systemu żywnościowego UE od nadmiernego zużycia energii (zwłaszcza pochodzącej z paliw kopalnych) i emisji gazów cieplarnianych. Odbywa się to zarówno poprzez bezpośrednią politykę energetyczną oraz pośrednio poprzez działania ukierunkowane na inne kwestie, ale mające wpływ na sektor spożywczy (Motola i in., 2015). Biorąc pod uwagę rolę energii w rozwoju gospodarczym krajów oraz ograniczoną dostępność do nieodnawialnych źródeł energii, jest to w pełni uzasadnione.

## 1.2 Intensywność energetyczna – istota i sposoby pomiaru

Obecnie, badania dotyczące wykorzystania energii w gospodarce skupiają się nie tyle na zmianach bezwzględnego zużycia energii, co na zmianach w energochłonności (Cornillie i Fankhauser, 2004). Intensywność energetyczna, czy też energochłonność, definiowana jest jako ilość zużytej energii przypadającej na jednostkę produkcji (Martínez, 2010; Wang, 2013). W praktyce, intensywność energetyczna to często relacja zużycia energii do PKB (Hang i Tu, 2007), a jej zmiany obserwuje się częściowo w wyniku poprawy efektywności energetycznej, a częściowo w wyniku zmian w działalności gospodarczej i zmian strukturalnych w gospodarce (Metcalf, 2008). Należy mieć na uwadze, że na energochłonność mogą wpływać także zmiany w miksie energetycznym (*energy mix*) ze względu na różnice w wydajności ekonomicznej pomiędzy różnymi rodzajami energii (Ma i Stern, 2008a).

Zrozumienie czynników napędzających zużycie energii i intensywności energetycznej było istotnym przedmiotem działalności badawczej w ciągu ostatnich lat, a jednym z powszechnie stosowanych podejść jest metodologia dekompozycji, która pozwala oddzielić zmiany strukturalne w gospodarce od bardziej fundamentalnych ulepszeń w wykorzystaniu energii (Metcalf, 2008). Zmiany zagregowanej energochłonności są zwykle rozkładane na efekt strukturalny (tj. wpływ związany ze strukturą produkcji w gospodarce) i efekt intensywności (tj. wpływ związany ze zmianami energochłonności sektorów) (Wang, 2013). Problem w badaniach dekompozycji polega jednak na tym, że na wyniki wpływa poziom agregacji sektorów gospodarki (Stage, 2001). Jeżeli gałęzie w ramach sektora mają różną energochłonność, to zmiany w strukturze produkcji (udziale poszczególnych gałęzi w strukturze) tego

sektora spowodują zmianę jego energochłonności, nawet jeśli energochłonność poszczególnych gałęzi nie uległa zmianie. Oznacza to, że im bardziej zagregowana klasyfikacja sektorowa zastosowana w analizie, tym większa część zmiany zagregowanej energochłonności jest identyfikowana jako efekt intensywności, a nie efekt strukturalny (Stage, 2001). Według Ang i Zhang (2000), to właśnie zmiany w energochłonności sektorowej mogą być głównym czynnikiem wpływającym na wzrost lub spadek łącznej energochłonności w gospodarce. Z kolei, większa dezagregacja klasyfikacji sektorowej doprowadzi do zidentyfikowania większej części zmiany zagregowanej energochłonności jako zmiany związanej ze strukturą produkcji w gospodarce, czyli efektu strukturalnego, a nie jako zmiany sektorowej energochłonności (efektu intensywności) (Stage, 2001). Dlatego, dla określenia poziomu dezagregacji, w analizie intensywności i efektywności energetycznej często ustala się odpowiednią metodę dekompozycji, aby oddzielić składniki wpływające na efektywność czy energochłonność, od innych czynników, takich jak te związane ze zmianami strukturalnymi (Marrero i Ramos-Real, 2013).

W ramach analizy energetycznej istnieją dwie główne techniki oceny przepływów energii w ramach konkretnego procesu lub produktu: analiza procesu lub analiza nakładów i wyników (*input-output*). Analiza procesu, znana również jako analiza oddolna, czy też wstępująca (*bottom-up*), uwzględnia wejścia i wyjścia energii w procesie poprzez agregację ich w kolejnych etapach produkcji. Z kolei analiza ekonomiczna *input-output*, lub analiza odgórna, zstępująca (*top-down*), łączy dane dotyczące ekonomicznych nakładów i wyników z danymi dotyczącymi energochłonności poszczególnych sektorów poprzez ich dezagregację na etapy produkcji (Murphy i in., 2011). Celem analizy *input-output*, jest przede wszystkim zrozumienie interakcji między sektorami gospodarki, producentami i konsumentami.

Sformułowana przez Wassily'ego Leontiefa w latach 30. XX wieku ekonomiczna analiza *input-output*, oparta o tabele przepływów międzygałęziowych, była wykorzystywana od tego czasu w niezliczonych zagadnieniach ekonomicznych, związanych z handlem, energią, ekologią czy użyciem zasobów (Wiedmann, 2009). Metoda *input-output* polega na podejściu statystycznym z oceną prowadzoną odgórnie (*top-down*). Gospodarka krajowa podzielona jest na sektory, a w oparciu o przepływy materiałów i usług pomiędzy sektorami, można określić związane z nimi strumienie energii (Denholm i Kulcinski, 2004). Dzięki temu, możliwe jest określenie, jaki nakład energetyczny przypada na jednostkę dochodu krajowego, czy produkcji.

Energochłonność można mierzyć dla poszczególnych sektorów gospodarki lub łącznie i można ją obliczyć zarówno na poziomie krajowym, jak i regionalnym. Co więcej, dzięki wykorzystaniu jednorodnych źródeł statystycznych, ich wartości są porównywalne między krajami lub regionami (Marrero i Ramos-Real, 2013). Zaletą wykorzystania analizy *input-output* w określaniu intensywności energetycznej jest również to, że tabele przepływów międzygałęziowych obejmują popyt pośredni, czyli popyt na nakłady z sektorów zaopatrujących, który można przypisać popytowi niższego szczebla, a co za tym idzie, można rozróżnić bezpośrednie i pośrednie zapotrzebowanie na energię (Ma i Stern, 2008b).

Chociaż metody analizy energetycznej są stosunkowo dobrze ugruntowane, nadal istnieją niespójności w ustalaniu granic, wyborach alokacji i innych punktach decyzyjnych w metodologii, dlatego pożądana jest większa standaryzacja w celu poprawy spójności i porównywalności analiz energetycznych (Pelletier i in., 2011). W literaturze można znaleźć wiele różnych wskaźników efektywności energetycznej (Mulder i Hagens, 2008), które tak naprawdę są odwrotnością wskaźników intensywności energetycznej (Martínez, 2010). Jedną z technik oceny wydajności systemów energetycznych jest analiza energii netto, która porównuje ilość energii dostarczonej społeczeństwu przez system energetyczny z energią zużytą bezpośrednio i pośrednio w procesie tej dostawy (Cleveland i in., 2000). Jest to zwrot energii z inwestycji (EROI), czyli stosunek dostarczonej energii do energii zużytej w tym procesie (Cleveland i in., 1984, Kunz i in., 2014). Ograniczeniem zdolności analizy energii netto jest jednak sposób traktowania jakości energii. W większości analiz energii netto wejścia i wyjścia różnych rodzajów energii są agregowane według ich ekwiwalentów cieplnych (Cleveland i in., 2000). Dodatkowo, ze względu na różne sposoby alokacji wejść i wyjść energii, które wynikają z różnych zainteresowań i zamierzeń badaczy (Hall i in., 2011), wyniki EROI są często nieporównywalne pomiędzy krajami, co jest dużą wadą w przypadku wskaźników mierzących efektywność energetyczną (Murphy i in., 2011).

Z kolei biorąc pod uwagę badania w dziedzinie energetyki systemu żywnościowego, obejmują one głównie analizy specyficzne dla danych produktów żywnościowych, z jednej gałęzi, na przykład produktów mleczarskich (Grönroos i in., 2006). Badania prowadzone są także w zakresie produktywności energetycznej systemu żywnościowego (Karkacier i in., 2006; Mushtaq i in., 2009; Cao i in., 2010) oraz dystrybucji energii w łańcuchach dostaw żywności (Cuéllar i Webber, 2010). Z

perspektywy łańcucha dostaw, najpopularniejszą metodą analiz energetycznych systemów produkcji żywności stała się ocena cyklu życia (LCA), która przy użyciu znormalizowanych metod oceny wpływu pozwala określić potencjalny wpływ danego produktu na środowisko naturalne (Pelletier i in., 2011). Najważniejszym elementem LCA jest określenie zakresu badania i definicja celu, a także ustalenie granic systemu, ponieważ wszystkie czynności, które przyczyniają się do cyklu życia produktu, mieszczą się w tych granicach (Roy i in., 2009). Badania wykorzystujące metodę LCA, skupiają się głównie na produkcji rolniczej, ale także na przetwórstwie przemysłowym i jakości gotowych produktów spożywczych (Janulis, 2004; Berlin i in., 2007; Kim i Dale, 2002). Natomiast do celów wykorzystania metody LCA można zaliczyć porównanie produktów, procesów lub usług, porównanie alternatywnych cykli życia określonych produktów lub usług oraz identyfikacja części cyklu życia, w których można dokonać ulepszeń (ISO, 2006).

### 1.3 Źródła i uwarunkowania prawne zużycia energii w Polsce

Energia pozyskiwana jest z wielu źródeł, takich jak ropa naftowa, węgiel kamienny, węgiel brunatny, torf czy gaz ziemny. Są to nieodnawialne źródła energii. Z kolei odnawialne źródła obejmują energię pozyskaną z wiatru, słońca, wody, biomasy i biopaliw, a także energię geotermalną (Rokicki i Perkowska, 2021). Węgiel, ropa naftowa i gaz ziemny są głównymi zasobami energetycznymi na świecie od lat 70. XX wieku. W kontekście rozwoju gospodarczego, istotne jest, że ich zasoby są ograniczone, a poza tym, stosowanie paliw kopalnych niekorzystnie wpływa na środowisko (Rokicki i Perkowska, 2020). Dodatkowo, niepokojące jest, że ich zużycie wzrasta, a zasoby maleją (Holka i in., 2019). Ropa, bardziej niż jakiekolwiek inne źródło energii, ma kluczowe znaczenie dla gospodarek ze względu na jej szerokie zastosowanie jako paliwa i surowca w produkcji przemysłowej, a także w transporcie (Murphy i Hall, 2011).

Wiele krajów skupia się także na wykorzystaniu gazu ziemnego, ze względu na jego stosunkowo niewielką emisyjność (Bajan i in., 2021). W przypadku Polski, po transformacji w gospodarkę rynkową, w strukturze zużycia energii dominuje węgiel (Rokicki i Perkowska, 2020), co negatywnie wpływa na środowisko naturalne. Z tego względu, alternatywę dla paliw kopalnych stanowią odnawialne źródła energii. Ze względu na to, że ich zasoby uzupełniają się w naturalnych procesach, traktuje się je

jako niewyczerpalne (Rorat i in., 2016). W przypadku krajów Unii Europejskiej, bioenergia, czyli energia pochodząca z biomasy i biopaliw, jest największym źródłem energii odnawialnej dostarczającym ciepło, energię elektryczną i paliwa transportowe (Scarlat i in., 2015).

Narastające problemy środowiskowe oraz klimatyczne wymuszają poszukiwania efektywnych rozwiązań w zakresie prowadzenia działalności gospodarczej, w tym również w rolnictwie i całym systemie produkcji żywności. Ograniczenia dotyczące dostępności nieodnawialnych źródeł energii, takich jak ropa, węgiel czy gaz ziemny (Chow i in., 2003), w tym wysokie i rosnące koszty ich poszukiwań, eksploatacji i transportu (Burkea i Stephens, 2018), wywołują niepewność dotyczącą zużycia energii (Kinney i in., 2019). W ostatnich latach, niezmiennie, zwraca się uwagę na konieczność zwiększenia udziału energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych w zużyciu energii ogółem, czy też ograniczenie zużycia energii pochodzącego z paliw stałych (węgiel kamienny, węgiel brunatny, torf), które powodują największą degradację środowiska naturalnego oraz emisje gazów cieplarnianych do atmosfery (Tahara i in., 1997). Skutki wykorzystania paliw kopalnych, takie jak globalna zmiana klimatu, światowe konflikty energetyczne i niedobory źródeł energii, w coraz większym stopniu zagrażają stabilności gospodarek. Ich negatywne skutki obserwuje się na wszystkich poziomach społeczeństwa, tj. lokalnie, regionalnie i globalnie. Globalne problemy świata związane z energią można podsumować w trzech punktach (Kothari i in., 2010):

- spadek rezerw paliw kopalnych spowodowany wzrostem światowej populacji i rosnącym zapotrzebowaniem na energię,
- globalna zmiana klimatu spowodowana wzrostem stężenia $CO_2$ w atmosferze,
- wzrost ilości odpadów (stałych oraz ciekłych), ze względu na wzrost liczby ludności na świecie.

Istotne jest gospodarowanie zasobami naturalnymi, wodą i energią w sposób zrównoważony (Koçak i Şarkgüneşi, 2017). Polityka energetyczna UE, której częścią jest Polska, opiera się na trzech filarach: konkurencji, bezpieczeństwie dostaw i zrównoważonym rozwoju. Istotne są również takie cele, jak ograniczenie emisji gazów cieplarnianych, zwiększenie zużycia energii wytwarzanej ze źródeł odnawialnych oraz zwiększenie efektywności energetycznej i rozbudowa połączeń elektroenergetycznych (Van den Bergh i in., 2013; Strambo i in., 2015; Leal-Arcas, 2020). Z jednej strony polityka energetyczna koncentruje się na liberalizacji całego sektora, a z drugiej na

rozwoju w kierunku inteligentniejszego, bardziej zrównoważonego sektora energetycznego (Pereira i in., 2018; Kang i in., 2020; Marques i in., 2020).

Zgodnie z Agendą Unii Europejskiej, zrównoważony rozwój jest głównym kierunkiem rozwoju i wdrażania polityk we wszystkich sferach, które pozwalają na wzrost konkurencyjności krajów, tworząc lepsze warunki dla działania firm (Raszkowski i Bartniczak, 2018; Cherchyk i in., 2019) oraz pozwalają polepszyć warunki życia społeczeństwa (Dalevska i in., 2019). Jednak takie podejście często jest sprzeczne z celami krajów rozwijających się gospodarczo, ponieważ potrzebują one dużych nakładów energetycznych (Bilan i in., 2019). Kraje te powinny stosować długoterminowe zintegrowane podejście do podaży i popytu na energię. Powinni efektywnie wykorzystywać energię i pozyskiwać ją w dużej mierze ze źródeł odnawialnych, jednak w praktyce istnieje szereg problemów w transformacji tych krajów (Vasylieva i in., 2019; Simionescu i in., 2020). Cele zrównoważonego rozwoju wskazują także na potrzebę ewolucji technologii opartych na paliwach kopalnych, aby zmierzać w kierunku długoterminowego celu, jakim jest minimalne zanieczyszczenie powietrza i emisje gazów cieplarnianych (Goldemberg, 2001). W Unii Europejskiej, od dawna realizowane są różne strategie czy też programy zrównoważonego rozwoju, jednak potrzeby poprawy sytuacji środowiskowej są nadal duże. Najnowsze cele środowiskowe UE zostały zawarte w dokumencie strategicznym Europejski Zielony Ład (*European Green Deal*), który zakłada zbudowanie nowoczesnej i przede wszystkim zasobooszczędnej gospodarki, która będzie charakteryzowała się neutralnością klimatyczną oraz będzie oddzielała wzrost gospodarczy krajów Unii Europejskiej od wykorzystania zasobów naturalnych (SWD(2020)93 final).

Należy pamiętać, że współczesne znaczenie oszczędności energii i racjonalnego zużycia energii stale rośnie (Malinovský, 2018). Już w latach 90. w UE kładziono nacisk na racjonalne i ostrożne wykorzystanie energii i zasobów naturalnych (93/76/EEC). Z kolei na mocy kolejnej związanej z tym dyrektywy (2006/32/WE) w sprawie efektywności końcowego wykorzystania energii i usług energetycznych, państwa UE miały dążyć do osiągnięcia celu oszczędności energii ustalonego na poziomie 9%, obliczonego na podstawie rocznego średniego zużycia energii. Był to cel indykatywny, którego nieosiągnięcie nie wiązało się z konsekwencjami prawnymi, dodatkowo, kraje mogły wyznaczyć sobie cel większy niż 9% w zakresie oszczędności energii. Należy mieć na uwadze, że Polska dołączyła do UE dopiero w 2004 roku i pomimo, że przyniosło jej to duże korzyści (Kiss, 2007), miała utrudnione zadanie,

ponieważ musiała dostosowywać się do celów energetyczno-klimatycznych już w trakcie trwających od ponad dekady zmian.

W 2007 roku władze Unii Europejskiej wyznaczyły kluczowe cele odnośnie użycia energii ze źródeł odnawialnych oraz poprawy efektywności energetycznej (COM(2006)848). Do 2020 roku, 20% energii UE miało pochodzić ze źródeł odnawialnych oraz zakładano poprawę efektywności energetycznej, w ramach której miała nastąpić redukcja zużycia energii. Cel w zakresie efektywności energetycznej ustalono na 20% i został on uchwalony w prawodawstwie wraz z przyjęciem dyrektywy w sprawie efektywności energetycznej (2012/27/UE) w 2012 roku. W praktyce, oznaczało to konieczność obniżenia zużycia energii w UE. Aby osiągnąć cel UE w zakresie efektywności energetycznej, kraje należące do Wspólnoty ustalały własne orientacyjne krajowe cele, przy których opierały się na, oszczędności energii pierwotnej lub końcowej albo energochłonności.

Ograniczenie zapotrzebowania na energię jest również jednym z pięciu wymiarów strategii na rzecz unii energetycznej ustanowionej w komunikacie Komisji Europejskiej z dnia 25 lutego 2015 roku zatytułowanym: „A Framework Strategy for a Resilient Energy Union with a Forward-Looking Climate Change Policy" (COM/2015/080 final). Zgodnie z kolejną dyrektywą w sprawie efektywności energetycznej (Directive (EU) 2018/2002) należy uznać, że efektywność ta jest kluczowym elementem strategicznym i powinna być brana pod uwagę jako jedno z głównych kryteriów przyszłych decyzji inwestycyjnych dotyczących infrastruktury energetycznej w Unii Europejskiej. Z kolei, uwzględniając unijny cel na 2030 rok, zawarty w Dyrektywie w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych ((UE) 2018/2001), od 1. stycznia 2021 roku, udział energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto w każdym państwie członkowskim nie może być niższy niż udział bazowy, czyli udział z 2020 roku. Udział bazowy, na którym mają opierać się kraje członkowskie jest jednocześnie udziałem docelowym energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych, które kraje UE miały osiągnąć do 2020 roku. Wszystkie kraje, oprócz Malty i Luksemburgu, wyznaczyły ten cel na 13% i więcej. W przypadku Polski, wyniósł on 15%.

Istotne jest, że z oceny krajowych planów państw członkowskich w dziedzinie energii i klimatu (COM/2020/564) wynika, że tempo transformacji energetycznej i klimatycznej w państwach członkowskich rośnie. Wyniki oceny wskazują, że udział energii ze źródeł odnawialnych w UE mógłby do 2030 roku osiągnąć nawet 33,7%,

przekraczając obecny cel, wynoszący co najmniej 32%. Natomiast pod względem efektywności energetycznej, rzeczywistość nadal nie jest zadowalająca, ponieważ przy obecnym tempie zmian, szacuje się, że luka pomiędzy celem na 2030 rok, który zakłada spadek zużycia energii o 32,5%, a rzeczywistością wyniesie około 3 p.p.

Ze względu na dążenie do zrealizowania unijnej polityki energetycznej w latach 2021-2030, państwa należące do UE musiały przygotować krajowe strategie działania mające na celu osiągnięcie zamierzonych celów (Tomaszewski i Sekściński, 2020). W przypadku Polski, przygotowano Krajowy plan na rzecz energii i klimatu na lata 2021-2030, gdzie wyznaczono cele na 2030 rok, zobowiązujące do zmniejszenia udziału węgla w produkcji energii elektrycznej do poziomu 56-60%, wzrostu efektywności energetycznej o 23% oraz udziału odnawialnych źródeł energii w końcowym zużyciu energii brutto wynoszącego 21-23% (KPEiK, 2019). Dodatkowo, w lipcu 2021 roku Komisja Europejska zaproponowała przegląd dyrektywy w sprawie efektywności energetycznej (COM(2021)0558) jako część pakietu „Osiągnięcie Europejskiego Zielonego Ładu", gdzie proponuje się zwiększenie docelowych poziomów redukcji zużycia energii do 2030 roku. Oprócz tego, wnioskuje się o znaczące zwiększenie rocznych oszczędności energii w państwach członkowskich w latach 2024-2030. Również w ramach działań Wspólnej Polityki Rolnej (WPR) zwraca się szczególną uwagę na redukcję emisji gazów cieplarnianych oraz racjonalne wykorzystanie energii. W Planie Strategicznym WPR na lata 2023-2027 (2021) przewidziane jest wsparcie finansowe dla rolników inwestujących między innymi w mikroinstalacje produkujące energię z promieniowania słonecznego lub biogazu rolniczego, czy też w systemy odzyskiwania ciepła wydalanego z budynków inwentarskich. Wspomniane inwestycje mają przyczynić się przede wszystkim do wzrostu produkcji energii odnawialnej, a także do poprawy efektywności energetycznej produkcji żywności.

## 2. Zużycie energii w produkcji żywności

### 2.1 Rozkład zużycia energii w łańcuchu dostaw żywności

Łańcuch dostaw żywności przede wszystkim łączy trzy sektory gospodarki: rolnictwo, przetwórstwo spożywcze oraz dystrybucję (Czyżewski, 2001). Współdziałają w nim producenci rolni, firmy pośredniczące (handlowe), przedsiębiorstwa produkcyjne, przetwórcze i usługowe, a także ich klienci (Juchniewicz, 2015). Łańcuch dostaw obejmuje przepływy surowców, materiałów, półproduktów oraz produktów gotowych, a także przepływy informacji między uczestnikami łańcucha, których łączą relacje dostawczo-odbiorcze (Michalczyk, 2018). Energia jest wykorzystywana w całym łańcuchu dostaw żywności, począwszy od produkcji i stosowania nakładów w rolnictwie, poprzez przetwarzanie, pakowanie oraz dystrybucję do finalnego konsumenta (Bajan i in., 2021). W UE szacuje się, że cały łańcuch żywności odpowiada za nawet 17% zużycia energii ogółem (Motola i in., 2015).

Należy pamiętać, że energia potrzebna do wytworzenia końcowego produktu żywnościowego nie pochodzi jedynie z bezpośredniego zużycia, ale zalicza się do niej także pośrednie przepływy energii. Obejmują one zakumulowaną wartość energii wykorzystywaną do produkcji nakładów i usług wykorzystywanych na poszczególnych etapach produkcji żywności (Pelletier i in., 2011). Zarówno bezpośrednie zużycie energii, na przykład przy pracach polowych, jak i pośrednie zużycie energii, na przykład przy produkcji nawozów i nasion, w wymierny sposób wpływa na końcową efektywność energetyczną produkcji (Robertson i in., 2000; West i Marland, 2002; Grönroos i in., 2006; Banaeian i Zangeneh, 2011). Pelletier i in. (2011) wskazują, że przy uprawie pszenicy, ziemniaków, jęczmienia i rzepaku w Wielkiej Brytanii, 43% nakładów energetycznych było wynikiem produkcji nawozów, a 26% wynikało z bezpośredniego zużycia energii na polach. Chłodzenie, suszenie i przechowywanie odpowiadało za 14% nakładów energetycznych, 11% nakładów energetycznych wynikało z produkcji i naprawy maszyn, a 7% z produkcji środków ochrony roślin. Należy mieć na uwadze, że zarówno intensyfikacja produkcji rolnej, jak i jej globalizacja, skutkują wzrostem zużycia energii w rolnictwie. W tym kontekście, istotne jest, że energia wykorzystywana w rolnictwie, pochodzi głównie z paliw kopalnych i zagraża poprawie efektywności energetycznej (Parcerisas i Dupras, 2018).

Z drugiej strony, dzięki wykorzystaniu energii pochodzącej z paliw kopalnych i pojawieniu się złożonych systemów przemysłowych, kraje o wysokich dochodach

rozwinęły produkcję na dużą skalę oraz zwiększyły wydajność pracy. Jednak tak duże uzależnienie od energii w całym łańcuchu żywnościowym budzi obawy chociażby o wpływ cen energii na ceny żywności, a także o krajowe bezpieczeństwo żywnościowe i zależność kraju od importowanej energii (Canning, 2010). Ceny surowców energetycznych, w szczególności ropy naftowej i gazu ziemnego znacząco wpływają na koszty produkcji i koszty transportu w rolnictwie (Pawlak, 2016), co finalnie znajduje odzwierciedlenie w cenach produktów żywnościowych kupowanych przez konsumentów. Zapotrzebowanie na energię w całym łańcuchu dostaw powoduje również niską wydajność systemów żywnościowych, a według niektórych szacunków, łącznie na wszystkich etapach łańcucha żywności potrzeba zużyć nawet 10 kcal energii, aby uzyskać 1 kcal żywności (Pimentel i Pimentel, 2007). Jednak na ilość energii zużywanej na jednostkę wyprodukowanej żywności wpływa wiele czynników, takich jak klimat, warunki uprawy, praktyki uprawy, systemy nawożenia, plony i inne zmienne w łańcuchach dostaw żywności, takie jak miks energetyczny wykorzystywany w przetwarzaniu lub środki transportu (Pelletier i in., 2011).

W przypadku produkcji rolniczej, energia jest kluczowym czynnikiem decydującym o powodzeniu upraw. Z jednej strony, zbyt małe wykorzystanie energii może prowadzić do niewielkich i niezadowalających plonów, a w konsekwencji, do niższej efektywności energetycznej produkcji (Woods i in., 2010). Z drugiej strony, zdecydowane zwiększenie zużycia energii nie skutkuje natychmiastowymi korzyściami w zakresie plonów. Z tego względu, rolnikom zwykle zależy na poprawie efektywności energetycznej poprzez oszczędzanie energii, a co za tym idzie, obniżaniu kosztów operacyjnych (Motola i in., 2015). Stosowanie efektywnych energetycznie technologii w rolnictwie pozwala też na zmniejszenie zużycia paliw przy produkcji roślinnej (Sørensen i in., 2014), co pozytywnie wpływa na środowisko naturalne. W wielu badaniach zidentyfikowano produkcję żywności jako sektor odpowiedzialny za znaczącą część zużycia energii ogółem (Campiotti i in., 2014), co jest związane ze znaczącym zużyciem energii pochodzącej z paliw kopalnych. Energia kopalna nie tylko odgrywa kluczową rolę w produkcji żywności we wszystkich rozwiniętych społeczeństwach, ale także jest kluczowa w procesie dostaw żywności w krajach rozwijających się. Jest ona wykorzystywana do poprawy czynników ograniczających w rolnictwie, w szczególności produktywności pracy, poprzez zwiększenie poziomu mocy mechanicznej oraz produktywności ziemi, poprzez zwiększenie dostępności składników odżywczych i zaopatrzenia (Giampietro, 2001).

Znacząca część produkcji rolnej ulega przetworzeniu, a w tym zakresie energia potrzebna jest chociażby do konserwowania żywności i zwiększania jej fizycznej dostępności przez dłuższy czas czy też zmniejszania strat pożniwnych. Działalność związana z przetwórstwem żywności obejmuje zarówno operacje po zbiorach oraz najprostsze metody konserwacji, aż po nowoczesne metody przetwórstwa (FAO, 2016). Przetwórstwo uważane jest za energochłonny etap produkcji żywności, szacuje się, że ilość energii wykorzystywana do przetwarzania żywności jest około 3-4 razy większa niż energia wykorzystywana do produkcji podstawowej (Smil, 2008). Pelletier i in. (2011), w swoim badaniu wskazują, że przetwórstwo jest odpowiedzialne nawet za 17% zużycia energii w systemach żywnościowych. Jednak różnice w sposobie przetwarzania żywności powodują, że identyfikacja trendów zużycia energii jest dość trudna (Klemes i in., 2008). Zużycie energii w przemyśle spożywczym jest różne w zależności od kraju, a także w zależności od wytwarzanego produktu (Clairand i in., 2020). Jeden z problemów w tym zakresie stanowi stosowanie nieefektywnych technologii przetwórstwa (Degerli i in., 2015; Lin i Xie, 2015; Özilgen, 2016). Nieefektywność oraz różnice technologiczne obserwowane w przetwórstwie żywności często powodują również wysokie zużycie energii w przemyśle spożywczym. Zjawisko to obserwowane jest głównie w krajach słabiej rozwiniętych (Wang, 2014).

Ze względu na rosnące zapotrzebowanie na żywność przetworzoną, wynikające między innymi z rozwoju gospodarczego krajów (Baker i in., 2020), oraz to, że dla konsumentów istotna jest dostępność produktów sezonowych przez cały rok, zaobserwowano znaczące zmiany w produkcji żywności oraz intensyfikacji transportu również na duże odległości (Padfield i in., 2012). Niektóre badania (Canning, 2010; Pelletier i in., 2011) wskazują, że przepływy energii związane z transportem żywności stanowią mniej niż 5% całkowitego zużycia energii przez cały system żywnościowy. Wynika to z faktu, że transport na obszarze danego kraju zwykle odbywa się drogą lądową i kolejową, natomiast transport poza granice danego kraju odbywa się koleją lub statkami, które uważane są za stosunkowo energooszczędne.

Jednak w przypadku niektórych rodzajów żywności, takich jak produkty łatwo psujące się lub produkty mrożone, transport wymaga zaangażowania dużej ilości energii ze względu na potrzebę chłodzenia tych produktów w trasie, przez co szuka się oszczędności energii w budowaniu lokalnych łańcuchów dostaw (Jones, 2002; Cuéllar i Webber, 2010). Wiele badań wskazuje na to, że lokalne systemy żywnościowe, działające na małą skalę, zużywają zdecydowanie mniej energii niż te, które są zależne

od globalnych sieci dystrybucji (Mariola, 2008; Coley i in., 2009). Jednak, aby zmaksymalizować oszczędności energii netto w transporcie, poprzez uzależnienie od pobliskiej produkcji żywności, lokalne gospodarstwa rolne i przemysł przetwórczy musiałyby być co najmniej tak efektywne energetycznie, jak odległe alternatywy przemysłowe, które zastępują przetwórstwo krajowe (Verma, 2015). Z kolei inwestycje w urządzenia służące do chłodzenia czy zamrażania produktów, mógłby być korzystnym sposobem na ograniczenie marnowania żywności w łańcuchach dostaw, ponieważ zwykle większość żywności jest marnowana jeszcze zanim dotrze do konsumenta. Wprowadzenie takich rozwiązań może się jednak wiązać ze zwiększonym zużyciem energii (Holland, 2004). Z tego względu, redukcja odpadów powstających w łańcuchach dostaw żywności i korzyści z tym związane powinny przewyższać potencjalne zwiększenie zużycia energii wynikające z chłodzenia czy zamrażania.

W ostatnich latach nastąpiła globalna intensyfikacja zużycia energii w produkcji żywności oraz wzrost zapotrzebowania na żywność, głównie z powodu przyrostu liczby ludności i rosnącej zamożności ludzi (Woods i in., 2010). Przyczyną swego rodzaju presji zarówno dla rolnictwa, jak i dla całych łańcuchów dostaw żywności są też międzynarodowe zależności surowcowo-energetyczne, które mogą przyczyniać się do kryzysów społeczno-gospodarczych (Wysokiński i in., 2021). Jak wynika z badań Shi i in. (2022), niedobory energii prowadzące do ubóstwa energetycznego mogą znacząco obniżyć wydajność techniczną rolnictwa, która jest szczególnie ważna z punktu widzenia bezpieczeństwa żywnościowego oraz zrównoważonego rozwoju. Biorąc pod uwagę uzależnienie łańcuchów dostaw od paliw kopalnych, przyszłe ograniczenia w ich wydobyciu, z jednej strony mogą stanowić czynnik hamujący produkcję żywności, a z drugiej strony stymulujący rozwój systemu produkcji żywności (Arizpe in., 2011; Markussen i Østergård, 2013). Natomiast najlepszym sposobem na zmniejszenie zagrożenia dla środowiska stwarzanego przez zużycie energii jest zwiększenie efektywności jej wykorzystania (Yuan i Peng, 2017a). Efektywne wykorzystanie energii w rolnictwie pomaga zwiększyć produkcję i produktywność, zapewnia oszczędności finansowe, minimalizuje negatywny wpływ na środowisko, pomaga chronić zasoby naturalne, a także promuje zrównoważony rozwój ekosystemów rolniczych (Pervanchon i in., 2002).

## 2.2 Intensywność energetyczna produkcji żywności na świecie - przegląd literatury

Ilość żywności produkowanej na świecie w ostatnich latach znacząco wzrosła. Zaobserwowano wzrost produktywności systemów żywnościowych, głównie przez znaczący wzrost bezpośredniego i pośredniego wykorzystania paliw kopalnych w rolnictwie, co finalnie wywołało wzrost intensywności energetycznej produkcji żywności (Verma, 2015). W krajach, gdzie duże znaczenie ma sektor rolniczy, poprawa efektywności energetycznej rolnictwa często należy do głównych celów polityki energetycznej (Chang i in., 2003; Inumula i in., 2020). Jednym z rozwiązań postulowanych w celu poprawy efektywności energetycznej produkcji żywności oraz ochrony środowiska jest zmiana praktyk rolniczych w kierunku rolnictwa ekologicznego (Pimentel i in., 2005). Również w Europejskim Zielonym Ładzie (SWD(2020)93) podkreślono, że produkcja żywności powoduje zmniejszenie oraz zanieczyszczenie zasobów środowiska naturalnego, dlatego istotne są zmiany w tym zakresie, jak na przykład zmiana praktyk rolniczych, gdzie za istotną kwestię uznano wzrost udziału upraw ekologicznych do 2030 roku, tak aby stanowiły 25% powierzchni gruntów rolnych w UE.

Jednak, pomimo że rolnictwo ekologiczne uważane jest za produktywne i zrównoważone (Reganold i in., 1993; Drinkwater i in., 1998; Mader i in., 2002; Murata i Goh, 1997; Letourneau i Goldstein, 2001) oraz zużywa mniej energii (Lynch i in., 2011), szacuje się, że nie jest ono w stanie dostarczyć odpowiedniej ilości pożywienia dla wszystkich ludzi na świecie (Connor, 2008; Reddy, 2009). Ważną rolę w zwiększaniu efektywności energetycznej rolnictwa odgrywa również rozwój technologiczny, zmiany w zarządzaniu uprawami czy energia odnawialna (Woods i in., 2010; Abbas i in., 2020). Z kolei, w przemyśle spożywczym głównych możliwości zmniejszenia zużycia energii upatruje się w optymalizacji procesów technologicznych. Dlatego, badania nad przemysłem spożywczym i jego intensywnością energetyczną często analizują zastosowanie nowych technologii i ich potencjału oszczędności energii (Burfoot i in., 2004; Fritzson i Berntsson, 2006; Klemes i Stehlik, 2007; Mirza, 2008). Oprócz powyższych możliwości ograniczania zużycia energii w systemach produkcji żywności, wskazuje się także na duże znaczenie (Motola i in. 2015):

- prowadzenia prac badawczo-rozwojowych w zakresie innowacyjnych technik rolniczych (np. ulepszone nawadnianie, rolnictwo precyzyjne);

- lokalnej produkcji i konsumpcji produktów rolnych, w celu zmniejszania potrzeb transportowych związanych z żywnością;
- zrównoważonego procesu pakowania produktów i większego wykorzystania materiałów odnawialnych.

Należy pamiętać, że w świetle badań energia jest jednym z podstawowych nakładów w rolnictwie (Mushtaq, 2007). Karkacier i in., (2006) określili silny związek pomiędzy zużyciem energii, a wydajnością rolnictwa. Również Chandio i in. (2019) wskazali, że wzrost zużycia energii pozytywnie wpływa na wielkość produkcji rolniczej. Aydoğan i Vardara (2020) analizując kraje UE zwrócili uwagę również na to, że wzrost udziału odnawialnych źródeł energii jest niezbędny, aby utrzymać rozwój sektora rolnego, przy jednoczesnym zmniejszaniu zużycia energii ze źródeł kopalnych oraz lepszej ochronie środowiska. W przypadku zużycia energii w Polsce, od momentu wejścia do UE, obserwowano podobny trend w porównaniu do reszty krajów Wspólnoty. Stopniowo odchodzono od paliw stałych i wzrastał udział odnawialnych źródeł energii w strukturze zużycia energii (Rokicki i Perkowska, 2020). Potwierdza to także badanie Wysokińskiego i in. (2017), w którym zaobserwowano zmniejszenie zużycia energii w rolnictwie w Polsce w latach 1990-2015, a także zmniejszenie energochłonności rolnictwa wynikające z wprowadzania energooszczędnych technologii produkcji rolniczej. Mając na uwadze, że zużycie energii prowadzi również do emisji gazów cieplarnianych, istotne jest, że krajom UE udaje się te emisje ograniczyć. Mohammed i in. (2019) wskazali, że kraje UE-27, z wyjątkiem Hiszpanii, odnotowały znaczącą redukcję emisji gazów cieplarnianych w sektorze rolnym, natomiast największą redukcję zaobserwowano w przypadku Wielkiej Brytanii, Niemiec i Francji. Briam i in. (2015) zwrócili jednak uwagę, że bardziej energochłonne działania niekoniecznie skutkują wzrostem emisji gazów cieplarnianych, a efektywne zarządzanie energią jest istotne z punktu widzenia obniżania kosztów produkcji czy ryzyka związanego z gwałtownymi zmianami cen energii lub niedoborami jej dostaw. Efektywność energetyczna jest kluczowa także w świetle poprawy zrównoważonego rozwoju przetwórstwa spożywczego, na co zwrócił uwagę Wang (2008).

Ponadto, Florea i in. (2020) wskazali, jak istotna jest energia odnawialna w kontekście zrównoważonego rolnictwa. Z ich analizy przeprowadzonej dla lat 2000-2017 dla krajów centralnej i wschodniej Europy wynika, że udział energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii wzrósł we wszystkich analizowanych krajach, przy czym najmniejszy udział zaobserwowano w przypadku

krajów takich jak Polska, Czechy, Słowacja i Węgry. Rokicki i in. (2021) również wykazali, że w krajach UE zdecydowanie wzrosło zużycie energii ze źródeł odnawialnych, a oprócz tego, ograniczono zużycie energii w rolnictwie. Badając kraje UE w latach 2005-2018, między innymi w zakresie zużycia energii w rolnictwie według źródeł, zaobserwowali oni również wzrost zużycia energii elektrycznej oraz spadek zużycia energii pochodzącej z paliw kopalnych, co było pozytywnym aspektem w świetle efektywności energetycznej. Jak wskazuje Wu (2012) wzrost efektywności energetycznej powinien przyczyniać się także do zmniejszenia się różnic rozwojowych pomiędzy regionami.

Cuéllar i Webber (2010), badając zużycie energii w całym systemie żywnościowym Stanów Zjednoczonych wykazali, że 28% energii zużywa się na poziomie gospodarstw domowych. Według ich badania, zużycie energii w rolnictwie stanowiło 13% łącznego zużycia w systemie żywnościowym USA, natomiast przetwórstwo odpowiadało za 17% zużycia energii. Bajan i in. (2020) wykazali, że pomimo wzrostu zużycia energii w systemach produkcji żywności, ich energochłonność maleje. W badaniu tym, najbardziej energochłonnym etapem produkcji żywności w krajach rozwiniętych było zaopatrzenie rolnictwa. Znaczącą intensywnością energetyczną w fazie zaopatrzenia rolnictwa charakteryzowały się takie kraje jak Kanada, gdzie wskaźnik energochłonności wyniósł 12,7 MJ/1 USD PKB oraz Stany Zjednoczone, gdzie energochłonność wyniosła 8,8 MJ/1 USD PKB. W przypadku krajów UE, wysokie wskaźniki w fazie zaopatrzenia rolnictwa zaobserwowano we Francji i Niemczech. W przypadku Francji, wskaźnik intensywności energetycznej wyniósł 6,3 MJ/1 USD PKB, a w Niemczech wskaźnik był na poziomie 5,4 MJ/1 USD PKB. Z kolei Martínez (2010) wykorzystał wskaźnik intensywności energetycznej (MJ/1 EUR) jako wskaźnik efektywności energetycznej w niemieckim i kolumbijskim przemyśle spożywczym. W latach 1998-2005 zużycie energii w niemieckim przemyśle spożywczym rosło średnio o 1,3% rocznie, podczas gdy kolumbijski przemysł spożywczy zmniejszał zużycie energii średnio o 1,9% rocznie. Jednak energochłonność przemysłu spożywczego spadła w obu krajach, w Niemczech o 7%, a w Kolumbii o 11%. Również w krajach UE-15 przemysł spożywczy charakteryzuje się dużą energochłonnością. Bajan i in. (2021) wykazali, że zużycie energii w przemyśle spożywczym odpowiadało nawet za 42% zużycia energii w systemach produkcji żywności krajów UE-15 w latach 2000-2016, natomiast w przypadku rolnictwa było to 38%.

Należy pamiętać, że wytwarzanie wystarczającej ilości żywności przez rolnictwo, poważnie zagraża środowisku naturalnemu, a zwiększanie produkcji żywności może doprowadzić do intensywniejszego wykorzystania energii w systemach produkcji żywności. (Maysami i Berg, 2021). Znaczącym problemem jest produkcja zwierzęca, ponieważ szacunki wskazują na jej zdecydowanie wyższy ślad węglowy w porównaniu z produkcją roślinną. Jak wskazują Steinfeld i in. (2013), popyt na produkty pochodzenia zwierzęcego rośnie szybciej niż populacja. Według Usubiaga-Liaño i in. (2020), nawet 31% zużycia energii w systemach produkcji żywności w Europie, Ameryce Północnej, a także w krajach o wysokich dochodach leżących w Azji oraz Australii i Oceanii jest związanych z produktami pochodzenia zwierzęcego. Dodatkowo, prognozuje się, że globalna produkcja mięsa i mleka do 2050 roku będzie ponad dwukrotnie wyższa niż produkcja z 1999 roku (Steinfeld i in., 2006). Ze względu na znaczące spożycie mięsa, jaj i nabiału na świecie (Kearney, 2010), wskazuje się też na potrzebę zmiany diety ludzi i mniejszej konsumpcji produktów pochodzenia zwierzęcego, ponieważ przyniosłoby to znaczące korzyści dla środowiska (Westhoek i in., 2014).

W przypadku krajów UE, sektory rolnictwa, które zajmują się produkcją zwierzęcą zużywają znaczącą ilość energii we wszystkich krajach członkowskich, a za najbardziej energochłonną uważa się produkcję mleka, następnie trzody chlewnej i brojlerów (Gołaszewski, 2013). Aby poprawić efektywność energetyczną i zmniejszyć energochłonność w hodowli bydła mlecznego konieczne jest zbadanie głównych procesów, w których wykorzystywana jest energia w systemie hodowli bydła mlecznego oraz określenie ich wpływu na efektywność energetyczną procesu, na co zwraca uwagę Kraatz (2012). W tym kontekście, badania skupiają się głównie na żywieniu bydła mlecznego, co jest silnie powiązane z produkcją roślinną (Meul i in., 2007; Thomassen, 2008). Również Greenwood i Bell (2014) zwracają uwagę na to, że wydajność i energochłonność hodowli zwierząt jest silnie uwarunkowana powiązaniami między zwierzętami hodowlanymi, roślinami i glebą. Pimentel (2009) wskazuje na to, że do wyprodukowania 1 kg wołowiny potrzeba nawet 13 kg zboża i 30 kg paszy. Laso i in. (2018) wskazali także na znaczącą intensywność energetyczną produkcji mięsa, jaj oraz ryb i owoców morza. Dodatkowo, według ich badania, najbardziej energochłonne działania związane z produkcją odbywają się na poziomie gospodarstw rolnych. Autorzy wskazali, że w przypadku produkcji mięsa, 65% wymaganych nakładów energetycznych ma związek ze zużyciem energii w gospodarstwie rolnym, w przypadku

jaj było to 85%, natomiast przy produkcji ryb i owoców morza 59%. Produkty mięsne oraz ryby i owoce morza charakteryzowały się także znaczącą energochłonnością w procesie przetwórstwa, który był odpowiedzialny za 14% zużycia energii w przypadku mięsa oraz za 16% zużycia energii przy produkcji ryb i owoców morza. Według badania Woods i in. (2010), za 75% nakładów energetycznych do produkcji zwierzęcej w Wielkiej Brytanii odpowiedzialne jest dostarczanie pasz. W Stanach Zjednoczonych, dostarczanie pasz stanowiło 80% zużytej energii przy produkcji brojlerów, 53% w przypadku trzody chlewnej oraz 86% przy produkcji wołowiny (Pelletier, 2008; Pelletier i in., 2010a; Pelletier i in., 2010b). Z kolei w przypadku mleka, na energochłonność procesu doju wpływa przede wszystkim wykorzystanie energii elektrycznej, które jest zdeterminowane wielkością hodowli, a także wykorzystywanymi maszynami i urządzeniami (Kraatz, 2012). Natomiast w przemyśle mleczarskim, istnieje wiele procesów związanych z różnymi produktami (mleko płynne, mleko w proszku, masło, śmietana), które wymagają energii do obsługi systemów i urządzeń przetwórczych. W przypadku światowego przemysłu spożywczego, zapotrzebowanie na energię jest jednak istotnym problemem, ponieważ istnieją obawy dotyczące dostępności energii, głównie w przypadku źródeł nieodnawialnych oraz dotyczące wpływu emisji gazów cieplarnianych i zanieczyszczeń na środowisko (Xu i Flapper, 2009).

Z kolei produkcja roślinna uważana jest za mniej energochłonną. Według szacunków, nakład energii pochodzącej z paliw kopalnych na wyprodukowanie 1 kcal białka roślinnego wynosi 8 kcal, natomiast w przypadku produkcji zwierzęcej, nakład potrzebny do wyprodukowania 1 kcal białka wynosi 40 kcal (Pimentel i Pimentel, 2003). Większość energii pochodzącej z paliw kopalnych wykorzystywanej do produkcji roślinnej zarówno w krajach rozwiniętych, jak i rozwijających się ma postać ropy naftowej i gazu ziemnego. Ropa jest niezbędna w maszynach rolniczych, a gaz ziemny jest niezbędny do produkcji nawozów azotowych (Pimentel, 2009). W krajach Unii Europejskiej najwięcej energii zużywa się do produkcji pszenicy w Niemczech, Grecji i Polsce, a także do produkcji ziemniaków i buraków cukrowych w Polsce i Niemczech (Gołaszewski, 2013). Znaczącą intensywność energetyczną produkcji rolniczej w Polsce zaobserwowali także Bajan i in. (2021), którzy analizowali zużycie energii w systemach produkcji żywności krajów Grupy Wyszehradzkiej i UE-15. Wysoką intensywność energetyczną rolnictwa polskiego przypisuje się przede wszystkim rozdrobnionej strukturze agrarnej oraz relatywnie wolnemu postępowi

technicznemu odbywającemu się na wsi (Rokicki i in., 2021). Wysoką intensywnością energetyczną charakteryzują się także warzywa ze względu na duże zapotrzebowanie wody oraz energii cieplnej w przypadku produkcji szklarniowej, co wykazali Laso i in. (2018). W przypadku krajów nienależących do Unii Europejskiej, Khan i in. (2010) przeprowadzili badanie dotyczące zużycia energii przy produkcji ryżu, pszenicy i jęczmienia w Australii. Według ich wyników, najbardziej wydajną energetycznie rośliną była pszenica. Gökdoğan i Sevim (2016), badając zużycie energii przy produkcji pszenicy w Turcji oszacowali, że na hektar użytków rolnych zużywa się około 26 tys. megadżuli (MJ). Z kolei według badania Barut i in. (2011), uprawa kukurydzy w Turcji wymagała zużycia energii na poziomie 24 tys. MJ/ha. Zwykle, przy produkcji roślinnej, znaczącym zużyciem energii charakteryzuje się ryż. Według badania Yuan i Peng (2017b), w którym analizowano zużycie energii przy produkcji ryżu w Chinach, nakłady energetyczne wynosiły średnio 34,5 tys. MJ/ha. Z kolei w badaniu Zhang i in. (2015), które dotyczyło zużycia energii w Chinach przy produkcji roślinnej w latach 1995-2011, pomimo wzrostu uzależnienia produkcji od paliw kopalnych, zaobserwowano zmniejszenie energochłonności chińskiej produkcji roślinnej. Natomiast w celu ograniczenia intensywności energetycznej przy produkcji roślinnej, zwraca się także uwagę na wykorzystanie roślin strączkowych w płodozmianie oraz roślin, które wymagają mniejszej ilości zabiegów, a co za tym idzie, potrzebują mniejszych nakładów energetycznych (Gliessman i in., 2004).

### 2.3 Sposób pomiaru intensywności energetycznej produkcji żywności w Polsce

Do obliczenia intensywności energetycznej produkcji żywności w Polsce wykorzystano dane pochodzące z bazy EXIOBASE. Baza danych EXIOBASE może być wykorzystywana do obliczeń dotyczących poszczególnych produktów rolno-spożywczych, na przykład dotyczących dystrybucji energii pomiędzy sektorami produkującymi żywność czy też oceny cyklu życia produktów (Merciai i Schmidt, 2018). Wynika to z dużej dezagregacji danych, przez co możliwe jest wyodrębnienie poszczególnych produktów rolniczych (Owen i in., 2017). W badaniu wzięto pod uwagę 8 kierunków produkcji rolniczej, zarówno zwierzęcej, jak i roślinnej:

- chów bydła,
- chów drobiu,
- chów trzody chlewnej,

- mleko surowe,
- pszenicę,
- warzywa i owoce,
- rośliny oleiste,
- buraki cukrowe.

W przeprowadzonym badaniu, z łańcucha dostaw żywności wyodrębniono trzy etapy produkcyjne, które w pracy nazwano wspólnie systemem produkcji żywności. Etapy te obejmują:

I. zaopatrzenie rolnictwa (gdzie uwzględnione są nakłady ze wszystkich sektorów gospodarki do rolnictwa),

II. rolnictwo (gdzie uwzględniona jest działalność w gospodarstwach rolnych),

III. przetwórstwo pierwotne (które obejmuje działania związane z podstawowym przetwarzaniem produktów rolniczych i przygotowaniem ich do dalszego przetwórstwa).

Badanie zostało przeprowadzone dla lat 2000, 2005, 2010 i 2015. Pierwszy badany rok wybrano, aby scharakteryzować sytuację systemu produkcji żywności w Polsce jeszcze przed przystąpieniem do UE, natomiast ostatni badany rok wybrano ze względu na dostępność danych statystycznych w bazie danych EXIOBASE. Rok 2015 jest bowiem rokiem, dla którego w rachunkach uzupełniających tabele przepływów międzygałęziowych, znalazły się rzeczywiste dane dotyczące zużycia energii w poszczególnych sektorach gospodarki.

Pierwszym krokiem w obliczeniach było wyznaczenie krajowych tabel *input-output* dla Polski, przy pomocy multiregionalnych tabel *input-output*. Wyznaczono macierz struktury kosztów, która uwzględnia nakłady materiałów ze wszystkich sektorów gospodarki do produkcji w danym sektorze oraz macierz jednostkową. Dzięki temu, możliwe było utworzenie odwróconej macierzy Leontiefa ($(I - A)^{-1}$), pokazującej współczynniki pełnej materiałochłonności pomiędzy każdym sektorem gospodarki. Macierz ta pokazuje zarówno bezpośrednie, jak i pośrednie zapotrzebowanie na nakłady dla każdego sektora ze wszystkich sektorów gospodarki. Odwrócona macierz Leontiefa została wykorzystana do obliczenia zarówno zużycia energii, jak i PKB systemu produkcji żywności. Podejście to opierało się na ogólnych właściwościach modelu przepływów międzygałęziowych, a mianowicie możliwości pomiaru, jakie było zapotrzebowanie na energię na etapie dostarczania nakładów do produkcji oraz na

etapie produkcji, poprzez pomnożenie odwróconej macierzy Leontiefa przez macierz współczynników bezpośredniego zużycia energii. Współczynniki bezpośredniego zużycia energii wynikają z podzielenia zużycia energii danej gałęzi gospodarki przez jej produkcję globalną. Takie równanie można zapisać jako (Miller i Blair, 2009):

$$FIC_{EU} = (I - A)^{-1} * DIC_{EU}$$

gdzie: $FIC_{EU}$ = macierz współczynników pełnego zużycia energii; $I$ = macierz jednostkowa; $A$ = macierz struktury kosztów; $DIC_{EU}$ = macierz współczynników bezpośredniego zużycia energii.

Możliwe było także obliczenie PKB wytworzonego poprzez dostarczanie nakładów do produkcji oraz dzięki produkcji, poprzez pomnożenie odwróconej macierzy Leontiefa przez macierz współczynników bezpośredniego przepływu PKB. Współczynniki bezpośredniego przepływu PKB danej gałęzi wyznacza się jako iloraz PKB i produkcji globalnej tej gałęzi. Takie równanie można zapisać jako:

$$FIC_{GDP} = (I - A)^{-1} * DIC_{GDP}$$

gdzie: $FIC_{GDP}$ = macierz współczynników pełnego przepływu PKB; $I$ = macierz jednostkowa; $A$ = macierz struktury kosztów; $DIC_{GDP}$ = macierz współczynników bezpośredniego przepływu PKB.

Kolejnym krokiem w badaniu było określenie zużycia energii na poszczególnych etapach produkcji żywności, mianowicie na etapie zaopatrzenia rolnictwa, rolnictwa oraz przetwórstwa pierwotnego produktów rolniczych. W przypadku rolnictwa, bezpośrednie zużycie energii dla wszystkich analizowanych kierunków produkcji rolniczej zaczerpnięto bazy EXIOBASE. Natomiast obliczanie zużycia energii na etapie zaopatrzenia rolnictwa i przetwórstwa pierwotnego rozpoczęto od pomnożenia współczynników pełnego zużycia energii i pełnego przepływu PKB dla analizowanych kierunków produkcji przez produkcję globalną poszczególnych gałęzi produkujących żywność. Dzięki temu, otrzymano całkowite zużycie energii i wartość PKB wynikające z dostarczania nakładów do produkcji oraz samej produkcji.

Zużycie energii na etapie zaopatrzenia rolnictwa dla każdej z wybranych gałęzi produkujących żywność[2], obliczono poprzez odjęcie od całkowitej energii wykorzystanej do dostarczenia nakładów i produkcji, energii zużytej w wyniku produkcji i samozaopatrzenia, a także wynikającej z przepływów pomiędzy pozostałymi analizowanymi gałęziami, do danej gałęzi. W ten sposób, uniknięto błędu podwójnego

[2] Pełną listę kodów i nazw gałęzi produkujących żywność zamieszczono w aneksie.

liczenia, ponieważ przepływy z pozostałych gałęzi produkujących żywność, do danej gałęzi, są zawarte w bezpośrednim zużyciu energii w rolnictwie pozostałych gałęzi. Dla wszystkich analizowanych gałęzi produkujących żywność, obliczenia te można przedstawić za pomocą następujących wzorów, zgodnych z podejściem Miller i Blair (2009):

a) pszenica:

$$EU_{AS_{01B}} = (FIC_{EU_{01B}} * O_{01B}) - (DIC_{EU_{01B}} * (I-A)^{-1}_{01B} * O_{01B}) - (DIC_{EU_{01D}} * (I-A)^{-1}_{01D} * O_{01B}) - (DIC_{EU_{01E}} * (I-A)^{-1}_{01E} * O_{01B}) - (DIC_{EU_{01F}} * (I-A)^{-1}_{01F} * O_{01B}) - (DIC_{EU_{01I}} * (I-A)^{-1}_{01I} * O_{01B}) - (DIC_{EU_{01J}} * (I-A)^{-1}_{01J} * O_{01B}) - (DIC_{EU_{01K}} * (I-A)^{-1}_{01K} * O_{01B}) - (DIC_{EU_{01N}} * (I-A)^{-1}_{01N} * O_{01B})$$

gdzie: $EU_{AS01B}$ = zużycie energii na etapie zaopatrzenia produkcji pszenicy; $FIC_{EU01B}$ = współczynnik pełnego zużycia energii dla pszenicy; $O_{01B}$ = produkcja globalna pszenicy; $DIC_{EU01B}$ = współczynnik bezpośredniego zużycia energii dla pszenicy; $DIC_{EU01D}$ = współczynnik bezpośredniego zużycia energii dla warzyw i owoców; $DIC_{EU01E}$ = współczynnik bezpośredniego zużycia energii dla roślin oleistych; $DIC_{EU01F}$ = współczynnik bezpośredniego zużycia energii dla buraków cukrowych; $DIC_{EU01I}$ = współczynnik bezpośredniego zużycia energii dla chowu bydła; $DIC_{EU01J}$ = współczynnik bezpośredniego zużycia energii dla chowu trzody chlewnej; $DIC_{EU01K}$ = współczynnik bezpośredniego zużycia energii dla chowu drobiu; $DIC_{EU01N}$ = współczynnik bezpośredniego zużycia energii dla mleka surowego; $(I-A)^{-1}_{01B}$ = element macierzy Leontiefa odpowiadający samozaopatrzeniu produkcji pszenicy; $(I-A)^{-1}_{01D}$ = element macierzy Leontiefa odpowiadający zaopatrzeniu produkcji pszenicy z gałęzi produkującej warzywa i owoce; $(I-A)^{-1}_{01E}$ = element macierzy Leontiefa odpowiadający zaopatrzeniu produkcji pszenicy z gałęzi produkującej rośliny oleiste; $(I-A)^{-1}_{01F}$ = element macierzy Leontiefa odpowiadający zaopatrzeniu produkcji pszenicy z gałęzi produkującej buraki cukrowe; $(I-A)^{-1}_{01I}$ = element macierzy Leontiefa odpowiadający zaopatrzeniu produkcji pszenicy z chowu bydła; $(I-A)^{-1}_{01J}$ = element macierzy Leontiefa odpowiadający zaopatrzeniu produkcji pszenicy z chowu trzody chlewnej; $(I-A)^{-1}_{01K}$ = element macierzy Leontiefa odpowiadający zaopatrzeniu produkcji pszenicy z chowu drobiu; $(I-A)^{-1}_{01N}$ = element macierzy Leontiefa odpowiadający zaopatrzeniu produkcji pszenicy z gałęzi produkującej mleko surowe.

b) warzywa i owoce:

$$EU_{AS_{01D}} = (FIC_{EU_{01D}} * O_{01D}) - (DIC_{EU_{01D}} * (I-A)^{-1}_{01D} * O_{01D}) - (DIC_{EU_{01B}} * (I-A)^{-1}_{01B} * O_{01D}) - (DIC_{EU_{01E}} * (I-A)^{-1}_{01E} * O_{01D}) - (DIC_{EU_{01F}} * (I-A)^{-1}_{01F} * O_{01D}) - (DIC_{EU_{01I}} * (I-A)^{-1}_{01I} * O_{01D}) - (DIC_{EU_{01J}} * (I-A)^{-1}_{01J} * O_{01D}) - (DIC_{EU_{01K}} * (I-A)^{-1}_{01K} * O_{01D}) - (DIC_{EU_{01N}} * (I-A)^{-1}_{01N} * O_{01D})$$

gdzie: $EU_{AS01D}$ = zużycie energii na etapie zaopatrzenia produkcji warzyw i owoców; $FIC_{EU01D}$ = współczynnik pełnego zużycia energii dla warzyw i owoców; $O_{01D}$ = produkcja globalna warzyw i owoców.
Pozostałe zmienne analogicznie do zdefiniowanych wcześniej.

c) rośliny oleiste:

$$EU_{AS_{01E}} = (FIC_{EU_{01E}} * O_{01E}) - (DIC_{EU_{01E}} * (I-A)^{-1}_{01E} * O_{01E}) - (DIC_{EU_{01B}} * (I-A)^{-1}_{01B} * O_{01E}) - (DIC_{EU_{01D}} * (I-A)^{-1}_{01D} * O_{01E}) - (DIC_{EU_{01F}} * (I-A)^{-1}_{01F} * O_{01E}) - (DIC_{EU_{01I}} * (I-A)^{-1}_{01I} * O_{01E}) - (DIC_{EU_{01J}} * (I-A)^{-1}_{01J} * O_{01E}) - (DIC_{EU_{01K}} * (I-A)^{-1}_{01K} * O_{01E}) - (DIC_{EU_{01N}} * (I-A)^{-1}_{01N} * O_{01E})$$

gdzie: $EU_{AS01E}$ = zużycie energii na etapie zaopatrzenia produkcji roślin oleistych; $FIC_{EU01E}$ = współczynnik pełnego zużycia energii dla roślin oleistych; $O_{01E}$ = produkcja globalna roślin oleistych.
Pozostałe zmienne analogicznie do zdefiniowanych wcześniej.

d) buraki cukrowe:

$$EU_{AS_{01F}} = (FIC_{EU_{01F}} * O_{01F}) - (DIC_{EU_{01F}} * (I-A)^{-1}_{01F} * O_{01F}) - (DIC_{EU_{01B}} * (I-A)^{-1}_{01B} * O_{01F}) - (DIC_{EU_{01D}} * (I-A)^{-1}_{01D} * O_{01F}) - (DIC_{EU_{01E}} * (I-A)^{-1}_{01E} * O_{01F}) - (DIC_{EU_{01I}} * (I-A)^{-1}_{01I} * O_{01F}) - (DIC_{EU_{01J}} * (I-A)^{-1}_{01J} * O_{01F}) - (DIC_{EU_{01K}} * (I-A)^{-1}_{01K} * O_{01F}) - (DIC_{EU_{01N}} * (I-A)^{-1}_{01N} * O_{01F})$$

gdzie: $EU_{AS01F}$ = zużycie energii na etapie zaopatrzenia produkcji buraków cukrowych; $FIC_{EU01F}$ = współczynnik pełnego zużycia energii dla buraków cukrowych; $O_{01F}$ = produkcja globalna buraków cukrowych.
Pozostałe zmienne analogicznie do zdefiniowanych wcześniej.

e) chów bydła:

$$EU_{AS_{01I}} = (FIC_{EU_{01I}} * O_{01I}) - (DIC_{EU_{01I}} * (I-A)^{-1}_{01I} * O_{01I}) - (DIC_{EU_{01B}} * (I-A)^{-1}_{01B} * O_{01I}) - (DIC_{EU_{01D}} * (I-A)^{-1}_{01D} * O_{01I}) - (DIC_{EU_{01E}} * (I-A)^{-1}_{01E} * O_{01I}) - (DIC_{EU_{01F}} * (I-A)^{-1}_{01F} * O_{01I}) - (DIC_{EU_{01J}} * (I-A)^{-1}_{01J} * O_{01I}) - (DIC_{EU_{01K}} * (I-A)^{-1}_{01K} * O_{01I}) - (DIC_{EU_{01N}} * (I-A)^{-1}_{01N} * O_{01I})$$

gdzie: $EU_{AS01I}$ = zużycie energii na etapie zaopatrzenia chowu bydła; $FIC_{EU01I}$ = współczynnik pełnego zużycia energii dla chowu bydła; $O_{01I}$ = produkcja globalna chowu bydła.
Pozostałe zmienne analogicznie do zdefiniowanych wcześniej.

f) chów trzody chlewnej:

$$EU_{AS_{01J}} = (FIC_{EU_{01J}} * O_{01J}) - (DIC_{EU_{01J}} * (I-A)^{-1}_{01J} * O_{01J}) - (DIC_{EU_{01B}} * (I-A)^{-1}_{01B} * O_{01J}) - (DIC_{EU_{01D}} * (I-A)^{-1}_{01D} * O_{01J}) - (DIC_{EU_{01E}} * (I-A)^{-1}_{01E} * O_{01J}) - (DIC_{EU_{01F}} * (I-A)^{-1}_{01F} * O_{01J}) - (DIC_{EU_{01I}} * (I-A)^{-1}_{01I} * O_{01J}) - (DIC_{EU_{01K}} * (I-A)^{-1}_{01K} * O_{01J}) - (DIC_{EU_{01N}} * (I-A)^{-1}_{01N} * O_{01J})$$

gdzie: $EU_{AS01J}$ = zużycie energii na etapie zaopatrzenia chowu trzody chlewnej; $FIC_{EU01J}$ = współczynnik pełnego zużycia energii dla chowu trzody chlewnej; $O_{01J}$ = produkcja globalna chowu trzody chlewnej.
Pozostałe zmienne analogicznie do zdefiniowanych wcześniej.

g) chów drobiu:

$$EU_{AS_{01K}} = (FIC_{EU_{01K}} * O_{01K}) - (DIC_{EU_{01K}} * (I-A)^{-1}_{01K} * O_{01K}) - (DIC_{EU_{01B}} * (I-A)^{-1}_{01B} * O_{01K}) - (DIC_{EU_{01D}} * (I-A)^{-1}_{01D} * O_{01K}) - (DIC_{EU_{01E}} * (I-A)^{-1}_{01E} * O_{01K}) - (DIC_{EU_{01F}} * (I-A)^{-1}_{01F} * O_{01K}) - (DIC_{EU_{01I}} * (I-A)^{-1}_{01I} * O_{01K}) - (DIC_{EU_{01J}} * (I-A)^{-1}_{01J} * O_{01K}) - (DIC_{EU_{01N}} * (I-A)^{-1}_{01N} * O_{01K})$$

gdzie: $EU_{AS01K}$ = zużycie energii na etapie zaopatrzenia chowu drobiu; $FIC_{EU01K}$ = współczynnik pełnego zużycia energii dla chowu drobiu; $O_{01K}$ = produkcja globalna chowu drobiu.
Pozostałe zmienne analogicznie do zdefiniowanych wcześniej.

h) mleko surowe:

$$EU_{AS_{01N}} = (FIC_{EU_{01N}} * O_{01N}) - (DIC_{EU_{01N}} * (I-A)^{-1}_{01N} * O_{01N}) - (DIC_{EU_{01B}} * (I-A)^{-1}_{01B} * O_{01N}) - (DIC_{EU_{01D}} * (I-A)^{-1}_{01D} * O_{01N}) - (DIC_{EU_{01E}} * (I-A)^{-1}_{01E} * O_{01N}) - (DIC_{EU_{01F}} * (I-A)^{-1}_{01F} * O_{01N}) - (DIC_{EU_{01I}} * (I-A)^{-1}_{01I} * O_{01N}) - (DIC_{EU_{01J}} * (I-A)^{-1}_{01J} * O_{01N}) - (DIC_{EU_{01K}} * (I-A)^{-1}_{01K} * O_{01N})$$

gdzie: $EU_{AS01N}$ = zużycie energii na etapie zaopatrzenia produkcji mleka surowego; $FIC_{EU01N}$ = współczynnik pełnego zużycia energii dla mleka surowego; $O_{01N}$ = produkcja globalna mleka surowego.
Pozostałe zmienne analogicznie do zdefiniowanych wcześniej.

Z kolei zużycie energii na etapie przetwórstwa pierwotnego produktów rolniczych obliczono poprzez zsumowanie energii wykorzystanej do pierwotnego przetworzenia danego produktu rolniczego we wszystkich gałęziach przetwórstwa spożywczego[3]. Obliczenia wykonano w następujący sposób:

a) pszenica:

$$EU_{FI_{01B}} = \left(DIC_{EU_{15A}} * (I-A)^{-1}_{15A} * O_{15A}\right) + \left(DIC_{EU_{15B}} * (I-A)^{-1}_{15B} * O_{15B}\right) + \left(DIC_{EU_{15C}} * (I-A)^{-1}_{15C} * O_{15C}\right) + \left(DIC_{EU_{15D}} * (I-A)^{-1}_{15D} * O_{15D}\right) + \left(DIC_{EU_{15E}} * (I-A)^{-1}_{15E} * O_{15E}\right) + \left(DIC_{EU_{15F}} * (I-A)^{-1}_{15F} * O_{15F}\right) + \left(DIC_{EU_{15G}} * (I-A)^{-1}_{15G} * O_{15G}\right) + \left(DIC_{EU_{15H}} * (I-A)^{-1}_{15H} * O_{15H}\right) + \left(DIC_{EU_{15I}} * (I-A)^{-1}_{15I} * O_{15I}\right) + (DIC_{EU_{15J}} * (I-A)^{-1}_{15J} * O_{15J}) + \left(DIC_{EU_{15K}} * (I-A)^{-1}_{15K} * O_{15K}\right) + (DIC_{EU_{16}} * (I-A)^{-1}_{16} * O_{16})$$

gdzie: $EU_{FI01B}$ = zużycie energii na etapie przetwórstwa pierwotnego pszenicy; $O_{15A}$, $O_{15B}$, ... , $O_{15K}$, $O_{16}$ = produkcja globalna gałęzi przetwórstwa spożywczego; $DIC_{EU15A}$, $DIC_{EU15B}$, ... , $DIC_{EU15K}$, $DIC_{EU16}$ = współczynniki bezpośredniego zużycia energii gałęzi przetwórstwa spożywczego; $(I-A)^{-1}_{15A}$, $(I-A)^{-1}_{15B}$, … , $(I-A)^{-1}_{15K}$, $(I-A)^{-1}_{16}$ = elementy macierzy Leontiefa odpowiadające wykorzystaniu pszenicy w poszczególnych gałęziach przetwórstwa spożywczego.

b) warzywa i owoce:

$$EU_{FI_{01D}} = \left(DIC_{EU_{15A}} * (I-A)^{-1}_{15A} * O_{15A}\right) + \left(DIC_{EU_{15B}} * (I-A)^{-1}_{15B} * O_{15B}\right) + \left(DIC_{EU_{15C}} * (I-A)^{-1}_{15C} * O_{15C}\right) + \left(DIC_{EU_{15D}} * (I-A)^{-1}_{15D} * O_{15D}\right) + \left(DIC_{EU_{15E}} * (I-A)^{-1}_{15E} * O_{15E}\right) + \left(DIC_{EU_{15F}} * (I-A)^{-1}_{15F} * O_{15F}\right) + \left(DIC_{EU_{15G}} * (I-A)^{-1}_{15G} * O_{15G}\right) + \left(DIC_{EU_{15H}} * (I-A)^{-1}_{15H} * O_{15H}\right) + \left(DIC_{EU_{15I}} * (I-A)^{-1}_{15I} * O_{15I}\right) + (DIC_{EU_{15J}} * (I-A)^{-1}_{15J} * O_{15J}) + \left(DIC_{EU_{15K}} * (I-A)^{-1}_{15K} * O_{15K}\right) + (DIC_{EU_{16}} * (I-A)^{-1}_{16} * O_{16})$$

[3] Pełną listę kodów gałęzi wchodzących w skład przetwórstwa spożywczego i ich nazw zamieszczono w aneksie.

gdzie: $EU_{FI01D}$ = zużycie energii na etapie przetwórstwa pierwotnego warzyw i owoców; $(I\text{-}A)^{-1}_{15A}$, $(I\text{-}A)^{-1}_{15B}$, … , $(I\text{-}A)^{-1}_{15K}$, $(I\text{-}A)^{-1}_{16}$ = elementy macierzy Leontiefa odpowiadające wykorzystaniu warzyw i owoców w poszczególnych gałęziach przetwórstwa spożywczego.
Pozostałe zmienne analogicznie do zdefiniowanych wcześniej.

c) rośliny oleiste:

$$EU_{FI_{01E}} = \left(DIC_{EU_{15A}} * (I-A)^{-1}_{15A} * O_{15A}\right) + \left(DIC_{EU_{15B}} * (I-A)^{-1}_{15B} * O_{15B}\right) + \left(DIC_{EU_{15C}} * (I-A)^{-1}_{15C} * O_{15C}\right) + \left(DIC_{EU_{15D}} * (I-A)^{-1}_{15D} * O_{15D}\right) + \left(DIC_{EU_{15E}} * (I-A)^{-1}_{15E} * O_{15E}\right) + \left(DIC_{EU_{15F}} * (I-A)^{-1}_{15F} * O_{15F}\right) + \left(DIC_{EU_{15G}} * (I-A)^{-1}_{15G} * O_{15G}\right) + \left(DIC_{EU_{15H}} * (I-A)^{-1}_{15H} * O_{15H}\right) + \left(DIC_{EU_{15I}} * (I-A)^{-1}_{15I} * O_{15I}\right) + \left(DIC_{EU_{15J}} * (I-A)^{-1}_{15J} * O_{15J}\right) + \left(DIC_{EU_{15K}} * (I-A)^{-1}_{15K} * O_{15K}\right) + \left(DIC_{EU_{16}} * (I-A)^{-1}_{16} * O_{16}\right)$$

gdzie: $EU_{FI01E}$ = zużycie energii na etapie przetwórstwa pierwotnego roślin oleistych; $(I\text{-}A)^{-1}_{15A}$, $(I\text{-}A)^{-1}_{15B}$, … , $(I\text{-}A)^{-1}_{15K}$, $(I\text{-}A)^{-1}_{16}$ = elementy macierzy Leontiefa odpowiadające wykorzystaniu roślin oleistych w poszczególnych gałęziach przetwórstwa spożywczego.
Pozostałe zmienne analogicznie do zdefiniowanych wcześniej.

d) buraki cukrowe:

$$EU_{FI_{01F}} = \left(DIC_{EU_{15A}} * (I-A)^{-1}_{15A} * O_{15A}\right) + \left(DIC_{EU_{15B}} * (I-A)^{-1}_{15B} * O_{15B}\right) + \left(DIC_{EU_{15C}} * (I-A)^{-1}_{15C} * O_{15C}\right) + \left(DIC_{EU_{15D}} * (I-A)^{-1}_{15D} * O_{15D}\right) + \left(DIC_{EU_{15E}} * (I-A)^{-1}_{15E} * O_{15E}\right) + \left(DIC_{EU_{15F}} * (I-A)^{-1}_{15F} * O_{15F}\right) + \left(DIC_{EU_{15G}} * (I-A)^{-1}_{15G} * O_{15G}\right) + \left(DIC_{EU_{15H}} * (I-A)^{-1}_{15H} * O_{15H}\right) + \left(DIC_{EU_{15I}} * (I-A)^{-1}_{15I} * O_{15I}\right) + \left(DIC_{EU_{15J}} * (I-A)^{-1}_{15J} * O_{15J}\right) + \left(DIC_{EU_{15K}} * (I-A)^{-1}_{15K} * O_{15K}\right) + \left(DIC_{EU_{16}} * (I-A)^{-1}_{16} * O_{16}\right)$$

gdzie: $EU_{FI01F}$ = zużycie energii na etapie przetwórstwa pierwotnego buraków cukrowych; $(I\text{-}A)^{-1}_{15A}$, $(I\text{-}A)^{-1}_{15B}$, … , $(I\text{-}A)^{-1}_{15K}$, $(I\text{-}A)^{-1}_{16}$ = elementy macierzy Leontiefa odpowiadające wykorzystaniu buraków cukrowych w poszczególnych gałęziach przetwórstwa spożywczego.
Pozostałe zmienne analogicznie do zdefiniowanych wcześniej.

e) chów bydła:

$$EU_{FI_{01I}} = \left(DIC_{EU_{15A}} * (I-A)^{-1}_{15A} * O_{15A}\right) + \left(DIC_{EU_{15B}} * (I-A)^{-1}_{15B} * O_{15B}\right) + \left(DIC_{EU_{15C}} * (I-A)^{-1}_{15C} * O_{15C}\right) + \left(DIC_{EU_{15D}} * (I-A)^{-1}_{15D} * O_{15D}\right) + \left(DIC_{EU_{15E}} * (I-A)^{-1}_{15E} * O_{15E}\right) + \left(DIC_{EU_{15F}} * (I-A)^{-1}_{15F} * O_{15F}\right) + \left(DIC_{EU_{15G}} * (I-A)^{-1}_{15G} * O_{15G}\right) + \left(DIC_{EU_{15H}} * (I-A)^{-1}_{15H} * O_{15H}\right) + \left(DIC_{EU_{15I}} * (I-A)^{-1}_{15I} * O_{15I}\right) + \left(DIC_{EU_{15J}} * (I-A)^{-1}_{15J} * O_{15J}\right) + \left(DIC_{EU_{15K}} * (I-A)^{-1}_{15K} * O_{15K}\right) + \left(DIC_{EU_{16}} * (I-A)^{-1}_{16} * O_{16}\right)$$

gdzie: $EU_{FI01I}$ = zużycie energii na etapie przetwórstwa pierwotnego produktów z gałęzi chowu bydła; $(I\text{-}A)^{-1}_{15A}$, $(I\text{-}A)^{-1}_{15B}$, … , $(I\text{-}A)^{-1}_{15K}$, $(I\text{-}A)^{-1}_{16}$ = elementy macierzy Leontiefa odpowiadające wykorzystaniu produktów z gałęzi chowu bydła w poszczególnych gałęziach przetwórstwa spożywczego.

Pozostałe zmienne analogicznie do zdefiniowanych wcześniej.

f) chów trzody chlewnej:

$$EU_{FI_{01J}} = \left(DIC_{EU_{15A}} * (I-A)^{-1}_{15A} * O_{15A}\right) + \left(DIC_{EU_{15B}} * (I-A)^{-1}_{15B} * O_{15B}\right) + \left(DIC_{EU_{15C}} * (I-A)^{-1}_{15C} * O_{15C}\right) + \left(DIC_{EU_{15D}} * (I-A)^{-1}_{15D} * O_{15D}\right) + \left(DIC_{EU_{15E}} * (I-A)^{-1}_{15E} * O_{15E}\right) + \left(DIC_{EU_{15F}} * (I-A)^{-1}_{15F} * O_{15F}\right) + \left(DIC_{EU_{15G}} * (I-A)^{-1}_{15G} * O_{15G}\right) + \left(DIC_{EU_{15H}} * (I-A)^{-1}_{15H} * O_{15H}\right) + \left(DIC_{EU_{15I}} * (I-A)^{-1}_{15I} * O_{15I}\right) + \left(DIC_{EU_{15J}} * (I-A)^{-1}_{15J} * O_{15J}\right) + \left(DIC_{EU_{15K}} * (I-A)^{-1}_{15K} * O_{15K}\right) + \left(DIC_{EU_{16}} * (I-A)^{-1}_{16} * O_{16}\right)$$

gdzie: $EU_{FI01J}$ = zużycie energii na etapie przetwórstwa pierwotnego produktów z gałęzi chowu trzody chlewnej; $(I-A)^{-1}_{15A}$, $(I-A)^{-1}_{15B}$, … , $(I-A)^{-1}_{15K}$, $(I-A)^{-1}_{16}$ = elementy macierzy Leontiefa odpowiadające wykorzystaniu produktów z gałęzi chowu trzody chlewnej w poszczególnych gałęziach przetwórstwa spożywczego.
Pozostałe zmienne analogicznie do zdefiniowanych wcześniej.

g) chów drobiu:

$$EU_{FI_{01K}} = \left(DIC_{EU_{15A}} * (I-A)^{-1}_{15A} * O_{15A}\right) + \left(DIC_{EU_{15B}} * (I-A)^{-1}_{15B} * O_{15B}\right) + \left(DIC_{EU_{15C}} * (I-A)^{-1}_{15C} * O_{15C}\right) + \left(DIC_{EU_{15D}} * (I-A)^{-1}_{15D} * O_{15D}\right) + \left(DIC_{EU_{15E}} * (I-A)^{-1}_{15E} * O_{15E}\right) + \left(DIC_{EU_{15F}} * (I-A)^{-1}_{15F} * O_{15F}\right) + \left(DIC_{EU_{15G}} * (I-A)^{-1}_{15G} * O_{15G}\right) + \left(DIC_{EU_{15H}} * (I-A)^{-1}_{15H} * O_{15H}\right) + \left(DIC_{EU_{15I}} * (I-A)^{-1}_{15I} * O_{15I}\right) + \left(DIC_{EU_{15J}} * (I-A)^{-1}_{15J} * O_{15J}\right) + \left(DIC_{EU_{15K}} * (I-A)^{-1}_{15K} * O_{15K}\right) + \left(DIC_{EU_{16}} * (I-A)^{-1}_{16} * O_{16}\right)$$

gdzie: $EU_{FI01K}$ = zużycie energii na etapie przetwórstwa pierwotnego produktów z gałęzi chowu drobiu; $(I-A)^{-1}_{15A}$, $(I-A)^{-1}_{15B}$, … , $(I-A)^{-1}_{15K}$, $(I-A)^{-1}_{16}$ = elementy macierzy Leontiefa odpowiadające wykorzystaniu produktów z gałęzi chowu drobiu w poszczególnych gałęziach przetwórstwa spożywczego.
Pozostałe zmienne analogicznie do zdefiniowanych wcześniej.

h) mleko surowe:

$$EU_{FI_{01N}} = \left(DIC_{EU_{15A}} * (I-A)^{-1}_{15A} * O_{15A}\right) + \left(DIC_{EU_{15B}} * (I-A)^{-1}_{15B} * O_{15B}\right) + \left(DIC_{EU_{15C}} * (I-A)^{-1}_{15C} * O_{15C}\right) + \left(DIC_{EU_{15D}} * (I-A)^{-1}_{15D} * O_{15D}\right) + \left(DIC_{EU_{15E}} * (I-A)^{-1}_{15E} * O_{15E}\right) + \left(DIC_{EU_{15F}} * (I-A)^{-1}_{15F} * O_{15F}\right) + \left(DIC_{EU_{15G}} * (I-A)^{-1}_{15G} * O_{15G}\right) + \left(DIC_{EU_{15H}} * (I-A)^{-1}_{15H} * O_{15H}\right) + \left(DIC_{EU_{15I}} * (I-A)^{-1}_{15I} * O_{15I}\right) + \left(DIC_{EU_{15J}} * (I-A)^{-1}_{15J} * O_{15J}\right) + \left(DIC_{EU_{15K}} * (I-A)^{-1}_{15K} * O_{15K}\right) + \left(DIC_{EU_{16}} * (I-A)^{-1}_{16} * O_{16}\right)$$

gdzie: $EU_{FI01N}$ = zużycie energii na etapie przetwórstwa pierwotnego mleka surowego; $(I-A)^{-1}_{15A}$, $(I-A)^{-1}_{15B}$, … , $(I-A)^{-1}_{15K}$, $(I-A)^{-1}_{16}$ = elementy macierzy Leontiefa odpowiadające wykorzystaniu mleka surowego w poszczególnych gałęziach przetwórstwa spożywczego.
Pozostałe zmienne analogicznie do zdefiniowanych wcześniej.

Następnie, w podobny sposób obliczono wartości PKB dla poszczególnych etapów produkcji żywności. W przypadku rolnictwa, przyjęto, że wartość

wytworzonego PKB w ramach analizowanych gałęzi produkujących żywność jest równa wartości wynikającej z tabel przepływów międzygałęziowych dla danych lat. Natomiast PKB wytworzone na etapie dostarczania nakładów do rolnictwa, obliczono za pomocą następujących wzorów:

a) pszenica:

$$GDP_{AS_{01B}} = (FIC_{GDP_{01B}} * O_{01B}) - (DIC_{GDP_{01B}} * (I-A)^{-1}_{01B} * O_{01B}) - (DIC_{GDP_{01D}} * (I-A)^{-1}_{01D} * O_{01B}) - (DIC_{GDP_{01E}} * (I-A)^{-1}_{01E} * O_{01B}) - (DIC_{GDP_{01F}} * (I-A)^{-1}_{01F} * O_{01B}) - (DIC_{GDP_{01I}} * (I-A)^{-1}_{01I} * O_{01B}) - (DIC_{GDP_{01J}} * (I-A)^{-1}_{01J} * O_{01B}) - (DIC_{GDP_{01K}} * (I-A)^{-1}_{01K} * O_{01B}) - (DIC_{GDP_{01N}} * (I-A)^{-1}_{01N} * O_{01B})$$

gdzie: $GDP_{AS01B}$ = PKB fazy zaopatrzenia produkcji pszenicy; $FIC_{GDP01B}$ = współczynnik pełnego przepływu PKB dla pszenicy; $O_{01B}$ = produkcja globalna pszenicy; $DIC_{GDP01B}$ = współczynnik bezpośredniego przepływu PKB dla pszenicy; $DIC_{GDP01D}$ = współczynnik bezpośredniego przepływu PKB dla warzyw i owoców; $DIC_{GDP01E}$ = współczynnik bezpośredniego przepływu PKB dla roślin oleistych; $DIC_{GDP01F}$ = współczynnik bezpośredniego przepływu PKB dla buraków cukrowych; $DIC_{GDP01I}$ = współczynnik bezpośredniego przepływu PKB dla chowu bydła; $DIC_{GDP01J}$ = współczynnik bezpośredniego przepływu PKB dla chowu trzody chlewnej; $DIC_{GDP01K}$ = współczynnik bezpośredniego przepływu PKB dla chowu drobiu; $DIC_{GDP01N}$ = współczynnik bezpośredniego przepływu PKB dla mleka surowego; $(I-A)^{-1}_{01B}$ = element macierzy Leontiefa odpowiadający samozaopatrzeniu produkcji pszenicy; $(I-A)^{-1}_{01D}$ = element macierzy Leontiefa odpowiadający zaopatrzeniu produkcji pszenicy z gałęzi produkującej warzywa i owoce; $(I-A)^{-1}_{01E}$ = element macierzy Leontiefa odpowiadający zaopatrzeniu produkcji pszenicy z gałęzi produkującej rośliny oleiste; $(I-A)^{-1}_{01F}$ = element macierzy Leontiefa odpowiadający zaopatrzeniu produkcji pszenicy z gałęzi produkującej buraki cukrowe; $(I-A)^{-1}_{01I}$ = element macierzy Leontiefa odpowiadający zaopatrzeniu produkcji pszenicy z chowu bydła; $(I-A)^{-1}_{01J}$ = element macierzy Leontiefa odpowiadający zaopatrzeniu produkcji pszenicy z chowu trzody chlewnej; $(I-A)^{-1}_{01K}$ = element macierzy Leontiefa odpowiadający zaopatrzeniu produkcji pszenicy z chowu drobiu; $(I-A)^{-1}_{01N}$ = element macierzy Leontiefa odpowiadający zaopatrzeniu produkcji pszenicy z gałęzi produkującej mleko surowe.

b) warzywa i owoce:

$$GDP_{AS_{01D}} = (FIC_{GDP_{01D}} * O_{01D}) - (DIC_{GDP_{01D}} * (I-A)^{-1}_{01D} * O_{01D}) - (DIC_{GDP_{01B}} * (I-A)^{-1}_{01B} * O_{01D}) - (DIC_{GDP_{01E}} * (I-A)^{-1}_{01E} * O_{01D}) - (DIC_{GDP_{01F}} * (I-A)^{-1}_{01F} * O_{01D}) - (DIC_{GDP_{01I}} * (I-A)^{-1}_{01I} * O_{01D}) - (DIC_{GDP_{01J}} * (I-A)^{-1}_{01J} * O_{01D}) - (DIC_{GDP_{01K}} * (I-A)^{-1}_{01K} * O_{01D}) - (DIC_{GDP_{01N}} * (I-A)^{-1}_{01N} * O_{01D})$$

gdzie: $GDP_{AS01D}$ = PKB fazy zaopatrzenia produkcji warzyw i owoców; $FIC_{GDP01D}$ = współczynnik pełnego przepływu PKB dla warzyw i owoców; $O_{01D}$ = produkcja globalna warzyw i owoców.
Pozostałe zmienne analogicznie do zdefiniowanych wcześniej.

c) rośliny oleiste:

$$GDP_{AS_{01E}} = (FIC_{GDP_{01E}} * O_{01E}) - (DIC_{GDP_{01E}} * (I-A)^{-1}_{01E} * O_{01E}) - (DIC_{GDP_{01B}} * (I-A)^{-1}_{01B} * O_{01E}) - (DIC_{GDP_{01D}} * (I-A)^{-1}_{01D} * O_{01E}) - (DIC_{GDP_{01F}} * (I-A)^{-1}_{01F} * O_{01E}) - (DIC_{GDP_{01I}} * (I-A)^{-1}_{01I} * O_{01E}) - (DIC_{GDP_{01J}} * (I-A)^{-1}_{01J} * O_{01E}) - (DIC_{GDP_{01K}} * (I-A)^{-1}_{01K} * O_{01E}) - (DIC_{GDP_{01N}} * (I-A)^{-1}_{01N} * O_{01E})$$

gdzie: $GDP_{AS01E}$ = PKB fazy zaopatrzenia produkcji roślin oleistych; $FIC_{GDP01E}$ = współczynnik pełnego przepływu PKB dla roślin oleistych; $O_{01E}$ = produkcja globalna roślin oleistych.
Pozostałe zmienne analogicznie do zdefiniowanych wcześniej.

d) buraki cukrowe:

$$GDP_{AS_{01F}} = (FIC_{GDP_{01F}} * O_{01F}) - (DIC_{GDP_{01F}} * (I-A)^{-1}_{01F} * O_{01F}) - (DIC_{GDP_{01B}} * (I-A)^{-1}_{01B} * O_{01F}) - (DIC_{GDP_{01D}} * (I-A)^{-1}_{01D} * O_{01F}) - (DIC_{GDP_{01E}} * (I-A)^{-1}_{01E} * O_{01F}) - (DIC_{GDP_{01I}} * (I-A)^{-1}_{01I} * O_{01F}) - (DIC_{GDP_{01J}} * (I-A)^{-1}_{01J} * O_{01F}) - (DIC_{GDP_{01K}} * (I-A)^{-1}_{01K} * O_{01F}) - (DIC_{GDP_{01N}} * (I-A)^{-1}_{01N} * O_{01F})$$

gdzie: $GDP_{AS01F}$ = PKB fazy zaopatrzenia produkcji buraków cukrowych; $FIC_{GDP01F}$ = współczynnik pełnego przepływu PKB dla buraków cukrowych; $O_{01F}$ = produkcja globalna buraków cukrowych.
Pozostałe zmienne analogicznie do zdefiniowanych wcześniej.

e) chów bydła:

$$GDP_{AS_{01I}} = (FIC_{GDP_{01I}} * O_{01I}) - (DIC_{GDP_{01I}} * (I-A)^{-1}_{01I} * O_{01I}) - (DIC_{GDP_{01B}} * (I-A)^{-1}_{01B} * O_{01I}) - (DIC_{GDP_{01D}} * (I-A)^{-1}_{01D} * O_{01I}) - (DIC_{GDP_{01E}} * (I-A)^{-1}_{01E} * O_{01I}) - (DIC_{GDP_{01F}} * (I-A)^{-1}_{01F} * O_{01I}) - (DIC_{GDP_{01J}} * (I-A)^{-1}_{01J} * O_{01I}) - (DIC_{GDP_{01K}} * (I-A)^{-1}_{01K} * O_{01I}) - (DIC_{GDP_{01N}} * (I-A)^{-1}_{01N} * O_{01I})$$

gdzie: $GDP_{AS01I}$ = PKB fazy zaopatrzenia chowu bydła; $FIC_{GDP01I}$ = współczynnik pełnego przepływu PKB dla chowu bydła; $O_{01I}$ = produkcja globalna chowu bydła.
Pozostałe zmienne analogicznie do zdefiniowanych wcześniej.

f) chów trzody chlewnej:

$$GDP_{AS_{01J}} = (FIC_{GDP_{01J}} * O_{01J}) - (DIC_{GDP_{01J}} * (I-A)^{-1}_{01J} * O_{01J}) - (DIC_{GDP_{01B}} * (I-A)^{-1}_{01B} * O_{01J}) - (DIC_{GDP_{01D}} * (I-A)^{-1}_{01D} * O_{01J}) - (DIC_{GDP_{01E}} * (I-A)^{-1}_{01E} * O_{01J}) - (DIC_{GDP_{01F}} * (I-A)^{-1}_{01F} * O_{01J}) - (DIC_{GDP_{01I}} * (I-A)^{-1}_{01I} * O_{01J}) - (DIC_{GDP_{01K}} * (I-A)^{-1}_{01K} * O_{01J}) - (DIC_{GDP_{01N}} * (I-A)^{-1}_{01N} * O_{01J})$$

gdzie: $GDP_{AS01J}$ = PKB fazy zaopatrzenia chowu trzody chlewnej; $FIC_{GDP01J}$ = współczynnik pełnego przepływu PKB dla chowu trzody chlewnej; $O_{01J}$ = produkcja globalna chowu trzody chlewnej.
Pozostałe zmienne analogicznie do zdefiniowanych wcześniej.

g) chów drobiu:

$$GDP_{AS_{01K}} = (FIC_{GDP_{01K}} * O_{01K}) - (DIC_{GDP_{01K}} * (I-A)^{-1}_{01K} * O_{01K}) - (DIC_{GDP_{01B}} * (I-A)^{-1}_{01B} * O_{01K}) - (DIC_{GDP_{01D}} * (I-A)^{-1}_{01D} * O_{01K}) - (DIC_{GDP_{01E}} * (I-A)^{-1}_{01E} * O_{01K}) - (DIC_{GDP_{01F}} * (I-A)^{-1}_{01F} * O_{01K}) - (DIC_{GDP_{01I}} * (I-A)^{-1}_{01I} * O_{01K}) - (DIC_{GDP_{01J}} * (I-A)^{-1}_{01J} * O_{01K}) - (DIC_{GDP_{01N}} * (I-A)^{-1}_{01N} * O_{01K})$$

gdzie: $GDP_{AS01K}$ = PKB fazy zaopatrzenia chowu drobiu; $FIC_{GDP01K}$ = współczynnik pełnego przepływu PKB dla chowu drobiu; $O_{01K}$ = produkcja globalna chowu drobiu. Pozostałe zmienne analogicznie do zdefiniowanych wcześniej.

h) mleko surowe:

$$GDP_{AS_{01N}} = (FIC_{GDP_{01N}} * O_{01N}) - (DIC_{GDP_{01N}} * (I-A)^{-1}_{01N} * O_{01N}) - (DIC_{GDP_{01B}} * (I-A)^{-1}_{01B} * O_{01N}) - (DIC_{GDP_{01D}} * (I-A)^{-1}_{01D} * O_{01N}) - (DIC_{GDP_{01E}} * (I-A)^{-1}_{01E} * O_{01N}) - (DIC_{GDP_{01F}} * (I-A)^{-1}_{01F} * O_{01N}) - (DIC_{GDP_{01I}} * (I-A)^{-1}_{01I} * O_{01N}) - (DIC_{GDP_{01J}} * (I-A)^{-1}_{01J} * O_{01N}) - (DIC_{GDP_{01K}} * (I-A)^{-1}_{01K} * O_{01N})$$

gdzie: $GDP_{AS01N}$ = PKB fazy zaopatrzenia produkcji mleka surowego; $FIC_{GDP01N}$ = współczynnik pełnego przepływu PKB dla mleka surowego; $O_{01N}$ = produkcja globalna dla mleka surowego.
Pozostałe zmienne analogicznie do zdefiniowanych wcześniej.

Z kolei wartość PKB wytworzona na etapie przetwórstwa pierwotnego produktów rolniczych została obliczona w następujący sposób:

a) pszenica:

$$GDP_{FI_{01B}} = \left(DIC_{GDP_{15A}} * (I-A)^{-1}_{15A} * O_{15A}\right) + \left(DIC_{GDP_{15B}} * (I-A)^{-1}_{15B} * O_{15B}\right) + \left(DIC_{GDP_{15C}} * (I-A)^{-1}_{15C} * O_{15C}\right) + \left(DIC_{GDP_{15D}} * (I-A)^{-1}_{15D} * O_{15D}\right) + \left(DIC_{GDP_{15E}} * (I-A)^{-1}_{15E} * O_{15E}\right) + \left(DIC_{GDP_{15F}} * (I-A)^{-1}_{15F} * O_{15F}\right) + \left(DIC_{GDP_{15G}} * (I-A)^{-1}_{15G} * O_{15G}\right) + \left(DIC_{GDP_{15H}} * (I-A)^{-1}_{15H} * O_{15H}\right) + \left(DIC_{GDP_{15I}} * (I-A)^{-1}_{15I} * O_{15I}\right) + (DIC_{GDP_{15J}} * (I-A)^{-1}_{15J} * O_{15J}) + \left(DIC_{GDP_{15K}} * (I-A)^{-1}_{15K} * O_{15K}\right) + (DIC_{GDP_{16}} * (I-A)^{-1}_{16} * O_{16})$$

gdzie: $GDP_{FI01B}$ = PKB fazy przetwórstwa pierwotnego pszenicy; $O_{15A}$, $O_{15B}$, ... , $O_{15K}$, $O_{16}$ = produkcja globalna gałęzi przetwórstwa spożywczego; $DIC_{GDP15A}$, $DIC_{GDP15B}$, ... , $DIC_{GDP15K}$, $DIC_{GDP16}$ = współczynniki bezpośredniego przepływu PKB gałęzi przetwórstwa spożywczego; $(I-A)^{-1}_{15A}$, $(I-A)^{-1}_{15B}$, … , $(I-A)^{-1}_{15K}$, $(I-A)^{-1}_{16}$ = elementy macierzy Leontiefa odpowiadające wykorzystaniu pszenicy w poszczególnych gałęziach przetwórstwa spożywczego.

b) warzywa i owoce:

$$GDP_{FI_{01D}} = \left(DIC_{GDP_{15A}} * (I-A)^{-1}_{15A} * O_{15A}\right) + \left(DIC_{GDP_{15B}} * (I-A)^{-1}_{15B} * O_{15B}\right) + \left(DIC_{GDP_{15C}} * (I-A)^{-1}_{15C} * O_{15C}\right) + \left(DIC_{GDP_{15D}} * (I-A)^{-1}_{15D} * O_{15D}\right) + \left(DIC_{GDP_{15E}} * (I-A)^{-1}_{15E} * O_{15E}\right) + \left(DIC_{GDP_{15F}} * (I-A)^{-1}_{15F} * O_{15F}\right) + \left(DIC_{GDP_{15G}} * (I-A)^{-1}_{15G} * O_{15G}\right) + \left(DIC_{GDP_{15H}} * (I-A)^{-1}_{15H} * O_{15H}\right) + \left(DIC_{GDP_{15I}} * (I-A)^{-1}_{15I} * O_{15I}\right) + (DIC_{GDP_{15J}} * (I-A)^{-1}_{15J} * O_{15J}) + \left(DIC_{GDP_{15K}} * (I-A)^{-1}_{15K} * O_{15K}\right) + (DIC_{GDP_{16}} * (I-A)^{-1}_{16} * O_{16})$$

gdzie: $GDP_{FI01D}$ = PKB fazy przetwórstwa pierwotnego warzyw i owoców; $(I\text{-}A)^{-1}_{15A}$, $(I\text{-}A)^{-1}_{15B}$, … , $(I\text{-}A)^{-1}_{15K}$, $(I\text{-}A)^{-1}_{16}$ = elementy macierzy Leontiefa odpowiadające wykorzystaniu warzyw i owoców w poszczególnych gałęziach przetwórstwa spożywczego.
Pozostałe zmienne analogicznie do zdefiniowanych wcześniej.

c) rośliny oleiste:

$$GDP_{FI\,01E} = \left(DIC_{GDP_{15A}} * (I-A)^{-1}_{15A} * O_{15A}\right) + \left(DIC_{GDP_{15B}} * (I-A)^{-1}_{15B} * O_{15B}\right) + \left(DIC_{GDP_{15C}} * (I-A)^{-1}_{15C} * O_{15C}\right) + \left(DIC_{GDP_{15D}} * (I-A)^{-1}_{15D} * O_{15D}\right) + \left(DIC_{GDP_{15E}} * (I-A)^{-1}_{15E} * O_{15E}\right) + \left(DIC_{GDP_{15F}} * (I-A)^{-1}_{15F} * O_{15F}\right) + \left(DIC_{GDP_{15G}} * (I-A)^{-1}_{15G} * O_{15G}\right) + \left(DIC_{GDP_{15H}} * (I-A)^{-1}_{15H} * O_{15H}\right) + \left(DIC_{GDP_{15I}} * (I-A)^{-1}_{15I} * O_{15I}\right) + \left(DIC_{GDP_{15J}} * (I-A)^{-1}_{15J} * O_{15J}\right) + \left(DIC_{GDP_{15K}} * (I-A)^{-1}_{15K} * O_{15K}\right) + \left(DIC_{GDP_{16}} * (I-A)^{-1}_{16} * O_{16}\right)$$

gdzie: $GDP_{FI01E}$ = PKB fazy przetwórstwa pierwotnego roślin oleistych; $(I\text{-}A)^{-1}_{15A}$, $(I\text{-}A)^{-1}_{15B}$, … , $(I\text{-}A)^{-1}_{15K}$, $(I\text{-}A)^{-1}_{16}$ = elementy macierzy Leontiefa odpowiadające wykorzystaniu roślin oleistych w poszczególnych gałęziach przetwórstwa spożywczego.
Pozostałe zmienne analogicznie do zdefiniowanych wcześniej.

d) buraki cukrowe:

$$GDP_{FI\,01F} = \left(DIC_{GDP_{15A}} * (I-A)^{-1}_{15A} * O_{15A}\right) + \left(DIC_{GDP_{15B}} * (I-A)^{-1}_{15B} * O_{15B}\right) + \left(DIC_{GDP_{15C}} * (I-A)^{-1}_{15C} * O_{15C}\right) + \left(DIC_{GDP_{15D}} * (I-A)^{-1}_{15D} * O_{15D}\right) + \left(DIC_{GDP_{15E}} * (I-A)^{-1}_{15E} * O_{15E}\right) + \left(DIC_{GDP_{15F}} * (I-A)^{-1}_{15F} * O_{15F}\right) + \left(DIC_{GDP_{15G}} * (I-A)^{-1}_{15G} * O_{15G}\right) + \left(DIC_{GDP_{15H}} * (I-A)^{-1}_{15H} * O_{15H}\right) + \left(DIC_{GDP_{15I}} * (I-A)^{-1}_{15I} * O_{15I}\right) + \left(DIC_{GDP_{15J}} * (I-A)^{-1}_{15J} * O_{15J}\right) + \left(DIC_{GDP_{15K}} * (I-A)^{-1}_{15K} * O_{15K}\right) + \left(DIC_{GDP_{16}} * (I-A)^{-1}_{16} * O_{16}\right)$$

gdzie: $GDP_{FI01F}$ = PKB fazy przetwórstwa pierwotnego buraków cukrowych; $(I\text{-}A)^{-1}_{15A}$, $(I\text{-}A)^{-1}_{15B}$, … , $(I\text{-}A)^{-1}_{15K}$, $(I\text{-}A)^{-1}_{16}$ = elementy macierzy Leontiefa odpowiadające wykorzystaniu buraków cukrowych w poszczególnych gałęziach przetwórstwa spożywczego.
Pozostałe zmienne analogicznie do zdefiniowanych wcześniej.

e) chów bydła:

$$GDP_{FI\,01I} = \left(DIC_{GDP_{15A}} * (I-A)^{-1}_{15A} * O_{15A}\right) + \left(DIC_{GDP_{15B}} * (I-A)^{-1}_{15B} * O_{15B}\right) + \left(DIC_{GDP_{15C}} * (I-A)^{-1}_{15C} * O_{15C}\right) + \left(DIC_{GDP_{15D}} * (I-A)^{-1}_{15D} * O_{15D}\right) + \left(DIC_{GDP_{15E}} * (I-A)^{-1}_{15E} * O_{15E}\right) + \left(DIC_{GDP_{15F}} * (I-A)^{-1}_{15F} * O_{15F}\right) + \left(DIC_{GDP_{15G}} * (I-A)^{-1}_{15G} * O_{15G}\right) + \left(DIC_{GDP_{15H}} * (I-A)^{-1}_{15H} * O_{15H}\right) + \left(DIC_{GDP_{15I}} * (I-A)^{-1}_{15I} * O_{15I}\right) + \left(DIC_{GDP_{15J}} * (I-A)^{-1}_{15J} * O_{15J}\right) + \left(DIC_{GDP_{15K}} * (I-A)^{-1}_{15K} * O_{15K}\right) + \left(DIC_{GDP_{16}} * (I-A)^{-1}_{16} * O_{16}\right)$$

gdzie: $GDP_{FI01I}$ = PKB fazy przetwórstwa pierwotnego produktów z gałęzi chowu bydła; $(I\text{-}A)^{-1}_{15A}$, $(I\text{-}A)^{-1}_{15B}$, … , $(I\text{-}A)^{-1}_{15K}$, $(I\text{-}A)^{-1}_{16}$ = elementy macierzy Leontiefa odpowiadające wykorzystaniu produktów z gałęzi chowu bydła w poszczególnych gałęziach przetwórstwa spożywczego.

Pozostałe zmienne analogicznie do zdefiniowanych wcześniej.

f) chów trzody chlewnej:

$$GDP_{FI\,01J} = \left(DIC_{GDP_{15A}} * (I-A)^{-1}_{15A} * O_{15A}\right) + \left(DIC_{GDP_{15B}} * (I-A)^{-1}_{15B} * O_{15B}\right) + \left(DIC_{GDP_{15C}} * (I-A)^{-1}_{15C} * O_{15C}\right) + \left(DIC_{GDP_{15D}} * (I-A)^{-1}_{15D} * O_{15D}\right) + \left(DIC_{GDP_{15E}} * (I-A)^{-1}_{15E} * O_{15E}\right) + \left(DIC_{GDP_{15F}} * (I-A)^{-1}_{15F} * O_{15F}\right) + \left(DIC_{GDP_{15G}} * (I-A)^{-1}_{15G} * O_{15G}\right) + \left(DIC_{GDP_{15H}} * (I-A)^{-1}_{15H} * O_{15H}\right) + \left(DIC_{GDP_{15I}} * (I-A)^{-1}_{15I} * O_{15I}\right) + \left(DIC_{GDP_{15J}} * (I-A)^{-1}_{15J} * O_{15J}\right) + \left(DIC_{GDP_{15K}} * (I-A)^{-1}_{15K} * O_{15K}\right) + \left(DIC_{GDP_{16}} * (I-A)^{-1}_{16} * O_{16}\right)$$

gdzie: $GDP_{FI01J}$ = PKB fazy przetwórstwa pierwotnego produktów z gałęzi chowu trzody chlewnej; $(I\text{-}A)^{-1}_{15A}$, $(I\text{-}A)^{-1}_{15B}$, … , $(I\text{-}A)^{-1}_{15K}$, $(I\text{-}A)^{-1}_{16}$ = elementy macierzy Leontiefa odpowiadające wykorzystaniu produktów z gałęzi chowu trzody chlewnej w poszczególnych gałęziach przetwórstwa spożywczego.
Pozostałe zmienne analogicznie do zdefiniowanych wcześniej.

g) chów drobiu:

$$GDP_{FI\,01K} = \left(DIC_{GDP_{15A}} * (I-A)^{-1}_{15A} * O_{15A}\right) + \left(DIC_{GDP_{15B}} * (I-A)^{-1}_{15B} * O_{15B}\right) + \left(DIC_{GDP_{15C}} * (I-A)^{-1}_{15C} * O_{15C}\right) + \left(DIC_{GDP_{15D}} * (I-A)^{-1}_{15D} * O_{15D}\right) + \left(DIC_{GDP_{15E}} * (I-A)^{-1}_{15E} * O_{15E}\right) + \left(DIC_{GDP_{15F}} * (I-A)^{-1}_{15F} * O_{15F}\right) + \left(DIC_{GDP_{15G}} * (I-A)^{-1}_{15G} * O_{15G}\right) + \left(DIC_{GDP_{15H}} * (I-A)^{-1}_{15H} * O_{15H}\right) + \left(DIC_{GDP_{15I}} * (I-A)^{-1}_{15I} * O_{15I}\right) + \left(DIC_{GDP_{15J}} * (I-A)^{-1}_{15J} * O_{15J}\right) + \left(DIC_{GDP_{15K}} * (I-A)^{-1}_{15K} * O_{15K}\right) + \left(DIC_{GDP_{16}} * (I-A)^{-1}_{16} * O_{16}\right)$$

gdzie: $GDP_{FI01K}$ = PKB fazy przetwórstwa pierwotnego produktów z gałęzi chowu drobiu; $(I\text{-}A)^{-1}_{15A}$, $(I\text{-}A)^{-1}_{15B}$, … , $(I\text{-}A)^{-1}_{15K}$, $(I\text{-}A)^{-1}_{16}$ = elementy macierzy Leontiefa odpowiadające wykorzystaniu produktów z gałęzi chowu drobiu w poszczególnych gałęziach przetwórstwa spożywczego.
Pozostałe zmienne analogicznie do zdefiniowanych wcześniej.

h) mleko surowe:

$$GDP_{FI\,01N} = \left(DIC_{GDP_{15A}} * (I-A)^{-1}_{15A} * O_{15A}\right) + \left(DIC_{GDP_{15B}} * (I-A)^{-1}_{15B} * O_{15B}\right) + \left(DIC_{GDP_{15C}} * (I-A)^{-1}_{15C} * O_{15C}\right) + \left(DIC_{GDP_{15D}} * (I-A)^{-1}_{15D} * O_{15D}\right) + \left(DIC_{GDP_{15E}} * (I-A)^{-1}_{15E} * O_{15E}\right) + \left(DIC_{GDP_{15F}} * (I-A)^{-1}_{15F} * O_{15F}\right) + \left(DIC_{GDP_{15G}} * (I-A)^{-1}_{15G} * O_{15G}\right) + \left(DIC_{GDP_{15H}} * (I-A)^{-1}_{15H} * O_{15H}\right) + \left(DIC_{GDP_{15I}} * (I-A)^{-1}_{15I} * O_{15I}\right) + \left(DIC_{GDP_{15J}} * (I-A)^{-1}_{15J} * O_{15J}\right) + \left(DIC_{GDP_{15K}} * (I-A)^{-1}_{15K} * O_{15K}\right) + \left(DIC_{GDP_{16}} * (I-A)^{-1}_{16} * O_{16}\right)$$

gdzie: $GDP_{FI01N}$ = PKB fazy przetwórstwa pierwotnego mleka surowego; $(I\text{-}A)^{-1}_{15A}$, $(I\text{-}A)^{-1}_{15B}$, … , $(I\text{-}A)^{-1}_{15K}$, $(I\text{-}A)^{-1}_{16}$ = elementy macierzy Leontiefa odpowiadające wykorzystaniu mleka surowego w poszczególnych gałęziach przetwórstwa spożywczego.
Pozostałe zmienne analogicznie do zdefiniowanych wcześniej.

Kolejnym krokiem było urealnienie obliczonego PKB dla gałęzi produkujących żywność za pomocą deflatorów PKB dla każdego badanego roku oraz

obliczenie wskaźników intensywności energetycznej (energochłonności) każdej fazy systemu produkcji żywności. W badaniu przyjęto, że intensywność energetyczna to wielkość zużycia energii przypadająca na jednostkę PKB. Podejście to jest zgodne z podejściem stosowanym przez innych badaczy, o czym napisano w rozdziale 1.2. Obliczanie wskaźników intensywności energetycznej można przedstawić za pomocą wzoru w postaci ogólnej:

$$EI_{FPS} = EU_{FPS} / GDP_{FPS}$$

gdzie: $EI_{FPS}$ = intensywność energetyczna systemu produkcji żywności; $EU_{FPS}$ = zużycie energii w systemie produkcji żywności; $GDP_{FPS}$ = PKB systemu produkcji żywności.

Dodatkowo, obliczono wskaźniki intensywności energetycznej gałęzi produkujących żywność z uwzględnieniem wartości produkcji globalnej. Wartość produkcji globalnej również została sprowadzona do cen stałych za pomocą indeksów cen poszczególnych produktów żywnościowych analizowanych w pracy. Natomiast zużycie energii przypadające na jednostkę produkcji globalnej można przedstawić za pomocą wzoru:

$$EI_{FG} = EU_{FG} / O_{FG}$$

gdzie: $EI_{FG}$ = intensywność energetyczna produkcji żywności; $EU_{FG}$ = zużycie energii przy produkcji żywności; $O_{FG}$ = produkcja globalna systemu produkcji żywności.

Intensywność energetyczną produkcji żywności w Polsce z uwzględnieniem produkcji globalnej, obliczono dla fazy zaopatrzenia rolnictwa oraz rolnictwa, czyli faz związanych ze zużyciem energii w wyniku dostarczania nakładów do produkcji oraz przy produkcji rolniczej. Dla bardziej przejrzystego porównania wyników, również w przypadku zużycia energii na jednostkę PKB, oprócz wskaźników energochłonności dla każdej fazy produkcji żywności, obliczono też wskaźniki intensywności energetycznej w ramach podejścia „od produkcji nakładów do bramy gospodarstwa" (*from cradle to farm gate*), używanego w analizie cyklu życia (*life-cycle assessment*).

## 3. Charakterystyka systemu produkcji żywności w Polsce

### 3.1 Potencjał produkcyjny rolnictwa

Potencjał produkcyjny rolnictwa to zasoby naturalne, sposoby ich wykorzystania, zasoby siły roboczej, a także środki techniczne oraz podstawowe warunki ekonomiczne (Tomczak, 1998). Determinuje go wiele czynników, do których zaliczyć można uwarunkowania przyrodnicze, poziom rozwoju gospodarczego czy też uwarunkowania historyczne rozwoju rolnictwa (Christiaensen i Swinnen, 1994).

Zgodnie z definicją Głównego Urzędu Statystycznego (GUS, 2022), ziemię wykorzystywaną w rolnictwie, czyli użytki rolne można podzielić na trzy główne kategorie: grunty orne, trwałe użytki zielone oraz uprawy trwałe. Za grunty orne uznaje się grunty zasiane lub zasadzone ziemiopłodami rolnymi lub ogrodniczymi. Do trwałych użytków zielonych zalicza się powierzchnię łąk, z których pozyskiwana jest pasza oraz pastwiska. Z tego względu, trwałe użytki zielone należy łączyć przede wszystkim z produkcją zwierzęcą. Z kolei uprawy trwałe obejmują produkcję roślin, które nie wymagają co sezonowego sadzenia, czy wysiewu. Zalicza się więc do nich sady owocowe czy też winnice. W przypadku Polski, największą część użytków rolnych w badanym okresie stanowiły grunty orne (tab. 1). W 2000 roku było to 77% ogólnej powierzchni użytków rolnych, natomiast w 2015 roku prawie 76%.

**Tabela 1. Powierzchnia użytków rolnych w Polsce (tys. ha)**

| Wyszczególnienie | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 |
|---|---|---|---|---|
| grunty orne | 13 683,0 | 12 222,0 | 10 828,6 | 10 914,5 |
| trwałe użytki zielone | 3 872,0 | 3 387,0 | 3 229,5 | 3 092,8 |
| uprawy trwałe | 257,0 | 297,0 | 389,7 | 391,0 |
| razem | 17 812,0 | 15 906,0 | 14 447,8 | 14 398,2 |

Źródło: Rocznik Statystyczny RP 2004, 2010, 2019 (data dostępu: 13.12.2022 r.).

Niewielkie zmniejszenie udziału gruntów ornych w ogólnej powierzchni użytków rolnych wynikało ze zwiększenia obszaru upraw trwałych, jednak w latach 2000-2015 stanowiły one najmniejszą część użytków rolnych w Polsce.

Z kolei biorąc pod uwagę całkowitą powierzchnię użytków rolnych w Polsce, zaobserwowano zmniejszenie zagospodarowanego obszaru na cele rolnicze w całym badanym okresie. Jest to charakterystyczną cechą dla wielu krajów, co potwierdzają dane FAO. W przypadku Polski, największy ubytek powierzchni użytków rolnych zaobserwowano w 2005 roku. Było to prawie 11% zmniejszenie obszaru użytków rolnych w porównaniu do 2000 roku. Wynikało to głównie z wyłączania gruntów ornych na cele nierolnicze, gdzie dominowały wyłączenia na cele komunikacyjne, osiedlowe oraz przemysłowe. W związku z nasileniem zjawisk związanych z industrializacją Polski, w latach 2002-2010 corocznie obserwowano zmniejszenie powierzchni gruntów ornych o około 42-62 tys. ha (Mickiewicz i in., 2013).

Pomimo obserwowanego zmniejszania obszaru użytków rolnych w Polsce, w latach 2000-2015 nakłady inwestycyjne w rolnictwie i łowiectwie rosły. Największe inwestycje obserwowano w grupach budynki i budowle oraz maszyny, urządzenia techniczne i narzędzia (tab. 2). Rosnąca wartość inwestycji, pomimo zmniejszenia ogólnej powierzchni użytków rolnych, wynikała między innymi ze wzrostu powierzchni upraw trwałych (tab. 1), gdzie wymagane były dodatkowe środki finansowe.

**Tabela 2. Nakłady inwestycyjne w rolnictwie i łowiectwie (mln zł)**

| Wyszczególnienie | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 |
|---|---|---|---|---|
| budynki i budowle | 699,9 | 842,7 | 1 281,6 | 2 286,6 |
| maszyny, urządzenia techniczne i narzędzia | 679,1 | 841,1 | 1 424,3 | 1 755,0 |
| środki transportu | 257,6 | 362,4 | 541,1 | 689,5 |
| Razem | 2 078,7 | 2 398,0 | 3 716,0 | 5 303,9 |

Źródło: Rocznik Statystyczny Rolnictwa 2007, 2017 (data dostępu: 13.12.2022 r.).

Ogólny wzrost wartości nakładów inwestycyjnych w rolnictwie można ocenić pozytywnie, ponieważ dzięki nim możliwa jest modernizacja gospodarstw rolnych i ulepszenie użytkowanych w gospodarstwach środków trwałych. W przypadku Polski, było to istotne również z tego względu, że w trakcie trwania transformacji gospodarczej w latach 90. XX w., wskazywano na duże niedoinwestowanie rolnictwa (Dzun, 2003; Kusz, 2009). Zgodnie z danymi GUS (Rocznik Statystyczny RP 2001, 2020), nakłady inwestycyjne w całej gospodarce w 2000 roku wyniosły 133 160 mln zł, a w 2015 roku – 271 839 mln zł. W badanym okresie zaobserwowano niewielki wzrost udziału inwestycji w rolnictwie w stosunku do całkowitych inwestycji ponoszonych w Polsce. Na początku badanego okresu, nakłady inwestycyjne w rolnictwie i łowiectwie stanowiły około 1,6% ogólnych nakładów inwestycyjnych, natomiast w 2015 roku było to niespełna 2%. Biorąc pod uwagę, że inwestycje finansowe wspomagają modernizację i rozwój gospodarstw rolnych, a także mogą poprawić ich efektywność, taka tendencja wskazuje na rozwój rolnictwa i może zostać oceniona pozytywnie.

Wraz ze wzrostem inwestycji w środki trwałe w rolnictwie i łowiectwie, obserwowano także wzrost wartości brutto środków trwałych (tab. 3). Średnio, w badanym okresie, około 59% wartości stanowiły budynki i budowle. Maszyny, urządzenia techniczne i narzędzia stanowiły 15%, natomiast środki transportu charakteryzowały się 12% udziałem w łącznej wartości brutto środków trwałych.

**Tabela 3. Wartość brutto środków trwałych w rolnictwie i łowiectwie (mln zł)**

| Wyszczególnienie | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 |
|---|---|---|---|---|
| budynki i budowle | 68 527,0 | 69 204,6 | 71 270,9 | 78 223,1 |
| maszyny, urządzenia techniczne i narzędzia | 13 318,4 | 15 203,9 | 19 695,4 | 25 545,1 |
| środki transportu | 12 288,2 | 12 942,0 | 14 901,0 | 17 180,8 |
| razem | 109 073,8 | 112 777,1 | 124 296,9 | 139 642,7 |

Źródło: Rocznik Statystyczny rolnictwa 2007, 2017 (data dostępu: 13.12.2022 r.).

Największy przyrost wartości w latach 2000-2015, z poziomu 13,3 mld zł do 25,5 mld zł zaobserwowano w przypadku maszyn, urządzeń technicznych i narzędzi. Wynikało

to przede wszystkim z dużej dynamiki wzrostu liczby ciągników rolniczych w gospodarstwach rolnych funkcjonujących w Polsce (Urban i Kowalska, 2015). Uwzględniając wartość brutto środków trwałych oraz powierzchnię użytków rolnych (tab. 1), można określić także stopień wyposażenia rolnictwa w środki trwałe, czyli wartość brutto środków trwałych przypadającą na 1 ha użytków rolnych (Poczta i Bartkowiak, 2012). W przypadku Polski, wartości te stopniowo wzrastały. W 2000 roku na 1 ha użytków rolnych przypadały środki trwałe o wartości 6 124 zł, natomiast w 2015 roku było to 9 699 zł.

Natomiast w przypadku wartości netto środków trwałych, czyli z uwzględnieniem odpisów amortyzacyjnych, obserwowano malejącą wartość środków trwałych do 2010 roku. Istotną kwestią jest także stopień ich zużycia. Z roku na rok, zużycie środków trwałych w rolnictwie wzrastało, przekraczając 76% w 2010 i w 2015 roku (tab. 4). Uwzględniając wartość netto środków trwałych w rolnictwie oraz ich stopień zużycia, można stwierdzić coraz większy problem dotyczący użytkowania przestarzałych środków trwałych, na który zwrócił uwagę również Kusz (2009).

**Tabela 4. Wartość netto (mln zł) i stopień zużycia środków trwałych (%)**

| Wyszczególnienie | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 |
|---|---|---|---|---|
| wartość netto | 34 301,7 | 30 712,2 | 27 390,4 | 31 224,1 |
| stopień zużycia środków trwałych | 61,3 | 71,0 | 76,7 | 76,7 |

Źródło: Rocznik Statystyczny rolnictwa 2007, 2017 (data dostępu: 13.12.2022 r.).

Na problem związany z coraz większym zużyciem środków trwałych, które wykorzystywane są w polskich gospodarstwach rolnych zwracano uwagę już w okresie, kiedy Polska przystępowała do Unii Europejskiej. Wskazywano na konieczność renowacji środków trwałych użytkowanych w gospodarstwach rolnych (Woś, 2004). Ulepszanie lub wymiana środków trwałych na bardziej nowoczesne mogłaby być istotnym czynnikiem, który przyczyni się do polepszenia efektywności energetycznej polskiego rolnictwa. Maszyny, które są przestarzałe, często wymagają dużo większych nakładów energetycznych w porównaniu do nowszych środków trwałych. Wyposażenie rolnictwa w nowoczesny sprzęt sprzyjałoby też lepszemu sprostaniu konkurencji istniejącej na rynku unijnym czy też światowym i mogłoby przyczynić się do poprawy pozycji konkurencyjnej polskiego rolnictwa.

Z kolei, w przypadku liczby osób pracujących w rolnictwie, zaobserwowano zmniejszenie zarówno liczby pracujących osób, jak i ich udział w liczbie pracujących ogółem. Największy odpływ pracujących zaobserwowano w 2005 roku (tab. 5). Spadek ten był wynikiem zmiany definicji osoby pracującej w rolnictwie oraz zmiany metodyki liczenia osób pracujących w rolnictwie podczas Narodowego Spisu Powszechnego oraz Powszechnego Spisu Rolnego w 2002 roku. Od 2002 roku, do pracujących na własny rachunek w gospodarstwach indywidualnych nie zaliczano już pracujących w gospodarstwach indywidualnych produkujących wyłącznie na własne potrzeby (w gospodarstwach rolnych powyżej 1 ha) oraz pracujących w gospodarstwach indywidualnych produkujących wyłącznie i głównie na własne potrzeby (w gospodarstwach o powierzchni 0,1-1 ha) (Mrówczyńska-Kamińska, 2008). Po wprowadzeniu zmian w 2002 roku, obserwowana liczba pracujących w polskim rolnictwie w latach 2005-2015 utrzymywała się na zbliżonym poziomie, około 2 mln osób.

**Tabela 5. Pracujący w rolnictwie (tys.) i ich udział w liczbie pracujących w gospodarce (%)**

| Wyszczególnienie | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 |
|---|---|---|---|---|
| liczba pracujących | 4 245,9 | 2 082,2 | 2 326,2 | 2 331,2 |
| udział w liczbie pracujących ogółem | 27,4 | 16,2 | 16,5 | 15,7 |

Źródło: Rocznik Statystyczny rolnictwa 2007, 2017 (data dostępu: 13.12.2022 r.).

Na stabilnym poziomie od 2005 roku utrzymywał się również udział pracujących w rolnictwie w liczbie pracujących ogółem. Wynosił on około 15-16%. Biorąc pod uwagę cały badany okres, zmniejszenie udziału pracujących w rolnictwie w całkowitej liczbie pracujących może świadczyć przede wszystkim o wystąpieniu zależności, gdzie wraz z rozwojem gospodarczym, udział pracujących w rolnictwie maleje. Jednak, porównując Polskę z innymi krajami, udział pracujących w rolnictwie na poziomie 15,7% w 2015 roku nadal można uznać za wysoki. Według Federalnego Biura Statystycznego (DESTATIS, 2023), udział w pracujących w rolnictwie w Niemczech w 2015 roku wyniósł niespełna 1,5%. Tak duża różnica pomiędzy Polską, a Niemcami może świadczyć o wolniejszym rozwoju polskiego rolnictwa, a także może być powiązana ze wspomnianym wcześniej problemem dotyczącym użytkowania

przestarzałych środków trwałych, ponieważ takie środki trwałe przyczyniają się do bardziej pracochłonnego charakteru produkcji rolniczej.

Przy produkcji roślinnej, istotną rolę ogrywają także stosowane nawozy oraz środki ochrony roślin. Nawozów azotowych używa się zarówno na gruntach ornych, trwałych użytkach zielonych oraz uprawach trwałych (Ullah i in., 2020), a służą przede wszystkim poprawie wzrostu i rozwoju roślin. W przypadku Polski, zaobserwowano wzrost zużycia nawozów azotowych, z poziomu niespełna 88 kg/ha UR w 2000 roku, do prawie 132 kg/ha UR w ostatnim badanym roku (tab. 6). Wzrost poziomu nawożenia, pomimo zmniejszenia ogólnej powierzchni użytków rolnych w Polsce (tab. 1), świadczy przede wszystkim o wzroście intensywności produkcji rolniczej.

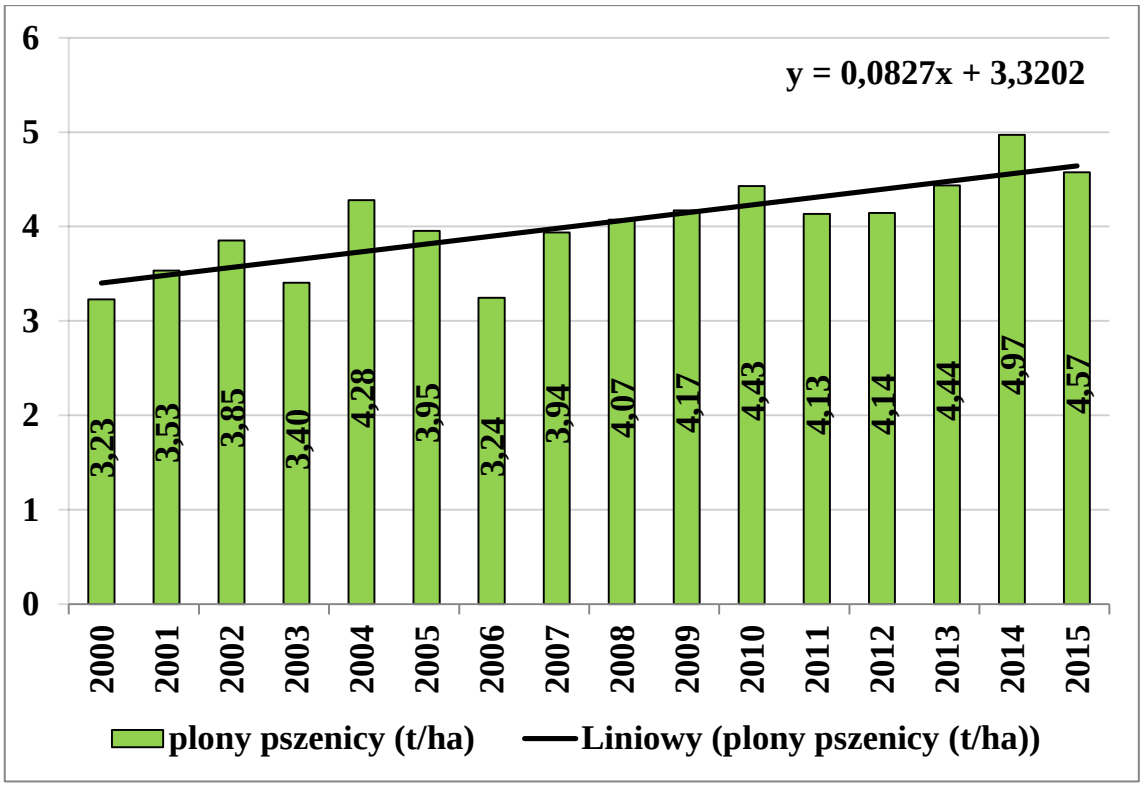
**Tabela 6. Użycie nawozów azotowych i środków ochrony roślin w rolnictwie (kg/ha UR)**

| Wyszczególnienie | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 |
|---|---|---|---|---|
| użycie nawozów | 87,7 | 123,6 | 135,3 | 131,9 |
| użycie środków ochrony roślin | 0,5 | 0,9 | 1,2 | 1,5 |

Źródło: Rocznik Statystyczny RP 2007, Rocznik Statystyki międzynarodowej 2021 (data dostępu: 13.12.2022 r.).

Intensyfikację produkcji rolnej w Polsce potwierdził także wzrost zużycia środków ochrony roślin, których używa się, aby zapobiec występowania chwastów czy szkodników w roślinach. Pomimo wzrostu zużycia pestycydów, było ono na relatywnie niskim poziomie w odniesieniu do nawozów azotowych. Dla porównania, średnie zużycie pestycydów w krajach UE w 2015 roku wynosiło nieco ponad 2 kg/ha UR, natomiast w przypadku nawozów azotowych było to niespełna 63 kg/ha UR (FAO, 2023).

Oprócz stosowanych w rolnictwie nawozów azotowych i pestycydów, na wielkość plonów mają wpływ przede wszystkim warunki pogodowe, których nie można przewidzieć. Stanowi to duży czynnik ryzyka, ponieważ niesprzyjające warunki atmosferyczne, pomimo stosowania nawozów, mogą istotnie wpłynąć na obniżenie wielkości plonów i powodować duże wahania w poszczególnych latach. Z tego względu, aby uchwycić wpływ zmienności warunków atmosferycznych na produkcję, plony pszenicy uzyskiwane w Polsce (rys. 1) przedstawiono dla każdego roku w okresie 2000-2015.




**Rysunek 1. Plony pszenicy (t/ha)**

Źródło: Dane FAO, https://www.fao.org/faostat/en/#data/QV (data dostępu: 15.12.2022 r.).

Pomimo widocznych wahań jednorocznych, plony pszenicy wzrosły, z poziomu 3,2 t/ha w 2000 roku, do 4,6 t/ha w 2015 roku. W badanym okresie zaobserwowano trend wzrostowy uzyskiwanych plonów pszenicy, a średnioroczna dynamika wyniosła 102,4%.

Produkty wytwarzane w rolnictwie mogą być wykorzystane do celów żywnościowych oraz nieżywnościowych. W badaniach dotyczących rolnictwa, istotną kwestią jest także udział produkcji zwierzęcej w wartości produkcji rolniczej. Ma to duży wpływ na sytuację rolnictwa w danym kraju ze względów ekonomicznych, a także środowiskowych. Produkcja zwierzęca, z jednej strony uważana jest za bardziej dochodową, a z drugiej strony, za bardziej energochłonną i szkodliwą dla środowiska naturalnego. W przypadku Polski, w całym badanym okresie dominowała produkcja przeznaczana na cele żywnościowe (tab. 7). Wynika to przede wszystkim z rodzaju produktów, które wytwarzane są przez rolnictwo w Polsce. Nie produkuje się m.in. bawełny, która mimo że jest wytwarza przez rolnictwo, nie jest zaliczana do produktów żywnościowych.

**Tabela 7. Udział produkcji zwierzęcej i produkcji na cele żywnościowe w wartości produkcji rolnictwa (%)**

| Wyszczególnienie | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 |
|---|---|---|---|---|
| udział produkcji zwierzęcej | 42,1 | 46,6 | 48,7 | 49,3 |
| udział produkcji na cele żywnościowe | 99,7 | 99,7 | 99,7 | 99,8 |

Źródło: Dane FAO, https://www.fao.org/faostat/en/#data/QV (data dostępu: 15.12.2022 r.).

Z kolei w przypadku udziału produkcji zwierzęcej w ogólnej wartości produkcji rolniczej, w badanym okresie zaobserwowano wzrost. W 2000 roku było to 42%, natomiast w 2015 około 50%. Taka sytuacja mogła przyczynić się do poprawy sytuacji ekonomicznej gospodarstw rolnych i wzrostu ich dochodów, ale także może być oceniona negatywnie z punktu widzenia większego śladu węglowego produkcji zwierzęcej w porównaniu z produkcją roślinną.

### 3.2 Struktura zużycia energii

W celu obliczenia struktury zużycia energii, na początku dokonano agregacji sektorów gospodarki. Pomimo tego, że w pracy skupiono się głównie na gałęziach produkcyjnych rolnictwa i przetwórstwa spożywczego, istotne jest zużycie energii w całej gospodarce. Jest ono niezbędne do określenia udziału w ogólnym zużyciu energii kluczowych dla przeprowadzanego badania sektorów gospodarki, a także określenia w późniejszej części pracy, nakładów dostarczanych ze wszystkich sektorów gospodarki dla gałęzi produkcyjnych w rolnictwie. W pierwszej kolejności, dostępnym w bazie danych EXIOBASE 163 gałęziom gospodarki zostały nadane kody. Dostępne gałęzie, początkowo zostały zagregowane do 64 sektorów, a następnie, dla większej przejrzystości otrzymanych wyników i wnioskowania, do 12 podstawowych sektorów gospodarki (tab. 8). W aneksie zamieszczono szczegółowy opis kodów i zagregowanych sektorów gospodarki.

**Tabela 8. Zagregowane sektory gospodarki**

| Zagregowane sektory | Skróty | Kody sektorów |
|---|---|---|
| Rolnictwo | ROL | 01A, 01B, 01C, 01D, 01E, 01F, 01G, 01H, 01I, 01J, 01K, 01L, 01M, 01N, 01O, 01P, 01R |
| Przemysł paliwowo-energetyczny | PPE | 10, 11A, 11B, 11C, 12, 13A, 13B, 13C, 13D, 13E, 13F, 13G, 14A, 14B, 14C, 23A, 23B, 23C, 40A, 40B, 40C, 40D, 40E, 40F, 40G, 40H, 40I, 40J, 40K, 40L, 40M, 40N, 40O, 40P |
| Przemysł spożywczy | PS | 15A, 15B, 15C, 15D, 15E, 15F, 15G, 15H, 15I, 15J, 15K, 16 |
| Pozostałe przemysły | PP | 17, 18, 19, 21A, 21B, 21C, 22, 25, 36, 37A, 37B |
| Przemysł materiałów budowlanych | PMB | 20A, 20B, 26A, 26B, 26C, 26D, 26E, 26F, 26G |
| Przemysł chemiczny | PCH | 24A, 24B, 24C, 24D, 24E |
| Przemysł metalurgiczny | PME | 27A, 27B, 27C, 27D, 27E, 27F, 27G, 27H, 27I, 27J, 27K, 27L, 27M, 28 |
| Przemysł maszynowy | PMA | 29, 30, 31, 32, 33 |
| Przemysł środków transportu | PŚT | 34, 35 |
| Budownictwo | BUD | 45A, 45B |
| Usługi | USŁ | 41, 50A, 50B, 51, 52, 55, 60A, 60B, 60C, 61A, 61B, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 80, 85, 90A, 90B, 90C, 90D, 90E, 90F, 90G, 90H, 90I, 90J, 90K, 90L, 90M, 90N, 90O, 90P, 90R, 90S, 90T, 90U, 91, 92, 93 |
| Pozostałe gałęzie | PG | 02, 05, 95, 99 |

Źródło: opracowanie własne na podstawie EXIOBASE.

W przypadku Polski, w latach 2000-2015, największy udział w zużyciu energii miał przemysł paliwowo-energetyczny, średnio było to około 70% w całym badanym okresie (tab. 9). W skład przemysłu paliwowo-energetycznego wlicza się m.in. górnictwo oraz produkcję energii elektrycznej, stąd tak wysoki udział tego sektora w ogólnym zużyciu energii w Polsce. W przypadku rolnictwa, zaobserwowano zarówno zmniejszenie ogólnego zużycia energii, z poziomu 183 tys. teradżuli (TJ) w 2000 roku, do 131 tys. TJ w 2015. Równocześnie zmniejszał się udział rolnictwa w całkowitym zużyciu energii w Polsce, co można traktować jako zjawisko pozytywne, jednak przy jego ocenie należy pamiętać o tym, że rolnictwo w Polsce dostarcza niewielką część

PKB, a mimo wszystko pozostaje na 5. miejscu pod względem zużycia energii według sektorów gospodarki, co świadczy o relatywnie wysokim zużyciu energii.

**Tabela 9. Struktura zużycia energii według sektorów w Polsce w latach 2000-2015**

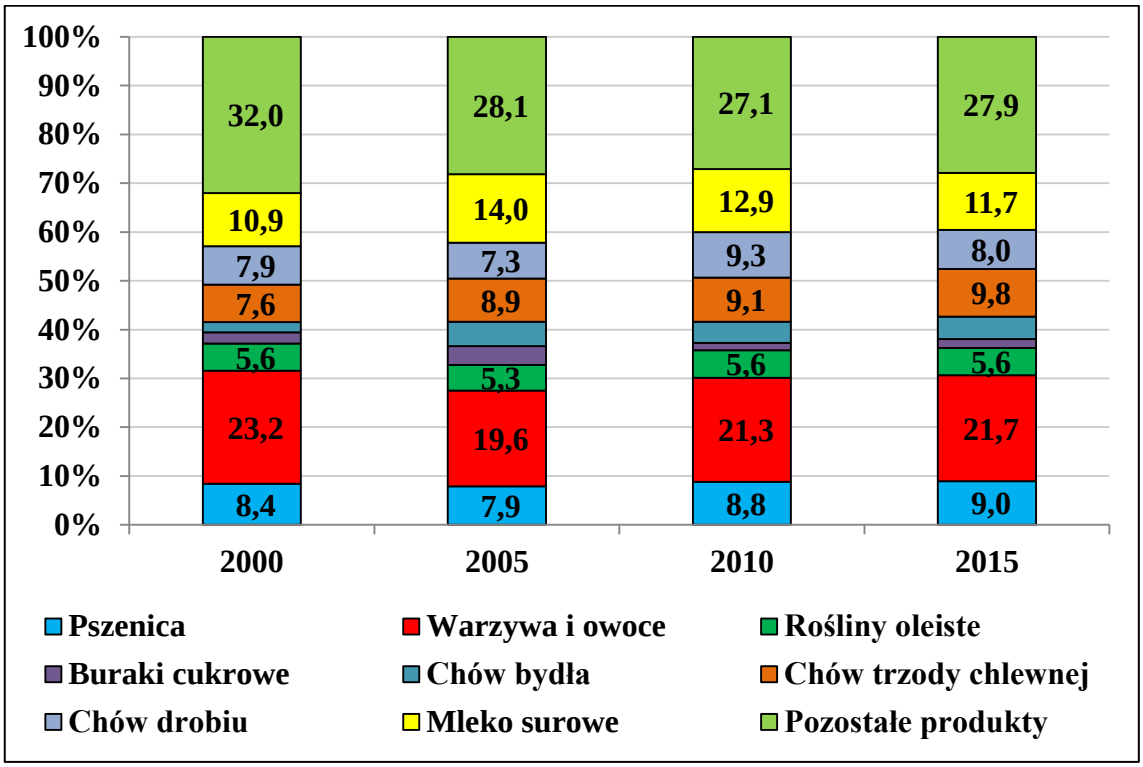
| Wyszczególnienie | 2000 | | 2005 | | 2010 | | 2015 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | TJ (tys.) | % | TJ (tys.) | % | TJ (tys.) | % | TJ (tys.) | % |
| ROL | 183,39 | 3,80 | 174,89 | 3,57 | 145,33 | 2,71 | 131,10 | 2,40 |
| PPE | 3 419,95 | 70,80 | 3 371,78 | 68,85 | 3 678,22 | 68,62 | 3 756,22 | 68,85 |
| PS | 84,95 | 1,76 | 85,27 | 1,74 | 78,05 | 1,46 | 81,62 | 1,50 |
| PP | 110,41 | 2,29 | 142,11 | 2,90 | 194,21 | 3,62 | 209,89 | 3,85 |
| PMB | 135,07 | 2,80 | 136,54 | 2,79 | 149,03 | 2,78 | 148,63 | 2,72 |
| PCH | 304,84 | 6,31 | 269,76 | 5,51 | 286,45 | 5,34 | 311,52 | 5,71 |
| PME | 186,85 | 3,87 | 147,31 | 3,01 | 114,88 | 2,14 | 125,11 | 2,29 |
| PMA | 36,31 | 0,75 | 35,53 | 0,73 | 44,53 | 0,83 | 60,15 | 1,10 |
| PŚT | 18,36 | 0,38 | 18,87 | 0,39 | 16,66 | 0,31 | 17,92 | 0,33 |
| BUD | 8,46 | 0,18 | 8,68 | 0,18 | 12,17 | 0,23 | 8,13 | 0,15 |
| USŁ | 324,88 | 6,73 | 486,38 | 9,93 | 619,66 | 11,56 | 585,97 | 10,74 |
| PG | 17,25 | 0,36 | 20,06 | 0,41 | 21,03 | 0,39 | 19,69 | 0,36 |
| SUMA | 4 830,70 | 100,00 | 4 897,17 | 100,00 | 5 360,23 | 100,00 | 5 455,96 | 100,00 |

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych EXIOBASE.

Zmniejszenie udziału w ogólnym zużyciu energii w 2015 roku w stosunku do 2000 roku zaobserwowano także w przypadku przemysłu spożywczego, jednak w trakcie badanego okresu można było zaobserwować wahania w wielkości zużytej energii. W przypadku przemysłu spożywczego, duży wpływ na ogólne zużycie energii ma wykorzystywana w przetwórstwie technologia (Wang, 2014), przez co jej zmiany mogą wywoływać spore wahania w wielkości zużywanej energii. Istotnym sektorem pod względem zużycia energii był również przemysł chemiczny, który wytwarza między innymi nawozy czy środki ochrony roślin dla rolnictwa. W tym przypadku również zaobserwowano zmniejszenie udziału, z ponad 6,5% do 5,7%. Z kolei spory wzrost zaobserwowano w przypadku sektora usługowego, z niespełna 5% do ponad

10%. Wynikało to przede wszystkim ze zwiększonego zapotrzebowania na energię w związku z dynamicznym rozwojem sektora usługowego w Polsce, przez co obserwowano coraz większe wielkości zużywanej energii.

Kolejnym krokiem w badaniu było określenie struktury zużycia energii w rolnictwie, gdzie szczegółowej analizie poddano produkty roślinne i zwierzęce mające duże znaczenie w polskim rolnictwie (rys. 2). Dodatkowo, wyodrębniono także grupę pozostałych produktów, gdzie znajdowały się takie produkty jak ryż, wełna, pozostałe gatunki zbóż, rośliny włókniste oraz pozostałe rodzaje mięs. W latach 2000-2015, największym udziałem w zużyciu energii w rolnictwie spośród analizowanych produktów charakteryzowała się grupa warzyw i owoców. W 2000 roku warzywa i owoce odpowiadały za ponad 23% nakładów energetycznych w rolnictwie, natomiast w 2015 było to niespełna 22%. Warzywa i owoce charakteryzują się dużym zapotrzebowaniem na wodę, a także na energię cieplną w przypadku upraw szklarniowych, przez co w badanym okresie odpowiadały za znaczącą część zużywanej energii w rolnictwie.

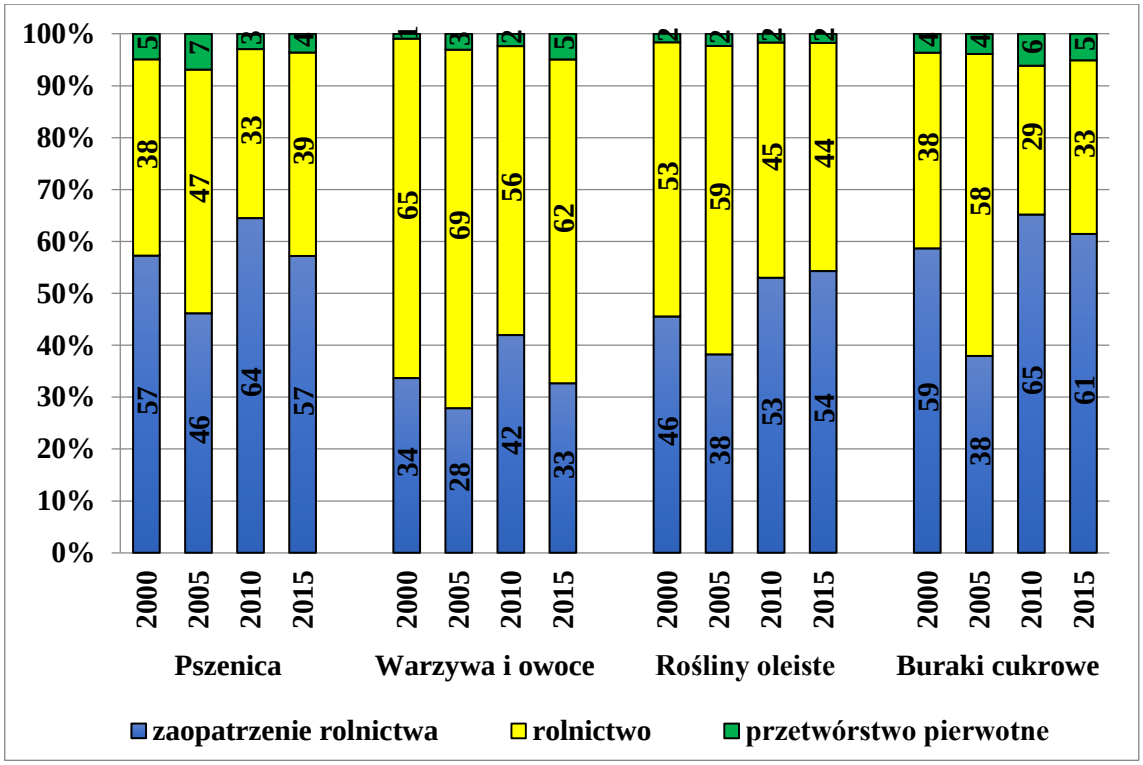



**Rysunek 2. Struktura zużycia energii w polskim rolnictwie**
Źródło: obliczenia własne na podstawie danych EXIOBASE.

Coraz większy udział w zużyciu energii zaobserwowano w przypadku pszenicy, co wynikało przede wszystkim z intensyfikacji produkcji rolniczej w Polsce (tab. 6, rys. 1) i wiązało się ze wzrostem zużycia energii. Za istotną część zużycia

energii odpowiadała także produkcja mleka surowego, jak również chów trzody chlewnej i chów drobiu, gdzie zaobserwowano wzrost udziału w całkowitym zużyciu energii w rolnictwie. Jak wskazano w tabeli 7., w polskim rolnictwie coraz większy udział w badanym okresie miała produkcja zwierzęca, co tłumaczy coraz większy udział tych kierunków produkcji w strukturze zużycia energii. Natomiast najmniejszy udział z produktów zwierzęcych miał chów bydła, co wynikało przede wszystkim z jego niewielkiej produkcji w Polsce.

Analizy zużycia energii dokonano także w podziale na fazy produkcji. Wzięto pod uwagę zaopatrzenie rolnictwa, które obejmuje dostarczenie niezbędnych do produkcji nakładów, a także rolnictwo, gdzie ma miejsce produkcja właściwa w obrębie gospodarstwa rolnego. Uwzględniono także przetwórstwo pierwotne, które obejmuje pierwszą fazę przetwarzania produktów uzyskanych bezpośrednio z rolnictwa (Podlińska i Zając, 2019), jednak niezbędną do dalszego przetwórstwa w celu uzyskania finalnych produktów żywnościowych. Strukturę zużycia energii dla produktów roślinnych przedstawiono na rysunku 3. W analizowanym okresie, przetwórstwo pierwotne produktów roślinnych miało znikomy udział w ogólnym zużyciu energii ze względu na to, że obejmowało ono czynności wykonywane w celu przygotowania tych



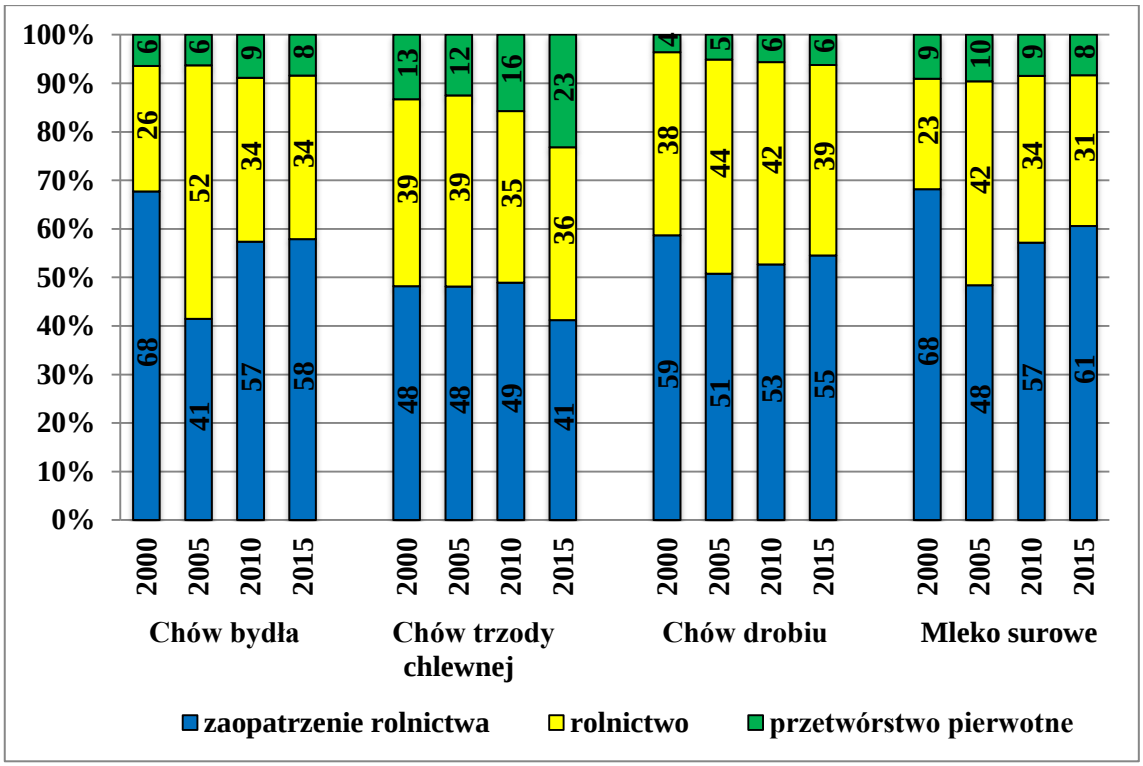

**Rysunek 3. Struktura zużycia energii w polskim systemie produkcji roślinnej**
Źródło: obliczenia własne na podstawie danych EXIOBASE.

produktów do dalszego przetwarzania oraz związane z pierwszym przetworzeniem. W przypadku produktów roślinnych, jako przykład przetwórstwa pierwotnego może posłużyć rafinacja lub mielenie ziaren zbóż (Oghbaei i Prakash, 2016).

W przypadku pszenicy, roślin oleistych oraz buraków cukrowych, dominującą fazą pod względem zużycia energii było zaopatrzenie rolnictwa. Wynikało to przede wszystkim z dostarczania nawozów oraz środków ochrony roślin do produkcji roślinnej, których produkcja związana jest ze znaczącym zużyciem energii[4]. Udział fazy zaopatrzenia podlegał fluktuacjom w analizowanym okresie, jednak zwykle kształtował się na zbliżonym poziomie. Z kolei faza obejmująca produkcję w gospodarstwach rolnych miała największy udział w strukturze zużycia energii w przypadku warzyw i owoców. Wiązało się to ze wspomnianym wcześniej dużym zapotrzebowaniem na wodę oraz energię cieplną przy uprawach szklarniowych, co uwzględniane jest w zużyciu energii w fazie rolniczej. Zmiany w udziale poszczególnych faz produkcji w strukturze zużycia energii, w szczególności przy produktach roślinnych wynikają również z warunków pogodowych, które istotnie wpływają na wielkość otrzymywanych plonów, ale też mają wpływ na finalną ilość energii, która jest angażowana do produkcji.

Z kolei przy produkcji zwierzęcej, można było zaobserwować większe znaczenie przetwórstwa pierwotnego w strukturze zużycia energii (rys. 4). W przypadku chowu bydła, trzody chlewnej oraz drobiu, przetwórstwo charakteryzowało się coraz większym udziałem w zużyciu energii w systemie produkcji. Można to powiązać z ogólnym rozwojem przemysłu spożywczego w Polsce, którego przetwórstwo pierwotne jest częścią. W literaturze podkreśla się, że wraz z rozwojem gospodarczym krajów, rośnie udział przemysłu spożywczego w produkcji łańcucha żywności, a co za tym idzie, wyższy jest również jego udział w zużyciu energii systemu produkcji żywności (Bajan i in., 2020). Wzrost znaczenia przetwórstwa spożywczego wynika także z coraz większej popularności produktów przetworzonych i obserwowanego rosnącego popytu na produkty przetworzone.

[4] Szerzej na ten temat zobacz rozdział 2.1.




**Rysunek 4. Struktura zużycia energii w polskim systemie produkcji zwierzęcej**
Źródło: obliczenia własne na podstawie danych EXIOBASE.

Również w przypadku produktów zwierzęcych, istotnym udziałem w zużyciu energii charakteryzowała się faza zaopatrzenia rolnictwa. Znajduje to odzwierciedlenie w przytoczonych we wcześniejszych częściach pracy badaniach, gdzie uzyskano podobne wyniki dla analizowanych produktów zwierzęcych w innych krajach. Duże znaczenie w przypadku zaopatrzenia rolnictwa dla produkcji zwierzęcej ma przede wszystkim dostarczanie pasz dla zwierząt. Jak wskazano wcześniej, szacuje się, że do wyprodukowania na przykład 1 kg wołowiny, potrzebne jest około 13 kg zbóż i 30 kg pasz (Pimentel, 2009), co tłumaczy relatywnie duży udział fazy zaopatrzenia rolnictwa w ogólnym zużyciu energii.

### 3.3 Struktura nakładów gałęzi produkujących żywność

Produkcja rolnicza jest możliwa dzięki odpowiedniemu zaopatrzeniu w środki produkcji oraz w usługi, które bezpośrednio uczestniczą w procesie produkcji żywności. Istotne jest, że nakłady do gałęzi produkujących żywność płyną z całej gospodarki. Wartość zaopatrzenia gałęzi produkujących żywność oraz strukturę zaopatrzenia przedstawiono w tabeli 10 i tabeli 11. W Polsce, w zaopatrzeniu materiałowym gałęzi produkujących żywność, istotną rolę odgrywały nakłady do produkcji dostarczane z rolnictwa. W analizowanym okresie, największe wartości oraz udział nakładów

płynących z rolnictwa w nakładach materiałowych ogółem obserwowano przy produkcji zwierzęcej. W przypadku chowu bydła, trzody chlewnej oraz chowu drobiu, wartość zaopatrzenia materiałowego z rolnictwa w 2015 roku w porównaniu do 2000 roku wzrosła. Pomimo tego, dla wszystkich analizowanych produktów zwierzęcych odnotowano stopniowy spadek udziału dostarczanych nakładów z rolnictwa. Jednocześnie, obserwowano coraz większe wartości oraz udział przemysłu spożywczego w zaopatrywaniu w środki produkcji analizowanych produktów zwierzęcych. Przemysł spożywczy jest odpowiedzialny między innymi za produkcję pasz dla zwierząt, przez co, wraz z rozwojem produkcji wzrastała wielkość przepływu nakładów do produkcji zwierzęcej. W przypadku chowu bydła, udział przemysłu spożywczego w strukturze nakładów zwiększył się z poziomu 35% w 2000 roku do 47% w 2015, przy chowie trzody chlewnej udział wzrósł z 41% do 46%, natomiast dla chowu drobiu zaobserwowano wzrost z poziomu 36% w pierwszym badanym roku do 41% w 2015 roku. Z kolei nakłady dostarczane z przemysłu spożywczego do produkcji mleka surowego w 2000 roku odpowiadały za 17% wartości całego zaopatrzenia, a w 2015 roku za 36%.

Istotny udział nakładów z rolnictwa, który pozostał na wysokim poziomie w całym badanym okresie, zaobserwowano także w przypadku grupy warzyw i owoców. W 2000 roku odpowiadało ono za 26% dostarczanych nakładów, a w 2015 roku za 25% nakładów. W grupie warzyw i owoców, wysoki udział rolnictwa w strukturze nakładów wynikał przede wszystkim z tego, że produkując warzywa, można wyprodukować sadzonki, które zostaną wykorzystane w kolejnych sezonach. W przypadku pozostałych produktów roślinnych, udział nakładów z rolnictwa był niewielki. Jedynie w pierwszych latach przeprowadzanego badania odnotowano relatywnie wysoki udział rolnictwa przy produkcji buraków cukrowych, jednak stopniowo się zmniejszał.

Porównując produkty roślinne i zwierzęce, w przypadku produktów roślinnych zaobserwowano zdecydowanie większe wartości i udziały przemysłu maszynowego oraz przemysłu chemicznego w zaopatrzeniu produkcji. Wynikało to z faktu, iż przy produkcji roślinnej maszyny są niezbędne, począwszy od siewu, nawożenia, aż po zbiór roślin. W przypadku analizowanych produktów roślinnych, udział przemysłu maszynowego w strukturze nakładów oraz wartość zaopatrzenia z przemysłu maszynowego była największa w latach 2000-2010. W tym okresie, w Polsce obserwowano wzmożony zakup maszyn rolniczych, co znajduje odzwierciedlenie także

**Tabela 10. Wartość zaopatrzenia gałęzi produkujących żywność w Polsce w latach 2000-2015 (mln EUR)**

| Wyszczególnienie | | ROL | PPE | PS | PP | PMB | PCH | PME | PMA | PŚT | BUD | USŁ | PG |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Pszenica | 2000 | 15,97 | 115,50 | 0,74 | 9,60 | 19,55 | 74,80 | 34,06 | 104,66 | 7,68 | 9,90 | 168,67 | 0,15 |
| | 2005 | 11,24 | 98,58 | 1,35 | 9,38 | 19,74 | 90,57 | 35,85 | 93,80 | 6,37 | 11,42 | 138,44 | 0,24 |
| | 2010 | 18,75 | 220,06 | 3,14 | 16,67 | 26,83 | 208,65 | 66,60 | 133,25 | 13,29 | 19,63 | 369,28 | 0,21 |
| | 2015 | 16,46 | 157,04 | 2,78 | 17,28 | 27,27 | 149,23 | 50,97 | 66,47 | 8,54 | 27,20 | 348,49 | 0,19 |
| Warzywa i owoce | 2000 | 250,17 | 98,75 | 1,07 | 11,17 | 20,30 | 44,83 | 51,58 | 134,00 | 9,86 | 12,67 | 315,12 | 0,74 |
| | 2005 | 218,71 | 99,72 | 1,43 | 10,40 | 20,32 | 77,53 | 38,31 | 133,48 | 8,39 | 14,05 | 171,55 | 0,78 |
| | 2010 | 234,47 | 263,42 | 3,34 | 17,65 | 27,31 | 183,29 | 52,43 | 128,52 | 13,33 | 60,32 | 396,33 | 2,29 |
| | 2015 | 280,08 | 160,18 | 2,89 | 18,56 | 27,79 | 122,84 | 41,55 | 63,97 | 8,82 | 31,50 | 347,49 | 3,95 |
| Rośliny oleiste | 2000 | 1,12 | 43,23 | 0,30 | 2,11 | 3,11 | 48,61 | 5,46 | 16,73 | 1,17 | 1,70 | 30,15 | 0,03 |
| | 2005 | 1,23 | 41,71 | 0,67 | 2,08 | 3,15 | 57,90 | 6,19 | 19,79 | 1,15 | 1,95 | 35,64 | 0,10 |
| | 2010 | 2,22 | 83,23 | 1,20 | 3,11 | 4,27 | 94,71 | 13,49 | 16,85 | 1,83 | 3,00 | 52,14 | 0,06 |
| | 2015 | 2,19 | 69,95 | 1,30 | 3,49 | 4,42 | 91,05 | 16,12 | 12,64 | 1,49 | 3,20 | 57,40 | 0,08 |
| Buraki cukrowe | 2000 | 57,75 | 20,92 | 0,18 | 2,11 | 2,67 | 37,38 | 5,08 | 20,46 | 1,20 | 1,74 | 27,48 | 0,02 |
| | 2005 | 42,89 | 21,91 | 0,57 | 1,92 | 2,83 | 50,01 | 6,30 | 33,45 | 1,37 | 2,09 | 33,62 | 0,10 |
| | 2010 | 64,76 | 32,33 | 0,86 | 2,69 | 3,74 | 69,47 | 8,33 | 21,23 | 1,99 | 3,13 | 44,54 | 0,05 |
| | 2015 | 28,57 | 28,17 | 0,97 | 3,19 | 4,24 | 72,86 | 9,77 | 16,19 | 1,67 | 3,57 | 52,25 | 0,04 |
| Chów bydła | 2000 | 154,82 | 14,77 | 131,95 | 1,13 | 2,31 | 5,62 | 2,91 | 2,48 | 0,66 | 0,37 | 59,18 | 0,52 |
| | 2005 | 85,00 | 22,94 | 251,03 | 1,84 | 3,61 | 10,82 | 5,25 | 4,07 | 0,96 | 0,60 | 70,04 | 0,56 |
| | 2010 | 266,34 | 29,27 | 293,33 | 2,41 | 3,65 | 12,63 | 5,89 | 4,01 | 1,05 | 0,83 | 105,39 | 1,66 |
| | 2015 | 272,42 | 33,05 | 420,31 | 3,38 | 4,55 | 14,54 | 7,76 | 5,12 | 1,13 | 0,68 | 124,59 | 2,07 |
| Chów trzody chlewnej | 2000 | 170,82 | 42,59 | 347,67 | 8,64 | 16,40 | 12,73 | 14,15 | 15,50 | 5,12 | 1,94 | 204,55 | 2,18 |
| | 2005 | 226,40 | 47,75 | 532,49 | 10,95 | 18,48 | 22,22 | 18,88 | 19,16 | 4,99 | 3,20 | 230,23 | 1,82 |
| | 2010 | 283,37 | 73,94 | 739,45 | 16,64 | 22,17 | 23,91 | 21,61 | 23,09 | 7,23 | 4,62 | 446,20 | 6,83 |
| | 2015 | 227,99 | 74,82 | 758,52 | 20,28 | 23,64 | 23,86 | 23,14 | 26,31 | 7,04 | 5,66 | 456,08 | 9,66 |
| Chów drobiu | 2000 | 201,91 | 47,57 | 357,78 | 5,70 | 11,79 | 14,23 | 13,12 | 12,09 | 3,09 | 1,70 | 333,60 | 1,55 |
| | 2005 | 155,49 | 49,78 | 291,65 | 5,92 | 12,23 | 16,91 | 16,32 | 13,52 | 2,82 | 1,55 | 162,61 | 0,92 |
| | 2010 | 238,83 | 77,77 | 500,59 | 9,43 | 15,04 | 17,01 | 20,41 | 16,36 | 4,21 | 3,23 | 391,11 | 3,71 |
| | 2015 | 212,27 | 75,41 | 547,03 | 11,31 | 15,70 | 17,10 | 21,85 | 17,85 | 4,00 | 2,29 | 414,52 | 4,88 |
| Mleko surowe | 2000 | 1285,64 | 60,75 | 382,91 | 9,61 | 19,93 | 11,22 | 18,44 | 19,18 | 5,96 | 3,05 | 382,75 | 5,07 |
| | 2005 | 549,97 | 84,40 | 662,86 | 14,75 | 27,94 | 25,18 | 30,24 | 28,83 | 7,66 | 4,18 | 489,66 | 4,19 |
| | 2010 | 929,47 | 160,12 | 1070,27 | 22,31 | 32,72 | 22,24 | 35,43 | 34,21 | 10,10 | 7,42 | 832,98 | 19,46 |
| | 2015 | 976,26 | 173,01 | 1275,30 | 30,36 | 39,16 | 26,52 | 41,94 | 43,41 | 10,61 | 10,37 | 940,48 | 21,75 |

Źródło: obliczenia własne na podstawie bazy danych EXIOBASE.

**Tabela 11. Struktura zaopatrzenia gałęzi produkujących żywność w Polsce w latach 2000-2015 (%)**

| Wyszczególnienie | | ROL | PPE | PS | PP | PMB | PCH | PME | PMA | PŚT | BUD | USŁ | PG |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Pszenica | 2000 | 2,85 | 20,58 | 0,13 | 1,71 | 3,48 | 13,33 | 6,07 | 18,65 | 1,37 | 1,76 | 30,05 | 0,03 |
| | 2005 | 2,17 | 19,07 | 0,26 | 1,81 | 3,82 | 17,52 | 6,93 | 18,14 | 1,23 | 2,21 | 26,78 | 0,05 |
| | 2010 | 1,71 | 20,07 | 0,29 | 1,52 | 2,45 | 19,03 | 6,07 | 12,15 | 1,21 | 1,79 | 33,68 | 0,02 |
| | 2015 | 1,89 | 18,01 | 0,32 | 1,98 | 3,13 | 17,12 | 5,85 | 7,62 | 0,98 | 3,12 | 39,97 | 0,02 |
| Warzywa i owoce | 2000 | 26,33 | 10,39 | 0,11 | 1,18 | 2,14 | 4,72 | 5,43 | 14,10 | 1,04 | 1,33 | 33,16 | 0,08 |
| | 2005 | 27,52 | 12,55 | 0,18 | 1,31 | 2,56 | 9,76 | 4,82 | 16,80 | 1,06 | 1,77 | 21,59 | 0,10 |
| | 2010 | 16,96 | 19,05 | 0,24 | 1,28 | 1,98 | 13,26 | 3,79 | 9,29 | 0,96 | 4,36 | 28,66 | 0,17 |
| | 2015 | 25,24 | 14,44 | 0,26 | 1,67 | 2,50 | 11,07 | 3,74 | 5,76 | 0,79 | 2,84 | 31,32 | 0,36 |
| Rośliny oleiste | 2000 | 0,73 | 28,13 | 0,20 | 1,37 | 2,02 | 31,62 | 3,55 | 10,89 | 0,76 | 1,10 | 19,61 | 0,02 |
| | 2005 | 0,72 | 24,31 | 0,39 | 1,21 | 1,84 | 33,75 | 3,61 | 11,53 | 0,67 | 1,14 | 20,78 | 0,06 |
| | 2010 | 0,80 | 30,14 | 0,44 | 1,13 | 1,55 | 34,30 | 4,89 | 6,10 | 0,66 | 1,09 | 18,88 | 0,02 |
| | 2015 | 0,83 | 26,56 | 0,49 | 1,33 | 1,68 | 34,58 | 6,12 | 4,80 | 0,56 | 1,22 | 21,80 | 0,03 |
| Buraki cukrowe | 2000 | 32,63 | 11,82 | 0,10 | 1,19 | 1,51 | 21,12 | 2,87 | 11,56 | 0,68 | 0,98 | 15,53 | 0,01 |
| | 2005 | 21,77 | 11,12 | 0,29 | 0,97 | 1,44 | 25,38 | 3,20 | 16,97 | 0,69 | 1,06 | 17,06 | 0,05 |
| | 2010 | 25,59 | 12,77 | 0,34 | 1,06 | 1,48 | 27,44 | 3,29 | 8,39 | 0,79 | 1,24 | 17,60 | 0,02 |
| | 2015 | 12,90 | 12,72 | 0,44 | 1,44 | 1,92 | 32,90 | 4,41 | 7,31 | 0,75 | 1,61 | 23,59 | 0,02 |
| Chów bydła | 2000 | 41,10 | 3,92 | 35,03 | 0,30 | 0,61 | 1,49 | 0,77 | 0,66 | 0,18 | 0,10 | 15,71 | 0,14 |
| | 2005 | 18,61 | 5,02 | 54,96 | 0,40 | 0,79 | 2,37 | 1,15 | 0,89 | 0,21 | 0,13 | 15,34 | 0,12 |
| | 2010 | 36,66 | 4,03 | 40,38 | 0,33 | 0,50 | 1,74 | 0,81 | 0,55 | 0,14 | 0,11 | 14,51 | 0,23 |
| | 2015 | 30,62 | 3,71 | 47,25 | 0,38 | 0,51 | 1,63 | 0,87 | 0,58 | 0,13 | 0,08 | 14,01 | 0,23 |
| Chów trzody chlewnej | 2000 | 20,28 | 5,06 | 41,28 | 1,03 | 1,95 | 1,51 | 1,68 | 1,84 | 0,61 | 0,23 | 24,29 | 0,26 |
| | 2005 | 19,92 | 4,20 | 46,85 | 0,96 | 1,63 | 1,95 | 1,66 | 1,69 | 0,44 | 0,28 | 20,26 | 0,16 |
| | 2010 | 16,98 | 4,43 | 44,30 | 1,00 | 1,33 | 1,43 | 1,29 | 1,38 | 0,43 | 0,28 | 26,73 | 0,41 |
| | 2015 | 13,76 | 4,52 | 45,78 | 1,22 | 1,43 | 1,44 | 1,40 | 1,59 | 0,42 | 0,34 | 27,52 | 0,58 |
| Chów drobiu | 2000 | 20,11 | 4,74 | 35,63 | 0,57 | 1,17 | 1,42 | 1,31 | 1,20 | 0,31 | 0,17 | 33,22 | 0,15 |
| | 2005 | 21,31 | 6,82 | 39,97 | 0,81 | 1,68 | 2,32 | 2,24 | 1,85 | 0,39 | 0,21 | 22,28 | 0,13 |
| | 2010 | 18,40 | 5,99 | 38,58 | 0,73 | 1,16 | 1,31 | 1,57 | 1,26 | 0,32 | 0,25 | 30,14 | 0,29 |
| | 2015 | 15,79 | 5,61 | 40,70 | 0,84 | 1,17 | 1,27 | 1,63 | 1,33 | 0,30 | 0,17 | 30,84 | 0,36 |
| Mleko surowe | 2000 | 58,32 | 2,76 | 17,37 | 0,44 | 0,90 | 0,51 | 0,84 | 0,87 | 0,27 | 0,14 | 17,36 | 0,23 |
| | 2005 | 28,50 | 4,37 | 34,35 | 0,76 | 1,45 | 1,30 | 1,57 | 1,49 | 0,40 | 0,22 | 25,37 | 0,22 |
| | 2010 | 29,26 | 5,04 | 33,69 | 0,70 | 1,03 | 0,70 | 1,12 | 1,08 | 0,32 | 0,23 | 26,22 | 0,61 |
| | 2015 | 27,20 | 4,82 | 35,53 | 0,85 | 1,09 | 0,74 | 1,17 | 1,21 | 0,30 | 0,29 | 26,20 | 0,61 |

Źródło: obliczenia własne na podstawie bazy danych EXIOBASE.

w znaczącym udziale przemysłu maszynowego w strukturze zaopatrzenia produkcji roślinnej. Natomiast przemysł chemiczny dostarcza do rolnictwa nawozy i środki ochrony roślin, których w Polsce w analizowanym okresie używano coraz więcej, przez co można było obserwować rosnący udział tego sektora w strukturze nakładów.

Istotną rolę w zaopatrzeniu gałęzi produkujących żywność w Polsce w latach 2000-2015 odgrywał także przemysł paliwowo-energetyczny. Zarówno pod względem wartości zaopatrzenia, jak i udziału w strukturze nakładów, przemysł paliwowo-energetyczny miał duże znaczenie przy produkcji pszenicy, warzyw i owoców, a także roślin oleistych. Stosunkowo duże wartości nakładów z tego sektora zaobserwowano także przy produkcji mleka surowego, chowu drobiu i trzody chlewnej. Szczegółowa analiza danych wykazała, że w przypadku upraw pszenicy, za prawie 50% wartości nakładów z przemysłu paliwowo-energetycznego odpowiadała ropa naftowa, 20% wartości pochodziło z gałęzi zajmującej się wydobyciem węgla kamiennego i brunatnego, natomiast 13% wartości nakładów pochodziło z energii elektrycznej wyprodukowanej z węgla. Z kolei w nakładach dostarczanych z przemysłu paliwowo-energetycznego do produkcji warzyw i owoców, 30% wartości tych nakładów pochodziło z energii elektrycznej wyprodukowanej z węgla, a 24% z gałęzi dostarczającej ropę naftową. Ropa naftowa odpowiadała także za ponad 70% wartości nakładów do produkcji roślin oleistych. Również w przypadku mleka surowego, ropa naftowa odpowiadała za 15% wartości nakładów z przemysłu paliwowo-energetycznego, natomiast 35% wartości zaopatrzenia pochodziło z energii elektrycznej wyprodukowanej z węgla. Z kolei przy chowie trzody chlewnej, za 28% wartości nakładów z tego sektora odpowiadała energia elektryczna produkowana z węgla, a przy chowie drobiu, za 27% wartości nakładów. Jest to potwierdzeniem przywołanych wcześniej badań, gdzie stwierdzono, że paliwa kopalne mają kluczowe znaczenie w produkcji rolniczej ze względu na szerokie zastosowanie jako paliwa do maszyn i zwykle są głównym źródłem energii wykorzystywanej przy produkcji.

Ponadto, oprócz wzrostu znaczenia sektora usługowego w całej gospodarce, zaobserwowano także jego wzrost w wartościach dostarczanych usług do rolnictwa i wzrost udziału w strukturze nakładów gałęzi produkujących żywność w Polsce, z wyjątkiem chowu bydła i drobiu, gdzie wartość dostarczanych usług wzrosła, a udział w strukturze zaopatrzenia nieznacznie się zmniejszył. Szczegółowa analiza danych wykazała, że największymi przepływami do rolnictwa charakteryzowały się usługi związane z handlem detalicznym i hurtowym, z prowadzeniem działalności

gospodarczej, a także pośrednictwo finansowe oraz ubezpieczenia i fundusze emerytalne.

Oprócz struktury nakładów gałęzi produkujących żywność w Polsce, obliczono także wskaźniki materiałochłonności produkcji rolniczej, czyli stosunek całkowitego zużycia pośredniego do produkcji globalnej (tab. 12). W przypadku analizowanych kierunków produkcji, największą materiałochłonnością w Polsce charakteryzował się chów bydła. Wskaźnik materiałochłonności wzrósł, z poziomu 0,93 w 2000 roku do 1,25 w 2015 roku, co mogłoby wskazywać na to, że chów bydła był nieopłacalny, ponieważ aby wyprodukować 1 euro produkcji globalnej, należało zainwestować w produkcję 1,25 euro. Jednak należy mieć na uwadze długi cykl produkcyjny charakterystyczny dla chowu bydła, przez który nakłady poniesione na produkcję w danym roku często nie przynoszą korzyści finansowych w tym samym roku. Dodatkowo, pomimo tego, że wysoki wskaźnik materiałochłonności przy chowie bydła świadczyłby o ponoszonych stratach przy produkcji, istotną kwestią są płatności bezpośrednie w ramach WPR, które powiększają realny dochód z produkcji. Relatywnie wysoką materiałochłonność zaobserwowano także w przypadku pozostałych produktów zwierzęcych. Potwierdzają to także wyniki Laso i in. (2018). W ich badaniu wykazano, że ze względu na większe nakłady pracy i kapitału, produkcja zwierzęca cechuje się większą materiałochłonnością w porównaniu do produkcji roślinnej.

**Tabela 12. Wskaźniki materiałochłonności gałęzi produkujących żywność w Polsce w latach 2000-2015 (całkowite zużycie pośrednie/produkcja globalna) (EUR)**

| Wyszczególnienie | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 |
|---|---|---|---|---|
| Pszenica | 0,57 | 0,40 | 0,67 | 0,37 |
| Warzywa i owoce | 0,61 | 0,37 | 0,41 | 0,43 |
| Rośliny oleiste | 0,29 | 0,30 | 0,31 | 0,27 |
| Buraki cukrowe | 0,57 | 0,59 | 0,58 | 0,50 |
| Chów bydła | 0,93 | 1,02 | 1,08 | 1,25 |
| Chów trzody chlewnej | 0,44 | 0,70 | 0,50 | 0,53 |
| Chów drobiu | 0,65 | 0,37 | 0,44 | 0,44 |
| Mleko surowe | 0,75 | 0,66 | 0,73 | 0,78 |

Źródło: obliczenia własne na podstawie bazy danych EXIOBASE.

Z kolei, w przypadku produkcji roślinnej, zaobserwowano niższe wskaźniki materiałochłonności, jednak występowały większe wahania w wielkości wskaźnika. W przypadku pszenicy oraz warzyw i owoców, wahania wynikały przede wszystkim z tego, że zużycie pośrednie w 2000 oraz 2005 roku utrzymywało się na względnie zbliżonym poziomie, przy czym zaobserwowano dynamiczny wzrost produkcji globalnej. Taka sytuacja często determinowana jest warunkami pogodowymi, które istotnie wpływają na materiałochłonność produkcji. Oprócz tego, wahania w wielkości wskaźników materiałochłonności są wynikiem dynamicznych zmian cen surowców rolnych, często obserwowanych na rynku pszenicy. Natomiast biorąc pod uwagę zmianę materiałochłonności produkcji roślinnej w 2015 roku w porównaniu do 2000 roku, można było zaobserwować jej zmniejszenie. Taką sytuację należy ocenić pozytywnie, ponieważ świadczy o wzroście dochodowości produkcji. Najprościej mówiąc, w sytuacji, kiedy wskaźnik materiałochłonności zmniejsza się, oznacza to, że możliwe jest zaangażowanie coraz mniejszej ilości środków do wytworzenia 1 euro produkcji globalnej, a co za tym idzie, zwiększa się wartość dodana produkcji.

## 4. Pomiar intensywności energetycznej produkcji żywności

### 4.1 Wyniki dochodowe gałęzi produkujących żywność

W badaniu dotyczącym intensywności energetycznej sytemu produkcji żywności, istotną kwestią jest wartość produktu krajowego brutto (PKB) wytwarzanego przez poszczególne gałęzie produkujące żywność w Polsce. Wartość PKB została obliczona dla trzech faz systemu produkcji żywności, mianowicie dla zaopatrzenia rolnictwa, rolnictwa oraz przetwórstwa pierwotnego. PKB jest wielkością dochodową, która wskazuje na wielkość wartości dodanej produkcji. Pełni ona dochodotwórczą rolę w systemie produkcji żywności (Góral i in., 2017), ponieważ wartość dodana to różnica pomiędzy wartością wyników działalności gospodarczej, a nakładami, jakie zostały poniesione w celu ich wytworzenia (Marcinkowska, 2012).

Zwykle, produkcja zwierzęca uważana jest za bardziej dochodową i dającą większe korzyści ekonomiczne w porównaniu do produktów roślinnych, co znajduje odzwierciedlenie także w wartościach PKB systemu produkcji zwierzęcej (tab. 13). W przypadku Polski, największymi wartościami PKB charakteryzowała się produkcja mleka surowego, gdzie dodatkowo zaobserwowano znaczący wzrost wytwarzanej wartości dodanej, z poziomu 2,8 mld euro w 2000 roku do 4,3 mld euro w 2015 roku. Z kolei w przypadku produktów roślinnych, największymi wartościami PKB charakteryzowała się produkcja warzyw i owoców, gdzie w pierwszym badanym roku wytworzona wartość PKB wyniosła 1,2 mld euro, a w ostatnim badanym roku było to prawie 2,5 mld euro.

Z kolei biorąc pod uwagę wartość PKB oraz strukturę PKB w podziale na trzy fazy systemu produkcji żywności (tab. 14), wśród analizowanych gałęzi produkujących żywność w Polsce największe znaczenie w wytwarzaniu PKB miała faza zaopatrzenia rolnictwa oraz rolnictwo. W przypadku fazy zaopatrzenia rolnictwa, wartość PKB uzależniona jest nie tylko od dochodowości samego rolnictwa, z którego płyną nakłady do produkcji, ale także od dochodowości wszystkich sektorów gospodarki, które zaopatrują produkcję rolniczą w materiały i usługi uczestniczące w procesie produkcji. Z tego względu, zmiany w dochodowości gospodarki mogą znacząco wpłynąć na wartości PKB fazy zaopatrzenia rolnictwa. W przypadku Polski, obserwowano ogólny trend wzrostowy w wartości PKB w ramach fazy zaopatrzenia rolnictwa, z wyjątkiem 2005 roku, gdzie wystąpiło zmniejszenie wartości i udziału tej fazy w wytwarzanej wartości PKB. W 2005 roku, w porównaniu do 2000 roku, zaobserwowano ogólny

wzrost zużycia pośredniego w gospodarce w wartościach bieżących, co świadczyło o rozwoju gospodarki i wzroście nakładów płynących do produkcji. Jednak towarzyszyło temu 1,5% zmniejszenie dochodowości sektorów zaopatrujących rolnictwo, rozumianej jako stosunek wartości PKB do wartości produkcji globalnej gospodarki. Biorąc pod uwagę tylko sektor rolniczy, nie zaobserwowano dynamicznych zmian w dochodowości, jednak istotne zmniejszenie dochodowości pozostałych sektorów gospodarki skutkowało ogólnym zmniejszeniem wartości PKB w ramach fazy zaopatrzenia rolnictwa w 2005 roku, a także zmniejszeniem udziału fazy zaopatrzenia w wytwarzaniu PKB. Zmniejszenie udziału zaopatrzenia rolnictwa w strukturze PKB zaobserwowano dla wszystkich gałęzi produkujących żywność w Polsce z wyjątkiem chowu bydła oraz chowu trzody chlewnej.

Utrzymanie rosnącego trendu w przypadku wartości PKB sfery zaopatrzenia rolnictwa przy chowie bydła i trzody chlewnej wynikało przede wszystkim z tego, że w strukturze zaopatrzenia tych gałęzi istotną rolę odgrywało rolnictwo (tab. 10, tab. 11), z którego dostarczane były głównie zboża będące paszą dla zwierząt. W tym kontekście, należy zwrócić uwagę na wartość dodaną wytwarzaną w rolnictwie. W przypadku pszenicy, wartość PKB wytwarzana na poziomie rolnictwa istotnie wzrosła w 2005 roku, co świadczy również o wzroście dochodowości tej gałęzi i miało wpływ na wzrost wartości PKB w fazie zaopatrzenia takich gałęzi jak chów bydła czy chów trzody chlewnej. Wzrost wartości PKB w rolnictwie zaobserwowano także w pozostałych gałęziach produkcji roślinnej, jak również w przypadku mleka surowego i chowu drobiu.

Tendencja wzrostowa wartości PKB obserwowana w rolnictwie również miała związek z pozostałymi sektorami gospodarki i ich dochodowością. Należy zwrócić uwagę na niedoskonałość struktury rynku i różnice w sile rynkowej uczestników łańcucha marketingowego, które zwykle są istotnym problemem obserwowanym w rolnictwie (Chlebicka i in., 2009). Najczęściej, rolnicy mają słabszą pozycję rynkową i mniejszy wpływ na ustalanie ceny na rynku niż podmioty działające w sektorach zaopatrujących rolnictwo czy w gałęziach zajmujących się przetwórstwem żywności. Wynika to z faktu, że producenci rolni działają w dużym rozdrobnieniu, jako pojedyncze podmioty, co jest zbliżone do modelu konkurencji doskonałej, jednak skutkuje niską siłą rynkową pojedynczego gospodarstwa (Bajan i Czubak, 2018). Konsekwencją tego jest to, że w długim okresie rolnicy zwykle zyskują mniej niż podmioty sektorów zajmujących się zaopatrzeniem rolnictwa czy też przetwórstwem

**Tabela 13. Wartość PKB gałęzi produkujących żywność w Polsce w latach 2000-2015 (ceny bieżące, mln EUR)**

| Wyszczególnienie | | Zaopatrzenie rolnictwa | Rolnictwo | Przetwórstwo pierwotne | Suma |
|---|---|---|---|---|---|
| Pszenica | 2000 | 365,89 | 418,78 | 99,45 | 884,13 |
| | 2005 | 315,40 | 778,12 | 138,61 | 1 232,12 |
| | 2010 | 624,58 | 529,77 | 147,96 | 1 302,30 |
| | 2015 | 564,74 | 1 483,58 | 153,31 | 2 201,63 |
| Warzywa i owoce | 2000 | 601,94 | 597,94 | 21,86 | 1 221,73 |
| | 2005 | 418,74 | 1 380,74 | 124,59 | 1 924,08 |
| | 2010 | 764,92 | 2 023,95 | 184,33 | 2 973,20 |
| | 2015 | 635,11 | 1 460,86 | 391,12 | 2 487,10 |
| Rośliny oleiste | 2000 | 83,40 | 368,20 | 40,58 | 492,18 |
| | 2005 | 93,95 | 407,71 | 76,17 | 577,84 |
| | 2010 | 124,51 | 601,36 | 71,66 | 797,53 |
| | 2015 | 142,69 | 703,06 | 80,99 | 926,74 |
| Buraki cukrowe | 2000 | 90,13 | 133,29 | 157,02 | 380,44 |
| | 2005 | 99,94 | 137,06 | 196,21 | 433,21 |
| | 2010 | 116,13 | 180,92 | 255,33 | 552,37 |
| | 2015 | 129,03 | 222,37 | 304,84 | 656,25 |
| Chów bydła | 2000 | 269,45 | 28,23 | 130,18 | 427,87 |
| | 2005 | 306,22 | -9,35 | 167,88 | 464,75 |
| | 2010 | 501,90 | -56,30 | 286,91 | 732,50 |
| | 2015 | 602,72 | -177,23 | 334,18 | 759,67 |
| Chów trzody chlewnej | 2000 | 610,89 | 1 063,10 | 191,52 | 1 865,51 |
| | 2005 | 817,69 | 488,41 | 244,19 | 1 550,29 |
| | 2010 | 1 178,18 | 1 688,23 | 340,36 | 3 206,76 |
| | 2015 | 1 161,37 | 1 440,39 | 436,00 | 3 037,76 |
| Chów drobiu | 2000 | 788,44 | 534,19 | 142,99 | 1 465,62 |
| | 2005 | 534,96 | 1 216,36 | 176,07 | 1 927,39 |
| | 2010 | 945,52 | 1 679,38 | 289,04 | 2 913,94 |
| | 2015 | 991,07 | 1 677,76 | 301,75 | 2 970,58 |
| Mleko surowe | 2000 | 1 588,18 | 730,49 | 472,85 | 2 791,52 |
| | 2005 | 1 370,83 | 984,77 | 505,27 | 2 860,87 |
| | 2010 | 2 148,39 | 1 159,04 | 743,84 | 4 051,27 |
| | 2015 | 2 383,81 | 1 027,40 | 848,23 | 4 259,45 |

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych z bazy EXIOBASE.

**Tabela 14. Struktura PKB gałęzi produkujących żywność w Polsce w latach 2000-2015 (%)**

| Wyszczególnienie | | Zaopatrzenie rolnictwa | Rolnictwo | Przetwórstwo pierwotne |
|---|---|---|---|---|
| Pszenica | 2000 | 41,38 | 47,37 | 11,25 |
| | 2005 | 25,60 | 63,15 | 11,25 |
| | 2010 | 47,96 | 40,68 | 11,36 |
| | 2015 | 25,65 | 67,39 | 6,96 |
| Warzywa i owoce | 2000 | 49,27 | 48,94 | 1,79 |
| | 2005 | 21,76 | 71,76 | 6,48 |
| | 2010 | 25,73 | 68,07 | 6,20 |
| | 2015 | 25,54 | 58,74 | 15,73 |
| Rośliny oleiste | 2000 | 16,95 | 74,81 | 8,25 |
| | 2005 | 16,26 | 70,56 | 13,18 |
| | 2010 | 15,61 | 75,40 | 8,99 |
| | 2015 | 15,40 | 75,86 | 8,74 |
| Buraki cukrowe | 2000 | 23,69 | 35,04 | 41,27 |
| | 2005 | 23,07 | 31,64 | 45,29 |
| | 2010 | 21,02 | 32,75 | 46,22 |
| | 2015 | 19,66 | 33,89 | 46,45 |
| Chów bydła | 2000 | 62,98 | 6,60 | 30,43 |
| | 2005 | 64,59 | X | 35.41 |
| | 2010 | 63,63 | X | 36,37 |
| | 2015 | 64,33 | X | 35,67 |
| Chów trzody chlewnej | 2000 | 32,75 | 56,99 | 10,27 |
| | 2005 | 52,74 | 31,50 | 15,75 |
| | 2010 | 36,74 | 52,65 | 10,61 |
| | 2015 | 38,23 | 47,42 | 14,35 |
| Chów drobiu | 2000 | 53,80 | 36,45 | 9,76 |
| | 2005 | 27,76 | 63,11 | 9,14 |
| | 2010 | 32,45 | 57,63 | 9,92 |
| | 2015 | 33,36 | 56,48 | 10,16 |
| Mleko surowe | 2000 | 56,89 | 26,17 | 16,94 |
| | 2005 | 47,92 | 34,42 | 17,66 |
| | 2010 | 53,03 | 28,61 | 18,36 |
| | 2015 | 55,97 | 24,12 | 19,91 |

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych z bazy EXIOBASE.

spożywczym. Większe korzyści przypadają podmiotom działającym w sektorach zajmujących się dostarczaniem środków do produkcji, co wynika z większych barier wejścia na rynek i wyjścia z rynku, przez co na rynku występuje mniejsza liczba takich podmiotów (Le Vay, 1983). Jednak, takie struktury rynku nie zawsze muszą być niekorzystne dla rolników, co zaobserwowano w przypadku Polski w 2005 roku. Zmniejszenie dochodowości sektorów zaopatrujących rolnictwo skutkowało tym, że do rolnictwa płynęły środki produkcji i usługi relatywnie tańsze, przez co możliwe było wytworzenie większej wartości dodanej. Taka sytuacja była możliwa tym bardziej, że w gałęziach zajmujących się produkcją rolniczą nie wystąpiły znaczące zmiany w dochodowości w 2005 roku w porównaniu do 2000 roku.

Jak wspomniano wcześniej, wzrost wartości PKB wytwarzanej przez rolnictwo zaobserwowano we wszystkich analizowanych gałęziach produkujących żywność w Polsce z wyjątkiem chowu bydła i chowu trzody chlewnej. W przypadku chowu bydła, ze względu na ujemną wartość nadwyżki operacyjnej brutto[5], PKB miało ujemne wartości od 2005 roku, co wskazywałoby na nieopłacalność produkcji na poziomie gospodarstwa rolnego. Wskazywała na to już materiałochłonność chowu bydła (tab. 12), jednak zwrócono uwagę przede wszystkim na długi cykl produkcyjny, a także na dopłaty w ramach WPR, które w 2005 roku już były wypłacane w Polsce i pozwalały na rekompensatę ewentualnych strat poniesionych przy produkcji w obrębie gospodarstwa rolnego. Z kolei w przypadku chowu trzody chlewnej, wahania w wartości PKB i udziale rolnictwa w wytwarzanej wartości dodanej zaobserwowane głównie w 2005 roku mogły być wynikiem cyklicznych wahań na rynku żywca wieprzowego zwanych cyklem świńskim. Zjawisko to jest wynikiem opóźnień w dostosowaniu podaży do cen oraz biologicznego charakteru produkcji (Stępień, 2015), przez co można obserwować istotne wahania w cenach żywca wieprzowego, a co za tym idzie, w wartości wytwarzanego PKB w ramach fazy rolniczej tej gałęzi.

W pozostałych latach przeprowadzanego badania, nie obserwowano tak dynamicznych zmian w wartościach PKB oraz w strukturze PKB w ramach trzech faz systemu produkcji żywności w Polsce. Od 2010 roku dla większości gałęzi produkujących żywność w Polsce obserwowano stopniowe zmniejszanie się udziału rolnictwa w wytwarzaniu PKB oraz rosnący udział zaopatrzenia rolnictwa, a także

5 Nadwyżka operacyjna brutto - wynik skorygowania produktu krajowego brutto o transakcje związane bezpośrednio z procesem produkcji, czyli koszty związane z zatrudnieniem, podatki pomniejszone o dotacje związane z produkcją i importem (GUS, 2023).

przetwórstwa spożywczego. Tylko w przypadku pszenicy nie zaobserwowano takiej tendencji, co mogło być wynikiem przede wszystkim uzależnienia od warunków pogodowych, które wpływają na poziom produkcji oraz na ceny pszenicy. Wskazywała na to już materiałochłonność produkcji pszenicy w analizowanym okresie (tab. 12). Natomiast wzrost udziału sfery zaopatrzenia rolnictwa oraz przetwórstwa spożywczego w wartości wytwarzanego PKB dla gałęzi zajmujących się produkcją zwierzęcą oraz wzrost udziału przetwórstwa spożywczego w wartości PKB przy produktach roślinnych można ocenić pozytywnie. Według Górala i in. (2017), taka tendencja świadczy przede wszystkim o unowocześnieniu struktury systemu żywnościowego.

## 4.2 Wyniki intensywności energetycznej gałęzi produkujących żywność

Ostatnim krokiem w przeprowadzonym badaniu było obliczenie intensywności energetycznej dla ośmiu analizowanych gałęzi produkujących żywność w Polsce. W tabeli 15. przedstawiono energochłonność dla trzech faz systemu produkcji żywności, rozumianą jako zużycie energii przypadające na 1 euro PKB. W analizowanym okresie, w polskim systemie produkcji żywności, największą intensywnością energetyczną charakteryzowała się głównie faza zaopatrzenia rolnictwa. Z kolei największe wskaźniki energochłonności w sferze zaopatrzenia rolnictwa zaobserwowano dla produktów roślinnych. W przypadku gałęzi zajmujących się produkcją roślinną, z wyjątkiem grupy warzyw i owoców, zaopatrzenie rolnictwa miało także znaczący udział w strukturze zużycia energii w polskim systemie produkcji żywności (rys. 3, rys. 4). Pomimo tego, że ogólna wielkość zużycia energii w ramach zaopatrzenia rolnictwa malała w analizowanym okresie, wahania w dochodowości sektorów zaopatrujących rolnictwo w środki produkcji i usługi spowodowały fluktuacje w wielkości wskaźników intensywności w latach 2000-2015.

Na wysoką energochłonność sfery zaopatrzenia rolnictwa w Polsce, głównie w przypadku produktów roślinnych, mogła mieć wpływ także struktura nakładów płynąca do analizowanych gałęzi produkujących żywność (tab. 11). Znaczący udział w zaopatrywaniu rolnictwa miał przemysł paliwowo-energetyczny, dostarczający przede wszystkim ropę naftową (paliwa ropopochodne) oraz energię elektryczną wyprodukowaną z węgla. Dodatkowo, znaczącym udziałem w strukturze zaopatrzenia charakteryzował się przemysł chemiczny dostarczający nawozy i środki ochrony roślin dla gałęzi produkcji roślinnej, których produkcja wymaga dużych nakładów

energetycznych. Z kolei w przypadku gałęzi zajmujących się produkcją zwierzęcą, intensywność energetyczna fazy zaopatrzenia rolnictwa była bardziej zbliżona do energochłonności rolnictwa. Wyjątkiem był chów bydła, dla którego intensywność energetyczna wynikająca z produkcji rolniczej znacząco odstawała od pozostałych gałęzi produkujących żywność,

**Tabela 15. Intensywność energetyczna systemu produkcji żywności w Polsce w latach 2000-2015 (MJ/1 EUR PKB)**

| Wyszczególnienie | | Zaopatrzenie rolnictwa | Rolnictwo | Przetwórstwo pierwotne |
|---|---|---|---|---|
| Pszenica | 2000 | 48,26 | 27,85 | 15,29 |
| | 2005 | 36,92 | 15,22 | 12,58 |
| | 2010 | 40,76 | 24,26 | 7,89 |
| | 2015 | 31,18 | 8,14 | 7,26 |
| Warzywa i owoce | 2000 | 27,53 | 53,84 | 21,36 |
| | 2005 | 28,39 | 21,34 | 10,53 |
| | 2010 | 30,50 | 15,30 | 7,18 |
| | 2015 | 24,06 | 19,98 | 5,92 |
| Rośliny oleiste | 2000 | 80,37 | 21,12 | 5,96 |
| | 2005 | 54,61 | 19,56 | 4,15 |
| | 2010 | 76,99 | 13,63 | 4,25 |
| | 2015 | 65,18 | 10,71 | 3,73 |
| Buraki cukrowe | 2000 | 54,87 | 23,85 | 1,96 |
| | 2005 | 37,40 | 41,85 | 1,95 |
| | 2010 | 43,33 | 12,24 | 1,86 |
| | 2015 | 35,25 | 11,14 | 1,24 |
| Chów bydła | 2000 | 28,33 | 103,20 | 5,57 |
| | 2005 | 19,54 | x | 5,42 |
| | 2010 | 21,05 | x | 5,68 |
| | 2015 | 17,47 | x | 4,59 |
| Chów trzody chlewnej | 2000 | 21,70 | 9,98 | 19,06 |
| | 2005 | 19,93 | 27,31 | 17,31 |
| | 2010 | 15,48 | 7,82 | 17,26 |
| | 2015 | 13,09 | 9,14 | 19,64 |
| Chów drobiu | 2000 | 21,70 | 20,60 | 7,36 |
| | 2005 | 23,67 | 9,05 | 7,21 |
| | 2010 | 18,14 | 8,08 | 6,37 |
| | 2015 | 15,14 | 6,44 | 5,67 |
| Mleko surowe | 2000 | 28,56 | 20,72 | 12,78 |
| | 2005 | 17,70 | 21,42 | 9,55 |
| | 2010 | 14,54 | 16,18 | 6,25 |
| | 2015 | 12,87 | 15,30 | 4,98 |

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych z bazy EXIOBASE.

co było wynikiem relatywnie niskiej wartości PKB wytwarzanej przy chowie bydła. Natomiast od 2005 roku, intensywność energetyczna w fazie rolniczej dla chowu bydła nie mogła zostać obliczona ze względu na ujemne wartości PKB.

Biorąc pod uwagę intensywność energetyczną obliczoną dla rolnictwa, zarówno przy gałęziach zajmujących się produkcją roślinną, jak i zwierzęcą, można było zaobserwować spadek energochłonności w analizowanym okresie. Było to zjawisko pozytywne, ponieważ w latach 2000-2015 obserwowano intensyfikację produkcji rolniczej w Polsce, jednak nie towarzyszył temu szybszy wzrost zużycia energii. Analizując grupę produktów roślinnych i zwierzęcych, wyższe wskaźniki energochłonności również w tym przypadku zaobserwowano dla produktów roślinnych.

Natomiast najmniejszą intensywnością energetyczną w ramach systemu produkcji żywności w Polsce charakteryzowała się faza przetwórstwa pierwotnego, będąca częścią przemysłu spożywczego. Dodatkowo, w fazie tej można było zaobserwować coraz mniejszą intensywność energetyczną. W badaniach, które przytoczono we wcześniejszych częściach pracy, przemysł spożywczy odznaczał się relatywnie wysoką energochłonnością w systemach produkcji żywności w różnych krajach na świecie. Wynikało to z faktu, że jest to sektor materiałochłonny, co wpływa na jego niższą dochodowość, a dodatkowo zużywa duże ilości energii do przetworzenia produktów rolniczych. W przypadku Polski, w pracy analizowana była tylko początkowa faza przetwórstwa spożywczego, obejmująca przygotowanie produktów do dalszego procesu przetwarzania w przemyśle spożywczym, przez co można zaobserwować niewielkie wskaźniki energochłonności.

Intensywność energetyczną polskiego systemu produkcji żywności obliczono także łącznie dla fazy zaopatrzenia rolnictwa oraz rolnictwa, czyli przyjmując granice systemu do bramy gospodarstwa rolnego (*at farm gate*). W tym przypadku, uwzględniono nie tylko PKB, ale także produkcję globalną analizowanych gałęzi produkujących żywność. W Polsce, w latach 2000-2015, relatywnie wysoką intensywnością energetyczną ujętą w ten sposób, charakteryzowały się produkty roślinne (tab. 16). W przypadku grupy warzyw i owoców, zarówno w pierwszym badanym roku, jak i na końcu badanego okresu zaobserwowano najwyższe wskaźniki intensywności energetycznej w ramach produktów roślinnych. Było to wynikiem znaczącego zużycia energii głównie w rolnictwie, ze względu na duże zapotrzebowanie na energię cieplną oraz wodę.

**Tabela 16. Intensywność energetyczna gałęzi produkujących żywność w Polsce w latach 2000-2015 na poziomie bramy gospodarstwa rolnego (MJ/1 EUR PKB; MJ/1 EUR PG)**

| Wyszczególnienie | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 |
|---|---|---|---|---|
| MJ/1 EUR PKB | | | | |
| Pszenica | 37,37 | 21,48 | 33,19 | 14,49 |
| Warzywa i owoce | 40,64 | 22,98 | 19,47 | 21,22 |
| Rośliny oleiste | 32,06 | 26,12 | 24,50 | 19,90 |
| Buraki cukrowe | 36,36 | 39,97 | 24,39 | 19,99 |
| Chów bydła | 35,43 | 45,59 | 37,68 | 39,15 |
| Chów trzody chlewnej | 14,25 | 22,69 | 10,97 | 10,91 |
| Chów drobiu | 21,26 | 13,52 | 11,70 | 9,67 |
| Mleko surowe | 26,09 | 19,25 | 15,11 | 13,60 |
| MJ/1 EUR PG | | | | |
| Pszenica | 29,92 | 18,14 | 23,56 | 12,60 |
| Warzywa i owoce | 31,50 | 19,01 | 15,94 | 17,30 |
| Rośliny oleiste | 27,74 | 22,62 | 20,27 | 17,42 |
| Buraki cukrowe | 26,18 | 28,35 | 16,69 | 15,83 |
| Chów bydła | 26,05 | 30,25 | 25,05 | 23,38 |
| Chów trzody chlewnej | 12,52 | 18,24 | 9,36 | 9,16 |
| Chów drobiu | 18,28 | 12,17 | 10,32 | 8,54 |
| Mleko surowe | 20,61 | 15,56 | 11,53 | 10,05 |

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych z bazy EXIOBASE.

Zarówno w przypadku warzyw i owoców, jak i pszenicy oraz roślin oleistych, można było zaobserwować znaczące zmniejszenie energochłonności w 2005 roku, co było wynikiem wzrostu wartości dodanej wytwarzanej w rolnictwie przy jednoczesnym ograniczeniu zużycia energii. Wyjątkiem była produkcja buraków cukrowych, gdzie w 2005 roku zużycie energii w ramach fazy zaopatrzenia rolnictwa oraz rolnictwa wzrosło, przez co można było zaobserwować wzrost intensywności energetycznej. Dodatkowo, na zmiany w intensywności energetycznej i wahania obserwowane w całym badanym okresie wpływały omówione wcześniej zmiany w dochodowości produkcji (tab. 13), a także warunki atmosferyczne determinujące zużycie energii przy produkcji roślinnej. Pomimo tego, od 2005 roku obserwowano trend spadkowy w wielkości wskaźników intensywności energetycznej, co należy ocenić pozytywnie,

biorąc pod uwagę zarówno aspekty ekonomiczne, jak i środowiskowe. Jedynie w przypadku grupy warzyw i owoców odnotowano wzrost energochłonności w ostatnim badanym roku, jednak był on niewielki.

Podobny trend obserwowano dla wskaźników obliczanych przy pomocy wartości produkcji globalnej. Niższe wskaźniki dla relacji zużycia energii na jednostkę produkcji globalnej wynikają z faktu, że produkcja globalna obejmuje całkowitą wartość produkcji, niepomniejszoną o zużycie pośrednie, z kolei wartość PKB stanowi dochód z tej produkcji. Istotne jest to, że porównując intensywność energetyczną w 2015 roku do 2000 roku, w przypadku wszystkich gałęzi produkujących żywność w Polsce, z wyjątkiem chowu bydła, zaobserwowano znaczący spadek energochłonności. Świadczy to o poprawie efektywności energetycznej produkcji, do czego już w okresie dla którego przeprowadzono badanie, przywiązywało się dużą wagę chociażby w świetle wprowadzanych przepisów w ramach polityki energetycznej UE. W przypadku chowu bydła, na wzrost intensywności energetycznej produkcji wpłynęły ujemne wartości PKB wytwarzanego w ramach fazy rolniczej. W wyniku tego, wartość dodana wytworzona na poziomie bramy gospodarstwa rolnego była zdecydowanie niższa niż w przypadku pozostałych gałęzi zajmujących się produkcją zwierzęcą i pomimo faktu, że chów bydła charakteryzował się relatywnie niedużym zużyciem energii w Polsce (rys. 2), obserwowano znaczącą intensywność energetyczną w relacji uwzględniającej zużycie energii na jednostki pieniężne.

Co ciekawe, w przeprowadzonym badaniu dla Polski, bardziej energochłonna okazała się produkcja roślinna. Badania, które przytoczono we wcześniejszych częściach pracy, często przedstawiały energochłonność dla poszczególnych produktów rolniczych jako zużycie energii na 1 kg produkcji lub na 1 ha użytków rolnych. Wskazywano także na udział zużycia energii przy produkcji danych produktów rolniczych w całym rolnictwie lub systemach żywnościowych. Z tego względu, wyniki wskaźników dla Polski, które uwzględniają faktyczną wartość produkcji oraz wartość dodaną wynikającą z tej produkcji, różnią się. Przykładem może być tutaj badanie Gołaszewskiego (2013), który analizując energochłonność w obrębie gospodarstwa rolnego w krajach UE, uwzględniając zużycie energii przypadające na jednostkę produktu (litr lub kg), wskazał na największą energochłonność produkcji mleka surowego i chowu trzody chlewnej. Z kolei w niniejszym badaniu dla Polski, mleko surowe okazało się jedną z mniej energochłonnych gałęzi produkujących żywność, ze względu na znaczącą wartość dodaną wytwarzaną na poziomie bramy gospodarstwa

rolnego. Również chów trzody chlewnej nie odznaczał się najwyższą intensywnością energetyczną. Natomiast w przypadku produktów roślinnych, badania różnych autorów wskazują na relatywnie wysoką efektywność energetyczną produkcji pszenicy, gdy uwzględnia się zużycie energii na 1 kg produktu oraz na 1 ha użytków (m. in. Khan i in., 2010; Gökdoğan i Sevim, 2016). Z kolei energochłonność pszenicy w przeliczeniu na jednostkę pieniężną w Polsce była stosunkowo wysoka w analizowanym okresie i wynosiła nawet ponad 30 MJ/1 EUR PKB.

W celu sprawdzenia zgodności z innymi badaniami, które nie uwzględniały intensywności energetycznej mierzonej jako relacja zużycia energii na jednostkę wytwarzanego PKB lub na jednostkę produkcji globalnej, dla Polski obliczono także energochłonność uwzględniającą zużycie energii na 1 kg produktu dla poszczególnych gałęzi produkujących żywność na poziomie bramy gospodarstwa rolnego. W tym przypadku, chów trzody chlewnej oraz mleko surowe, podobnie jak w przypadku badań innych autorów, charakteryzowały się wyższą energochłonnością. W latach 2000-2015 średnia intensywność energetyczna gałęzi zajmującej się chowem trzody chlewnej wyniosła 16 MJ/kg, natomiast produkcji mleka surowego 5 MJ/kg. Z kolei najbardziej wydajnymi energetycznie roślinami w Polsce okazały się buraki cukrowe i pszenica. W przypadku buraków cukrowych, energochłonność wynosiła niespełna 1 MJ/kg, a dla pszenicy było to około 3 MJ/kg, co wskazuje na podobieństwo do wyników przedstawionych we wcześniejszych częściach pracy mierzonych dla jednostek produktu, a nie jednostek pieniężnych.

Zwykle wskazuje się na zdecydowanie wyższy ślad węglowy produkcji zwierzęcej. Badania przeprowadzane dla różnych krajów na świecie, które przytoczono w przeglądzie literatury, wykazały że w krajach Europy, Ameryki Północnej, Azji oraz Australii i Oceanii, około 31% zużycia energii w systemach produkcji żywności jest związanych z produktami pochodzenia zwierzęcego. W przypadku przeprowadzonego badania dla Polski dla lat 2000-2015, gałęzie związane z produkcją zwierzęcą charakteryzowały się dużo większym zużyciem energii niż w przypadku produktów roślinnych. W całym badanym okresie, zużycie energii w analizowanych w pracy gałęziach związanych z produkcją zwierzęcą stanowiło około 55-57% całkowitego zużycia energii w systemie produkcji żywności w Polsce. Znaczący udział produkcji zwierzęcej obserwowano także w przypadku wartości produkcji rolniczej w Polsce, gdzie w 2015 roku produkcja zwierzęca stanowiła już ponad 49% całkowitej wartości produkcji (tab. 7). Jednak należy pamiętać także o tym, że produkcja zwierzęca,

pomimo tego że charakteryzuje się dużym zużyciem energii, zwykle generuje wyższą wartość dodaną. W tym kontekście, duże znaczenie ma także postępujący proces koncentracji produkcji zwierzęcej w Polsce, czego wynikiem jest znaczące zwiększenie produkcji, a także coraz większa dochodowość produkcji. Właśnie z tego względu, w Polsce zaobserwowano nawet 2 razy mniejsze wskaźniki intensywności energetycznej dla gałęzi zajmujących się produkcją zwierzęcą. Dodatkowo, ze względu na coraz większą dochodowość gałęzi zajmujących się chowem trzody chlewnej, chowem drobiu i produkcją mleka surowego, w połączeniu z ograniczaniem zużycia energii, od 2005 roku można było zaobserwować coraz mniejszą energochłonność na poziomie bramy gospodarstwa rolnego. Z kolei znaczące różnice pomiędzy wielkością wskaźników przeliczanych na wartość PKB oraz PG, a wielkością wskaźników przeliczanych na kg produkcji, mogą wynikać ze struktury agrarnej w Polsce. Nadal obserwuje się przewagę małych i średnich gospodarstw rolnych, które zwykle charakteryzują się gorszymi wynikami ekonomicznymi w porównaniu do dużych i bardzo dużych gospodarstw, dlatego dla wszystkich analizowanych gałęzi produkujących żywność, wskaźniki przeliczane na 1 euro PKB oraz na 1 euro PG były zdecydowanie wyższe niż wskaźniki przeliczane na 1 kg produkcji.

## Podsumowanie

Produkcja żywności wiąże się ze znaczącym zużyciem energii i uważana jest za relatywnie energochłonną. W ramach grup produktów roślinnych i zwierzęcych, każda gałąź charakteryzuje się inną energochłonnością. Dlatego, głównym celem pracy było obliczenie i ocena intensywności energetycznej produkcji żywności w ramach trzech faz systemu produkcji (zaopatrzenie rolnictwa, rolnictwo oraz przetwórstwo pierwotne), dla ośmiu gałęzi produkujących żywność w Polsce.

Badanie rozpoczęto od scharakteryzowania potencjału produkcyjnego rolnictwa w Polsce. Zaobserwowano ogólne zmniejszenie powierzchni użytków rolnych, co obecnie jest często obserwowanym zjawiskiem w wielu krajach na świecie. Pomimo tego, obserwowano ogólny wzrost wartości nakładów inwestycyjnych ponoszonych w rolnictwie, co było pozytywnym trendem ze względu na możliwość modernizacji gospodarstw rolnych. Wraz z rosnącymi nakładami inwestycyjnymi, wzrost zaobserwowano także w przypadku wartości brutto środków trwałych. W przypadku polskiego rolnictwa, największą ich część stanowiły budynki i budowle oraz maszyny, urządzenia techniczne i narzędzia. Wzrostowi wartości brutto środków trwałych towarzyszył jednak wzrost stopnia ich zużycia, który w 2010 roku oraz 2015 roku przekroczył 76%. Taki trend można ocenić negatywnie, ponieważ świadczy o użytkowaniu maszyn i urządzeń, które są już przestarzałe. Może to również oddziaływać negatywnie na efektywność energetyczną rolnictwa, ponieważ najczęściej, maszyny które są przestarzałe, pobierają więcej energii w porównaniu do bardziej nowoczesnych środków trwałych.

Polskie rolnictwo charakteryzowało się coraz mniejszą liczbą osób pracujących w rolnictwie oraz zmniejszeniem udziału pracujących w rolnictwie w pracujących ogółem. Wskazuje to na wystąpienie zależności, gdzie wraz z rozwojem gospodarczym danego kraju, można zaobserwować coraz mniejszą liczbę osób pracujących w rolnictwie i ich mniejszy udział w liczbie pracujących. W analizowanym okresie, zaobserwowano także intensyfikację produkcji rolnej w Polsce. Wzrosło zużycie nawozów azotowych, do ponad 130 kg/ha UR, a także zużycie środków ochrony roślin, do 1,5 kg/ha UR. Z tego względu, pomimo zmniejszenia powierzchni użytków rolnych, zmniejszenia liczby pracujących w rolnictwie, a także przy nie zawsze sprzyjających warunkach atmosferycznych, możliwe było znaczące zwiększenie plonów uzyskiwanych z 1 ha. W ramach prowadzonej produkcji rolniczej, wytworzone

produkty w ponad 99% przeznaczane były na cele żywnościowe, a w przypadku kierunku produkcji, dominowała produkcja roślinna, jednak w wartości wytworzonych produktów zaobserwowano coraz większy udział produkcji zwierzęcej. Rosnący udział produkcji zwierzęcej w ogólnej wartości produkcji może być traktowany jako zjawisko pozytywne, ze względu na wyższą dochodowość produkcji zwierzęcej i większe korzyści ekonomiczne wynikające z ich chowu lub hodowli. Jednak uwzględniając kwestie środowiskowe, wzrost udziału produkcji zwierzęcej można ocenić negatywnie, ponieważ zwykle produkcja zwierzęca odpowiedzialna jest za znaczące zużycie energii i wyższy ślad węglowy w porównaniu do produkcji roślinnej.

W kolejnym etapie badania, analizie poddano strukturę zużycia energii w gospodarce i w polskim rolnictwie. W okresie 2000-2015 udział zużycia energii w rolnictwie w ogólnym zużyciu energii w gospodarce, zmniejszył się z poziomu 3,8% do 2,4%, jednak sektor rolny pozostawał na 5. miejscu pod względem zużycia energii w całej gospodarce zagregowanej do 12 podstawowych sektorów. Biorąc pod uwagę fakt, że rolnictwo wytwarza niewielką część polskiego PKB, wskazuje to na relatywnie duże zużycie energii. Z kolei w przypadku zużycia energii wewnątrz sektora rolnego, spośród analizowanych gałęzi zajmujących się produkcją roślinną, znaczący udział w zużyciu energii miała grupa warzyw i owoców oraz pszenicy, natomiast w przypadku gałęzi w ramach produkcji zwierzęcej, duży udział w strukturze zużycia energii zaobserwowano dla mleka surowego i chowu trzody chlewnej. Strukturę zużycia energii obliczono także w podziale na trzy fazy produkcji. W przypadku Polski, zarówno dla gałęzi zajmujących się produkcją roślinną, jak i zwierzęcą, zaobserwowano znaczący udział fazy zaopatrzenia rolnictwa w ogólnym zużyciu energii. W dużym stopniu było za to odpowiedzialne dostarczanie nawozów i środków ochrony roślin do produkcji roślinnej oraz dostarczanie pasz do produkcji zwierzęcej, których wytwarzanie wiąże się z dużym zużyciem energii.

W strukturze zaopatrzenia produkcji rolniczej w materiały i usługi, na początku badanego okresu, duży udział miało rolnictwo. Wynikało to z faktu, że przy produkcji rolniczej często możliwe jest wytworzenie sadzonek czy nasion, które można wykorzystać w kolejnych sezonach. Z rolnictwa można pozyskać także zboża będące paszą dla zwierząt w gałęziach zajmujących się produkcją zwierzęcą. Jednak wraz z rozwojem polskiego rolnictwa, przy większości analizowanych gałęzi, udział nakładów płynących z rolnictwa stopniowo się zmniejszał, natomiast obserwowano wzrost wartości środków do produkcji płynących z sektorów pozarolniczych. Taka tendencja

wynika przede wszystkim z tego, że przy rozwoju produkcji rolniczej i wzroście dochodów z tej produkcji, pojawiają się środki finansowe na materiały i usługi wytworzone przez inne sektory. W przypadku Polski, było to możliwe między innymi ze względu na to, że od momentu dołączenia do UE, do rolnictwa zaczęły napływać fundusze z WPR, co wpłynęło na zwiększenie dochodów w gospodarstwach rolnych. Z kolei w przypadku pozostałych sektorów gospodarki, duże znaczenie w zaopatrzeniu rolnictwa miał między innymi przemysł paliwowo-energetyczny, z którego nakłady dostarczane są przede wszystkim z gałęzi związanych z rafinacją ropy naftowej oraz zajmujących się produkcją energii elektrycznej z węgla. Wskazuje to na uzależnienie produkcji żywności od paliw kopalnych, co można ocenić negatywnie, ponieważ są to źródła nieodnawialne, których zasoby są ograniczone.

Gałęzie produkujące żywność w Polsce, z wyjątkiem chowu bydła, w analizowanym okresie charakteryzowały się coraz większymi wartościami PKB wytwarzanymi w ramach systemu produkcji żywności. Największy udział w wytwarzaniu PKB miała faza zaopatrzenia rolnictwa oraz rolnictwo. Ze względu na wahania dochodowości w gospodarce, obserwowano także istotne zmiany w wartościach PKB wytwarzanego w ramach zaopatrzenia rolnictwa w środki produkcji i w ramach rolnictwa. Zmniejszenie dochodowości sektorów gospodarki w 2005 roku skutkowało zmniejszeniem wartości PKB w ramach fazy zaopatrzenia, ale jednocześnie pozwoliło na zwiększenie wartości dodanej w fazie rolniczej, ponieważ w rolnictwie możliwy był zakup relatywnie tańszych środków produkcji. Poza jednorocznymi wahaniami w wartości dodanej produkcji, zaobserwowano ogólny trend, gdzie coraz mniejszy udział w wytwarzaniu PKB miało rolnictwo, natomiast coraz większego znaczenia nabierały fazy zaopatrzenia rolnictwa oraz przetwórstwa pierwotnego, co wskazuje na unowocześnianie struktury systemu żywnościowego w Polsce.

W przypadku energochłonności gałęzi produkujących żywność w podziale na trzy fazy systemu produkcji żywności, najbardziej energochłonną fazą produkcji było zaopatrzenie rolnictwa, gdzie najwyższe wskaźniki zaobserwowano dla roślin oleistych. W drugiej fazie systemu produkcji żywności, czyli w rolnictwie, największą energochłonnością charakteryzowały się warzywa i owoce, z kolei w przetwórstwie pierwotnym największe wskaźniki intensywności energetycznej odnotowano dla chowu trzody chlewnej. W przeprowadzonym badaniu, zarówno przy wskaźnikach obliczonych jako stosunek zużycia energii na 1 euro PKB w trzech fazach systemu produkcji, jak i przy wskaźnikach obliczonych na poziomie bramy gospodarstwa

rolnego, gdzie intensywność energetyczną obliczono jako stosunek zużycia energii na 1 euro PKB i na 1 euro PG, większą energochłonnością charakteryzowały się gałęzie zajmujące się produkcją roślinną. Porównując produkcję roślinną i zwierzęcą, produkcja zwierzęca zwykle jest bardziej opłacalna. Obserwuje się większą wartość dodaną produkcji, dlatego pomimo znaczącego zużycia energii przy produkcji zwierzęcej, a także większej materiałochłonności, intensywność energetyczna była mniejsza niż w przypadku produktów roślinnych. Biorąc pod uwagę zarówno gałęzie zajmujące się produkcją roślinną, jak i zwierzęcą, pozytywnie można ocenić fakt, że ich energochłonność zmniejszyła się w analizowanym okresie. Zaobserwowano zmniejszenie zużycia energii, przy czym produkcja żywności rozwijała się, obserwowano wzrost wartości dodanej produkcji, przez co możliwe było zwiększenie efektywności energetycznej.

Przeprowadzone badanie wykazało także dużą różnicę pomiędzy energochłonnością rozumianą w sposób fizyczny, a ekonomiczny. Wskaźniki intensywności energetycznej przeliczone na 1 euro PKB oraz na 1 euro PG wykazały większą energochłonność produktów roślinnych, natomiast wskaźniki przeliczone na 1 kg produkcji wskazały na większą energochłonność gałęzi zajmujących się produkcją zwierzęcą. Analizując intensywność energetyczną gałęzi produkujących żywność nie można zapominać o aspekcie ekonomicznym produkcji, który w głównej mierze determinuje zachowania producentów. W celu rozwijania produkcji, a także zwiększenia efektywności produkcji, istotne jest, aby niosła ona za sobą coraz większy dochód. Dlatego, w badaniach dotyczących intensywności energetycznej produkcji, ważne jest, aby skupić się nie tylko na energochłonności uwzględniającej jednostki fizyczne, ale należy brać pod uwagę także aspekty ekonomiczne, czyli wartość produkcji globalnej oraz wartość dodaną produkcji. Może to pozwolić na efektywne rozwijanie produkcji, które będzie niosło za sobą wzrost dochodów w gospodarstwach rolnych, przy czym możliwe będzie dalsze ograniczanie zużycia energii w polskim rolnictwie.

**Literatura:**

**Pozycje zwarte:**


1. Bundschuh, J., Chen, G., Mushtaq, S. (2014). Towards a sustainable energy technologies based agriculture. W: *Sustainable energy solutions in agriculture* (Red. Bundschuh, J., Chen, G.), CRC Press: London, United Kingdom.
2. Canning, P. N. (2010). *Energy use in the US food system* (No. 94). Diane Publishing.
3. Czyżewski, A. (Ed.). (2001). *Współczesne problemy agrobiznesu w Polsce*. Wydawn. Akad. Ekonomicznej.
4. Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., *et al*. (eds) (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, New York, USA.
5. Giampietro, M. (2001). Energy use in agriculture. *e LS*.
6. Gliessman, S. R., Nicholls, C. I., Altieri, M. A., Janke, R. R., Dobbs, T. L., Buttler-Flora, C., ... & Kirschenmann, F. (2004). *Agroecosystems analysis*. D. Rickerl, & C. A. Francis (Eds.). Madison: American Society of Agronomy.
7. Gołaszewski, J. (Ed) (2013). Efektywność Energetyczna w Rolnictwie Europejskim—Studium Przypadków Energy Efficiency in European Agriculture—Case Studies.Wydawnictwo UWM.
8. Goliński, M. (2011). *Społeczeństwo informacyjne - geneza koncepcji i problematyka pomiaru.* SGGH, Warszawa.
9. Góral, J., Mrówczyńska-Kamińska, A., & Klimkowski, C. (2017). *Sektorowe przepływy międzygałęziowe a implikacje rozwojowe polskiego rolnictwa*. Instytut Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej - Państwowy Instytut Badawczy.
10. International Organization for Standardization. (2006). *Environmental management: life cycle assessment; Principles and Framework*. ISO.
11. Klemes, J., Smith, R., & Kim, J. K. (Eds.). (2008). *Handbook of water and energy management in food processing*. Elsevier.
12. Kociszewski K. (2010): Syntetyczne ujęcie współczesnych teorii wyjaśniających przyczyny zacofania krajów najsłabiej rozwiniętych. [w] Ekonomia rozwoju (Red. Fiedor B., Kociszewski K.). Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Wrocław.
13. Kronenberg, J., Bergier, T., & Sendzimira, F. (2010). *Wyzwania zrównoważonego rozwoju w Polsce*. Fundacja Sendzimira.
14. Meadows, D.H.; Meadows, D.L.; Randers, J.; Behrens, W.J. The Limits to Growth; a Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind; Universe Books: New York, NY, USA, 1972.
15. Motola, V., Banja, M., Scarlat, N., Medarac, H., Castellazzi, L., Labanca, N., ... & Pennington, D. (2015). *Energy use in the EU food sector: State of play and opportunities for improvement*. F. Monforti-Ferrario, & I. P. Pascua (Red.). Publications Office.
16. Müller-Kraenner, S., Kretkowska, A., Szwed, D., & Jankowska, K. (2008). *Bezpieczeństwo energetyczne: nowy pomiar świata*. Wydawnictwo Z Naszej Strony.
17. Pimentel, D., & Pimentel, M. H. (Eds.). (2007). *Food, energy, and society*. CRC press.

18. Reddy, B. S. (2009). *Organic Farming: Status, Issues and Prospects: a Review*. Research Unit for Livelihoods and Natural Resources.
19. Rorat, J., Szeląg-Sikora, A., Sikora, J. (2016). *Rozwój sektora energetyki odnawialnej w kontekście zrównoważonego rozwoju.* W: Gendka, A. (red.): Problemy gospodarki energią i środowiskiem w rolnictwie, leśnictwie i przemyśle spożywczym. Warszawa: Wydział Inżynierii Produkcji SGGW w Warszawie.
20. Smil, V. (2008). *Energy in nature and society: general energetics of complex systems*. MIT press.
21. Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T. D., Castel, V., Rosales, M., Rosales, M., & de Haan, C. (2006). *Livestock's long shadow: environmental issues and options*. Food & Agriculture Org..
22. Steinfeld, H., Mooney, H. A., Schneider, F., & Neville, L. E. (Eds.). (2013). *Livestock in a changing landscape, volume 1: drivers, consequences, and responses*. Island Press.
23. Stępień, S. (2015). *Cykl świński w świetle zmian na globalnym rynku żywca wieprzowego*. Wydawnictwo Naukowe PWN.
24. Toffler, A. (1985). *Trzecia fala*. PIW, Warszawa.
25. Tomczak, F. (1998). Rolnictwo polskie, [w:] Woś, A. (red.), Encyklopedia agrobiznesu, Warszawa.
26. Verma, M. (2015). *Energy use in global food production: considerations for sustainable food security in the 21st century*. Springer.
27. Wang, L. (2008). *Energy efficiency and management in food processing facilities*. CRC press.
28. Węglarz, A., Kubalski, G., & Owczarek, D. (2014). Propozycje mechanizmów wsparcia procesu przeciwdziałania zjawisku ubóstwa energetycznego w Polsce. *Instytut na Rzecz Ekorozwoju.*
29. Woś, A. (1996). Podstawy agrobiznesu. Wydawnictwa Prywatnej Wyższej Szkoły Businessu i Administracji.
30. Woś, A. (2004). *W poszukiwaniu modelu rozwoju polskiego rolnictwa*. Instytut Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej.
31. Woś, A. (Red.). (1998). Encyklopedia agrobiznesu. Wydawnictwo Fundacja Innowacja, Wyższa Szkoła Społeczno-Ekonomiczna, Warszawa.
32. Zimny, J. (2010). Odnawialne źródła energii w budownictwie niskoenergetycznym, wyd. I. *PGA, AGH Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Kraków*.
33. Miller, R. E., & Blair, P. D. (2009). *Input-output analysis: foundations and extensions*. Cambridge university press.

**Pozycje artykułowe:**

34. Abbas, A., Waseem, M., & Yang, M. (2020). An ensemble approach for assessment of energy efficiency of agriculture system in Pakistan|. *Energy Efficiency*, 1-14.
35. Ang, B. W., & Zhang, F. Q. (2000). A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies. *Energy*, *25*(12), 1149-1176.
36. Arizpe, N., Giampietro, M., & Ramos-Martin, J. (2011). Food security and fossil energy dependence: an international comparison of the use of fossil energy in agriculture (1991-2003). *Critical Reviews in Plant Sciences*, *30*(1-2), 45-63.

37. Aydoğan, B., & Vardar, G. (2020). Evaluating the role of renewable energy, economic growth and agriculture on CO2 emission in E7 countries. *International Journal of Sustainable Energy*, *39*(4), 335-348.
38. Ayres, R. U., & Kneese, A. V. (1969). Production, consumption, and externalities. *The American economic review*, *59*(3), 282-297.
39. Bajan, B., Łukasiewicz, J., & Mrówczyńska-Kamińska, A. (2021). Energy consumption and its structures in food production systems of the visegrad group countries compared with eu-15 countries. *Energies*, *14*(13), 3945.
40. Bajan, B., Mrówczyńska-Kamińska, A., & Poczta, W. (2020). Economic energy efficiency of food production systems. *Energies*, *13*(21), 5826.
41. Baker, P., Machado, P., Santos, T., Sievert, K., Backholer, K., Hadjikakou, M., ... & Lawrence, M. (2020). Ultra-processed foods and the nutrition transition: Global, regional and national trends, food systems transformations and political economy drivers. *Obesity Reviews*, *21*(12), e13126.
42. Banaeian, N., & Zangeneh, M. (2011). Study on energy efficiency in corn production of Iran. *Energy*, *36*(8), 5394-5402.
43. Barut, Z. B., Ertekin, C., & Karaagac, H. A. (2011). Tillage effects on energy use for corn silage in Mediterranean Coastal of Turkey. *Energy*, *36*(9), 5466-5475.
44. Baumgärtner, S. (2004). Thermodynamic models. *Modelling in Ecological Economics.*, 102-129.
45. Berlin, J., Sonesson, U., & Tillman, A. M. (2007). A life cycle based method to minimise environmental impact of dairy production through product sequencing. *Journal of Cleaner Production*, *15*(4), 347-356.
46. Beyer, K. (2012). Od epoki agrarnej po gospodarkę opartą na wiedzy. *Studia i prace Wydziału Nauk ekonomicznych i zarządzania*, (30), 11-21.
47. Bilan, Y., Streimikiene, D., Vasylieva, T., Lyulyov, O., Pimonenko, T., & Pavlyk, A. (2019). Linking between renewable energy, CO2 emissions, and economic growth: Challenges for candidates and potential candidates for the EU membership. *Sustainability*, *11*(6), 1528.
48. Bolandnazar, E., Keyhani, A., & Omid, M. (2014). Determination of efficient and inefficient greenhouse cucumber producers using Data Envelopment Analysis approach, a case study: Jiroft city in Iran. *Journal of Cleaner Production*, 79, 108-115.
49. Briam, R., Walker, M. E., & Masanet, E. (2015). A comparison of product-based energy intensity metrics for cheese and whey processing. *Journal of Food Engineering*, *151*, 25-33.
50. Brockway, P. E., Owen, A., Brand-Correa, L. I., & Hardt, L. (2019). Estimation of global final-stage energy-return-on-investment for fossil fuels with comparison to renewable energy sources. *Nature Energy*, *4*(7), 612-621.
51. Burfoot, D., Reavell, S., Wilkinson, D., & Duke, N. (2004). Localised air delivery to reduce energy use in the food industry. *Journal of Food Engineering*, *62*(1), 23-28.
52. Burke, M. J., & Stephens, J. C. (2018). Political power and renewable energy futures: A critical review. *Energy Research & Social Science*, *35*, 78-93.
53. Campiotti, C. A., Latini, A., Scoccianti, M., Biagiotti, D., & Giagnacovo, G. (2014). Energy efficiency in Italian fruit and vegetables processing industries in the EU agro-food sector context. *Energy Efficiency in Italian Fruit and Vegetables Processing Industries in the EU Agro-Food Sector Context*, 159-174.

54. Cao, S., Xie, G., & Zhen, L. (2010). Total embodied energy requirements and its decomposition in China's agricultural sector. *Ecological Economics*, *69*(7), 1396-1404.
55. Chandio, A. A., Jiang, Y., & Rehman, A. (2019). Energy consumption and agricultural economic growth in Pakistan: is there a nexus?. *International Journal of Energy Sector Management*, *13*(3), 597-609.
56. Chang, J., Leung, D. Y., Wu, C. Z., & Yuan, Z. H. (2003). A review on the energy production, consumption, and prospect of renewable energy in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *7*(5), 453-468.
57. Cherchyk, L.; Shershun, M.; Khumarova, N.; Mykytyn, T.; Cherchyk, A. (2019). Assessment of forest enterprises' performance: integrating economic security and ecological impact. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 6(4): 1784-1797.
58. Chlebicka, A., Falkowski, J., & Wolek, T. (2009). EMERGING OF AGRICULTURAL PRODUCER GROUPS AND PRICE VARIABILITY (Powstanie grup producentów rolnych a zmiennosc cen). *Zagadnienia Ekonomiki Rolnej*, (2 (319)), 59-73.
59. Chow, J., Kopp, R. J., & Portney, P. R. (2003). Energy resources and global development. *Science*, *302*(5650), 1528-1531.
60. Christiaensen, L., & Swinnen, J. (1994). Economic, institutional and political determinants of agricultural production structures in Western Europe. *KU Leuven, Landbouweconomie; Leuven Working Papers*, 1-40.
61. Clairand, J. M., Briceño-León, M., Escrivá-Escrivá, G., & Pantaleo, A. M. (2020). Review of energy efficiency technologies in the food industry: trends, barriers, and opportunities. *IEEE Access*, *8*, 48015-48029.
62. Cleveland, C. J., Kaufmann, R. K., & Stern, D. I. (2000). Aggregation and the role of energy in the economy. *Ecological Economics*, *32*(2), 301-317.
63. Coley, D., Howard, M., & Winter, M. (2009). Local food, food miles and carbon emissions: A comparison of farm shop and mass distribution approaches. *Food policy*, *34*(2), 150-155.
64. Connor, D. J. (2008). Organic agriculture cannot feed the world. Field Crops Research, 106, 187–190.
65. Cornillie, J., & Fankhauser, S. (2004). The energy intensity of transition countries. *Energy Economics*, *26*(3), 283-295.
66. Cruse, M. J., Liebman, M., Raman, D. R., & Wiedenhoeft, M. H. (2010). Fossil energy use in conventional and low-external-input cropping systems. *Agronomy journal*, *102*(3), 934-941.
67. Cuéllar, A. D., & Webber, M. E. (2010). Wasted food, wasted energy: the embedded energy in food waste in the United States. *Environmental science & technology*, *44*(16), 6464-6469.
68. Czubak, W., & Pawłowski, K. P. (2020). Sustainable economic development of farms in Central and Eastern European Countries driven by pro-investment mechanisms of the Common Agricultural Policy. *Agriculture*, *10*(4), 93.
69. Dalevska, N., Khobta, V., Kwilinski, A., & Kravchenko, S. (2019). A model for estimating social and economic indicators of sustainable development. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, *6*(4), 1839-1860.
70. Degerli, B., Nazir, S., Sorgüven, E., Hitzmann, B., & Özilgen, M. (2015). Assessment of the energy and exergy efficiencies of farm to fork grain cultivation and bread making processes in Turkey and Germany. *Energy*, *93*, 421-434.

71. Denholm, P., & Kulcinski, G. L. (2004). Life cycle energy requirements and greenhouse gas emissions from large scale energy storage systems. *Energy Conversion and Management*, *45*(13-14), 2153-2172.
72. Drinkwater, L. E., Wagoner, P., & Sarrantonio, M. (1998). Legume-based cropping systems have reduced carbon and nitrogen losses. *Nature*, *396*(6708), 262-265.
73. Dzun, W. (2003). Nakłady inwestycyjne i bieżące w rolnictwie polskim w świetle dochodów rolników w latach 1990-2001. *Wieś i Rolnictwo*, 3, 52-71.
74. Florea, N. M., Badircea, R. M., Pirvu, R. C., Manta, A. G., Doran, M. D., & Jianu, E. (2020). The impact of agriculture and renewable energy on climate change in Central and East European Countries. *Agricultural Economics*, *66*(10), 444-457.
75. Fritzson, A., & Berntsson, T. (2006). Efficient energy use in a slaughter and meat processing plant—opportunities for process integration. *Journal of Food Engineering*, *76*(4), 594-604.
76. Gagnon, N., Hall, C. A., & Brinker, L. (2009). A preliminary investigation of energy return on energy investment for global oil and gas production. *Energies*, *2*(3), 490-503.
77. Gökdoğan, O., & Sevim, B. (2016). Determination of energy balance of wheat production in Turkey: A case study of Eskil district. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, *13*(4), 36-43.
78. Graczyk, A. (2017). Wskaźniki zrównoważonego rozwoju energetyki. *Optimum. Economic Studies*, *88*(4), 53-68.
79. Greenwood, P. L., & Bell, A. W. (2014). Consequences of nutrition during gestation, and the challenge to better understand and enhance livestock productivity and efficiency in pastoral ecosystems. *Animal Production Science*, *54*(9), 1109-1118.
80. Grönroos, J., Seppälä, J., Voutilainen, P., Seuri, P., & Koikkalainen, K. (2006). Energy use in conventional and organic milk and rye bread production in Finland. *Agriculture, ecosystems & environment*, *117*(2-3), 109-118.
81. Hall, C. A., Dale, B. E., & Pimentel, D. (2011). Seeking to understand the reasons for different energy return on investment (EROI) estimates for biofuels. *Sustainability*, *3*(12), 2413-2432.
82. Hall, C. A., Lambert, J. G., & Balogh, S. B. (2014). EROI of different fuels and the implications for society. *Energy policy*, *64*, 141-152.
83. Hang, L., & Tu, M. (2007). The impacts of energy prices on energy intensity: evidence from China. *Energy policy*, *35*(5), 2978-2988.
84. Harchaoui, S., & Chatzimpiros, P. (2019). Energy, Nitrogen, and Farm Surplus Transitions in Agriculture from Historical Data Modeling. France, 1882–2013. *Journal of Industrial Ecology*, *23*(2), 412-425.
85. Holka, M., Bieńkowski, J., & Jankowiak, J. (2019). Energochłonność skumulowana w intensywnej produkcji roślinnej. *Fragmenta Agronomica*, *36*(1), 16-26.
86. Holland, J. M. (2004). The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. *Agriculture, ecosystems & environment*, *103*(1), 1-25.
87. Inumula, K.M.; Singh, S.; Solanki, S. (2020). Energy Consumption and Agricultural Economic Growth Nexus: Evidence from India. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 10(6), 545-552.
88. Janulis, P. (2004). Reduction of energy consumption in biodiesel fuel life cycle. *Renewable energy*, *29*(6), 861-871.

89. Jones, A. (2002). An environmental assessment of food supply chains: a case study on dessert apples. *Environmental management*, *30*(4), 560-576.
90. Juchniewicz, M. (2015). Innowacje w logistyce łańcucha dostaw żywności. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego. Problemy Zarządzania, Finansów i Marketingu*, *41*, 473-482.
91. Kang, J. N., Wei, Y. M., Liu, L. C., Han, R., Yu, B. Y., & Wang, J. W. (2020). Energy systems for climate change mitigation: A systematic review. *Applied Energy*, *263*, 114602.
92. Karkacier, O., Goktolga, Z. G., & Cicek, A. (2006). A regression analysis of the effect of energy use in agriculture. *Energy Policy*, *34*(18), 3796-3800.
93. Kearney, J. (2010). Food consumption trends and drivers. *Philosophical transactions of the royal society B: biological sciences*, *365*(1554), 2793-2807.
94. Khan, S., Khan, M. A., & Latif, N. (2010). Energy requirements and economic analysis of wheat, rice and barley production in Australia. *Soil and Environment*, *29*(1), 61-68.
95. Kim, S., & Dale, B. E. (2002). Allocation procedure in ethanol production system from corn grain I. system expansion. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *7*(4), 237-243.
96. King, L. C., & Van Den Bergh, J. C. (2018). Implications of net energy-return-on-investment for a low-carbon energy transition. *Nature Energy*, *3*(4), 334-340.
97. Kinney, C., Dehghani-Sanij, A., Mahbaz, S., Dusseault, M. B., Nathwani, J. S., & Fraser, R. A. (2019). Geothermal energy for sustainable food production in Canada's remote northern communities. *Energies*, *12*(21), 4058.
98. Kiss, J. (2007). The impact of EU accession on the agricultural trade of the Visegrád countries. *Hungarian Statistics Review, special*, (11), 93-116.
99. Klemeš, J., & Stehlík, P. (2007). Heat integration, energy management, CO2 capture and heat transfer enhancement. *Applied Thermal Engineering*, 27(16), 2627-2632.
100. Koçak, E., & Şarkgüneşi, A. (2017). The renewable energy and economic growth nexus in Black Sea and Balkan countries. *Energy Policy*, *100*, 51-57.
101. Kothari, R., Tyagi, V. V., & Pathak, A. (2010). Waste-to-energy: A way from renewable energy sources to sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *14*(9), 3164-3170.
102. Kraatz, S. (2012). Energy intensity in livestock operations–Modeling of dairy farming systems in Germany. *Agricultural Systems*, *110*, 90-106.
103. Kunz, H., Hagens, N. J., & Balogh, S. B. (2014). The influence of output variability from renewable electricity generation on net energy calculations. *Energies*, *7*(1), 150-172.
104. Kusz, D. (2009). Nakłady inwestycyjne w rolnictwie polskim w latach 1990-2007. *Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu*, *11*(2), 131-136.
105. Laso, J., Hoehn, D., Margallo, M., García-Herrero, I., Batlle-Bayer, L., Bala, A., ... & Aldaco, R. (2018). Assessing energy and environmental efficiency of the Spanish agri-food system using the LCA/DEA methodology. *Energies*, *11*(12), 3395.
106. Leal-Arcas, R. (2020). Towards Sustainability in Trade, Energy and Climate. *Modern Environmental Science and Engineering*, *6*(1), 1-30.
107. Letourneau, D. K., & Goldstein, B. (2001). Pest damage and arthropod community structure in organic vs. conventional tomato production in California. *Journal of applied ecology*, *38*(3), 557-570.

108. LeVay, C. (1983). Agricultural co-operative theory: A review. *Journal of agricultural economics*, *34*(1), 1-44.
109. Lin, B., & Xie, X. (2015). Factor substitution and rebound effect in China's food industry. *Energy Conversion and Management*, *105*, 20-29.
110. Lynch, D. H., MacRae, R., & Martin, R. C. (2011). The carbon and global warming potential impacts of organic farming: Does it have a significant role in an energy constrained world?. *Sustainability*, *3*(2), 322-362.
111. Ma, C., & Stern, D. I. (2008a). Biomass and China's carbon emissions: A missing piece of carbon decomposition. *Energy Policy*, *36*(7), 2517-2526.
112. Ma, C., & Stern, D. I. (2008b). China's changing energy intensity trend: a decomposition analysis. *Energy economics*, *30*(3), 1037-1053.
113. Mäder, P., Fliessbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P., & Niggli, U. (2002). Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science*, *296*(5573), 1694-1697.
114. Malinovský, V. (2018). System Macromodel of Agricultural Building with Aim to Energy Consumption Minimization. *AGRIS on-line Papers in Economics and Informatics*, *9*(665-2018-3614), 25-35.
115. Malko, J., Wilczyński, A., & Wojciechowski, H. (2015). Bezpieczeństwo energetyczne, dostępność energii i zrównoważony rozwój a strategia unii energetycznej. *Rynek Energii*, (2), 10-17.
116. Marcinkowska, M. (2012). Sprawozdanie z wartości dodanej-przykład oceny wyników przedsiębiorstwa z perspektywy interesariuszy. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego. Finanse, rynki finansowe, ubezpieczenia*, (51), 335-347.
117. Mariola, M. J. (2008). The local industrial complex? Questioning the link between local foods and energy use. *Agriculture and Human Values*, *25*(2), 193-196.
118. Markussen, M. V., & Østergård, H. (2013). Energy analysis of the Danish food production system: food-EROI and fossil fuel dependency. *Energies*, *6*(8), 4170-4186.
119. Marques, G. S., Dias, M. A. P., & Vianna, J. N. S. (2020). Innovation in the electricity sector in the age of Disruptive Technologies and renewable Energy Sources: A Bibliometric study from 1991 to 2019. *Int. J. Adv. Eng. Res. Sci*, *7*, 261-272.
120. Marrero, G. A., & Ramos-Real, F. J. (2013). Activity sectors and energy intensity: Decomposition analysis and policy implications for European countries (1991–2005). *Energies*, *6*(5), 2521-2540.
121. Martínez, C. I. P. (2010). Analysis of energy efficiency development in the German and Colombian food industries. *International Journal of Energy Sector Management*, 4(1), 113-136.
122. Martinez, D. M., & Ebenhack, B. W. (2008). Understanding the role of energy consumption in human development through the use of saturation phenomena. *Energy Policy*, *36*(4), 1430-1435.
123. Maysami, M. A., & Berg, W. (2021). Comparison of energy intensity of different food materials and their energy content. *Food Research*, *5*(1), 168-174.
124. Mazurkiewicz, J. (2008). Bezpieczeństwo energetyczne Polski. *Polityka Energetyczna*, *11*(1), 313-322.
125. Merciai, S., & Schmidt, J. (2018). Methodology for the construction of global multi-regional hybrid supply and use tables for the EXIOBASE v3 database. *Journal of Industrial Ecology*, *22*(3), 516-531.
126. Metcalf, G. E. (2008). An empirical analysis of energy intensity and its determinants at the state level. *The Energy Journal*, *29*(3), 1-26.

127. Meul, M., Nevens, F., Reheul, D., & Hofman, G. (2007). Energy use efficiency of specialised dairy, arable and pig farms in Flanders. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *119*(1-2), 135-144.
128. Michalczyk, J. (2018). Zrównoważone łańcuchy dostaw żywności. Wybrane inicjatywy. *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, 523, 221-241.
129. Mickiewicz, B., Mickiewicz, A., & Sobala, M. (2014). Analiza przyczyn zmiany powierzchni użytków rolnych w okresie międzyspisowym (2002-2010). *Optimum. Studia ekonomiczne*, 4(64), 13-24.
130. Mirza, S. (2008). Reduction of energy consumption in process plants using nanofiltration and reverse osmosis. *Desalination*, *224*(1-3), 132-142.
131. Mohajan, H. (2021). Third Industrial Revolution Brings Global Development. *Journal of Social Sciences and Humanities*, 7(4), 239-251.
132. Mohammed, S., Alsafadi, K., Takács, I., & Harsányi, E. (2019). Contemporary changes of greenhouse gases emission from the agricultural sector in the EU-27. *Geology, Ecology, and Landscapes*, *4*(4), 282-287.
133. Montano, B., & García-López, M. (2020). Malthusianism of the 21st century. *Environmental and Sustainability Indicators*, *6*, 100032.
134. Mrówczyńska-Kamińska, A. (2008). Znaczenie rolnictwa w gospodarce narodowej w Polsce, analiza makroekonomiczna i regionalna. *Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Problemy Rolnictwa Światowego*, 05(20), 96-108.
135. Mueller, N. D., Gerber, J. S., Johnston, M., Ray, D. K., Ramankutty, N., & Foley, J. A. (2012). Closing yield gaps through nutrient and water management. *Nature*, *490*(7419), 254-257.
136. Mulder, K., & Hagens, N. J. (2008). Energy return on investment: toward a consistent framework. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, *37*(2), 74-79.
137. Murata, T., & Goh, K. M. (1997). Effects of cropping systems on soil organic matter in a pair of conventional and biodynamic mixed cropping farms in Canterbury, New Zealand. *Biology and fertility of soils*, *25*(4), 372-381.
138. Murphy, D. J., & Hall, C. A. (2011). Energy return on investment, peak oil, and the end of economic growth. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1219*(1), 52-72.
139. Murphy, D. J., Hall, C. A., Dale, M., & Cleveland, C. (2011). Order from chaos: a preliminary protocol for determining the EROI of fuels. *Sustainability*, *3*(10), 1888-1907.
140. Mushtaq, K., Abbas, F., & Ghafoor, A. (2007). Energy use for economic growth: cointegration and causality analysis from the agriculture sector of Pakistan. *The Pakistan Development Review*, 1065-1073.
141. Mushtaq, S., Maraseni, T. N., Maroulis, J., & Hafeez, M. (2009). Energy and water tradeoffs in enhancing food security: A selective international assessment. *Energy policy*, *37*(9), 3635-3644.
142. Ntanos, S., Skordoulis, M., Kyriakopoulos, G., Arabatzis, G., Chalikias, M., Galatsidas, S., & Katsarou, A. (2018). Renewable energy and economic growth: Evidence from European countries. *Sustainability*, *10*(8), 2626.
143. Oghbaei, M., & Prakash, J. (2016). Effect of primary processing of cereals and legumes on its nutritional quality: A comprehensive review. *Cogent Food & Agriculture*, *2*(1), 1136015.

144. Owen, A., Brockway, P., Brand-Correa, L., Bunse, L., Sakai, M., & Barrett, J. (2017). Energy consumption-based accounts: A comparison of results using different energy extension vectors. *Applied Energy*, *190*, 464-473.
145. Özilgen, M. (2016). Energy utilization and carbon dioxide emission during production of snacks. *Journal of Cleaner Production*, *112*, 2601-2612.
146. Padfield, R., Papargyropoulou, E., & Preece, C. (2012). A preliminary assessment of greenhouse gas emission trends in the production and consumption of food in Malaysia. *Int. J. Technol*, *3*(1).
147. Pakulska, J. (2002). Środowisko przyrodnicze w rozwoju gospodarczym. *Prace i Materiały Instytutu Rozwoju Gospodarczego SGH*, *72*, 295-308.
148. Parcerisas, L., & Dupras, J. (2018). From mixed farming to intensive agriculture: energy profiles of agriculture in Quebec, Canada, 1871–2011. *Regional environmental change*, *18*(4), 1047-1057.
149. Pawlak, J. (2016). Koszty energii w rolnictwie polskim w latach 2004-2014. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, *24(3)*, 37-48.
150. Pelletier, N. (2008). Environmental performance in the US broiler poultry sector: Life cycle energy use and greenhouse gas, ozone depleting, acidifying and eutrophying emissions. *Agricultural Systems*, *98*(2), 67-73.
151. Pelletier, N., Audsley, E., Brodt, S., Garnett, T., Henriksson, P., Kendall, A., ... & Troell, M. (2011). Energy intensity of agriculture and food systems. *Annual review of environment and resources*, *36*, 223-246.
152. Pelletier, N., Lammers, P., Stender, D., & Pirog, R. (2010a). Life cycle assessment of high-and low-profitability commodity and deep-bedded niche swine production systems in the Upper Midwestern United States. *Agricultural Systems*, *103*(9), 599-608.
153. Pelletier, N., Pirog, R., & Rasmussen, R. (2010b). Comparative life cycle environmental impacts of three beef production strategies in the Upper Midwestern United States. *Agricultural Systems*, *103*(6), 380-389.
154. Pereira, G. I., da Silva, P. P., & Soule, D. (2018). Policy-adaptation for a smarter and more sustainable EU electricity distribution industry: a foresight analysis. *Environment, Development and Sustainability*, *20*(1), 231-267.
155. Pervanchon, F., Bockstaller, C., & Girardin, P. (2002). Assessment of energy use in arable farming systems by means of an agro-ecological indicator: the energy indicator. *Agricultural systems*, *72*(2), 149-172.
156. Pieńkowski, D. (2012). Paradoks Jevons ‘aa Konsumpcja Energii w Unii Europejskiej (The Jevons Effect and the Consumption of Energy in the European Union). *Problemy Ekorozwoju-Probles of Sustainable Development*, *7*(1), 105-116.
157. Pimentel, D. (2009). Energy inputs in food crop production in developing and developed nations. *Energies*, *2*(1), 1-24.
158. Pimentel, D., & Pimentel, M. (2003). Sustainability of meat-based and plant-based diets and the environment. *The American journal of clinical nutrition*, *78*(3), 660S-663S.
159. Pimentel, D., Hepperly, P., Hanson, J., Douds, D., & Seidel, R. (2005). Environmental, energetic and economics comparisons of organic and conventional farming systems. *BioScience 55(7)*, 573–582.
160. Poczta, W., & Bartkowiak, N. (2012). Regionalne zróżnicowanie rolnictwa w Polsce. *Journal of Agribusiness and Rural Development*, *23*(1), 95-109.
161. Podlińska, O., & Zając, A. (2019). Transformation of the food industry against the background of industry in Poland considering ownership changes. *Zeszyty*

*Naukowe Szkoły Glównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie-Problemy Rolnictwa Światowego*, *19*(2), 140-150.
162. Poore, J., & Nemecek, T. (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*, *360*(6392), 987-992.
163. Prisecaru, P. (2016). Challenges of the fourth industrial revolution. *Knowledge Horizons. Economics*, *8*(1), 57-62.
164. Raszkowski, A., & Bartniczak, B. (2018). Towards sustainable regional development: economy, society, environment, good governance based on the example of Polish regionns. *Transformations in Business & Economics*, *17*, 225-245.
165. Reganold, J. P., Palmer, A. S., Lockhart, J. C., & Macgregor, A. N. (1993). Soil quality and financial performance of biodynamic and conventional farms in New Zealand. *Science*, *260*(5106), 344-349.
166. Robertson, G. P., Paul, E. A., & Harwood, R. R. (2000). Greenhouse gases in intensive agriculture: contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere. *Science*, *289*(5486), 1922-1925.
167. Rokicki, T., & Perkowska, A. (2020). Changes in energy supplies in the countries of the Visegrad Group. *Sustainability*, *12*(19), 7916.
168. Rokicki, T., & Perkowska, A. (2021). Diversity and changes in the energy balance in EU countries. *Energies*, *14*(4), 1098.
169. Rokicki, T., Perkowska, A., Klepacki, B., Bórawski, P., Bełdycka-Bórawska, A., & Michalski, K. (2021). Changes in Energy Consumption in Agriculture in the EU Countries. *Energies*, *14*(6), 1570.
170. Roy, P., Nei, D., Orikasa, T., Xu, Q., Okadome, H., Nakamura, N., & Shiina, T. (2009). A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. *Journal of food engineering*, *90*(1), 1-10.
171. Rybicki, W. (2017). O „metamorfozach" ekonomii dobrobytu. *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, (481), 73-93.
172. Sadowski, T., Świderski, G., & Lewandowski, W. (2008). Wykorzystanie odnawialnych i nieodnawialnych źródeł energii w Polsce iw krajach UE. *Energetyka*, 289-295.
173. Scarlat, N., Dallemand, J. F., Monforti-Ferrario, F., Banja, M., & Motola, V. (2015). Renewable energy policy framework and bioenergy contribution in the European Union–An overview from National Renewable Energy Action Plans and Progress Reports. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *51*, 969-985.
174. Schefold, B. (1985). Ecological problems as a challenge to classical and Keynesian economics. *Metroeconomica*, *37*(1), 21-61.
175. Shi, H., Xu, H., Gao, W., Zhang, J., & Chang, M. (2022). The impact of energy poverty on agricultural productivity: The case of China. *Energy Policy*, *167*, 113020.
176. Simionescu, M., Strielkowski, W., & Tvaronavičienė, M. (2020). Renewable energy in final energy consumption and income in the EU-28 countries. *Energies*, *13*(9), 2280.
177. Smil, V. (2004). World history and energy. *Encyclopedia of energy*, *6*, 549-561.
178. Sørensen, C. G., Halberg, N., Oudshoorn, F. W., Petersen, B. M., & Dalgaard, R. (2014). Energy inputs and GHG emissions of tillage systems. *Biosystems Engineering*, *120*, 2-14.
179. Stage, J. (2001). Decomposition of Namibian energy intensity. *South African Journal of Economics*, *69*(4), 698-707.

180. Stern, D. I. (1997). Limits to substitution and irreversibility in production and consumption: a neoclassical interpretation of ecological economics. *Ecological economics*, *21*(3), 197-215.
181. Stern, D. I. (2004). Economic growth and energy. *Encyclopedia of energy*, *2*(00147), 35-51.
182. Stern, D. I. (2011). The role of energy in economic growth. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1219*(1), 26-51.
183. Strambo, C., Nilsson, M., & Månsson, A. (2015). Coherent or inconsistent? Assessing energy security and climate policy interaction within the European Union. *Energy Research & Social Science*, *8*, 1-12.
184. Tahara, K., Kojima, T., & Inaba, A. (1997). Evaluation of CO2 payback time of power plants by LCA. *Energy Conversion and Management*, 38, 615-620.
185. Thomassen, M. A., van Calker, K. J., Smits, M. C., Iepema, G. L., & de Boer, I. J. (2008). Life cycle assessment of conventional and organic milk production in the Netherlands. *Agricultural systems*, *96*(1-3), 95-107.
186. Tomaszewski, K., & Sekściński, A. (2020). Odnawialne źródła energii w Polsce—Perspektywa lokalna i regionalna. *Rynek Energii*, *4*(149), 10-19.
187. Ullah, M. R., Corneo, P. E., & Dijkstra, F. A. (2019). Inter-seasonal Nitrogen Loss with Drought Depends on Fertilizer Management in a Seminatural Australian Grassland. Ecosystems, 1-13.
188. Urban, S., & Kowalska, A. (2015). Inwestycje oraz podstawowe środki trwałe w rolnictwie. *Wiadomości Statystyczne. The Polish Statistician*, (9), 66-76.
189. Usubiaga-Liaño, A., Behrens, P., & Daioglou, V. (2020). Energy use in the global food system. *Journal of Industrial Ecology*, *24*(4), 830-840.
190. Van den Bergh, K., Delarue, E., & D'haeseleer, W. (2013). Impact of renewables deployment on the CO2 price and the CO2 emissions in the European electricity sector. *Energy Policy*, *63*, 1021-1031.
191. Vasylieva, T., Lyulyov, O., Bilan, Y., & Streimikiene, D. (2019). Sustainable economic development and greenhouse gas emissions: The dynamic impact of renewable energy consumption, GDP, and corruption. *Energies*, *12*(17), 3289.
192. Wang, C. (2013). Changing energy intensity of economies in the world and its decomposition. *Energy Economics*, *40*, 637-644.
193. Wang, L. (2014). Energy efficiency technologies for sustainable food processing. *Energy efficiency*, *7*(5), 791-810.
194. West, T. O., & Marland, G. (2002). A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *91*(1-3), 217-232.
195. Westhoek, H., Lesschen, J. P., Rood, T., Wagner, S., De Marco, A., Murphy-Bokern, D., ... & Oenema, O. (2014). Food choices, health and environment: Effects of cutting Europe's meat and dairy intake. *Global Environmental Change*, *26*, 196-205.
196. Wiedmann, T. (2009). Editorial: carbon footprint and input-output analysis. *Economic Systems Research*, *21*, 175-186.
197. Wilczyński, M. (2017). Zmierzch węgla kamiennego w Polsce. *Energetyka–Społeczeństwo–Polityka*, *6*(2), 39-52.
198. Wójcicki, Z. (2006). Poszanowanie energii i środowiska w rolnictwie i na obszarach wiejskich. *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich*, (2/1).
199. Woods, J., Williams, A., Hughes, J. K., Black, M., & Murphy, R. (2010). Energy and the food system. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *365*(1554), 2991-3006.

200. Wu, Y. (2012). Energy intensity and its determinants in China's regional economies. *Energy Policy*, *41*, 703-711.
201. Wysokiński, M., Klepacki, B., Gradziuk, P., Golonko, M., Gołasa, P., Bieńkowska-Gołasa, W., ... & Gromada, A. (2021). Economic and Energy Efficiency of Farms in Poland. *Energies*, *14*(17), 5586.
202. Wysokiński, M., Trębska, P., & Gromada, A. (2017). Energochłonność polskiego rolnictwa na tle innych sektorów gospodarki. *Roczniki Naukowe SERiA, XIX(4), 238-243.*
203. Xu, T., & Flapper, J. (2009). Energy use and implications for efficiency strategies in global fluid-milk processing industry. *Energy policy*, *37*(12), 5334-5341.
204. Yuan, S., & Peng, S. (2017a). Input-output energy analysis of rice production in different crop management practices in central China. *Energy*, *141*, 1124-1132.
205. Yuan, S., & Peng, S. (2017b). Trends in the economic return on energy use and energy use efficiency in China's crop production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *70*, 836-844.
206. Zhang, X., Pan, H., Cao, J., & Li, J. (2015). Energy consumption of China's crop production system and the related emissions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *43*, 111-125.

**Akty prawne, raporty:**

207. Commission Staff Working Document (2020). Analysis of links between CAP Reform and Green Deal (SWD(2020)93 final) from 20 May 2020
208. COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE, THE COMMITTEE OF THE REGIONS AND THE EUROPEAN INVESTMENT BANK A Framework Strategy for a Resilient Energy Union with a Forward-Looking Climate Change Policy (COM/2015/080 final)
209. COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS An EU-wide assessment of National Energy and Climate Plans Driving forward the green transition and promoting economic recovery through integrated energy and climate planning COM/2020/564 final
210. Council Directive 93/76/EEC of 13 September 1993 to limit carbon dioxide emissions by improving energy efficiency (SAVE)
211. Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources
212. Directive (EU) 2018/2002 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 amending Directive 2012/27/EU on energy efficiency
213. Directive 2006/32/EC of the European Parliament and of the Council of 5 April 2006 on energy end-use efficiency and energy services and repealing Council Directive 93/76/EEC.
214. Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC.
215. DYREKTYWA PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY w sprawie efektywności energetycznej (wersja przekształcona) COM/2021/558 final.

Komunikat Komisji do Rady i Parlamentu Europejskiego – Mapa drogowa na rzecz energii odnawialnej – Energie odnawialne w XXI wieku: budowanie bardziej zrównoważonej przyszłości, COM (2006) 848 final z 10.01.2007 r.

**Strony internetowe:**

216. Dane FAO https://www.fao.org/faostat/en/#data/QV (dostęp: 15.12.2022 r.).
217. DESTATIS https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=previous&levelindex=3&step=3&titel=Result&levelid=1676912325502&acceptscookies=false#abreadcrumb (dostęp: 20.02.2023 r.).
218. FAO. 2016. State of Food and Agriculture 2016. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. Pobrano z The State of Food and Agriculture 2016 | Food and Agriculture Organization of the United Nations (fao.org) (dostęp: 08.08.2022 r.).
219. Goldemberg, J. (2001). World energy assessment. Energy and the challenge of sustainability. https://www.undp.org/library/world-energy-assessment-energy-and-challenge-sustainability?utm_source=EN&utm_medium=GSR&utm_content=US_UNDP_PaidSearch_Brand_English&utm_campaign=CENTRAL&c_src=CENTRAL&c_src2=GSR&gclid=CjwKCAjwjZmTBhB4EiwAynRmD3fqUOOaWVNUKEEpQzZbkBT6o7TWEibIXxMVe0kq5yQ5IdBIXuDTSRoCKAoQAvD_BwE (dostęp: 25.04.2022 r.).
220. GUS (2023). https://stat.gov.pl/metainformacje/slownik-pojec/pojecia-stosowane-w-statystyce-publicznej/220,pojecie.html .
221. Krajowy Plan na rzecz Energii i Klimatu na lata 2021-2030, wersja 4.1. z dn. 18.12.2019, Pobrano z https://www.gov.pl/web/aktywapanstwowe/krajowy-plan-na-rzecz-energii-i-klimatu-na-lata-2021-2030-przekazany-do-ke (dostęp: 12.05.2022 r.).
222. Plan Strategiczny dla Wspólnej Polityki Rolnej na lata 2023-2027. Pobrano z https://ksow.pl/files/user_upload/Legislacja/Plan_Strategiczny_dla_WPR_2023-2027.pdf (dostęp: 18.10.2022 r.).
223. United Nations (UN), 2019. World population prospects 2019. https://population.un.org/wpp/DataQuery (dostęp: 21.04.2022 r.).

**Pozostałe:**

224. Rocznik Statystyczny RP 2001, 2004, 2007, 2010, 2019, 2020. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2002, 2005, 2008, 2011, 2020, 2021.
225. Rocznik Statystyczny rolnictwa 2007, 2017. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2008, 2018.
226. Rocznik Statystyki międzynarodowej 2021, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2022.

**Spis tabel**

**Tabela 1.** Powierzchnia użytków rolnych w Polsce (tys. ha) ..... 44
**Tabela 2.** Nakłady inwestycyjne w rolnictwie i łowiectwie (mln zł) ..... 45
**Tabela 3.** Wartość brutto środków trwałych w rolnictwie i łowiectwie (mln zł) ..... 46
**Tabela 4.** Wartość netto (mln zł) i stopień zużycia środków trwałych (%) ..... 47
**Tabela 5.** Pracujący w rolnictwie (tys.) i ich udział w liczbie pracujących w gospodarce (%) ..... 48
**Tabela 6.** Użycie nawozów azotowych i środków ochrony roślin w rolnictwie (kg/ha UR) ..... 49
**Tabela 7.** Udział produkcji zwierzęcej i produkcji na cele żywnościowe w wartości produkcji rolnictwa (%) ..... 51
**Tabela 8.** Zagregowane sektory gospodarki ..... 52
**Tabela 9.** Struktura zużycia energii według sektorów w Polsce w latach 2000-2015 ... 53
**Tabela 10.** Wartość zaopatrzenia gałęzi produkujących żywność w Polsce w latach 2000-2015 (mln EUR) ..... 59
**Tabela 11.** Struktura zaopatrzenia gałęzi produkujących żywność w Polsce w latach 2000-2015 (%) ..... 60
**Tabela 12.** Wskaźniki materiałochłonności gałęzi produkujących żywność w Polsce w latach 2000-2015 (całkowite zużycie pośrednie/produkcja globalna) (EUR) ..... 62
**Tabela 13.** Wartość PKB gałęzi produkujących żywność w Polsce w latach 2000-2015 (ceny bieżące, mln EUR) ..... 66
**Tabela 14.** Struktura PKB gałęzi produkujących żywność w Polsce w latach 2000-2015 (%) ..... 67
**Tabela 15.** Intensywność energetyczna systemu produkcji żywności w Polsce w latach 2000-2015 (MJ/1 EUR PKB) ..... 70
**Tabela 16.** Intensywność energetyczna gałęzi produkujących żywność w Polsce w latach 2000-2015 na poziomie bramy gospodarstwa rolnego (MJ/1 EUR PKB; MJ/1 EUR PG) ..... 72

**Spis rysunków**

**Rysunek 1.** Plony pszenicy (t/ha)..... 50
**Rysunek 2.** Struktura zużycia energii w polskim rolnictwie ..... 54
**Rysunek 3.** Struktura zużycia energii w polskim systemie produkcji roślinnej ..... 55
**Rysunek 4.** Struktura zużycia energii w polskim systemie produkcji zwierzęcej ..... 57

**Aneks**

ZAŁĄCZNIK I

Zagregowane sektory gospodarki wykorzystane w badaniu

**Rolnictwo (Agriculture)**
**01A:** Cultivation of paddy rice
**01B:** Cultivation of wheat
**01C:** Cultivation of cereal grains nec
**01D:** Cultivation of vegetables, fruit, nuts
**01E:** Cultivation of oil seeds
**01F:** Cultivation of sugar cane, sugar beet
**01G:** Cultivation of plant-based fibers
**01H:** Cultivation of crops nec
**01I:** Cattle farming
**01J:** Pigs farming
**01K:** Poultry farming
**01L:** Meat animals nec
**01M:** Animal products nec
**01N:** Raw milk
**01O:** Wool, silk-worm cocoons
**01P:** Manure treatment (conventional), storage and land application
**01R:** Manure treatment (biogas), storage and land application

**Przemysł paliwowo-energetyczny (Fuel and energy industry)**
**10:** Mining of coal and lignite; extraction of peat
**11A:** Extraction of crude petroleum and services related to crude oil extraction, excluding surveying
**11B:** Extraction of natural gas and services related to natural gas extraction, excluding surveying
**11C:** Extraction, liquefaction, and regasification of other petroleum and gaseous materials
**12:** Mining of uranium and thorium ores
**13A:** Mining of iron ores
**13B:** Mining of copper ores and concentrates
**13C:** Mining of nickel ores and concentrates
**13D:** Mining of aluminium ores and concentrates
**13E:** Mining of precious metal ores and concentrates
**13F:** Mining of lead, zinc and tin ores and concentrates
**13G:** Mining of other non-ferrous metal ores and concentrates
**14A:** Quarrying of stone
**14B:** Quarrying of sand and clay
**14C:** Mining of chemical and fertilizer minerals, production of salt, other mining and quarrying n.e.c.
**23A:** Manufacture of coke oven products
**23B:** Petroleum Refinery
**23C:** Processing of nuclear fuel

**40A:** Production of electricity by coal
**40B:** Production of electricity by gas
**40C:** Production of electricity by nuclear
**40D:** Production of electricity by hydro
**40E:** Production of electricity by wind
**40F:** Production of electricity by petroleum and other oil derivatives
**40G:** Production of electricity by biomass and waste
**40H:** Production of electricity by solar photovoltaic
**40I:** Production of electricity by solar thermal
**40J:** Production of electricity by tide, wave, ocean
**40K:** Production of electricity by Geothermal
**40L:** Production of electricity nec
**40M:** Transmission of electricity
**40N:** Distribution and trade of electricity
**40O:** Manufacture of gas; distribution of gaseous fuels through mains
**40P:** Steam and hot water supply

**Przemysł spożywczy (Food industry)**
**15A:** Processing of meat cattle
**15B:** Processing of meat pigs
**15C:** Processing of meat poultry
**15D:** Production of meat products nec
**15E:** Processing vegetable oils and fats
**15F:** Processing of dairy products
**15G:** Processed rice
**15H:** Sugar refining
**15I:** Processing of Food products nec
**15J:** Manufacture of beverages
**15K:** Manufacture of fish products
**16:** Manufacture of tobacco products

**Pozostałe przemysły (other industries)**
**17:** Manufacture of textiles
**18:** Manufacture of wearing apparel; dressing and dyeing of fur
**19:** Tanning and dressing of leather; manufacture of luggage, handbags, saddlery, harness and footwear
**21A:** Pulp
**21B:** Re-processing of secondary paper into new pulp
**21C:** Paper
**22:** Publishing, printing and reproduction of recorded media
**25:** Manufacture of rubber and plastic products
**36:** Manufacture of furniture; manufacturing n.e.c.
**37A:** Recycling of waste and scrap
**37B:** Recycling of bottles by direct reuse

**Przemysł materiałów budowlanych (Construction materials industry)**
**20A:** Manufacture of wood and of products of wood and cork, except furniture; manufacture of articles of straw and plaiting materials
**20B:** Re-processing of secondary wood material into new wood material
**26A:** Manufacture of glass and glass products
**26B:** Re-processing of secondary glass into new glass
**26C:** Manufacture of ceramic goods
**26D:** Manufacture of bricks, tiles and construction products, in baked clay
**26E:** Manufacture of cement, lime and plaster
**26F:** Re-processing of ash into clinker
**26G:** Manufacture of other non-metallic mineral products n.e.c.

**Przemysł chemiczny (Chemical industry)**
**24A:** Plastics, basic
**24B:** Re-processing of secondary plastic into new plastic
**24C:** N-fertiliser
**24D:** P- and other fertiliser
**24E:** Chemicals nec

**Przemysł metalurgiczny (Metallurgical industry)**
**27A:** Manufacture of basic iron and steel and of ferro-alloys and first products thereof
**27B:** Re-processing of secondary steel into new steel
**27C:** Precious metals production
**27D:** Re-processing of secondary preciuos metals into new preciuos metals
**27E:** Aluminium production
**27F:** Re-processing of secondary aluminium into new aluminium
**27G:** Lead, zinc and tin production
**27H:** Re-processing of secondary lead into new lead, zinc and tin
**27I:** Copper production
**27J:** Re-processing of secondary copper into new copper
**27K:** Other non-ferrous metal production
**27L:** Re-processing of secondary other non-ferrous metals into new other non-ferrous metals
**27M:** Casting of metals
**28:** Manufacture of fabricated metal products, except machinery and equipment

**Przemysł maszynowy (Engineerging goods industry)**
**29:** Manufacture of machinery and equipment n.e.c.
**30:** Manufacture of office machinery and computers
**31:** Manufacture of electrical machinery and apparatus n.e.c.
**32:** Manufacture of radio, television and communication equipment and apparatus
**33:** Manufacture of medical, precision and optical instruments, watches and clocks

**Przemysł środków transportu (Transport equipment)**
**34:** Manufacture of motor vehicles, trailers and semi-trailers
**35:** Manufacture of other transport equipment

**Budownictwo (Construction)**
**45A:** Construction
**45B:** Re-processing of secondary construction material into aggregates

**Usługi (Services)**
**41:** Collection, purification and distribution of water
**50A:** Sale, maintenance, repair of motor vehicles, motor vehicles parts, motorcycles, motor cycles parts and accessoiries
**50B:** Retail sale of automotive fuel
**51:** Wholesale trade and commission trade, except of motor vehicles and motorcycles (51)
**52:** Retail trade, except of motor vehicles and motorcycles; repair of personal and household goods
**55:** Hotels and restaurants
**60A:** Transport via railways
**60B:** Other land transport
**60C:** Transport via pipelines
**61A:** Sea and coastal water transport
**61B:** Inland water transport
**62:** Air transport
**63:** Supporting and auxiliary transport activities; activities of travel agencies
**64:** Post and telecommunications
**65:** Financial intermediation, except insurance and pension funding
**66:** Insurance and pension funding, except compulsory social security
**67:** Activities auxiliary to financial intermediation
**70:** Real estate activities
**71:** Renting of machinery and equipment without operator and of personal and household goods
**72:** Computer and related activities
**73:** Research and development
**74:** Other business activities
**75:** Public administration and defence; compulsory social security
**80:** Education
**85:** Health and social work
**90A:** Incineration of waste: Food
**90B:** Incineration of waste: Paper
**90C:** Incineration of waste: Plastic
**90D:** Incineration of waste: Metals and Inert materials
**90E:** Incineration of waste: Textiles
**90F:** Incineration of waste: Wood
**90G:** Incineration of waste: Oil/Hazardous waste
**90H:** Biogasification of food waste, incl. land application
**90I:** Biogasification of paper, incl. land application
**90J:** Biogasification of sewage slugde, incl. land application
**90K:** Composting of food waste, incl. land application
**90L:** Composting of paper and wood, incl. land application
**90M:** Waste water treatment, food

**90N:** Waste water treatment, other
**90O:** Landfill of waste: Food
**90P:** Landfill of waste: Paper
**90R:** Landfill of waste: Plastic
**90S:** Landfill of waste: Inert/metal/hazardous
**90T:** Landfill of waste: Textiles
**90U:** Landfill of waste: Wood
**91:** Activities of membership organisation n.e.c.
**92:** Recreational, cultural and sporting activities
**93:** Other service activities

**Pozostałe gałęzie (Other sectors)**
**02:** Forestry, logging and related service activities
**05:** Fishing, operating of fish hatcheries and fish farms; service activities incidental to fishing
**95:** Private households with employed persons
**99:** Extra-territorial organizations and bodies

*Formularz F4*

**Oświadczenie autora pracy dyplomowej o jej oryginalności, samodzielności jej przygotowania i o nienaruszeniu praw autorskich**

**JOANNA ŁUKASIEWICZ**
imię i nazwisko studenta

**140 753**
nr albumu

Niniejszym oświadczam, że przedłożoną pracę dyplomową pt.:

**INTENSYWNOŚĆ ENERGETYCZNA PRODUKCJI ŻYWNOŚCI W POLSCE**

napisałem samodzielnie[6], tj.

- nie zleciłem opracowania pracy lub jej części innym osobom,
- nie przepisałem pracy lub jej części z innych opracowań i prac związanych tematycznie z moją pracą,
- korzystałem jedynie z niezbędnych konsultacji,
- wszystkie elementy pracy, które zostały wykorzystane do jej realizacji (cytaty, ryciny, tabele, programy itp.), a nie będące mojego autorstwa, zostały odpowiednio zaznaczone oraz zostało podane źródło ich pochodzenia,
- praca nie była wcześniej podstawą nadania tytułu zawodowego lub wydania dyplomu uczelni wyższej ani mnie, ani innej osobie.

Mam świadomość, że złożenie nieprawdziwego oświadczenia skutkować będzie niedopuszczeniem do egzaminu dyplomowego lub cofnięciem decyzji o wydaniu mi dyplomu oraz wszczęciem postępowania dyscyplinarnego.

.....
*data i czytelny podpis autora*

[6] Uwzględniając merytoryczny wkład promotora.

*Formularz F5*

**Oświadczenie autora o zgodności**
**elektronicznej wersji pracy z jej formą wydrukowaną**

**JOANNA ŁUKASIEWICZ**
imię i nazwisko studenta

**140 753**
nr albumu

Niniejszym oświadczam, że załączona, wydrukowana wersja mojej pracy dyplomowej pt.

**INTENSYWNOŚĆ ENERGETYCZNA PRODUKCJI ŻYWNOŚCI W POLSCE**

jest zgodna z wersją elektroniczną, która w postaci pliku została sprawdzona w Jednolitym Systemie Antyplagiatowym i wgrana do Wirtualnego Dziekanatu na moim koncie.

.....
*data i czytelny podpis autora*