

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
w Warszawie

Arkadiusz Gromada

Produktywność nakładów energii
w gospodarstwach rolnych
o zróżnicowanym kierunku produkcji
Energy productivity of farms with diversified type of production

Praca doktorska
Doctoral thesis

Praca wykonana pod kierunkiem
dr. hab. Marcina Wysokińskiego, prof. SGGW
Katedra Logistyki
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Promotor pomocniczy
dr Magdalena Wiluk
Katedra Logistyki
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie



Warszawa 2023

Oświadczenie promotora pracy

Oświadczam, że niniejsza praca została przygotowana pod moim kierunkiem i stwierdzam, że spełnia ona warunki do przedstawienia jej w postępowaniu o nadanie stopnia naukowego.

Data 13.09.2023

Podpis promotora pracy 

Oświadczenie autora pracy

Świadom odpowiedzialności prawnej oświadczam, że niniejsza praca doktorska została napisana przez mnie samodzielnie i nie zawiera treści uzyskanych w sposób niezgodny z obowiązującymi przepisami.

Oświadczam również, że przedstawiona praca nie była wcześniej przedmiotem procedur związanych z uzyskaniem stopnia naukowego w innej jednostce.

Oświadczam ponadto, że niniejsza wersja pracy jest identyczna z załączoną wersją elektroniczną.

Data 13.09.2023

Podpis autora pracy 

Streszczenie

Produktywność nakładów energii w gospodarstwach rolnych o zróżnicowanym kierunku produkcji

Celem badań było rozpoznanie poziomu produktywności nakładów energii oraz jej oddziaływania na efektywność ekonomiczną gospodarstw rolnych w zależności od kierunku produkcji. W pracy wykorzystano dane pochodzące z systemu FADN (Farm Accountancy Data Network) za lata 2016-2020. Określona została wielkość i struktura zużycia energii w rolnictwie oraz tendencji jego zmian. Rozpoznano wrażliwość wyników ekonomicznych na zmiany cen nośników energii oraz wyodrębniono czynniki produkcyjno-ekonomiczne warunkujące produktywność nakładów energii w badanych gospodarstwach rolnych. Wskazano, że wzrost skali produkcji wpływa na wrażliwość dochodów gospodarstw rolnych na wahania cen nośników energii w zróżnicowany sposób w zależności od typu produkcji rolniczej. Stwierdzono także, że każdy typ rolniczy charakteryzuje się własnym zestawem czynników warunkujących produktywność nakładów energii, co wynika ze specyficznych potrzeb produkcyjno-ekonomicznych badanych typów produkcji.

Słowa kluczowe: energia, produktywność energii, gospodarstwo rolne, dochody gospodarstw rolnych, FADN.

Summary

Energy productivity of farms with diversified type of production

The research aimed to identify the level of productivity of energy inputs and its impact on the economic efficiency of farms depending on the agricultural type. Data from FADN (Farm Accountancy Data Network) for 2016-2020 were used. The size and structure of energy consumption in agriculture and the trends of its changes were determined. The sensitivity of economic results to changes in the prices of energy carriers was recognized, and the production and economic factors determining the productivity of energy inputs in the researched farms were identified. It was indicated that the increase in the scale of production affects the sensitivity of farm income to fluctuations in the prices of energy carriers in a different way depending on the type of agricultural production. It was also found that each agricultural type is characterized by its own set of factors determining the productivity of energy inputs, which results from the specific production and economic needs of the examined types of production.

Key words: energy, energy productivity, farm, income of farms, FADN.

Spis treści

WSTĘP	9
1. CEL I METODYKA BADAŃ	10
1.1. Cele i hipotezy badawcze	10
1.2. Zastosowane metody badawcze	10
1.3. Źródła materiałów	17
1.4. Uzasadnienie wyboru tematu	19
2. ZNACZENIE ENERGII JAKO ZASOBU I CZYNNIKA PRODUKCJI W TEORII EKONOMII	35
2.1. Pojęcie i formy wykorzystania energii	35
2.2. Zasoby naturalne w teorii ekonomii	50
2.3. Problem gospodarowania ograniczonymi zasobami naturalnymi	62
2.4. Energia jako czynnik produkcji	70
2.5. Negatywne efekty zewnętrzne wykorzystania energii	80
3. ZASOBY I PRODUKTYWNOŚĆ ENERGII W POLSCE NA TLE KRAJÓW UNII EUROPEJSKIEJ, ZE SZCZEGÓLNYM UWZGLĘDNIENIEM ROLNICTWA	96
3.1. Zasoby nośników energii i ich struktura	96
3.2. Ceny nośników energii i czynniki warunkujące ich wahania	124
3.3. Gospodarka paliwowo-energetyczna w Polsce	136
3.4. Struktura zużycia nośników energii w rolnictwie	147
3.5. Produktywność nakładów energii w rolnictwie	157
4. WYNIKI EKONOMICZNO-PRODUKCYJNE BADANYCH GOSPODARSTW ROLNYCH	167
4.1. Wykorzystanie czynników produkcji	167
4.1.1. Zasoby ziemi	168
4.1.2. Zasoby pracy	172
4.1.3. Zasoby kapitału	176
4.2. Produkcja i jej wartość	177

4.3. Dochody gospodarstw	183
5. PRODUKTYWNOŚĆ NAKŁADÓW ENERGII W GOSPODARSTWACH ROLNYCH.....	187
5.1. Koszty nośników energii w badanych gospodarstwach rolnych w zależności od kierunku i skali produkcji.....	187
5.2. Struktura zużycia energii w badanych gospodarstwach rolnych.....	194
5.3. Produktywność nakładów energii w gospodarstwach o zróżnicowanym kierunku produkcji i jej współzmiennosc z wynikami ekonomicznymi badanych gospodarstw rolnych	200
5.4. Wrażliwość dochodów badanych gospodarstw rolnych na zmiany cen bezpośrednich i pośrednich nośników energii – ujęcie symulacyjne.....	205
5.5. Czynniki różnicujące produktywność nakładów energii.....	215
WNIOSKI.....	224
BIBLIOGRAFIA.....	226
SPIS TABEL	259
SPIS RYSUNKÓW	263
ANEKS.....	267

WSTĘP

Wszystkie ludzkie działania oraz naturalne procesy zachodzące w przyrodzie można uznać za przemiany energii, która stała się warunkiem istnienia cywilizacji i siłą sprawczą każdego działania. Rozwój cywilizacji wiąże się jednak ze zwiększonym zużyciem energii, co w dłuższej perspektywie niekorzystnie wpływa na stan zasobów energetycznych, prowadzi do uzależnienia od importu energii, jak również przyczynia się do niekorzystnych zmian klimatycznych.

Energia, ekonomia i środowisko są od siebie wzajemnie zależne (Pimentel i inni, 1994). Naukowcy zajmujący się środowiskiem i decydenci na całym świecie coraz częściej dyskutują o produktywności energii. Rządy wielu rozwiniętych i wschodzących rynków przyjmują politykę poprawy efektywności energetycznej, której celem jest ograniczenie zanieczyszczeń, stymulowanie wzrostu gospodarczego i tworzenie miejsc pracy.

Jednym z ważnych działów gospodarki, gdzie energia stanowi niezbędny czynnik produkcji, jest rolnictwo. Istnieje ścisły związek między rolnictwem a energetyką. Rolnictwo zużywa energię, ale dostarcza ją również w postaci bioenergii. Zarówno produktywność, jak i rentowność rolnictwa zależą od zużycia energii.

Współczesne rolnictwo uzależnione jest nie tylko od źródeł naturalnych (słońce), ale także od kopalnych źródeł energii, których w miarę rozwoju społeczno-gospodarczego zużywa się coraz więcej. Potrzeby energetyczne rolnictwa związane są także z charakterem poszczególnych procesów produkcyjnych.

Na nowoczesne rolnictwo wpływają również zewnętrzne przemysłowe źródła energii. Paliwa kopalne i energia elektryczna stały się nieodzownym elementem nowoczesnej produkcji rolnej. Wykorzystywane są bezpośrednio do zasilania maszyn, a pośrednio do ich budowy, wydobywania nawozów mineralnych czy syntezy związków azotu. Dominującą rolę w tym zakresie odgrywają nieodnawialne źródła energii, które przyczyniają się do emisji gazów cieplarnianych, a w konsekwencji do degradacji środowiska naturalnego. Oczywiście staje się zatem dążenie do poprawy efektywności wykorzystania energii oraz zmiany struktury jej źródeł (Smil, 2017).

1. CEL I METODYKA BADAŃ

1.1. Cele i hipotezy badawcze

Głównym celem pracy było rozpoznanie poziomu produktywności nakładów energii w gospodarstwach rolnych oraz jej oddziaływania na ich efektywność ekonomiczną w zależności od kierunku produkcji.

W badaniach przyjęto następujące cele szczegółowe:

1. rozpoznanie wielkości, a także struktury zużycia energii w rolnictwie w Polsce i Unii Europejskiej oraz tendencji zmian,
2. określenie zależności między stopniem koncentracji produkcji a produktywnością nakładów energii,
3. rozpoznanie wrażliwości wyników ekonomicznych gospodarstw rolnych na zmiany cen nośników energii,
4. wyodrębnienie czynników produkcyjno-ekonomicznych warunkujących produktywność nakładów energii w gospodarstwach rolnych.

W rozprawie przyjęto cztery hipotezy badawcze.

H1: Poziom produktywności nakładów energii jest dodatnio skorelowany z efektywnością ekonomiczną gospodarstw rolnych.

H2: Wraz z poprawą technicznego uzbrojenia ziemi produktywność nakładów energii w gospodarstwach rolnych zwiększa się.

H3: Koncentracja produkcji umożliwia zwiększenie produktywności nakładów energii.

H4: Wraz ze wzrostem skali produkcji zmniejsza się wrażliwość poziomu dochodów gospodarstw rolnych na wahania cen nośników energii.

1.2. Zastosowane metody badawcze

W realizacji przyjętych celów badawczych oraz weryfikacji hipotez zostały wykorzystane następujące metody:

- dokumentacyjna,
- porównawcza (analiza pionowa i pozioma),
- analiza korelacji i regresji,
- modelowania ekonometrycznego,
- analiza wrażliwości (metoda symulacyjna).

Metoda dokumentacyjna polega na gromadzeniu, selekcji, opisie i naukowej interpretacji zawartych w dokumentach faktów. Jest to analiza polegająca na

wyodrębnieniu, a następnie rozłożeniu i interpretacji elementów składowych konkretnego zjawiska lub procesu rzeczywistego działania. Zaletą metody badania dokumentacji jest możliwość przeprowadzenia analizy porównawczej określonych wyników, danych, faktów, zjawisk i procesów (Apanowicz, 2002). Metoda dokumentacyjna w rozprawie została wykorzystana do opracowania rozdziałów 2, 3 oraz 4.

W pracy, w rozdziałach 3, 4 oraz 5, wykorzystano metodę porównawczą. Istotą tej metody jest analiza poszczególnych przypadków i ustalenie podobieństw, różnic lub ich rangi według określonych kryteriów (Burnewicz, 2007). Porównywane są ze sobą tylko przedmioty lub zjawiska tej samej kategorii. Tworzone porównania mogą mieć różny charakter – makroekonomiczne mają charakter międzynarodowy (porównania całych państw, rankingi konkurencyjności), sektorowe mają również charakter głównie międzynarodowy (np. porównanie sektorów państw), natomiast mikroekonomiczne polegają na porównaniu np. przedsiębiorstw, zarówno w skali krajowej, jak i w skali międzynarodowej. Analizy porównawcze dotyczą m.in. zjawisk, zdarzeń, sekwencji zachowań we współczesnym życiu społeczno-gospodarczym lub w przeszłości. Na ich podstawie można przewidywać prawdopodobieństwo zachodzenia pewnych zdarzeń i (lub) zachowań innych osób (np. podmiotów gospodarczych) w przyszłości (Szarucki, 2010). Porównania polegają na analizie badanego zjawiska w przestrzeni i czasie. Wyróżnić można:

- analizę pionową (służącą porównywaniu struktur),
- analizę poziomą (służącą porównywaniu zmian w czasie, porównywaniu w przestrzeni, porównywaniu pomiędzy grupami).

Analiza korelacji i regresji, wykorzystana w rozdziale 5, jest działem statystyki zajmującym się badaniem związków i zależności pomiędzy rozkładami dwóch lub więcej badanych cech w populacji generalnej. Termin regresja dotyczy kształtu zależności pomiędzy cechami. Dzieli się na analizę regresji liniowej i nieliniowej (Nowak-Brzezińska, 2016). Pojęcie korelacji dotyczy siły badanej współzależności. Analiza regresji i korelacji może dotyczyć dwóch i większej ilości zmiennych. Poszczególne elementy wchodzące w skład badanej zbiorowości jednostek są zazwyczaj opisywane za pomocą więcej niż jednej cechy (zmiennej). W większości przypadków analizowane zmienne są w jakiś sposób powiązane ze sobą. W takich sytuacjach zachodzi zatem potrzeba ich łącznego badania. Celem analizy jest stwierdzenie, czy między badanymi

zmiennymi zachodzą jakieś zależności, jaka jest ich siła, jaka jest ich postać i kierunek (Wątroba, 2002).

Analiza wrażliwości umożliwia uzyskanie odpowiedzi na pytanie „*co się stanie, jeżeli...*”. Metoda ta pozwala na rozpoznanie wrażliwości objaśnianych zmiennych na zmiany wartości wybranych czynników wpływających na ich wartość.

Jednym z najczęstszych podejść do badania wrażliwości jest one-factor-at-a-time (OFAT lub OAT), które wykorzystuje się do sprawdzenia, jak zmiana jednego czynnika wpływa na końcowy wynik. OAT zwykle polega na:

- zmianie jednego czynnika i utrzymywaniu innych na niezmiennym poziomie, a następnie,
- przywrócenie zmiennej do wartości nominalnej i powtórzenie powyższej czynności dla pozostałych czynników w ten sam sposób.

Ważnym elementem badań było przeprowadzenie symulacji w celu określenia wrażliwości dochodów w rolnictwie na zmiany cen bezpośrednich i pośrednich nośników energii. Podstawą dokonanych obliczeń było wprowadzenie nowych wartości zmiennych do systemu i ponowne obliczenie wysokości dochodów gospodarstw, by następnie uzyskać wartości średnie dla poszczególnych grup. Za bazowy przyjęto 2020 rok, dla którego były dostępne najnowsze wyniki rachunkowości FADN. Przyjęto, że koszty energii w kosztach nawozów stanowiły 75%, jako że zużycie energii stanowi między 60% a 80% kosztów produkcji nawozów (SEA Energy, 2021; Fertilizers Europe, 2019; Hebebrand i Laborde, 2022). Wszystkie pozostałe czynniki ekonomiczno-produkcyjne pozostawały na niezmiennym poziomie. Reakcję gospodarstw na zmianę cen bezpośrednich i pośrednich nośników energii mierzono poziomem dochodu z rodzinnego gospodarstwa rolnego. Opracowane zostały cztery warianty wzrostu cen:

Wariant I – bezpośrednich nośników energii o 10%,

Wariant II – bezpośrednich nośników energii o 30%,

Wariant III – bezpośrednich nośników energii o 10% oraz nawozów o 7,5%,

Wariant IV – bezpośrednich nośników energii o 30% oraz nawozów o 22,5%.

Modele wyjaśniające zmienność produktywności nakładów energii w gospodarstwach o określonym profilu produkcyjnym opracowano przy wykorzystaniu informacji pochodzących z Sieci Danych Rachunkowych Gospodarstw Rolnych FADN (z ang. Farm Accountancy Data Network). Jest to europejski system zbierania danych rachunkowych z gospodarstw rolnych. Na początku 2020 roku sieć FADN funkcjonowała

na terenie 28 państw członkowskich Unii Europejskiej. W ramach FADN gromadzone są dane zaliczane do grupy wrażliwych, opisujące sytuację ekonomiczną i finansową gospodarstw rolnych. Dane te pochodzą z rachunkowości realizowanej w konwencji zarządczej, która wiernie odzwierciedla sytuację ekonomiczno-finansową gospodarstwa rolnego. Na potrzeby FADN zbieranych jest około tysiąc różnych danych charakteryzujących stan i strukturę składników majątkowych oraz zobowiązań gospodarstwa rolnego.

W polu obserwacji FADN znajdują się gospodarstwa towarowe. Stąd informację, czy dane gospodarstwo rolne znajduje się w polu obserwacji FADN, uzyskuje się po wyliczeniu jego wielkości ekonomicznej, czyli sumy wartości Standardowych Produkcji (SO) wszystkich działalności rolniczych występujących w gospodarstwie. Dolny próg wielkości ekonomicznej, po przekroczeniu którego włącza się gospodarstwo rolne do pola obserwacji, jest ustalany na podstawie analizy sum SO z danych GUS w poszczególnych klasach wielkości ekonomicznej. W Polsce wynosi on 4000 euro. Pozwala to na zawarcie w polu obserwacji ok. 90% SO z populacji generalnej.

Modele tworzone były dla grup gospodarstw o wybranym typie rolniczym. Jest on określany na podstawie udziału wartości SO z poszczególnych działalności rolniczych w tworzeniu całkowitej wartości SO gospodarstwa. Typ rolniczy odzwierciedla poziom i kierunek specjalizacji gospodarstwa rolnego. Na potrzeby pracy skorzystano z grupowania na poziomie 8 typów ogólnych i grupy gospodarstw niesklasyfikowanych.

Przy tworzeniu modeli, w których zmienną objaśnianą jest produktywność nakładów energii w gospodarstwach rolnych, posłużono się klasyczną metodą najmniejszych kwadratów. Paletę zmiennych objaśniających dobrano na podstawie studiów literaturowych oraz dostępności danych w bazie FADN. Poniżej zaprezentowano listę zmiennych uwzględnionych w trakcie analizy czynników objaśniających zmiany produktywności nakładów energii. Po pełnej nazwie zmiennej, w przypadku tych zmiennych, które wykorzystano przy tworzeniu modeli, w nawiasie znajduje się oznaczenie zmiennej, jakiego użyto w pracy. Lista zmiennych, które weszły w skład przynajmniej jednego z modeli:

- techniczne uzbrojenie ziemi (x_1),
- techniczne uzbrojenie pracy (x_2),
- zużycie nawozów na ha UR (x_3),
- zużycie środków ochrony roślin na ha UR (x_4),

- udział aktywów trwałych w aktywach ogółem (x_5),
- zwierzęta ogółem w przeliczeniu na ha UR (x_6),
- udział wartości produkcji zwierzęcej w wartości produkcji ogółem (x_7),
- koszty energii na ha UR (x_8),
- koszty materiałów pędnych (x_9),
- wartość aktywów trwałych (x_{10}),
- liczba ciągników na ha UR (x_{11}),
- wartość aktywów ogółem (x_{12}),
- wartość budynków (x_{13}),
- udział kosztów materiałów pędnych w kosztach energii (x_{14}),
- liczba osób pełnozatrudnionych (x_{15}),
- wartość produkcji zwierzęcej (x_{16}),
- wielkość ekonomiczna (x_{17}),
- udział kosztów energii elektrycznej w kosztach energii (x_{18}),
- wartość maszyn i urządzeń (x_{19}),
- wartość kosztów energii elektrycznej (x_{20}),
- wielkość użytków rolnych (x_{21}),
- nakłady pracy liczone w AWU (x_{22}).

Lista pozostałych zmiennych:

- aktywa obrotowe,
- amortyzacja,
- czynsze,
- dopłaty do działalności operacyjnej,
- dopłaty do produkcji roślinnej,
- dopłaty do produkcji zwierzęcej,
- inwestycje brutto,
- inwestycje netto,
- jakość gleb (wskaźnik bonitacji gleb),
- koszty bezpośrednie produkcji roślinnej na ha UR,
- koszty bezpośrednie produkcji zwierzęcej na 1 LU,
- koszty czynników zewnętrznych,
- koszty ogólnogospodarcze,

- koszty ogółem,
- koszty utrzymania maszyn i budynków,
- liczba drobiu,
- liczba krów mlecznych,
- liczba trzody chlewnej,
- liczba zwierząt ogółem,
- nakłady pracy na 100 ha UR,
- nakłady pracy własnej,
- odsetki,
- plony pszenicy,
- powierzchnia dodzierżawionych użytków rolnych,
- powierzchnia sadów,
- powierzchnia upraw trwałych,
- powierzchnia UR,
- powierzchnia zbóż,
- procentowy udział powierzchni dodzierżawionej w powierzchni całkowitej,
- relacja produkcji ogółem do kosztów ogółem,
- różnica wartości zwierząt,
- wartość dodana brutto,
- wartość dodana netto na osobę pełnozatrudnioną,
- wartość produkcji mleka i przetworów z mleka ogółem,
- wartość produkcji ogółem,
- wartość produkcji ogółem,
- wartość produkcji roślinnej,
- wartość produkcji zbóż,
- wartość produkcji żywca drobiowego,
- wartość produkcji żywca wieprzowego,
- wartość produkcji żywca wołowego,
- wartość zużytych nawozów,
- wartość zużytych środków ochrony roślin,
- wydajność mleczna krów,
- wynagrodzenia,

- zobowiązania ogółem,
- zużycie pośrednie.

Wszystkie dane pochodziły z 2020 roku. Liczebność poszczególnych analizowanych grup towarowych gospodarstw rolnych podana została przy omówieniu wyników estymacji modeli.

Na podstawie analizy wykorzystywanych zmiennych objaśniających zwrócono uwagę na istotne zagrożenie występowania heteroskedastyczności, mogące spowodować obciążenie macierzy wariancji-kowariancji oszacowań, a co za tym idzie prowadzić do obciążenia błędów szacunku. By tego uniknąć zastosowano procedurę HC1, zaproponowaną przez White'a, na wyliczenie błędów szacunku odpornych na heteroskedastyczność (Davidson i MacKinnon, 2021).

Przy tworzeniu ostatecznych wersji modeli dla poszczególnych grup gospodarstw rolnych wykorzystano zbiory danych oczyszczone z obserwacji odstających. Przykładowo, w zbiorze danych odnoszących się do gospodarstw prowadzących produkcję mieszaną jedno z gospodarstw cechowało się wartością zmiennej objaśnianej ponad dwudziestokrotnie większą od średniej dla całej populacji. Dla drugiego w tak ustanowionym porządku gospodarstwa wartość ta wynosiła już tylko pięciokrotność średniej. Z uwagi na dbałość o poprawność tworzonych modeli, usunięto tego rodzaju obserwacje odstające. Zbudowane zostały modele dla populacji gospodarstw rolnych z następujących typów produkcyjnych:

- Y_1 – gospodarstwa mieszane – różne uprawy i zwierzęta,
- Y_2 – gospodarstwa specjalizujące się w chowie trzody chlewnej,
- Y_3 – gospodarstwa specjalizujące się w chowie bydła mlecznego,
- Y_4 – gospodarstwa specjalizujące się w uprawie zbóż (innych niż ryż), roślin oleistych i wysokobiałkowych na nasiona,
- Y_5 – gospodarstwa specjalizujące się w uprawie warzyw i truskawek pod wysokimi osłonami,
- Y_6 – gospodarstwa specjalizujące się w uprawie drzew i krzewów owocowych (bez winorośli i oliwek).

Każdy z modeli był tworzony na bazie danych zlogarytmowanych. Zdecydowano się na to rozwiązanie w pierwszym rzędzie z uwagi na różnorodność stosowanych jednostek w zbiorze potencjalnych zmiennych objaśniających, co mogłoby rodzić znaczne trudności w interpretowaniu współczynników modelu. Istotna była również

analiza rozkładu wartości zmiennych objaśnianych oraz objaśniających, a także natury zależności między nimi.

Estymacja modeli została przeprowadzona w pakiecie statystycznym gretl w wersji 2022c-64. Przy obróbce danych korzystano również z arkusza kalkulacyjnego Microsoft Excel. Wyniki estymacji modeli zaprezentowano w formie tabelarycznej, gdzie oprócz wartości współczynników oraz błędu standardowego, przedstawiono również wartość statystyki testowej testu t-studenta oraz wartość p. Przy każdym z przedstawionych modeli wskazano również wartości:

- średniej arytmetycznej zmiennej objaśnianej,
- odchylenie standardowe zmiennej objaśnianej,
- sumy kwadratów reszt,
- błędu standardowego reszt,
- podstawowego oraz skorygowanego współczynnika determinacji R^2 ,
- statystyki F-Snedecora wraz z wartością p,
- logarytmu wiarygodności,
- kryterium informacyjnego Akaike'a, Schwarzera oraz Hannana-Quinna,
- wartość statystyki χ^2 oraz wartości p dla testu Jarque'a-Bera na normalność rozkładu reszt.

1.3. Źródła materiałów

W badaniach wykorzystano następujące źródła danych:

- literaturę przedmiotu z zakresu teorii czynników produkcji, szczupłości zasobów, efektywności energetycznej, produktywności czynników produkcji,
- informacje statystyki publicznej krajowej (Główny Urząd Statystyczny) i Unii Europejskiej (Eurostat) za lata 2010-2020,
- system FADN (Farm Accountancy Data Network) za lata 2016-2020.

Obiektami badawczymi były wszystkie gospodarstwa znajdujące się w polu obserwacji FADN, zaklasyfikowane do wybranych typów produkcji rolnej w Polsce. Kierunki produkcji zostały tak dobrane, by odzwierciedlać zależności występujące w produkcji rolnej w Polsce. Do celów analitycznych wybrano gospodarstwa wyspecjalizowane w:

- uprawie zbóż (innych niż ryż), roślin oleistych i wysokobiałkowych na nasiona – typ 151,

- uprawie warzyw i truskawek pod wysokimi osłonami – typ 211,
- uprawie drzew i krzewów owocowych (bez winorośli i oliwek) – typ 36,
- chowie bydła mlecznego – typ 45,
- chowie bydła rzeźnego – typ 46,
- chowie trzody chlewnej – typ 51 oraz
- gospodarstwa mieszane – typ 8.

Badane gospodarstwa podzielono na dwie grupy w każdym typie, według ich wielkości ekonomicznej, a mianowicie:

- Grupa A – gospodarstwa bardzo małe, małe i średnio-małe ($2\ 000 \leq \text{€} < 50\ 000$),
- Grupa B – gospodarstwa średnio-duże i duże ($50\ 000 \leq \text{€} < 500\ 000$).

Dane dotyczące zużycia energii (ilościowe i wartościowe) w badanych gospodarstwach dotyczyły bezpośrednich nośników energii wykorzystanych w procesach produkcji w postaci:

- węgla, miału i brykietów,
- drewna opałowego z zakupów i nieodpłatnych przekazania,
- gazu opałowego,
- oleju opałowego,
- benzyny,
- oleju napędowego,
- energii elektrycznej.

Do obliczenia zużycia energii poszczególnych nośników energii w badanych gospodarstwach rolnych, wyrażonego w złotych, posłużyły udziały kosztów tychże nośników w kosztach energii ogółem. Następnie wartości te zostały podzielone przez średnie ceny poszczególnych nośników energii w Polsce w latach 2016-2020 (średnie ceny nośników energii znajdują się w aneksie).

Tak wykonane obliczenia pozwoliły określić ilość zużytej energii, wyrażonej w kilogramach (węgiel), metrach sześciennych (drewno opałowe), kilowatogodzinach (gaz opałowy, energia elektryczna) oraz litrach (olej opałowy, benzyna, olej napędowy). Następnie, stosując poniższe przeliczniki, ustalono zużycie energii w MJ.

Przeliczniki dla poszczególnych nośników energii:

- węgiel: $1\ \text{kg} = 25,28\ \text{MJ}$ (Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami, 2021),
- drewno opałowe: $1\ \text{m}^3 = 8000\ \text{MJ}$ (instalacjebudowlane.pl, 2023),

- gaz opałowy: 1 kWh = 3,6 MJ,
- olej opałowy: 1 l = 39 MJ (e-petrol.pl, 2023),
- benzyna: 1 l = 38 MJ (e-petrol.pl, 2023),
- olej napędowy: 1 l = 43 MJ (Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami, 2021),
- energia elektryczna: 1 kWh = 3,6 MJ.

Dodatkowo, w badaniu wrażliwości dochodów badanych gospodarstw rolnych na zmiany cen nośników energii uwzględnione zostały dane dotyczące pośredniego zużycia energii pod postacią nawozów sztucznych. Uwzględnienie zużycia pozostałych pośrednich nakładów energii w rolnictwie, takich jak pasze czy pestycydy, wymagałoby pogłębionych analiz.

1.4. Uzasadnienie wyboru tematu

Zmiany klimatu w niekorzystny sposób wpływają na europejskie i polskie rolnictwo. Coraz częściej występujące ekstremalne warunki pogodowe, gwałtowne zmiany temperatury czy opadów w negatywny sposób wpływają na produkcję roślinną i zwierzęcą. W krótkim okresie zmiany te mogą mieć pozytywny wpływ na rolnictwo, m.in. przez wydłużenie okresów wegetacji czy polepszenie warunków do prowadzenia upraw w północnej Europie. Biorąc jednak pod uwagę dłuższą perspektywę zachodzących zmian klimatycznych i związane z nimi susze, upały, obfite opady deszczu (powodujące erozję gleby) czy inne ekstremalne zjawiska pogodowe, ich wpływ na rolnictwo jest niekorzystny, co skutkować może niedostępnością jakościowej żywności o przystępnej cenie na rynku. Zmiany ilościowe i jakościowe żywności, jak również wahania cen spowodowane zmianami klimatycznymi, mogą mieć także negatywny wpływ na dochody z rolnictwa w Europie i w Polsce.

Do lat 90. ubiegłego wieku problematyka zmian klimatycznych, ściśle związana ze zużyciem paliw kopalnych oraz emisją gazów cieplarnianych, miała niewielkie znaczenie w europejskiej polityce dotyczącej środowiska naturalnego. Jednym z pierwszych bodźców, które przyczyniły się do rozwoju polityki klimatycznej było podpisane w 1997 roku porozumienie, zwane protokołem z Kioto (Dz.U. 2005, nr 203, poz. 1684). Na podstawie tego prawnie wiążącego porozumienia kraje świata zostały zobowiązane do zmniejszenia poziomu emisji gazów cieplarnianych w latach 2008-2012 o 5,2% w porównaniu z 1990 rokiem. Kraje Unii Europejskiej zobowiązały się do ograniczenia tychże emisji o 8%. Zobowiązania te stanowiły potwierdzenie, że

zachodzące zmiany klimatyczne są problemem globalnym, co wymusiło zmianę postępowania w sprawach środowiskowych, uwzględniając je podczas podejmowania decyzji politycznych czy ekonomicznych, jak również stanowiło podstawę do stworzenia międzynarodowych rozwiązań, pozwalających rozwiązywać pojawiające się problemy. Protokół zaczął obowiązywać dopiero w lutym 2005 roku, po tym, gdy został ratyfikowany przez 55 krajów, co było warunkiem wprowadzenia go w życie. Polska, ratyfikując Ramową Konwencję Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu w 1994 roku oraz protokół z Kioto w 2002 roku zobowiązała się m.in. do redukcji emisji gazów cieplarnianych o 6% w latach 2008-2012. Różnicą był rok odniesienia – w przypadku byłych krajów socjalistycznych za rok bazowy przyjęto 1998 rok (Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami, 2012).

Redukcja emisji gazów cieplarnianych, w tym przede wszystkim dwutlenku węgla, jest podstawowym celem polityki klimatycznej prowadzonej przez państwa Unii Europejskiej. Oprócz naturalnej emisji dwutlenku węgla, związanej z zachodzącymi w przyrodzie procesami metabolicznymi i jego wymianą w atmosferze, występują także emisje spowodowane działalnością człowieka. Wcześniej, do momentu powstania protokołu z Kioto, nie określano jednak ilościowych celów redukcji emisji gazów cieplarnianych. Międzynarodowe zobowiązania dotyczące ochrony klimatu do końca 2020 roku przedłużyła tzw. poprawka dauhańska, będąca łącznikiem między Porozumieniem z Kioto, wygasłym w 2012 roku, a Porozumieniem Paryskim. Przyjęta w drodze konsensusu Poprawka dauhańska do Protokołu z Kioto do Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu sporządzona w Ad-Dausze dnia 8 grudnia 2012 roku ustanowiła drugi okres rozliczeniowy, trwający od dnia 1 stycznia 2013 roku do dnia 31 grudnia 2020 roku. Ponadto, w ramach globalnego, kompleksowego porozumienia dotyczącego okresu po 2012 roku, Unia Europejska podtrzymała swoją warunkową ofertę dotyczącą osiągnięcia do 2020 roku 30% redukcji w porównaniu z poziomem z 1990 roku, o ile inne kraje rozwinięte zobowiążą się do porównywalnych redukcji emisji, a kraje rozwijające się wniosą odpowiedni wkład na miarę swoich zadań i możliwości. Cel redukcji emisji gazów cieplarnianych dla wszystkich krajów członkowskich, w tym dla Polski, wyniósł 20%.

W 2015 roku światowi przywódcy uzgodnili nowe cele związane z walką ze zmianami klimatu. Porozumienie Paryskie jest prawnie wiążącym międzynarodowym traktatem dotyczącym zmian klimatu. Zostało przyjęte przez 196 stron na Konferencji

Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu (COP21) w Paryżu 12 grudnia 2015 roku, zaś weszło w życie 4 listopada 2016 roku, gdy spełniony został warunek jego ratyfikacji przez co najmniej 55 państw odpowiedzialnych za co najmniej 55% globalnych emisji gazów cieplarnianych. Porozumienie ratyfikowały wszystkie państwa UE. Nadrzędnym celem Porozumienia jest zatrzymanie wzrostu średniej globalnej temperatury na poziomie dużo poniżej 2°C względem poziomu z czasów przedprzemysłowych i dążenie do tego, by było to nie więcej niż 1,5°C. Elementem Porozumienia było także to, że przed konferencją paryską i w trakcie jej trwania kraje przedkładały swoje kompleksowe plany działań na rzecz redukcji emisji (tzw. ustalone na poziomie krajowym wkłady). Ponadto, rządy postanowiły co 5 lat przedstawiać swoje plany działań i w każdym z nich wyznaczać ambitniejsze cele dotyczące walki ze zmianami klimatu. Cele te, nazywane również wkładem ustalonym na poziomie krajowym, funkcjonują również pod nazwą NDC (Nationally Determined Contributions). Pierwotnym celem krajów Unii Europejskiej, założonym w 2015 roku, było zredukowanie emisji gazów cieplarnianych do 2030 roku o co najmniej 40% w porównaniu z 1990 rokiem. W 2020 roku UE i jej państwa członkowskie, działając wspólnie, zobowiązały się do osiągnięcia wiążącego celu, jakim jest zmniejszenie krajowych emisji gazów cieplarnianych netto o co najmniej 55% do 2030 roku w porównaniu z 1990 rokiem (United Nations Climate Change, 2020).

Do realizacji celów porozumienia klimatycznego z Paryża ma przyczynić się przedstawiona w 2019 roku przez Komisję Europejską nowa strategia mająca na celu przekształcenie Unii w sprawiedliwe i dostatnie społeczeństwo, którego gospodarka będzie nowoczesna, zasobooszczędna i konkurencyjna i w którym w 2050 roku nie będzie emisji netto gazów cieplarnianych, a wzrost gospodarczy będzie oddzielony od wykorzystania zasobów na rzecz wzrostu gospodarczego. Strategia ta została nazwana Europejskim Zielonym Ładem (European Green Deal). Głównym celem Europejskiego Zielonego Ładu jest osiągnięcie neutralności klimatycznej w Unii Europejskiej do 2050 roku (European Commission, 2019). Ramy na potrzeby osiągnięcia neutralności klimatycznej ustanowiło Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2021/1119 z dnia 30 czerwca 2021 roku (Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 243/1, 2021), zwane Europejskim prawem o klimacie. Przyjmując to prawo, UE i jej państwa członkowskie zobowiązały się do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych netto w UE o co najmniej 55% do 2030 roku w porównaniu z poziomami z 1990 roku. Cel ten jest

prawnie wiążący i opiera się na ocenie skutków przeprowadzonej przez Komisję Europejską. Głównymi działaniami przewidzianymi w rozporządzeniu są (Council of the European Union, 2023):

- określenie tempa redukcji emisji do 2050 roku, aby zapewnić przewidywalność przedsiębiorstwom, zainteresowanym stronom i obywatelom,
- opracowanie systemu monitorowania i raportowania postępów w realizacji celu,
- zapewnienie racjonalnej kosztowo i sprawiedliwej społecznie transformacji ekologicznej.

Rozporządzenie ustanowiło także niezależny Europejski Naukowy Komitet Doradczy ds. Zmiany Klimatu.

Wcześniej przyjęty został pakiet „Czysta energia dla wszystkich Europejczyków” (Komisja Europejska, 2019), który miał przyczynić się do dekarbonizacji systemu energetycznego UE, zgodnie z celami Europejskiego Zielonego Ładu. W ramach wspomnianego pakietu zostały wprowadzone krajowe plany na rzecz energii i klimatu. Plany te określają, w jaki sposób kraje UE zamierzają zająć się pięcioma filarami unii energetycznej:

- obniżeniem emisyjności,
- efektywnością energetyczną,
- bezpieczeństwem energetycznym,
- wewnętrznym rynkiem energii,
- badaniami naukowymi, innowacjami i konkurencyjnością.

Zgodnie z Rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/1999 z dnia 11 grudnia 2018 roku w sprawie zarządzania unią energetyczną i działaniami w dziedzinie klimatu (Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 328/1, 2018), państwa członkowskie musiały do dnia 31 grudnia 2018 roku przedłożyć Komisji Europejskiej projekty krajowych planów na lata 2021-2030. Cele klimatyczno-energetyczne Polski, ustanowione w krajowym planie, obejmowały (Ministerstwo Aktywów Państwowych, 2019):

- ograniczenie emisji CO₂ w sektorach non-ETS o 7% do 2030 roku (w stosunku do 2005 roku),
- 14% udział OZE w transporcie w 2030 roku,
- 21-23% udział OZE w finalnym zużyciu energii brutto w 2030 roku,
- roczny wzrost udziału OZE w ciepłownictwie i chłodnictwie o 1,1 pp. średniorocznie,

- wzrost efektywności energetycznej o 23% do 2030 roku (w stosunku do prognoz zużycia energii pierwotnej z 2007 roku).

Wkład w realizację Porozumienia Paryskiego stanowi także Polityka energetyczna Polski do 2040 roku (Ministerstwo Klimatu i Środowiska, 2021). Wyznacza ona ramy transformacji energetycznej w Polsce i zawiera strategiczne przesądzenia w zakresie doboru technologii służących budowie niskoemisyjnego systemu energetycznego. Polityka uwzględnia skalę wyzwań związanych z dostosowaniem krajowej gospodarki do uwarunkowań regulacyjnych UE związanych z celami klimatyczno-energetycznymi na 2030 rok, Europejskim Zielonym Ładem, planem odbudowy gospodarczej po pandemii COVID i dążeniem do osiągnięcia neutralności klimatycznej zgodnie z krajowymi możliwościami.

W polskim sektorze rolnictwa podejmowanych jest wiele działań mających na celu ochronę środowiska i klimatu. W Ósmym raporcie rządowym i Piątym raporcie dwuletnim Polski dla Konferencji Stron Ramowej konwencji NZ w sprawie zmian klimatu (Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami, 2022) wymienione zostały główne działania, które przyczyniają się do redukcji emisji gazów cieplarnianych w rolnictwie. Zaliczyć do nich można:

- racjonalną gospodarkę gruntami rolnymi i leśnymi,
- wsparcie działań adaptacyjnych i redukcji emisji w gospodarstwach rolnych,
- działania rolnośrodowiskowe i klimatyczne,
- rozwój sektora biogazu rolniczego.

Jednym z kluczowych planów dotyczących rolnictwa i jego wpływu na ochronę środowiska i klimatu będzie wdrażany Plan Strategiczny dla Wspólnej Polityki Rolnej na lata 2023-2027 (Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, 2023). Ma on wspierać zrównoważony rozwój polskich gospodarstw, sektora przetwórstwa i poprawę warunków życia i pracy w małych miejscowościach wiejskich. W Planie zaprojektowano interwencje zachęcające rolników do stosowania podwyższonych norm w produkcji rolniczej, przyjaznych środowisku metod produkcji, ograniczających emisje gazów cieplarnianych, poprawiających jakość gleb, zwiększających retencję wody. Wspierane będą inwestycje do powtórnego obiegu wody i ograniczające zużycie energii w produkcji.

Prowadzonych jest też szereg projektów badawczych, które zostały ukierunkowane na rozwijanie racjonalnej i niskoemisyjnej produkcji rolnej. Jednym z nich jest projekt AgroFossilFree, którego celem jest stworzenie ram dla bezemisyjnego

rolnictwa w UE poprzez zmniejszenie zużycia energii z paliw kopalnych, efektywniejszego wykorzystania energii, optymalizację produkcji rolnej, redukcję emisji gazów cieplarnianych oraz zwiększenie korzyści ekonomicznych, agronomicznych i środowiskowych.

Jednym z pięciu wymiarów strategii na rzecz unii energetycznej, ustanowionej przez Komisję Europejską w 2015 roku, jest ograniczenie zapotrzebowania na energię. Sposobem na sprostanie temu wyzwaniu jest efektywność energetyczna, definiowana jako stosunek uzyskanych wyników, usług, towarów lub energii do wkładu energii (Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 315/1, 2012). Poprawa efektywności energetycznej w całym łańcuchu energetycznym, w tym podczas wytwarzania, przesyłu, dystrybucji i końcowego zużycia energii, będzie korzystna dla środowiska, spowoduje poprawę jakości powietrza i stanu zdrowia w społeczeństwie, redukcję emisji gazów cieplarnianych i poprawę bezpieczeństwa energetycznego przez zmniejszenie zależności od importu energii spoza Unii, obniży koszty energii dla gospodarstw domowych i przedsiębiorstw, pomoże w łagodzeniu ubóstwa energetycznego i doprowadzi do większej konkurencyjności, wzrostu zatrudnienia i ożywienia całej gospodarki, co podniesie jakość życia obywateli (Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 328/210, 2018).

Maksymalizacja efektywności energetycznej jest także jednym z siedmiu głównych elementów strategicznych długoterminowej wizji dotyczącej neutralności klimatycznej do 2050 roku. Poprawa efektywności energetycznej może przyczynić się do zmniejszenia zużycia energii w UE nawet o połowę w porównaniu z 2005 rokiem.

Efektywność energetyczna, zgodnie z Dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/27/UE, powinna być traktowana jako pełnoprawne źródło energii. Zadaniem Komisji Europejskiej jest zapewnienie, by efektywność energetyczna i regulacja zapotrzebowania mogły konkurować na równych warunkach ze zdolnościami wytwarzania energii. Do określania nowych przepisów po stronie podaży i w innych obszarach polityki powinna być uwzględniana zasada „efektywność energetyczna przede wszystkim”. To stwierdzenie było również inspiracją do podjęcia badań z zakresu efektywności energetycznej w rolnictwie, w których produktywność nakładów energii ujmowana jest jako jedno z ujęć efektywności energetycznej, co jest zgodne z wcześniej przedstawioną definicją.

Produktywność energetyczna danego kraju jest miarą wykorzystania głównych paliw i głównych przepływów (Oluyemisi Oyebanji i Kirikkaleli, 2022). Ogólnie rzecz biorąc, bogatsze kraje zużywają więcej energii niż kraje biedniejsze. Jednak bogatsze kraje mają zwykle lepszą infrastrukturę, a zatem i wyższą wydajność energetyczną. Atalla i Bean (2017) zbadali podstawowe czynniki kształtujące produktywność energii w 39 krajach w latach 1995-2009. Stwierdzili oni, że głównym motorem wzrostu produktywności energii w całej gospodarce była rosnąca sektorowa produktywność energii.

Zmiany otoczenia makroekonomicznego wielokrotnie w historii wpływały na zmiany w rolnictwie i modele z nim związane. Głównym celem pierwszych modeli było wyżywienie ludności, a przede wszystkim ludności rolniczej. Tak prowadzone rolnictwo nie wpływało niekorzystnie na środowisko, zaś praca wykonywana była przede wszystkim za pomocą ludzkich rąk. Wraz z zachodzącą rewolucją przemysłową rozpoczęło się odejście od tego typu modeli na rzecz rolnictwa industrialnego. W związku ze zmianą organizacji gospodarstw doszło do koncentracji ziemi oraz produkcji, ponadto zaczęły powstawać gospodarstwa wyspecjalizowane, najczęściej w jednym typie produkcji rolnej. Rozwój przemysłu oraz idący za nim postęp technologiczny przyczyniły się do wprowadzenia do rolnictwa nowych technologii. Wzrost technicznego uzbrojenia pracy, hodowla nowych gatunków zwierząt, uprawa nowych odmian roślin wpłynęły na wzrost wydajności gospodarstw rolnych i zwiększenie przez nich produkcji. Dzięki temu gospodarstwa te mogły osiągać większe zyski, przy równoczesnej produkcji taniej żywności. Model industrialny miał również swoje wady – jego stosowanie nie zawsze prowadziło do zwiększania zysków z produkcji rolnej, jak również przyczynił się on do zwiększenia zanieczyszczenia środowiska i utraty bioróżnorodności (Ryszewska, 2017).

Cechą charakterystyczną modelu rolnictwa industrialnego jest stosowanie środków ochrony roślin, nawozów sztucznych oraz maszyn rolniczych na szeroką skalę. Ponadto, w modelu tym, gospodarstwa są ukierunkowane na korzyści ekonomiczne, zaś procesy intensyfikacji, koncentracji, czy specjalizacji są wzmożone (Zegar, 2012). Jego sukces był uwarunkowany rosnącą liczbą ludności na świecie, a co za tym idzie rosnącym zapotrzebowaniem na żywność. Rozwiązanie problemu rosnącego popytu na żywność nie byłoby jednak możliwe bez zachodzących w XIX wieku zmian technologicznych, do których można zaliczyć (Zegar, 2007):

- wyłączenie procesu produkcji z naturalnego środowiska, które obejmowało zmiany w organizacji produkcji żywności, stosowanie nowych odmian roślin i ras zwierząt,
- intensyfikację stosowania środków produkcji pochodzących z przemysłu, zarówno mechanicznych, jak i chemicznych,
- koncentrację i zwiększanie skali produkcji, specjalizacji, oddzielenie produkcji roślinnej od zwierzęcej,
- orientację działalności gospodarstw rolnych na rynek oraz maksymalizację ich zysku,
- zwiększenie integracji rolników z otoczeniem, głównie poprzez podporządkowanie gospodarstw rolnych agrobiznesowi.

Mentalność rolników również uległa przeobrażeniu. Intensyfikacja produkcji spowodowała przekraczanie granic wydolności środowiska, bez zwracania uwagi na daleko idące konsekwencje z tym związane. Model rolnictwa industrialnego natrafił na barierę, przez co produkcja rolna nie mogła być nadal oddzielana od środowiska naturalnego, zaś sam model okazał się w dłuższej perspektywie zawodny.

Brak dalszego postępu w rolnictwie przyczynił się do powstania nowego modelu rolnictwa – rolnictwa zrównoważonego. W modelu tym dla rozwoju rolnictwa nie są istotne tylko dobra komercyjne, ale także publiczne (Czyżewski i Stępień, 2013). Możliwość upowszechnienia zrównoważonego modelu rozwoju rolnictwa jest zależna od wzrostu w społeczeństwie świadomości, że ekosystem globalny ma swoje granice oraz od uznania, że dla prawidłowego działania sektora rolnego istotne są nie tylko dobra rynkowe, ale również pozarynkowe (publiczne), do których zaliczyć można dobrostan środowiska, harmonię natury i produkcji rolnej, czy żywotność wiejskiego otoczenia (Zegar, 2012). Takie podejście ma przyczynić się do stworzenia bardziej urozmaiconej struktury agrarnej w porównaniu z modelem rolnictwa industrialnego. Zdaniem Runowskiego (2004), tworzyć ją mają w znacznej części rodzinne gospodarstwa rolne, które są swoistym dobrem publicznym, przez co dobrze wpisują się w ideę zrównoważenia. Wpływ paradygmatu zrównoważonego rozwoju na rozwój rolnictwa był szczególnie ważny dla krajów rozwiniętych, uprzemysłowionych, w których wcześniejszy rozwój sektora rolnego opierał się na modelu industrialnym (Czyżewski i Staniszewski, 2018).

Istotą zrównoważonego rozwoju jest także korzystanie z zasobów naturalnych, by równowaga przyrody i jej możliwości odnawiania się były niezakłócone. Tylko w przypadku niewystępowania degradacji środowiska rolnego przy jednoczesnym

zaspokojeniu potrzeb (bytowych, społecznych) producentów rolnych i ich rodzin można mówić o zrównoważonym rozwoju gospodarstw rolnych (Szymańska, 2016). Zrównoważony rozwój rolnictwa jest zawarty w szerszej koncepcji zrównoważonego rozwoju rolnictwa i obszarów wiejskich. Zgodnie z definicją przedstawioną przez Organizację ds. Wyżywienia i Rolnictwa FAO polega ona na „takim wykorzystaniu i konserwacji zasobów naturalnych i takim zorientowaniu technologii i instytucji, aby uzyskać zaspokojenie ludzkich potrzeb i przyszłych pokoleń (Wilkin, 2004). W rolnictwie zrównoważonym cele produkcyjne gospodarstwa rolnych są uzależnione od uwarunkowań ekologicznych oraz społecznych. Wyróżnić można kilka cech, opisujących rolnictwo zrównoważone (Roszkowska-Mądra, 2010):

- zasoby naturalne powinny być w taki sposób wykorzystywane, aby w pełni mogły zachować zdolności do dalszego samoodnawiania się,
- przyrost produkcji żywności może być realizowany wyłącznie przez wzrost produktywności zasobów, dzięki wprowadzaniu technologii chroniących i jednocześnie zachowujących wysoką jakość zasobów dla kolejnych pokoleń,
- rolnictwo to wykazuje małą podatność na wahania i wstrząsy,
- zrównoważone systemy rolnicze umożliwiają jednoczesne wypełnianie celów produkcyjnych i ekologicznych,
- zarządzanie zasobami naturalnymi umożliwia zaspokajanie zmieniających się potrzeb przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej jakości środowiska naturalnego i ochrony jego zasobów.

Zdaniem Krasowicza (2005), rolnictwo zrównoważone na poziomie kraju charakteryzuje:

- racjonalne wykorzystanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej i utrzymanie potencjału produkcyjnego gleb,
- zapewnienie samowystarczalności żywnościowej kraju (netto),
- produkcja bezpiecznej żywności,
- produkcja surowców o pożądanym, oczekiwanych przez konsumentów i przemysł, parametrach jakościowych,
- ograniczenie lub eliminacja zagrożeń dla środowiska przyrodniczego oraz troska o zachowanie bioróżnorodności,

- uzyskiwanie w rolnictwie dochodów pozwalających na porównywalną z innymi działaniami gospodarki opłatę pracy i zapewnienie środków finansowych na modernizację i rozwój.

Biorąc pod uwagę powyższe cechy można zatem uznać, że rolnictwo zrównoważone jest pojęciem wielowątkowym, wielowymiarowym, odnoszącym się szeroko do obszarów wiejskich i wszelkich rodzajów działalności rolniczej i pozarolniczej, a nie tylko bezpośrednio do produkcji rolnej.

Głównym celem rolnictwa jest dostarczanie żywności. Wzrost światowej populacji, spadek dostępu do paliw kopalnych w połączeniu ze wzrostem cen tychże nośników oraz niszczące dla środowiska skutki stosowania paliw kopalnych zwiększyły presję na sektor rolniczy, w szczególności na te gałęzie, które związane są z produkcją żywności. Obecnie rolnictwo jest silnie uzależnione od paliw kopalnych, zaś większość działań w rolnictwie jest związanych z wykorzystaniem paliw kopalnych, co w ostateczności zwiększa ryzyko emisji gazów cieplarnianych do środowiska. Tego typu podejście zagraża bezpieczeństwu żywnościowemu, ale także stwarza zagrożenie dla zrównoważonego rozwoju rolnictwa. W perspektywie zachodzących zmian środowiskowych i konieczności stosowania zrównoważonego podejścia w rolnictwie niezbędne jest połączenie dwóch podejść w nowoczesnym rolnictwie: zapewnienie zrównoważonych dostaw żywności wraz z działaniami zmierzającymi do złagodzenia zmian klimatycznych. Zgodnie z badaniami przeprowadzonymi przez CGIAR (Gilbert, 2012), łańcuchy rolne i żywnościowe zużywają około 30% światowej energii, a zużycie to odpowiada od 19 do nawet 29% rocznych emisji gazów cieplarnianych. Produktywność sektora rolnego zależy przede wszystkim od trzech głównych czynników: energii, wody i zasobów ziemi. Biorąc pod uwagę obawy związane ze zmianą klimatu i szkodliwym wpływem cen paliw kopalnych na koszty produkcji, zwiększenie wykorzystania paliw kopalnych w rolnictwie nie będzie ani opłacalne, ani zrównoważone. Może to stanowić zachętę do rozwoju odnawialnych źródeł energii, które mogą uzupełnić, a w dalszej perspektywie zastąpić paliwa kopalne. Poszukiwanie alternatywnych źródeł energii jest związane także z koniecznością poprawy efektywności energetycznej w rolnictwie.

Społeczeństwo, gospodarka i środowisko to najważniejsze wymiary zrównoważonego rolnictwa. Aby być zrównoważonym, sektor rolnictwa powinien zaspokajać potrzeby żywieniowe obecnych i przyszłych pokoleń, zapewniając

jednocześnie rentowność, zrównoważenie środowiskowe i sprawiedliwość społeczno-ekonomiczną (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2023). Niemniej jednak, zrównoważony rozwój w rolnictwie jest wyzwaniem, gdyż rosnące zapotrzebowanie na żywność musi być zaspokajane przez bardziej zrównoważoną działalność rolniczą (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017). Konieczna jest rewolucja związana ze wzrostem efektywności energetycznej oraz zmiana źródeł energii wykorzystywanych w rolnictwie (Rogelj i inni, 2016).

Rolnictwo ma szczególne znaczenie w kontekście zmian klimatu. Związek między rolnictwem a zmianami klimatycznymi jest dwustronny. Rolnictwo jest głównym emitentem gazów cieplarnianych. Z przeprowadzonych badań wynika, że gospodarstwa rolne odpowiadają za około 16–27% wszystkich emisji antropogenicznych (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019). Emisje w rolnictwie mają miejsce na każdym etapie produkcji, od przygotowania nasion do zbioru i przechowywania gotowych produktów (Lal, 2004). Rolnictwo jest również sektorem gospodarki najbardziej dotkniętym zachodzącymi procesami, który wymaga szeroko zakrojonych działań dostosowawczych (Leclère, Jayet i de Noblet-Ducoudré, 2013). Dla większości obszarów świata zmiany klimatyczne stanowią coraz większy problem w zapewnieniu odpowiedniego poziomu produkcji żywności dla stale rosnącej światowej populacji ze względu na spadające plony (Brisson i inni, 2010) i rosnące ceny żywności (Lobell, Schlenker i Justin, 2011; Intergovernmental Panel on Climate Change, 2015; Godfray i inni, 2010). Działania na rzecz ograniczenia emisji gazów cieplarnianych są jednym z czynników ryzyka dla rolnictwa. Wysoka emisyjność rolnictwa staje się przedmiotem dyskusji politycznej i społecznej. Wiąże się to z szerszym zagadnieniem, jakim jest osiągnięcie do 2050 roku neutralności klimatycznej przez unijną zerową emisję netto (Komisja Europejska, 2018).

W latach 1950-1984 miała miejsce „zielona rewolucja”, która zwiększyła plony ziarna o 250%. Wzrost ten wymagał jednak wielokrotnego, nawet 50-krotnego, wzrostu nakładów energii w rolnictwie (Pfeiffer, 2006). Można dokonać jedynie przybliżonych obliczeń, aby prześledzić wzrost bezpośredniego i pośredniego wykorzystania paliw kopalnych i energii elektrycznej we współczesnym rolnictwie. W XX wieku, kiedy światowa populacja wzrosła 3,7-krotnie, a zamieszkała powierzchnia wzrosła o około 40%, nakład energii wzrósł z 0,1 EJ do prawie 13 EJ. W rezultacie w 2000 roku na hektar użytków rolnych zużywano średnio około 90 razy więcej energii niż w 1900 roku (Smil,

2008). Powoduje to spadek efektywności wykorzystania energii w gospodarstwach rolnych (Martinho, 2016). Poziom energochłonności i efektywność jej wykorzystania były przedmiotem badań zarówno w krajach, jak i w takich działach produkcji rolnej, jak produkcja wołowiny (Veysset, Lherm, Bébin, Roulenc i Benoit, 2014), mleka (Sefeedpari, Rafiee, Akram i Pishgar-Komleh, 2014), soi (Ramedani, Rafiee i Heidari, 2011), czy pszenicy (Ilahi i inni, 2019; Khoshnevisan, Rafiee, Omid i Mousazadeh, 2013). Zagadnienia energochłonności w rolnictwie są bezpośrednio związane z emisją gazów cieplarnianych (Saldukaitė, Šarauskis, Lekavičienė i Savickas, 2020; Yan, Yin, Baležentis, Makutėnienė i Štreimikienė, 2017). Część przeprowadzonych badań wskazuje, że poprawa efektywności energetycznej rolnictwa oraz szersze wykorzystanie odnawialnych źródeł energii jest najlepszym sposobem na ograniczenie emisji gazów cieplarnianych (Li, Baležentis, Makutėnienė, Štreimikiene i Kriščiukaitienė, 2016; Dyer i Desjardins, 2003).

Realizacja ambitnej wizji Europy do 2050 roku jako kontynentu neutralnego dla klimatu, określonej w Europejskim Zielonym Ładzie, wymaga zintensyfikowania wysiłków na rzecz ograniczenia emisji gazów cieplarnianych we wszystkich sektorach. Takie działania muszą być również podjęte w rolnictwie, które odpowiada za ok. 10-14% ich emisji. Z symulacji wykonanych przez Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami, 2020) wynika, że w Polsce, przy dalszym stosowaniu obecnych technologii produkcji, osiągnięcie ambitnych celów redukcji emisji z sektora rolnictwa będzie bardzo trudne. Próby realizacji ambitniejszych celów redukcyjnych mogą prowadzić nie tylko do spadku dochodów gospodarstw rolnych, ale także do relatywnie dużego obniżenia poziomu produkcji, co może skutkować wzrostem cen żywności.

Emisje wynikające ze zużycia energii w rolnictwie stanowią zaledwie około jednej piątej całości ekwiwalentu CO₂ generowanego z produkcji roślinnej i zwierzęcej (Tubiello i inni, 2021). Są one jednak ważną częścią emisji związanych z CO₂. Innym procesem emitującym CO₂ w gospodarstwie jest osuszanie gleb organicznych. Mają one zatem ogromne znaczenie dla ograniczania emisji gazów cieplarnianych w rolnictwie.

Wytwarzanie energii elektrycznej oraz gaz i olej napędowy wykorzystywane w rolnictwie były najważniejszymi źródłami emisji, odpowiedzialnymi za średnio około 40% całości w latach 1990–2019 (Flammini i inni, 2022). Energia elektryczna jest wykorzystywana do różnych celów rolniczych: nawadniania, procesów wymagających

ciepła lub mocy mechanicznej, takich jak suszenie lub mielenie. Gaz ziemny i ciężki olej opałowy są zwykle wykorzystywane do wytwarzania ciepła, a w niektórych rzadkich przypadkach do napędu. Poza pewnymi ostrymi wahaniami ich całkowitego zużycia w rolnictwie, głównie na początku lat 90., ich emisje pozostały względnie stabilne. W porównaniu z innymi emisjami, emisje z węgla i oleju opałowego zmniejszyły się w ciągu ostatnich kilku latach, podczas gdy produkcja rolna nadal rosła. Można to wytłumaczyć zaktualizowaną strukturą zużycia energii – zwiększonym wykorzystaniem czystszych nośników energii, takich jak energia elektryczna i LPG zamiast oleju opałowego i węgla do ogrzewania. W przeciwieństwie do innych regionów emisje w Europie znacznie spadły, częściowo dlatego, że produkcja pierwotna zużywała mniej energii w wartościach bezwzględnych. Ponadto, Europa stopniowo odchodzi od nośników energii o wysokiej emisji gazów cieplarnianych, takich jak węgiel i olej opałowy, na rzecz czystszych, takich jak gaz ziemny i energia elektryczna (Flammini i inni, 2022).

W zależności od procesu produkcyjnego w rolnictwie nakłady energii są zróżnicowane. Energia w uprawie warzyw i owoców występuje m.in. pod postacią stosowanych nasion, nawozów syntetycznych, pestycydów, jak również paliw wykorzystywanych do napędzania maszyn. To również zużycie energii niezbędne do irygacji, suszenia czy transportu. W przypadku hodowli zwierząt energia przejawia się w zużyciu pasz, paliw do maszyn i urządzeń, czy też zużycia wynikającego z eksploatacji budynków.

Zużycie energii jest jednym z kluczowych wskaźników rozwoju bardziej zrównoważonych praktyk rolniczych. Szersze wykorzystanie odnawialnych źródeł energii, zwiększenie podaży energii i efektywności jej wykorzystania może przyczynić się do realizacji celów zrównoważonego rozwoju energetycznego (Streimikiene, Klevas i Bubeliene, 2007). Bezpośrednio w gospodarstwach rolnych wykorzystuje się szeroką gamę zarówno nowoczesnych, jak i tradycyjnych form energii, m.in. paliwo do traktorów lub maszyn, energię wykorzystywaną do pompowania wody, nawadniania i suszenia upraw, a także pośrednio do produkcji nawozów i pestycydów. Inne nakłady energii są wymagane już po zbiorach do przetwarzania w produkcji żywności, pakowaniu, przechowywaniu, transporcie i gotowaniu (Organizacja Narodów Zjednoczonych do spraw Wyżywienia i Rolnictwa, 2000).

Smil (2008) i FAO (2011) oszacowali globalne bezpośrednie i pośrednie zużycie energii w rolnictwie na początku XXI wieku na podstawie dostępnej literatury i globalnych szacunków na 17 EJ, z czego 5 EJ przeznaczone jest do zasilania maszyn, 4 EJ do hodowli zwierząt, akwakultury i rybołówstwa, 2 EJ do produkcji i konserwacji maszyn rolniczych, 5 EJ do ekstrakcji, syntezy i dystrybucji nawozów, 0,5 EJ do produkcji pestycydów i herbicydów i 0,3 EJ do produkcji systemów nawadniających. Bezpośrednie zużycie energii w rolnictwie wyniosło nieco ponad połowę tej sumy, czyli około 9 EJ. Oprócz tych ilości zużycie energii w rolnictwie obejmuje energię elektryczną z sieci, źródła odnawialne, w tym bioenergię, technologie konwencjonalne, energię mechaniczną i ciepłą oraz biopaliwa.

Bezpośrednie zużycie energii w rolnictwie obejmuje wszystkie nośniki energii wykorzystywane bezpośrednio w procesie produkcji rolnej, w tym energię elektryczną, produkty rafinacji ropy naftowej (olej napędowy, gaz ziemny i inne), paliwa na bazie gazu ziemnego oraz zrębki drzewne. Energia elektryczna jest używana głównie w procesach transportowych i operacyjnych wykonywanych w gospodarstwie rolnym, wykorzystywana jest także do oświetlania czy przy użyciu sprzętu elektrycznego. Produkty rafinacji ropy naftowej to natomiast paliwa używane podczas prac polowych, w ciepłownictwie, jak również oleje i smary stosowane w maszynach rolniczych. Gaz ziemny używany jest jako paliwo do zasilania suszarni czy sprzętu do nawadniania. Ponadto, jest wykorzystywany do ogrzewania szklarni. Paliwa stałe, w tym te pochodzące z biomasy, używane są do ogrzewania budynków, jak również szklarni.

Pośrednie zużycie energii w rolnictwie obejmuje wszystkie nośniki energii wykorzystywane do wytwarzania środków produkcji, w tym nawozów, środków ochrony roślin, materiału siewnego, paszy, a także maszyn rolniczych i budynków gospodarskich. W produkcji roślinnej wykorzystywane są przede wszystkim pośrednie nośniki energii pod postacią nawozów oraz środków ochrony roślin. W przypadku produkcji zwierzęcej energia pośrednia występuje przede wszystkim pod postacią paszy dla zwierząt (agrEE Project Group, 2012).

Podczas gdy zużycie energii bezpośredniej w rolnictwie związane jest głównie z działaniami w gospodarstwie, energia pośrednia może obejmować procesy, które mają miejsce poza gospodarstwem. Większość badań dotyczących pośredniego wykorzystania energii w rolnictwie koncentruje się na nawozach i pestycydach, ponieważ produkcja tych dwóch substancji odpowiada za dużą część zużywanej energii pośredniej. Wraz ze

wzrostem liczby ludności rolnicy zużywając coraz większe ilości nawozów, aby zwiększyć produkcję rolną (Raser i Silecchia, 2020). Około 70-80% energii wykorzystywanej do produkcji nawozów pochodzi z gazu ziemnego, częściowo ze względu na dużą produkcję nawozów azotowych (Gellings i Parmenter, 2004). Pośrednie zużycie energii obejmuje również nakłady, takie jak pestycydy, herbicydy, fungicydy i insektycydy, które są także wykorzystywane przez rolników w celu zwiększenia plonów (Ziesemer, 2007). Pestycydy są także istotnym czynnikiem przyczyniającym się do wzrostu produkcji, jednak ich stosowanie zużywa mniej energii niż stosowanie nawozów (Hellerstein, Vilorio i Ribauda, 2019).

Nawozy i pestycydy są najczęściej stosowane w rolnictwie konwencjonalnym, w przeciwieństwie do rolnictwa ekologicznego, które opiera się na mniejszych nakładach. Wiele z tego, co uważa się za „nieefektywne” w rolnictwie konwencjonalnym, wynika z ilości energii zużywanej podczas produkcji nawozów i pestycydów, a także energii zużywanej podczas ich transportu i dystrybucji. Konwencjonalne rolnictwo jest bardziej uzależnione od energochłonnych nawozów, pestycydów i skoncentrowanej paszy, innego aspektu energii pośredniej, niż gospodarstwa ekologiczne (Ziesemer, 2007).

Kolejnym przykładem pośredniego zużycia energii w gospodarstwach rolnych mogą być pasze. Mogą być one produkowane poza gospodarstwem, jednak ustalenie, czy podlegają one pośredniemu lub bezpośredniemu zużyciu energii, może zależeć od tego, czy są one produkowane w gospodarstwie, jak zwykle w przypadku gospodarstw ekologicznych, czy też nie, jak zazwyczaj w przypadku gospodarstw konwencjonalnych. Produkcja pasz dla zwierząt gospodarskich jest zazwyczaj intensywna i wykorzystuje chemikalia i nawozy, co zwiększa nieefektywność zużycia energii. Energia, podobnie jak w przypadku nawozów i pestycydów, jest zużywana głównie w procesach produkcyjnych pasz.

Ze względu na dużą energochłonność wytwarzania środków produkcji rolnej, w szczególności mineralnych nawozów azotowych, pojawia się pytanie, czy produkcja rolnicza jest energooszczędna. Wzrasta zatem zainteresowanie badaniem efektywności wykorzystania energii w rolnictwie. Jednak jej nakłady w systemach rolniczych skutkują znaczną produkcją energii z produkcji roślinnej. W odpowiednich warunkach uprawy przekształcają tak dużo energii słonecznej w zmagazynowaną w biomasie roślinnej, że wkład energetyczny jest więcej niż zrównoważony. Ilość uzyskiwanej energii zależy przede wszystkim od plonu roślin, a więc zależy od warunków uprawy i rodzaju

uprawianych roślin, a także od poziomu aplikacji mineralnych nawozów azotowych (Kuesters i Lammel, 1999).

Istotnymi czynnikami, od których zależy wykorzystanie energii w rolnictwie są liczba ludności zajmującej się rolnictwem, wielkość gruntów ornych oraz stopień mechanizacji (Ozkan, Akcaoz i Fert, 2004). Dokonując analizy energetycznej można wskazać na metody minimalizacji nakładów energii, a tym samym zwiększenia produktywności energetycznej (Fluck i Direlle Baird, 1980). Produktywność energetyczna jest ważnym wskaźnikiem efektywnego wykorzystania energii, ale wyższa wydajność energetyczna nie oznacza ogólnie większych korzyści ekonomicznych (Avval, Rafiee, Jafari i Mohammadi, 2011).

Zagadnienie efektywności energetycznej jest powszechnie kojarzone z przemysłem, budownictwem, energetyką i transportem. Brakuje jednak aktualnych badań w zakresie efektywności energetycznej rolnictwa, w powiązaniu z wynikami ekonomicznymi gospodarstw rolnych. Podstawową miarą efektywności energetycznej w gospodarstwach rolnych są wyniki produkcyjne i ekonomiczne w stosunku do wielkości zużycia energii oraz jej kosztów, a więc produktywność energetyczna. Realizowane badania mają zatem uzupełnić aktualną wiedzę o produktywności nakładów energii w rolnictwie, zarówno w ujęciu ilościowym, jak i wartościowym.

2. ZNACZENIE ENERGII JAKO ZASOBU I CZYNNIKA PRODUKCJI W TEORII EKONOMII

2.1. Pojęcie i formy wykorzystania energii

Wszystkie procesy zachodzące w przyrodzie, zarówno ożywionej, jak i nieożywionej, można uznać za przemiany energii. Pojęcie energii występuje w wielu dziedzinach wiedzy – fizyce, chemii, biologii, astronomii, ochronie środowiska, medycynie, geologii, ekonomii. Energia definiowana jest jako skalarna wielkość fizyczna charakteryzująca stan układu fizycznego jako jego zdolność do wykonania pracy (Januszajtis, 1987). Energia jest miarą pracy, jaka zostaje dostarczona ciału lub przez nie wykonana (odprowadzona) (Stöcker, 2010). Tak definiowana energia oznacza zdolność do spowodowania, że coś się wydarzy. „Zdolność do wykonywania pracy” dotyczy jednak tylko energii mechanicznej, pomija natomiast pozostałe rodzaje energii, np. energię cieplną.

Energia jest właściwością lub cechą materii, która sprawia, że rzeczy się dzieją lub, w przypadku zmagazynowanej lub potencjalnej energii, ma „potencjał” do powodowania rzeczy. Przez powodowanie należy uznawać wprawianie rzeczy w ruch lub też zmianę stanu. Przykładami zmian stanu są zmiany kształtu, objętości i składu chemicznego. Zachodzą również zmiany ciśnienia, temperatury i gęstości. Zmiany fazowe, takie jak przejście ze stanu stałego w ciecz, z cieczy w parę lub z powrotem, są również dobrymi przykładami zmian stanu. Bez energii nic by się nie zmieniło, nic by się nie wydarzyło. Można powiedzieć, że energia jest ostatecznym czynnikiem zmiany, matką wszystkich czynników zmiany. Za każdym razem, gdy coś się dzieje lub zmienia, następuje zmiana energii. Albo energia zmienia formę, jak wtedy, gdy generator zamienia energię mechaniczną na energię elektryczną, albo energia zmienia lokalizację, jak gdy ciepło wpływające do garnka z wodą powoduje, że woda zamienia się w parę (Watson, 2023). Różnorodność przemian energii oraz jej występowanie w wielu dziedzinach uniemożliwia jednak stworzenie jednej, powszechnie obowiązującej definicji energii.

Richard Feynman (1970) w latach 60. XX wieku stwierdził, że „ważne jest, aby zdać sobie sprawę, że w dzisiejszej fizyce nie wiemy, czym jest energia”. Podobnie, Bergmann i Schaefer (1998) stwierdzili, że „nikt nie wie, czym naprawdę jest energia”. Energię zwykle przedstawia się w następujący sposób: „energii nie można ani stworzyć, ani zniszczyć, a jedynie przekształcić”. Jeśli energii nie można zniszczyć, musi być realnie istniejącą rzeczą. Jeśli zmienia się jego forma, musi to być również coś

rzeczywistego. Tak więc stwierdzenie to może łatwo prowadzić do koncepcji energii jako czegoś materialnego (Coelho, 2009). Jednak, jak przedstawił to David Rose (Smil, 2000), energia jest „abstrakcyjną koncepcją wymyśloną przez fizyków w XIX wieku w celu ilościowego opisanego szerokiej gamy zjawisk naturalnych”. Cytując za Fairesem i Simmangiem (1978) „energia jest nieodłączna w każdej materii. Energia to coś, co pojawia się w wielu różnych formach, które są ze sobą powiązane przez fakt, że można dokonać konwersji z jednej formy energii na drugą. Chociaż nie można podać prostej definicji ogólnego terminu energia, z wyjątkiem tego, że jest to zdolność do wywoływania efektu, różne formy, w których się pojawia, można precyzyjnie zdefiniować”. Podobne podejście przedstawili Abbott i Van Ness (1983). Ich zdaniem energia jest „matematyczną abstrakcją, która nie istnieje poza jej funkcjonalnym związkiem z innymi zmiennymi lub współzrędnymi, które mają fizyczną interpretację i które można zmierzyć”.

Choć trudno jest zdefiniować energię, łatwo jest wyjaśnić poszczególne przejawy energii. Istnieje wiele form energii, ale wszystkie dzielą się na dwie podstawowe kategorie: energię potencjalną oraz energię kinetyczną.

Energia kinetyczna obiektu to energia, którą posiada dzięki swojemu ruchowi (Jain, 2009). Definiuje się ją jako pracę potrzebną do przyspieszenia ciała o danej masie od spoczynku do jego określonej prędkości. Otrzymawszy energię podczas przyspieszania, ciało utrzymuje energię kinetyczną, dopóki nie zmieni się jego prędkość. Tyle samo pracy wykonuje ciało podczas zwalniania z aktualnej prędkości do stanu spoczynku. Energia kinetyczna to energia ruchu obiektu. Energia kinetyczna może być przenoszona między obiektami i przekształcana w inne rodzaje energii (Goel, 2007).

Energia potencjalna to energia, jaką ma ciało lub układ ciał w zależności od położenia ciała (układu ciał) w przestrzeni. Pojęcie energii potencjalnej można wprowadzić jedynie wtedy, gdy ciało (układ ciał) oddziałuje z niezależnym od czasu polem sił potencjalnych (Królikowski i Rubinowicz, 2012). Energia potencjalna występuje w różnego typu oddziaływaniach: grawitacyjnych, elektrycznych, sprężystych. Zgromadzoną w ciałach energię potencjalną wykorzystuje się w rozmaity sposób. Typowe rodzaje energii potencjalnej to grawitacyjna energia potencjalna, elastyczna energia potencjalna i elektryczna energia potencjalna.

Całkowitą energię systemu można zaklasyfikować do energii potencjalnej, energii kinetycznej lub do kombinacji tych dwóch na różne sposoby (tabela 1). Chociaż te dwie

kategorie są wystarczające do opisania wszystkich form energii, często wygodnie jest odnosić się do poszczególnych kombinacji energii potencjalnej i kinetycznej jako oddzielnej formy.

Tabela 1. Formy energii

Forma	Opis
Energia mechaniczna	Suma energii kinetycznej i potencjalnej. Jest postacią energii związaną z ruchem i położeniem obiektu fizycznego (układ punktów materialnych, ośrodka ciągłego itp.) względem pewnego układu odniesienia (Królikowski i Rubinowicz, 2012).
Energia elektryczna	Energia potencjalna spowodowana polami elektrycznymi lub zmagazynowana w polach elektrycznych. Energia układu ładunków elektrycznych nieruchomych (energia elektrostatyczna) lub ładunków poruszających się (energia elektrodynamiczna). Energia elektryczna może być zamieniana w energię promieniowania elektromagnetycznego (żarówki, diody luminescencyjne, urządzenia grzewcze) lub w energię mechaniczną (silniki elektryczne, głośniki). W praktyce przez energię elektryczną rozumie się zwykle energię prądu elektrycznego (Wydawnictwo Naukowe PWN, 1997; Griffiths, 2006; Halliday, Resnick i Walker, 2015; Sawieliew, 2013).
Energia magnetyczna	Energia potencjalna spowodowana polami magnetycznymi lub zmagazynowana w polach magnetycznych. Wartość chwilowej energii magnetostatycznej zgromadzonej w materiale magnetycznym. Energia magnetyczna jest iloczynem lokalnej indukcji magnetycznej B i natężenia pola magnetycznego H (Soiński, 2001).
Energia potencjalna grawitacji	Energia potencjalna spowodowana polami grawitacyjnymi lub zmagazynowana w polach grawitacyjnych. Energia potencjalna, jaką masywny obiekt ma w stosunku do innego masywnego obiektu z powodu grawitacji. Energia grawitacyjna to energia zgromadzona na wysokości obiektu. Im wyższy i cięższy obiekt, tym więcej energii grawitacyjnej jest magazynowane (U.S. Energy Information Administration, 2023).
Energia chemiczna	Energia potencjalna zmagazynowana w wiązaniach związków chemicznych. Energia chemiczna może zostać uwolniona podczas reakcji chemicznej, często w postaci ciepła; takie reakcje nazywane są egzotermicznymi. Reakcje, które wymagają doprowadzenia ciepła, mogą przechowywać część tej energii jako energię chemiczną w nowo utworzonych wiązaniach (Britannica, 2023).
Energia jonizacji	Energia potencjalna wiążąca elektron z jego atomem lub cząsteczką. Minimalna energia, którą należy dostarczyć, aby oderwać elektron

	od atomu danego pierwiastka lub cząsteczki (LibreTexts Chemistry, 2023).
Energia jądrowa	Energia potencjalna, która wiąże nukleony, tworząc jądro atomowe (i reakcje jądrowe). Minimalna energia wymagana do rozłożenia jądra atomu na składowe protony i neutrony, zwane łącznie nukleonami.
Energia sprężystości	Energia potencjalna spowodowana odkształceniem materiału wykazującą siłę przywracającą podczas powrotu do swojego pierwotnego kształtu. Mechaniczna energia potencjalna zmagazynowana w konfiguracji materiału lub układu fizycznego, który jest poddawany sprężystemu odkształceniu w wyniku wykonywanej na nim pracy. Energia sprężystości występuje, gdy przedmioty są nietrwale ściskane, rozciągane lub w jakikolwiek sposób odkształcane (Landau i Lifshitz, 1986).
Energia promieniowania	Energia potencjalna zmagazynowana w polach fal rozchodzących się przez promieniowanie elektromagnetyczne. Energia elektromagnetyczna, która rozchodzi się w falach poprzecznych. Obejmuje światło widzialne, promienie rentgenowskie, promienie gamma i fale radiowe (Barker, 2015).
Energia cieplna	Energia kinetyczna mikroskopijnego ruchu cząstek, rodzaj nieuporządkowanego odpowiednika energii mechanicznej. Energia przekazywana do lub z układu termodynamicznego za pomocą mechanizmów innych niż praca termodynamiczna lub transfer materii. Jeden z dwóch, obok pracy, sposobów przekazywania energii wewnętrznej układowi termodynamicznemu (Halliday, Resnick i Walker, 2015).

Źródło: opracowanie własne

Słowo energia pochodzi od greckiego ἐνέργεια (energeia), które pojawia się po raz pierwszy w dziełach Arystotelesa z IV wieku p.n.e. (m.in. Fizyka, Metafizyka, Etyka Nikomachejska i De Anima). Energeia to słowo oparte na ἔργον (ergon), co oznacza „pracę” (Bradshaw, 2004). W przeciwieństwie do współczesnej definicji, energeia była jakościowym pojęciem filozoficznym, wystarczająco szerokim, by objąć takie pojęcia jak szczęście i przyjemność. Przyjemność to energeia ludzkiego ciała i umysłu, podczas gdy szczęście to po prostu energeia człowieka z bycia człowiekiem (Arystoteles, 2007).

Część historyków nauki uznaje, że koncepcja energii wyewoluowała od koncepcji archaicznego ognia. Koncepcję ognia, jako jednego z czterech podstawowych elementów natury, rozwinął Arystoteles. Elementy natury, na których bazował Arystoteles, zostały opisane po raz pierwszy przez Empedoklesa (Tatarkiewicz, 1981). Wyróżnia się wśród nich, oprócz ognia, także ziemię, wodę i powietrze. Tak rozumiana koncepcja nie była

rozwijana przez kolejne dwa tysiące lat. Średniowieczni naukowcy nie dbali o wyjaśnienie tego pojęcia. Dopiero pod koniec XVII wieku podjęto próby usystematyzowania pojęcia „energia”.

Nowoczesna koncepcja energii wykształtowała się z idei *vis viva* (z łaciny siła żywa). *Vis viva* jest historycznym terminem, użytym po raz pierwszy do opisu tego, co obecnie nazywamy energią kinetyczną. Idea ta została zaproponowana przez Gottfrieda Leibniza w latach 1676–1689. Zdefiniował on *vis viva* jako iloczyn masy obiektu i jego prędkości do kwadratu (Smith G. E., 2006). Formuła ta (mv^2), zapożyczona od Christiaana Huygensa, miała wyrażać zależności, jakie występują podczas zderzeń ciał stałych. Była ona krytyką formuły matematycznej, zaproponowanej przez Kartezjusza, używanej do określania ilości ruchu (mv). Oba podejścia, zarówno zasada zachowania *vis viva* Leibniza, jak i teoria zachowania ilości ruchu Kartezjusza, znacząco wpłynęły na rozwój badań związanych z pojęciem energii.

Kolejnym kamieniem milowym związanym z definiowaniem energii było sformułowanie przez Émilie du Châtelet empirycznego prawa fizyki, zwanego zasadą zachowania energii. Zgodnie z nią, w układzie izolowanym suma wszystkich rodzajów energii układu jest stała w czasie (Feynman, 1970). Émilie du Châtelet w swojej książce zatytułowanej *Institutions de Physique*, opublikowanej w 1740 roku, połączyła ideę *vis viva* Leibniza z obserwacjami wykonanymi przez Willema Jacoba Gravesande’a. Gravesande podczas swoich eksperymentów upuszczał z różnymi prędkościami mosiężne kule na miękkie podłoże. Swoimi wynikami (kula o 2-krotnie większej prędkości spowoduje powstanie wgłębienia cztery razy głębszego, 3-krotnie większej prędkości – 9-krotnie większego itd.) podzielił się z Émilie du Châtelet, która poprawiła wzór Newtona opisujący energię kinetyczną z $E=mv$ na $E=mv^2$.

Jako pierwszy terminu „energia” we współczesnym znaczeniu, zamiast koncepcji *vis viva*, użył Thomas Young w 1802 roku w wykładach dla Royal Society (Smith C., 1998). Stwierdził on, że „iloczyn masy ciała do kwadratu jego prędkości można właściwie nazwać jego energią” (Young, 1807). Kolejne lata rozważań nad pojęciem energii doprowadziły do opublikowania w 1829 roku przez Gasparda-Gustave’a Coriolisa pracy zatytułowanej *Du Calcul de l'Effet des Machines*, w której przedstawił matematyczny sposób obliczania energii kinetycznej. Była to pierwsza forma zdefiniowania pojęcia „energia kinetyczna”. W 1853 roku William Rankine wprowadził termin „energia potencjalna” (Rankine, 1853), nawiązujący do koncepcji potencjalności,

przedstawionej przez Arystotelesa. Ponadto, by uzupełnić pojęcie „energii potencjalnej”, zaproponował termin „energia rzeczywista”, będący odpowiednikiem „energii kinetycznej” (Rankine, 1867).

Thomas Young, oprócz użycia po raz pierwszy terminu „energia” we współczesnym ujęciu, wyjaśnił również naturę ciepła. Ciepło było do tej pory określane jako substancja podobna do cieczy. Takie ujęcie ciepła oraz prowadzona przez Séguina, Coldinga, a zwłaszcza Joule'a w latach 1839-1849 analiza wzajemnych przekształceń ciepła i pracy, wyjaśniły związek między ciepłem a pracą jako dwiema jakościowo różnymi, ale ilościowo równoważnymi formami energii. Podobne wnioski przedstawił Julius Robert von Mayer, który napisał, że „ruch, ciepło i jak mamy zamiar wykazać później, elektryczność, to zjawiska, które możemy przypisać jednej sile i które mogą się zmieniać w siebie nawzajem zgodnie z określonymi prawami. Ruch zmienia się w ciepło [...] wytwarzane proporcjonalnie do ruchu, który zanika” (von Mayer, 1862). Zgodnie z teorią zaproponowaną przez Mayera, energia posiada trzy zasadnicze cechy ilościowe: jest niezniszczalna, przemienialna i nieważka. Istotną cechą energii jest również jej jakość, na co wskazywali Rankine (1852), Thompson (1854) oraz Clausius (1854). Rozważania Joule'a, Séguina, Mayera, Coldinga, uzupełnione wcześniej poczynionymi założeniami, dokonanymi przez Émilie du Châtelet, przyczyniły się do rozwinięcia zasady zachowania energii. W 1847 roku Hermann von Helmholtz uogólnił to empiryczne prawo w uniwersalne prawo natury, zwane pierwszą zasadą termodynamiki, zaś jego pierwsze pełne zapisy wykonali w 1850 roku Rudolf Clausius oraz William Rankine. Zgodnie z pierwszą zasadą termodynamiki, całkowita energia układu izolowanego jest stała. Energia nie może być stworzona (czyli powstać z niczego), nie może być również zniszczona (czyli zniknąć bez śladu). Energia może być natomiast przekształcana z jednej formy w drugą. W drugiej zasadzie termodynamiki zostało przedstawione pojęcie entropii (Reif, 1973), będące termodynamiczną funkcją stanu, określającą kierunek przebiegu procesów spontanicznych (samorzutnych) w odosobnionym układzie termodynamicznym. Entropia jest miarą stopnia nieuporządkowania układu i rozproszenia energii (Heller i Pabjan, 2014). Pierwsza rygorystyczna definicja drugiego prawa termodynamiki, oparta na pojęciu entropii, została stworzona przez Rudolfa Clausiusa w latach 50. XIX wieku. Podstawą do jej utworzenia było również stwierdzenie Clausiusa, zgodnie z którym nie jest możliwy proces, którego jedynym skutkiem byłoby przeniesienie energii na sposób ciepła z ciała chłodniejszego do cieplejszego. Podobne

stwierdzenia zaprezentowali również lord William Thomson Kelvin (nie jest możliwy proces, którego jedynym skutkiem byłoby pobieranie ciepła ze zbiornika i całkowita zamiana tego ciepła w pracę) oraz Sadi Carnot (wszystkie odwracalne maszyny cieplne pracujące między dwiema temperaturami mają tę samą sprawność, która jest wyższa od sprawności każdej nieodwracalnej maszyny cieplnej pracującej między tymi temperaturami).

Każda cywilizacja ziemską jest uzależniona od promieniowania słonecznego. Promieniowanie energetyzuje żywą biosferę i przyczynia się do tworzenia żywności, pasz dla zwierząt oraz drewna. Społeczeństwa przedindustrialne korzystały z promieniowania zarówno bezpośrednio (nasłonecznienie), jak i pośrednio (uprawa roślin, pozyskiwanie fitomasy, przekształcanie przepływów wiatru i wody w energię mechaniczną). Paliwa kopalne również pochodzą z przemian promieniowania słonecznego (Smil, 2008). Wykorzystanie przez społeczeństwa paliw kopalnych doprowadziło do ulepszeń, które stworzyły podstawy dla współczesnego świata. Pierwszym z tych ulepszeń było wynalezienie, rozwój, a następnie użycie na masową skalę nowych sposobów wykorzystania paliw kopalnych. Te nowe sposoby dotyczyły m.in. wynalezienia silnika parowego czy silnika spalinowego, czy też stworzenia nowych procesów przekształcania paliw kopalnych (np. rafinacja ropy naftowej w celu produkcji materiałów nie paliwowych). Drugim ulepszeniem było wykorzystanie paliw kopalnych do produkcji energii elektrycznej. Do wytwarzania energii elektrycznej wykorzystane może być każde paliwo stałe, płynne lub gazowe, które jest spalane, zaś powstająca w tym procesie para wodna pozwala na obracanie generatorów. Ulepszenia te przyczyniły się do powstania długoterminowego trendu – stałego wzrostu mocy wytwarzania energii elektrycznej oraz zwiększenia udziału paliw kopalnych w jej tworzeniu.

Paliwa kopalne były wykorzystywane, lecz w niewielkich ilościach, jeszcze przed gwałtownym rozwojem społeczeństw. Przykładami mogą być Chiny ok. 200 roku p.n.e. (Needham, 1954) oraz Belgia w 1113 roku, czy Anglia, Walia i Szkocja w czasach Imperium Rzymskiego oraz średniowieczu (Nef, 1932). W krajach tych na niewielką skalę wydobywano węgiel, który z czasem stał się dominującym paliwem kopalnym, szczególnie w krajach europejskich. Wyjątkiem była Holandia, wykorzystująca w celach energetycznych na szeroką skalę torf. Transformacje energetyczne w Stanach Zjednoczonych oraz Kanadzie również rozpoczęły się od węgla (Smil, 2010). Z kolei Rosja była pionierem wydobywania ropy naftowej na dużą skalę, zaś później korzystała

z posiadanych ogromnych zasobów gazu ziemnego. Węgiel, ropa naftowa i gaz ziemny mają szeroki zakres właściwości i zastosowań, przez co większość krajów europejskich już w XIX wieku zmniejszyła swoją zależność od paliw z biomasy.

Początki wykorzystania węgla sięgają starożytności, kiedy to Chińczycy z dynastii Han wykorzystywali je do produkcji żelaza. Pierwszym europejskim krajem, który dokonał przejścia z paliw roślinnych na węgiel była, w XVI i XVII wieku, Anglia. Było to wynikiem niedoborów drewna opałowego i węgla drzewnego, co przyczyniło się do wzrostu wydobywania węgla. Już w 1650 roku roczna produkcja węgla w Anglii przekroczyła 2 mln ton, zaś na końcu XVIII wieku było to 10 mln ton. Poza Anglią rozwój wydobywania węgla był w XVIII wieku raczej powolny. Obszarami z większym wydobywaniem były północna Francja, zagłębia Liege i Ruhry, a także część Czech i Śląska. W Ameryce Północnej wzrost zainteresowania wydobywaniem węgla miał miejsce dopiero na początku XIX wieku. Warde (2007), po wzięciu pod uwagę historycznych statystyk dotyczących produkcji węgla oraz dostępnych szacunków dotyczących zużycia drewna opałowego, stwierdził, że węgiel stał się głównym źródłem ciepła w Anglii około 1620 roku. W 1650 roku udział ten wynosił 65%, zaś do 1950 roku wzrósł do 91%, natomiast w 1960 roku utrzymywał się na poziomie 77%. Węgiel, jako główne źródło energii w Anglii, dominował przez ponad 250 lat. We Francji węgiel stał się dominującym paliwem w 1875 roku, w Stanach Zjednoczonych w 1884 roku, natomiast w Japonii w 1901 roku. W przypadku Rosji szacunki pozwalają stwierdzić, że stało się to na początku lat 30. XX wieku (Smil, 2010). Chiny były ostatnią światową gospodarką, która dokonała transformacji – stało się to dopiero w 1965 roku.

Wydobycie i wykorzystanie ropy naftowej na szeroką skalę dotyczyło, w odróżnieniu od węgla, zaledwie kilku dekad pod koniec XIX wieku. Oczywiście, ropa naftowa oraz gaz ziemny były znane już w starożytności (podobnie jak w przypadku węgla, prekursorami wykorzystania tego typu paliw byli Chińczycy z dynastii Han w 200 roku p.n.e.), lecz ich wykorzystanie ograniczało się prawie wyłącznie do materiałów budowlanych lub powłok ochronnych. Na wzrost zainteresowania ropą oraz gazem trzeba było czekać blisko dwa tysiące lat. W 1846 roku w Baku wywiercono pierwszy odwiert w celu poszukiwania ropy. Przez kolejne dwa lata na Półwyspie Absheron powstały pierwsze nowoczesne szyby naftowe (San Joaquin Valley Geology, 2023). W 1854 roku polski pionier przemysłu naftowego, Ignacy Łukasiewicz, zbudował jeden z pierwszych na świecie nowoczesnych szybów naftowych, zaś w 1856 roku

założył jedną z pierwszych na świecie rafinerii ropy naftowej (Frank, 2005). Przemysł naftowy w XIX wieku rozwijał się przede wszystkim w trzech krajach – Stanach Zjednoczonych, Rosji oraz Kanadzie. Do 1890 roku w Rosji wydobywano więcej energii w postaci ropy niż w postaci węgla, zaś w 1899 roku kraj ten stał się największym producentem ropy naftowej (stan ten trwał do odkrycia złóż w Teksasie). Odkrycia nowych złóż ropy naftowej przyczyniły się do tego, że na początku XX wieku na rynku zaczęli pojawiać się nowi producenci ropy: Rumunia, Indonezja, Birma, Meksyk, Iran, Trynidad, czy Wenezuela.

Przejęcie z paliw pochodzących z biomasy do paliw kopalnych oraz wykorzystanie napędów mechanicznych zamiast napędów zwierzęcych i ludzkich przyczyniło się do wielu epokowych zmian społecznych. Na początku XIX wieku mieszkańcy miast żyli w świecie, którego fundamenty energetyczne niewiele różniły się od tych, które miały miejsce w 1700 roku. W 1800 roku na świecie zużyto około 20 EJ energii, z czego aż 98% stanowiła energia pochodząca z biomasy (drewna i węgla drzewnego). Całkowite dostawy energii w 1900 roku wzrosły ponad 2-krotnie (do około 43 EJ), z czego ponad 50% pochodziło z paliw kopalnych. Pomimo szybko zachodzących zmian i tego, że w 1900 roku Stany Zjednoczone i Francja były już w przeważającej mierze społeczeństwami opartymi na paliwach kopalnych, świat jako całość nadal czerpał połowę swojej pierwotnej energii z drewna czy też węgla drzewnego. Początek XX wieku to dalszy szybki rozwój energetyki, poprzez wzrost wydajności, produktywności, niezawodności i bezpieczeństwa energii oraz jej wpływu na środowisko. Postęp ten został przerwany przez I wojnę światową, a następnie przez kryzys gospodarczy (lata 30. XX wieku). Podczas II wojny światowej doszło do przyspieszania prac nad energią jądrową oraz powstania napędu raketowego. Po zakończeniu II wojny światowej nastąpił ponowny wzrost we wszystkich gałęziach przemysłu energetycznego, który osiągnął szczyt w latach 70. XX wieku. Dalszy rozwój energetyczny został zastopowany m.in. przez podwyżki cen ropy (w latach 1973-1974 oraz 1979-1980), co wpłynęło na zużycie energii. Względna stabilność na rynkach energii oraz status Stanów Zjednoczonych, jako największej gospodarki świata, zostały zaburzone przez Chiny. Po przejściu wielu reform w kraju tym, w latach 1980-2010, zużycie energii wzrosło 4-krotnie, zaś Chiny stały się największym konsumentem energii na świecie. Wydobycie i korzystanie z paliw kopalnych po 1900 roku charakteryzowały trzy istotne trendy:

- gwałtowny wzrost wydobycia węgla, ropy naftowej oraz gazu ziemnego,

- liczne postępy techniczne,
- zmiany związane z wykorzystaniem paliw wyższej jakości (przejsie z węgla na ropę naftową i gaz ziemny).

Dwoma uniwersalnymi trendami dotyczącymi wydobycia węgla były rosnąca mechanizacja wydobycia podziemnego oraz rosnący udział górnictwa odkrywkowego. Ponieważ węgiel generuje jednak więcej CO₂ na jednostkę uwolnionej energii niż jakiegokolwiek inne paliwo kopalne (ponad 30 kg C/GJ dla węgla, około 20 kg C/GJ dla ropy naftowej, poniżej 15 kg C/GJ dla gazu ziemnego), jego przyszłość w świecie zaniepokojonym szybkim globalnym ociepleniem jest niepewna. Wysoka zależność od węgla w produkcji energii elektrycznej w Chinach, Indiach i co najmniej kilkunastu innych krajach uniemożliwia szybkie porzucenie tego paliwa, ale w dłuższej perspektywie węgiel może być pierwszym ważnym surowcem energetycznym, którego wydobycie, mimo wciąż bardzo obfitych zasobów, będzie ograniczone ze względu na ochronę środowiska.

Na początku XX wieku jedynie 3% produkcji energii z paliw kopalnych pochodziło z ropy naftowej. Jednak po II wojnie światowej znaczenie ropy w produkcji energii rosło – w 1950 roku udział wynosił już 21%, zaś w 1972 roku – 46%. Błędnie jednak uznaje się wiek XX za wiek zdominowany przez ropę naftową – to węgiel był nadal głównym paliwem kopalnym. Podobnie było w wieku XIX, uważanym za wiek węgla, kiedy to najważniejszym paliwem było drewno. Rozwój przemysłu przyczynił się do transformacji gospodarek opartych na węglu do gospodarek opartych na ropie naftowej. Było to wynikiem tworzenia i wzrostu nowych sektorów, w których użycie ropy naftowej było konieczne, zaś węgiel nie mógł być substytutem. Tego typu sektorem była np. produkcja samochodów, zapoczątkowana na dużą skalę przez Henry’ego Forda. Do zmiany przyczyniły się również właściwości ropy naftowej, pozwalające na jej łatwiejszy transport od producentów do użytkowników końcowych, co również wpłynęło na cenę tego surowca.

Gaz ziemny, jako surowiec energetyczny, przez dziesięciolecia w niewielkim stopniu był odpowiedzialny za światową podaż energii. Do 1950 roku jego udział w produkcji energii wynosił jedynie 10%. Wcześniej wspomnianie trzy główne trendy korzystania z paliw kopalnych przyczyniły się jednak do wzrostu zainteresowania tym surowcem – jego globalny udział w 2000 roku wyniósł już 25%. Tak nagły wzrost spowodowany był przede wszystkim wykorzystaniem tego surowca do syntezy

amoniaku, będącego najważniejszym nawozem azotowym. Przyczyniło się do tego także wykorzystaniu gazu ziemnego przy produkcji tworzyw sztucznych, których rynek zaczął rozwijać się gwałtownie pod koniec XX wieku. Wzrost zainteresowania gazem ziemnym był również odpowiedzią na rosnący poziom zanieczyszczenia atmosfery i koniecznością odejścia od pozostałych paliw kopalnych jako surowców wykorzystywanych do produkcji energii elektrycznej czy też do ogrzewania mieszkań.

Opisana transformacja przyniosła ogromny postęp w wydajności rolnictwa i plonach. Paliwa kopalne i energia elektryczna stały się nieodzownym elementem nowoczesnego rolnictwa. Wykorzystywane są bezpośrednio do zasilania maszyn i pośrednio do ich budowy, ekstrakcji nawozów mineralnych, syntezy związków azotowych i wciąż rosnącej różnorodności agrochemikaliów ochronnych (pestycydów, fungicydów, herbicydów), do rozwoju nowych odmian roślin uprawnych. Wykorzystanie paliw kopalnych i energii elektrycznej przyniosły wyższe i bardziej niezawodne plony. Ponadto, praca ludzkich mięśni oraz zwierząt pociągowych została wyparta przez silniki elektryczne i spalinowe, wykorzystujące energię pochodzącą z paliw kopalnych. Transformacja doprowadziła również do gwałtownego uprzemysłowienia i urbanizacji, do rozwoju transportu, a także do imponującego wzrostu możliwości informacyjnych i komunikacyjnych. Połączenie tych wydarzeń umożliwiły utrzymywanie się długich okresów wysokiego tempa wzrostu gospodarczego, które stworzyły wiele realnego dobrobytu, podniosły średnią jakość życia większości światowej populacji i ostatecznie stworzyły nowe, wysokoenergetyczne gospodarki usługowe.

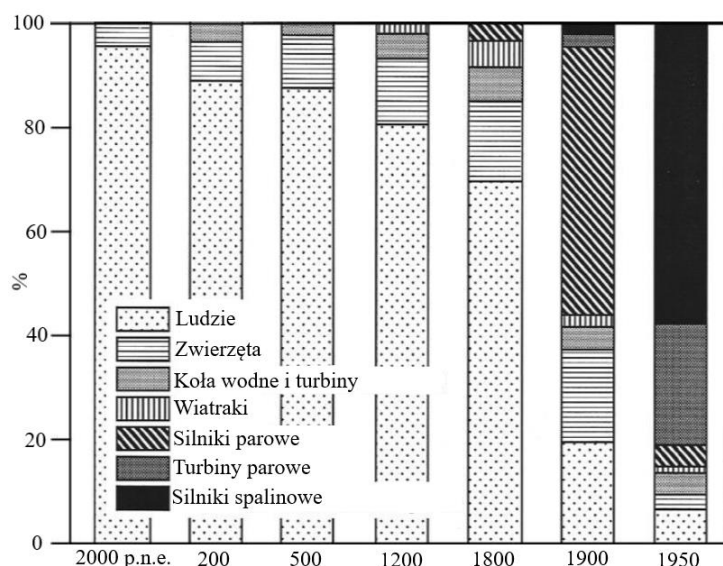
Wykorzystanie energii pochodzącej z paliw kopalnych niesie ze sobą jednak wiele niepokojących konsekwencji i prowadzi do zmian, które mogą zagrozić współczesnej cywilizacji. Skumulowane skutki tych zmian wykroczyły już daleko poza problemy lokalne i regionalne i doprowadziły do globalnych przemian, przede wszystkim wielu niepożądanych konsekwencji stosunkowo szybkiego globalnego ocieplenia. Dostarczanie i wykorzystywanie paliw kopalnych i energii elektrycznej są największymi przyczynami antropogenicznego zanieczyszczenia atmosfery i emisji gazów cieplarnianych, jak również zanieczyszczenia wody i zmian w użytkowaniu gruntów. Spalanie paliw kopalnych powoduje wzrost emisji dwutlenku węgla (CO_2), podczas gdy metan (CH_4), jest uwalniany podczas produkcji i transportu gazu ziemnego. Zanieczyszczenie wód wynika głównie z przypadkowych wycieków ropy naftowej (z rurociągów, wagonów kolejowych, barek i tankowców, rafinerii) oraz odwadniania

kopalń. Zmiany w użytkowaniu gruntów są spowodowane odkrywkowym wydobyciem węgla, czy też budową obiektów do magazynowania, rafinacji i dystrybucji paliw płynnych.

Postęp cywilizacji może być postrzegany jako dążenie do większego zużycia energii wymaganej do zwiększenia zbiorów żywności, produkcji większej ilości i bardziej zróżnicowanych towarów, umożliwienia większej mobilności i stworzenia dostępu do praktycznie nieograniczonej ilości informacji. Wymienione osiągnięcia człowieka mają szczególny związek ze pojawiającymi się epokami i przemianami energetycznymi. Określenie epok energetycznych możliwe jest, gdy zauważone zostaną wzorce, związane z wydobyciem, przemianami i dystrybucją energii, powielane na całym świecie. Obecnie, surowce energetyczne są w zbliżony sposób zarządzane, wydobywane i przekształcane na całym świecie, z wykorzystaniem podobnych urządzeń, maszyn i procesów. Jednak, pomimo tych identyczności, nadal istnieją ogromne różnice pomiędzy społeczeństwami, wynikające z dostępności energii, które cały czas są powiększane.

Wyszczególnienie dokładnych epok energetycznych nie jest możliwe bez uwzględnienia w rozważaniach zarówno dominujących w poszczególnych epokach surowców energetycznych, jak również głównych źródeł napędu. Takie podejście uniemożliwia podziału historii wykorzystania energii jedynie na dwie epoki – pierwszej, związanej z wykorzystaniem pracy ludzi i zwierząt oraz drugiej, w której głównymi napędami były maszyny i urządzenia napędzane paliwami kopalnymi. Wyraźne podziały na poszczególne epoki energetyczne są nierealne nie tylko ze względu na oczywiste różnice w momencie wprowadzania innowacji i powszechnego przyjmowania nowych paliw i sił napędowych w różnych krajach i regionach, ale także ze względu na ewolucyjny charakter przemian energetycznych (Melosi, 1982; Smil, 2010).

W historii przemian energetycznych wyróżnić można trzy główne okresy dominacji określonych źródeł napędów (rysunek 1). Pierwszy okres to funkcjonowanie, jako źródła napędu, pracy ludzkiej oraz pracy zwierząt. Okres ten trwał od zarania dziejów ludzkości aż do XIX wieku. Drugi okres (XIX wiek) to wprowadzanie do użytku napędów korzystających z siły wiatru oraz wody. Ostatni okres dominacji nowego źródła napędu to XX wiek, kiedy to na masową skalę zaczęto korzystać z silników i turbin parowych, a następnie, po 1950 roku, z silników spalinowych.



Rysunek 1. Struktura podstawowych napędów w wybranych okresach historycznych (%)

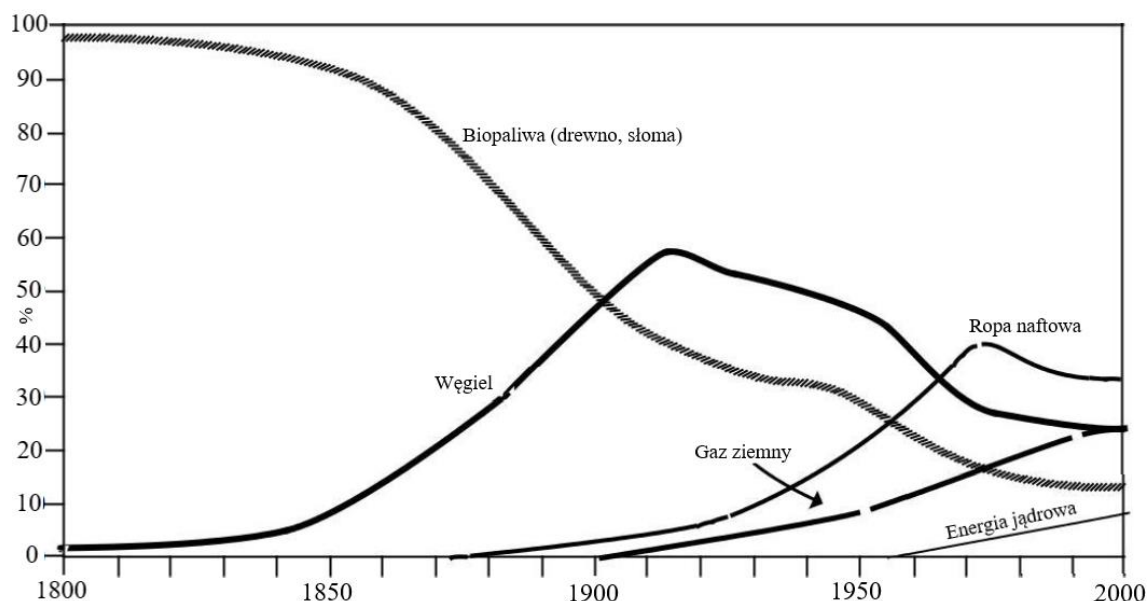
Źródło: (Smil, 2017)

Ludzkie mięśnie były jedynym źródłem energii mechanicznej od początków ewolucji do udomowienia zwierząt, co nastąpiło około 10 000 lat temu. Praca ludzi była niezastąpiona przez tysiąclecia, co było spowodowane m.in. złym wykorzystywaniem zwierząt pociągowych do pracy, jak również ich niedostępnością na niektórych kontynentach (np. Oceania, Ameryka Północna i Południowa), a także rozwojem narzędzi, wykorzystywanych przez człowieka. Jako pierwsze nieożywione źródła napędu zaczęto wykorzystywać młyny wodne (około 200 roku) oraz wiatraki (około 900 roku). Pomimo tego, że ich wykorzystanie przyspieszyło i ułatwiło wiele czynności, zastępowanie pracy ożywionej nadal było utrudnione. W obliczeniach dotyczących terenów dzisiejszej Anglii, wykonanych przez Fouqueta (2008), można zauważyć, że jeszcze w 1800 roku praca ludzi i zwierząt stanowiła 87% całej wykonanej pracy, gdy w 1500 roku było to 85%. Dopiero rewolucja przemysłowa i związane z nią wykorzystanie silnika parowego doprowadziły do zmniejszenia tego odsetka do 27% (w 1900 roku). Wiodącym obecnie źródłem napędu są silniki spalinowe, których początek dominacji datowany jest na lata 20. XX wieku.

Do 1900 roku kraje kultury zachodniej (przede wszystkim Stany Zjednoczone), przy zaledwie 30% światowej populacji, zużywały około 95% paliw kopalnych. Kolejny, XX wiek, przyniósł 15-krotny wzrost zużycia energii przez te kraje, jednak pod koniec XX wieku Zachód (kraje Unii Europejskiej oraz Ameryki Północnej), których populacja wynosiła mniej niż 15% światowej populacji, zużywały blisko 50% całkowitej dostępnej

energii. Zmiany nastąpiły dopiero po szybkim wzroście gospodarczym Chin, które w 2010 roku stały się największym światowym konsumentem energii (BP, 2016).

Poczynić można, z dużym przybliżeniem, szacunki, przedstawiające fale zachodzących powoli przemian energetycznych (rysunek 2).



Rysunek 2. Udział dostaw energii pierwotnej w latach 1800-2000 (%)

Źródło: (Smil, 2017)

Węgiel, zastępujący drewno, osiągnął 5% światowego rynku około 1840 roku, 20% do 1870 roku, 50% do 1900 roku, osiągając szczyt na poziomie blisko 60% w 1915 roku. Przejście, w przypadku węgla, z 5% do 50% zajęło zatem około 60 lat, osiągnięcie najwyższego udziału natomiast 75 lat. Podobnie było w przypadku zastępującej węgiel ropy naftowej, z tą różnicą, że jej udział w światowym rynku nigdy nie przekroczył 50%. Udział ropy naftowej w światowym rynku w 1915 roku wyniósł 5%, około 1950 roku osiągnął 20%, natomiast największy udział, na poziomie 40%, wystąpił około 1975 roku. Najwolniej zwiększającym swoje udziały paliwem kopalnym jest gaz ziemny, którego udział w 1930 roku wynosił 5% osiągnął, a po 55 kolejnych latach jedynie 25%. Można zatem stwierdzić, że potrzeba dwóch lub trzech pokoleń (50-75 lat), zanim nowy surowiec zdobędzie znaczną część światowego rynku energii. Nie oznacza to jednak, że kolejna transformacja, związana z przejściem na odnawialne źródła energii, będzie przebiegać w podobnym tempie. Skala przejść energetycznych jest jednak różna, gdyż przejście z 10% do 20% dla węgla wymagało zwiększenia rocznej produkcji energii o mniej niż 4 EJ, gdy w przypadku gazu ziemnego przejście z 10% do 20% wymagało zwiększenia rocznej produkcji o 55 EJ. Wynika to przede wszystkim ze

zmiany trendów konsumpcyjnych, a co za tym idzie, zwiększenia zużycia i przepływów energii. W 1800 roku łączne przepływy energii pierwotnej osiągnęły 20 EJ. 100 lat później, w 1900 roku, było to niemal 45 EJ, w 1950 roku – 100 EJ, niewiele ponad 380 EJ w 2000 roku i ponad 550 EJ w 2015 roku. Równie imponująco, prawie 900-krotnie, zwiększono wydobycie paliw kopanych, z mniej niż 0,4 EJ do ponad 300 EJ.

Zasadnicza rola energii w utrzymaniu życia znajduje odzwierciedlenie w rozwoju ewolucyjnym i historycznym. Prehistoryczny rozwój społeczeństw i rosnąca złożoność wysokich cywilizacji były naznaczone niezliczonymi imperatywami energetycznymi. Najbardziej podstawowym fizycznym ograniczeniem jest promieniowanie słoneczne. Dzięki niemu temperatura planety jest utrzymana w zakresie odpowiednim dla życia opartego na węglu. Ponadto, promieniowanie wpływa na cyrkulację atmosferyczną i obieg wody na planecie. Tak długo, jak ludzkie, a później zwierzęce mięśnie pozostawały jedynymi źródłami napędu, wszystkie prace były determinowane imperatywami metabolicznymi: tempem trawienia pożywienia i paszy, podstawowymi wymaganiami metabolicznymi i rozwojowymi organizmów, sprawnością mięśni. Przejście ze zbieractwa i łowiectwa na rolnictwo było napędzane kombinacją czynników energetycznych i społecznych, jednak późniejszą intensyfikację rolnictwa można określić jako wyraźny imperatyw energetyczny (Boserup, 1965; Boserup, 1976). Z biegiem czasu społeczności spotykały się z problemem ograniczoności zasobów i wydajności produkcji rolniczej. Rozwiązaniem było ustabilizowanie rozmiaru populacji lub też przyjęcie bardziej produktywnego systemu produkcji żywności. Początek i czas trwania kolejnych etapów intensyfikacji były różne na całym świecie. Intensyfikacja produkcji wymagała również pośrednich inwestycji energetycznych (coraz bardziej zaawansowanych), a co za tym idzie doprowadziła do rosnącego uzależnienia od źródeł napędów innych niż ludzkie mięśnie.

Imperatywy energetyczne wywarły głęboki wpływ na losy państw i regionów podczas przemian energetycznych. Kraje i regiony o stosunkowo łatwym dostępie do paliw, które można było wytwarzać i dystrybuować przy mniejszym zużyciu energii niż poprzednio dominujące źródło, cieszyły się szybszym wzrostem gospodarczym, co wpływało pośrednio na zwiększenie dobrobytu i wyższą jakość życia. Dominacja paliw kopalnych i energii elektrycznej wytworzyła niespotykany dotąd stopień jednorodności technicznej, a stopniowo także ekonomicznej i społecznej. Zachodząca w przyszłości

adaptacja nowych źródeł energii i nowych głównych źródeł napędów nie miałyby tak daleko idących konsekwencji bez wprowadzenia i udoskonalenia nowych sposobów ujarzmania tego rodzaju energii i kontrolowania ich konwersji w celu dostarczenia wymaganych usług energetycznych (ciepło, światło) po pożądanej cenie. Pozwoliło to na przyspieszenie zachodzących procesów i sprawienie, że były one bardziej niezawodne lub wydajniejsze.

Rodzaje źródeł energii i źródeł napędów oraz poziom zużycia energii nie determinują aspiracji i osiągnięć społeczeństw ludzkich. Konwersja energii jest niezbędna dla przetrwania i ewolucji wszystkich organizmów, ale zmiany energii i jej zróżnicowane wykorzystanie są regulowane przez właściwości nieodłączne dla organizmów. Energia nie jest jedynym wyznacznikiem ewolucji czy życia w ogóle, a ludzkich działań w szczególności. Przepływy energii ograniczają, ale nie determinują organizacji biosfery w żadnej skali. Jak ujęli to Brooks i Wiley (1986), „przepływy energii nie wyjaśniają, dlaczego istnieją organizmy, dlaczego organizmy się różnią lub dlaczego istnieją różne gatunki. To wewnętrzne właściwości organizmu decydują o tym, jak energia będzie płynąć, a nie odwrotnie”.

Obecnie, zużycie energii przez społeczeństwa jest bardziej kwestią pragnień i manifestacji niż rzeczywistych potrzeb. Ilość energii, jaką dysponuje społeczeństwo, wyraźnie ogranicza zakres działań, ale niewiele mówi o osiągnięciach ekonomicznych. Zaspokojenie podstawowych potrzeb człowieka wymaga oczywiście umiarkowanego poziomu nakładów energetycznych, ale porównania między krajami wskazują, że dalszy wzrost jakości życia wyrównuje się wraz ze wzrostem zużycia energii. Społeczeństwa skupiające się bardziej na dobru człowieka niż na błażej konsumpcji mogą osiągnąć wyższą jakość życia, zużywając jednocześnie ułamek paliw i energii elektrycznej wykorzystywanych przez bardziej marnotrawne narody. W rzeczywistości wyższe zużycie energii samo w sobie nie gwarantuje niczego poza większymi obciążeniami dla środowiska (Smil, 1991).

2.2. Zasoby naturalne w teorii ekonomii

Funkcjonowanie cywilizacji od początków jej istnienia nie byłoby możliwe bez korzystania z zasobów przyrody. Około 8000 roku p.n.e. rozpoczęła się pierwsza faza rozwoju ludzkości, nazwana przez Alвина Tofflera (1986) „pierwszą falą”. Faza ta trwała do XVIII wieku. W tym czasie cywilizacja wykorzystywała dostępne powszechnie surowce odnawialne, takie jak woda, wiatr, biomasa, ale także wszystko to, co można

było pozyskać z udomowionych zwierząt. Przyspieszenie rozwoju cywilizacji nastąpiło, gdy społeczeństwo tzw. „drugiej fali” zaczęło wykorzystywać przede wszystkim zasoby nieodnawialne. Nastąpiło to w XVIII wieku, wraz z początkiem rewolucji przemysłowej. W związku z ciągłym postępem cywilizacyjnym zapotrzebowanie na zasoby nieodnawialne zwiększało się. Jednym z globalnych problemów jest zachowanie ciągłości wzrostu, przy ograniczeniu wykorzystania zasobów nieodnawialnych, zaś zwiększeniu wykorzystania surowców odnawialnych.

Za twórcę pierwszej naukowej definicji zasobów naturalnych uważany jest Gifford Pinchot. Twierdził on, że „bez zasobów naturalnych życie jest niemożliwe. Od narodzin do śmierci zasoby naturalne, przekształcone przez człowieka na jego użytek, pozwalają mu się żywić, ubrać, chronić i przemieszczać. Człowiek polega na zasobach naturalnych w przypadku każdej materialnej potrzeby, zapewnienia komfortu, udogodnień czy ochrony życia. Bez obfitych zasobów dobrobyt jest poza zasięgiem” (Pinchot, 1998). Zasoby naturalne, zdefiniowane przez Pinchota, to pięć rodzajów surowców niezbędnych do funkcjonowania ludzkiej cywilizacji: drewno, woda, węgiel, żelazo i produkty rolnicze.

Zgodnie z inną definicją, za zasoby naturalne uznaje się materiały wytworzone w naturze, które są wykorzystywane przez człowieka. Obejmują one substancje naturalne (np. gleba, woda), jak i źródła energii (np. węgiel, gaz), które służą zaspokajaniu ludzkich potrzeb i pragnień. Materiały występujące w środowisku są więc niczym innym, jak „neutralną materią”, do momentu, aż ludzie odkryją ich obecność, przywiążą do nich większą wagę oraz opracują środki, umożliwiające ich wykorzystanie. Wówczas materiały zaczynają pełnić określone funkcje (Barsch i Bürger, 1996). Zasoby naturalne są składnikiem otoczenia środowiskowego, które obejmuje całość materiałów, cech i procesów krajobrazu, które stanowią o jego potencjale. Wyróżniające się i specyficzne dla każdego regionu otoczenie środowiskowe kształtuje sposób jego zagospodarowania i tworzy różne opcje dotyczące przetwarzania materiałów i energii. Wykorzystując część potencjału krajobrazu, ludzie nadają im nową funkcję, nowy cel: czynią je źródłem utrzymania, czyli zasobem naturalnym. Ta funkcjonalna interpretacja zasobów, przedstawiona przez Ericha Zimmermanna (1933) sprawia, że „jakakolwiek statyczna interpretacja zasobów regionu wydaje się bezcelowa; zasoby zmieniają się nie tylko z każdą zmianą celów społecznych, reagują na każdą zmianę poziomu życia, zmieniają się wraz z każdym nowym dopasowaniem klas i jednostek, ale także z każdą zmianą stanu

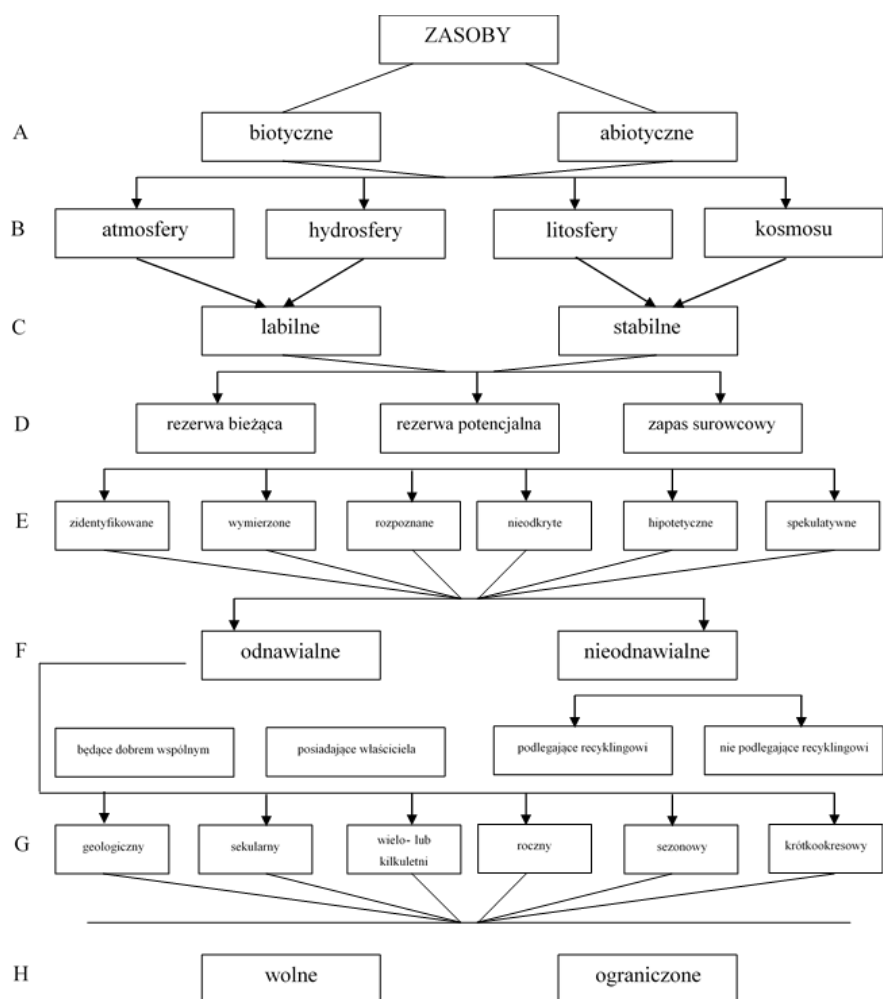
wiedzy – zarówno instytucjonalnej, jak i technologicznej”. Ponadto, Zimmermann (1951) twierdził, że „zasoby to wysoce dynamiczne koncepcje funkcjonalne; zasoby nie są, lecz stają się”.

Ponieważ ta koncepcja zasobów naturalnych była krytykowana jako zbyt antropocentryczna, dziś zasoby są definiowane znacznie szerzej niż w ujęciu funkcjonalnym. Rozwój nauk przyrodniczych i ekonomicznych przyczynił się do tego, że pojęcie „zasoby naturalne” obejmowało coraz to nowe elementy środowiska naturalnego, np. ekosystemy, czyste powietrze czy przestrzeń geograficzną. Mitchell (2002) twierdził, że „w tym kontekście zasoby są atrybutami abiotycznymi, biotycznymi i kulturowymi w, na lub nad Ziemią”. Obecnie, pod pojęciem zasobów naturalnych rozumie się (Fiedor, 2002):

- bogactwa naturalne (minerały, gleby, wody, powietrze, flora czy fauna),
- siły przyrody,
- walory środowiska decydujące o jakości życia człowieka (przestrzeń geograficzna, piękno krajobrazu, mikroklimat itp.).

Podstawą klasyfikacji i podziału zasobów naturalnych są dwa wymiary: przyrodniczy i ekonomiczny. Można go uzupełnić o trzeci, określony jako technologiczno-strategiczny. Wadą wszystkich kryteriów podziału zasobów jest ich nieostrość, która oznacza, że nie funkcjonuje niezwykle istotny z punktu widzenia metodologii warunek wykluczalności. Klasyfikacje te także nie we wszystkich przypadkach spełniają kryterium kompleksowości. Mimo swej umowności, klasyfikacje są przydatne w badaniach nad zasobami (Czaja, Jakubczyk i Piotrowicz, 1989).

Klasyfikacja zasobów naturalnych, zaproponowana przez Fiedora (2002), została przedstawiona na rysunku 3.



Rysunek 3. Klasyfikacja zasobów naturalnych

Źródło: (Fiedor, 2002, str. 123)

Pierwszym kryterium jest charakter procesów zachodzących w zasobach (A). Zasoby, w których zachodzą procesy biologiczne nazywane są biotycznymi, pozostałe abiotycznymi. Na pograniczu obu zbiorów znajdują się wirusy.

Drugim kryterium jest miejsce występowania (B). Zasoby naturalne mogą znajdować się w atmosferze, hydrosferze i litosferze. Wspomina się także coraz częściej o planach eksploatacji zasobów kosmosu, dlatego można dołączyć te zasoby jako czwarty element omawianej grupy.

Trzecia własność, dzieląca zasoby naturalne to ruchliwość (C). Te zasoby, które mogą w większym (ryby) bądź mniejszym (wody podziemne) stopniu zmieniać miejsce występowania nazywa się labilnymi, natomiast te, które posiadają własność przeciwną stabilnymi.

Czwarte kryterium to dostępność i opłacalność użytkowania (D). Wyróżnić tu można:

- rezerwę bieżącą – są to zasoby rozpoznane, które mogą być eksploatowane przy aktualnym poziomie cen. Zasoby należące do tej grupy dają się w większości jednoznacznie kwantyfikować,
- rezerwę potencjalną – prezentuje się ją nie jako liczbę, lecz jako funkcję popytu, cen, kosztów wydobycia itp. Wielkość rezerwy zależy od skłonności podmiotów gospodarczych do wydatkowania określonej kwoty na jednostkę danego surowca. Długookresowy wzrost ceny na dany surowiec oznacza wzrost rezerwy potencjalnej,
- zapas surowcowy – tworzą go pozostałe surowce zalegające w skorupie ziemskiej. Jest to kategoria ściśle geologiczna, bowiem z ekonomicznego punktu widzenia surowce są całkowicie niedostępne, gdyż koszt ich pozyskania jest wielokrotnie wyższy, niż możliwe do uzyskania przychody.

Kolejnym kryterium podziału jest stopień rozpoznania (E). Dotyczy on głównie zasobów zalegających w ziemi. United States Bureau of Mines oraz United States Geological Survey (1976) zaproponowały następującą klasyfikację:

- zasoby zidentyfikowane – ich lokalizacja, jakość i ilość są znane z dowodów geologicznych popartych pomiarami inżynierskimi w odniesieniu do wykazanej kategorii,
- zasoby wymierzone – zasoby, których ilość i jakość określana jest na podstawie szczegółowych pomiarów m.in. wyrobisk oraz wyników analizy pobranych próbek. Ilość i jakość złoża jest oszacowana z prawdopodobieństwem błędu mniejszym niż 20%,
- zasoby rozpoznane – surowce, których ilość i jakość jest częściowo oszacowana na podstawie próbek, a częściowo na podstawie dowodów geologicznych,
- zasoby nieodkryte – wniosek o ich istnieniu formułowany jest na podstawie szerokiej wiedzy i teorii geologicznej,
- zasoby hipotetyczne – nieodkryte zasoby, które prawdopodobnie zalegają na terenie istniejących zagłębi wydobywczych, poniżej aktualnego zasięgu (głębokości) badań geologicznych,
- zasoby spekulatywne – nieodkryte zasoby, które mogą występować albo w znanych typach złóż o korzystnym układzie geologicznym, gdzie nie dokonano żadnych odkryć, albo w jeszcze nieznanach typach złóż, które pozostają do rozpoznania.

Kolejnym, najważniejszym z punktu widzenia ekonomii kryterium, jest odnawialność (F). Zasoby nieodnawialne dzieli się z reguły na:

- podlegające recyklingowi – są to przede wszystkim minerały nieenergetyczne, w większym stopniu złoża rud metali, w mniejszym niektóre surowce budowlane,
- niepodlegające recyklingowi (surowce energetyczne).

Zasoby odnawialne (możliwości klasyfikacji jest dużo więcej niż w przypadku zasobów nieodnawialnych) można podzielić na:

- będące wspólną własnością (np. ryby morskie),
- posiadające określonego właściciela (np. lasy).

Optymalizacja zużycia każdej z tych grup zasobów podlega innej procedurze.

Zasoby odnawialne można też klasyfikować według cyklu reprodukcji (G). Cykl ten może być:

- geologiczny,
- sekularny,
- wielo- lub kilkuletni,
- roczny,
- sezonowy,
- krótkookresowy.

Wśród zasobów odnawialnych występuje także specyficzna kategoria takich, które nie zmieniają się w trakcie użytkowania. Charakterystycznymi przykładami są energia słoneczna lub energia wodna. Z pewnymi zastrzeżeniami zalicza się do tej grupy energię wiatru. Niektóre źródła wymieniają trzeci podzbiór w kategorii odnawialności, zasoby nieużywalne (ang. non-expendable), nazywane także pięknem użytecznym. Mogą to być np. walory estetyczne krajobrazu, grotty podziemne czy generalnie pozaekonomiczne użytki środowiska (ang. amenity uses). Zasobom tym grozi jednak przeciążenie eksploatacyjne, które obniża ich wartość użytkową.

Ostatnim istotnym kryterium jest obfitość zasobów w stosunku do potrzeb (H). Wyróżnia się dobra wolne, znajdujące się w przyrodzie w nadmiarze w stosunku do potrzeb oraz dobra ograniczone (ekonomiczne). W ostatnich latach grupa dóbr wolnych uległa poważnej minimalizacji, nie zalicza się już do nich czystej wody czy powietrza. Występują one tylko sporadycznie, np. piasek na Saharze.

W istotny sposób na użytkowanie zasobów mogą wpływać prawa własności. Według Bromleya można wyróżnić cztery systemy własności (Folmer, Gabel i Opschoor, 1996):

- system własności państwowej: własność zasobów naturalnych jest w rękach państwa, a ich wykorzystanie znajduje się pod jego kontrolą; podmioty gospodarcze mogą uzyskać zezwolenie na korzystanie z zasobów, ale tylko zgodnie z zasadami określonymi przez państwo; przykładem są państwowe lasy, parki oraz kopaliny,
- system własności prywatnej: prawo do korzystania z zasobu oraz do jego sprzedaży lub zakupu znajduje się pod kontrolą osób indywidualnych; przykładem są prywatne lasy i łąki,
- system własności wspólnej oznacza, że grupa właścicieli może kontrolować użytkowanie zasobu i zapobiegać wykorzystywaniu go przez innych, członkowie grupy mają jasno określone prawa i obowiązki; przykładami są wspólne grunty, w niektórych przypadkach hodowla zwierząt we wspólnotach rodowych,
- system otwartego (wolnego) dostępu – każdy potencjalny użytkownik zasobu ma pełną niezależność; przykładem takiego zasobu mogą być niektóre łowiska położone daleko od brzegu.

Od najwcześniejszych dni ekonomiści badają zasoby naturalne nie bez powodu. Zasoby są postrzegane jako podstawa narodowego dobrobytu, władzy i bogactwa. Zdolność do wykorzystywania zasobów w nowy sposób jest uznawana za prawdopodobnie główny czynnik leżący u podstaw rewolucji przemysłowej. Jednak dopiero stosunkowo niedawno opracowano szerokie teorie dotyczące zasobów naturalnych i ekonomii energii. Wcześniej badanie tych dziedzin opierało się na ogólnych teoriach ekonomicznych stosowanych do analizy innych towarów. Głoszone wówczas teorie wskazywały, że źródłem bogactwa jest praca, lecz środowisko przyrodnicze stanowi naturalną granicę rozwoju (Gradziuk, 2015).

W XVII wieku, uznawany za jednego z prekursorów teorii wartości opartej na pracy William Peety (1958), twierdził, że wszystkie rzeczy powinny być wyceniane przez dwie naturalne denominacje, czyli ziemię i pracę. Peety, podobnie jak później Richard Cantillon, starał się odnaleźć równanie między pracą, nazwaną przez niego matką bogactwa naturalnego, a ziemią (traktowanej w domyśle jako wszystkie naturalne czynniki produkcji), zwaną ojcem tego bogactwa.

Właściwe zainteresowanie ekonomii klasycznej problematyką wykorzystania zasobów naturalnych pojawiło się w okresie późniejszym w twórczości Smitha, Ricardo, Saya, Malthusa i Marksa, przede wszystkim w związku z kwestią ich wyczerpywania się, czy rosnących kosztów pozyskiwania.

Według Adama Smitha (2007), środowisko przyrodnicze jest uznawane jako pewna naturalna bariera wzrostu gospodarczego. Zgodnie z tą teorią, wzrost gospodarczy jest uwarunkowany przede wszystkim procesem akumulacji kapitału. Akumulacja ta ma jednak swoje granice i trwa tak długo, aż dany kraj osiągnie pewien maksymalny poziom bogactwa społecznego. Poziom ten wynika natomiast z wyposażenia kraju w zasoby naturalne, glebę, klimat, jak również jego sytuacji ekonomicznej w porównaniu z innymi krajami. Ponadto, Smith uważał, że „każdy gatunek zwierząt rozmnaża się naturalnie w zależności od środków do życia i nigdy żaden gatunek nie może rozmnożyć się poza tę granicę”. Smith nie wziął pod uwagę, że problem niedoboru zasobów naturalnych może stanowić przeszkodę dla wzrostu gospodarczego. Wręcz przeciwnie, uważał, że natura jest hojna, a rolnictwo jest w stanie zaoferować wielkość produkcji znacznie przewyższająca nakłady (Barber, 1967).

Inne podejście do zasobów naturalnych przedstawili w XVIII wieku Thomas Malthus oraz David Ricardo, którym przypisuje się stworzenie koncepcji szczupłości zasobów naturalnych. Zgodnie z tą koncepcją, bariera dostępności zasobów naturalnych miała przyczynić się do osiągnięcia górnej granicy stopy wzrostu gospodarczego, a zatem również poziomowi dobrobytu społecznego.

Thomas Malthus opublikował w 1798 roku *An Essay on the Principle of Population*, w którym przedstawił teorię ludnościową, zgodnie z którą wzrost populacji oraz wzrost produkcji żywności korelują ze sobą, co może w przyszłości skutkować niedoborami żywności i, prawdopodobnie, ubóstwem i niedostatkiem. Jest to uzasadnione prawami naturalnymi, które określają, że wzrost liczby ludności jest szybszy niż wzrost produkcji rolnej (Malthus, 1798; Malthus, 1820). Teoria ludnościowa Malthusa stała się podstawą paradygmatu przyjmującego, że istnieje absolutna granica zasobów. Zasoby, którymi dysponuje ludzkość nie tylko przyrastają w tempie wolniejszym niż liczba ludności, lecz także nie są nieskończone. Oznacza to, że ludzkość napotka absolutną barierę rozwoju w postaci braku żywności. Doktryna ta została nazwana teorią absolutnej szczupłości zasobów. Teoria Malthusa bardzo dobrze opisywała sytuację gospodarczo-społeczną świata do czasów rewolucji przemysłowej. Mechanizm ten po raz pierwszy przestał funkcjonować w Wielkiej Brytanii około 1800 roku, potem zaś w innych krajach Europy Zachodniej. W ciągu XX wieku prawie wszystkie państwa świata przestały podlegać prawom tego modelu. Po pierwsze, industrializacja i szybki wzrost technologiczny w wielu gałęziach gospodarki pozwoliły

na wzrost dochodu per capita, pomimo spadającej liczby gruntów ornych i zasobów naturalnych na mieszkańca. Po drugie, wzrost dochodów doprowadził do spadku, a nie wzrostu tempa przyrostu ludności (Weil, 2009).

Problem ten nieco inaczej postrzegał Ricardo (Henderson i Davis, 1997), któremu przypisywana jest teoria względnej szczupłości zasobów. Opiera się ona na tezie, że rozmiary zasobów naturalnych są nieograniczone, ale za to zróżnicowane pod względem jakości. Powoduje to, że w pierwszej kolejności eksploatowane są bogate złoża i urodzajne gleby, a w miarę ich wyczerpywania sięga się po coraz uboższe zasoby. Początkowo zasada ta została sformułowana w odniesieniu do rolnictwa, które było w owym czasie dominującym sektorem, a następnie zastosowana również w górnictwie. Ricardo uważał je za typową ilustrację ogólnej teorii, według której zasoby zużywa się w porządku ich zmniejszającej się wydajności i dostępności (Gradziuk, 2015). Ricardo (1957) twierdził, że zasoby naturalne są nieograniczone co do ilości, ale są niejednorodne, tzn. są zasoby gorsze i lepsze. W miarę jak postępuje rozwój, trzeba sięgać po coraz uboższe zasoby, co podnosi koszty wzrostu gospodarczego i przez to wyznacza jego granice (Rechul, 2004).

Nowy wymiar wcześniejszym koncepcjom nadał John Stuart Mill (1965-1966), tworząc aksjomat dynamicznej teorii zasobów, przyjętej później przez ekonomistów neoklasycznych. Mill nie uznał sugestii Malthusa, że istnieje absolutna i dająca się przewidzieć granica dostępności ziemi nadającej się do uprawy, oddalił również jego teoremat jako aksjomat teorii rozwoju. Uznał natomiast rolę techniki i czynników instytucjonalnych (postępu cywilizacyjnego), które są w stanie zawiesić lub oddalić prawo zmniejszających się dochodów. Przyjął natomiast ricardiańską wersję szczupłości zasobów naturalnych, według której ograniczona jest przede wszystkim ilość ziem urodzajnych, nadających się do uprawy. Jeśli szczupłość zasobów, rozumiana jako granice globu ziemskiego, wydaje się być rzeczywiście bardzo odległa, to szczupłość w rozumieniu Ricardo jest bliska i ona stanowi rzeczywiste ograniczenie dla wzrostu produkcji. W wyniku tego jest zwiększa się koszt pracy i kapitału na jednostkę produkcji, co Mili uznał za powszechne prawo produkcji rolnej i za najważniejsze twierdzenie w ekonomii politycznej (Rechul, 2004). Mill twierdził, że postęp techniczny może odłożyć w czasie ograniczenia wynikające z niedoboru zasobów. W porównaniu z innymi klasycznymi ekonomistami podejście Milla do problemu ograniczoności zasobów było pozytywne. Mill uważał, że wiedza i postęp techniczny zaspokoją większość ludzkich

potrzeb materialnych, dzięki czemu społeczeństwo będzie mogło realizować inne cele, takie jak edukacja (Halkos, 2011).

Poglądy Malthusa, Ricardo oraz Milla, iż dostępność zasobów naturalnych jest ograniczona i tym samym wyznacza górną granicę wzrostu gospodarczego, dały podstawę dla całej teorii ekonomii klasycznej (Gradziuk, 2015). Doktryna ta oparta została na następujących przesłankach (Barnett i Morse, 1968; Woś, 1995):

- zasoby naturalne są ograniczone i ich szczupłość wzrasta wraz z upływem czasu,
- rozwój gospodarczy zależy od zasobów,
- rozwój gospodarczy napotyka granice wyznaczane przez dostępność do zasobów.

Według teorii klasycznej podstawową przyczyną ubytku zasobów jest ich zużywanie w wyniku rozwoju gospodarczego. Dzieje się to w pewnym logicznym porządku, tj. przechodzi się od zasobów lepszych do gorszych lub w wyniku marnotrawstwa, ekologicznej dewastacji, zniszczenia, obniżenia jakości itp. (Woś, 1995). Przyjęcie założeń, że szczupłość zasobów naturalnych może doprowadzić do zmniejszenia efektywności działalności gospodarczej, opóźnienia rozwoju gospodarczego, a nawet do jego zatrzymania, spowodowało, że ekonomia na długie lata zyskała miano nauki ponurej, wulgarnej i katastroficznej (Barnett i Morse, 1968; Samuelson i Nordhaus, 2012).

System neoklasyczny wyrósł z XIX-wiecznego optymizmu i wiary w to, że racjonalne myślenie, uzbrojone w naukowe metody, prowadzi do postępu społecznego, gdyż każda jednostka zachowuje się racjonalnie, dążąc do maksymalizacji swojej osobistej i społecznej satysfakcji. Zgodnie z paradygmatem neoklasycznym zatruć środowiska jest stratą społeczną, ponieważ dostęp do zasobów naturalnych jest otwarty. Wówczas mamy do czynienia z nadmierną eksploatacją wspólnych zasobów, a to z kolei rodzi problemy dla teorii i praktyki gospodarowania ograniczonymi zasobami (Rechul, 2004). Neoklasyczna ekonomia środowiska i zasobów powstała dopiero w latach 70. XX wieku, zatem zasoby naturalne przez długi czas nie były przedmiotem zainteresowania ekonomii. Celem tej teorii jest efektywność wykorzystania zasobów naturalnych, co pozwoli na ich eksploatację i użytkowanie przez kolejne pokolenia (Gołębiowska, 2011). Analizując problem eksploatacji i wyczerpywania zasobów naturalnych ekonomiści neoklasycy uznali, że coraz rzadsze występowanie poszczególnych zasobów naturalnych będzie powodowało wzrost cen tych zasobów, a to z kolei — rozwój substytucji. Problematyka ta podlega szczegółowej analizie w ramach

neoklasycznej teorii optymalnego wykorzystania zasobów naturalnych. Podstawowym zagadnieniem tej teorii jest ocena społecznych preferencji w zakresie rozłożenia w czasie poziomu dobrobytu społecznego, tzn. wpływu tempa eksploatacji zasobów na poziom dobrobytu generacji teraźniejszych i przyszłych (Rechul, 2004). Jej teoretyczne podstawy zostały opracowane przez Hotellinga (1931), który określił problem wykorzystania zasobów nieodnawialnych jako wybór takiego sposobu alokacji pomiędzy różnymi momentami w czasie, aby zmaksymalizować użyteczność lub korzyść wynikającą z konsumpcji zasobu (Folmer, Gabel i Opschoor, 1996).

W zakresie zasobów nieodnawialnych Hotelling (1931) uznaje, że jest ich określona ilość. Oznacza to, że każde kolejne pokolenie przez konsumpcję uszczupla te zasoby i z każdym pokoleniem ich ilość maleje. Z ekonomicznego punktu widzenia oznacza to powstanie kosztu alternatywnego związanego z utratą możliwości wykorzystania tego zasobu w przyszłości. Koszt ten odzwierciedla rzadkość zasobu (w tym koszt jego wydobycia) i musi być brany pod uwagę przy planowaniu wydobycia i konsumpcji.

Hotelling zakładał również działania prawa malejącej użyteczności krańcowej w konsumpcji zasobu. Oznacza to, że zwiększenie konsumpcji w ciągu roku zwiększa korzyści związane z tym wzrostem, lecz przyrost korzyści przypadający na dodatkową jednostkę zużywanego zasobu maleje. Koszty krańcowe wydobycia są natomiast stałe (Fiedor, 2002). Przy stałych kosztach krańcowych wydobycia powstaje sytuacja, kiedy wydobycie może nie być efektywne – wystąpi to w sytuacji, gdy koszt krańcowy wydobycia będzie wyższy od użyteczności krańcowej. W danym pokoleniu nie opłaca się konsumować dowolnie dużo zasobu nie tylko z uwagi na optymalizację międzypokoleniową ich wykorzystania czy sprawiedliwość międzypokoleniową, lecz także z uwagi na to, że w pewnym momencie koszty pozyskania kolejnej jednostki zasobu będą wyższe niż korzyści uzyskane z jej konsumpcji. Hotelling w swojej zasadzie wprowadził zmienność kosztu alternatywnego w czasie, który wraz z upływem czasu wzrasta. Zmiana kosztu alternatywnego w czasie powinna wzrastać wykładniczo w tempie określonym przez stopę procentową. Wtedy też właścicielowi zasobu byłoby obojętne, czy dokona eksploatacji złoża w tym momencie (w związku z czym otrzyma zysk z eksploatacji zasobu, który będzie mógł złożyć w postaci oprocentowanego depozytu do banku), czy też wstrzyma się z wydobyciem surowca (wówczas zyska dzięki

wzrostowi wysokości kosztu alternatywnego, który spowoduje wzrost ceny netto). Z zasady Hotellinga wynika, że:

- wzrost kosztu alternatywnego powoduje zmniejszenie popytu, a co za tym idzie zmniejszenie konsumpcji zasobu w czasie,
- nie ma niebezpieczeństwa nadmiernej eksploatacji zasobów.

Hotelling nie wykluczył, że z powodu skończonych zasobów i zanikającej podaży ich cena może teoretycznie rosnać bez ograniczeń oraz zmieniać się dynamicznie, nawet jeśli rynek miałby być doskonale konkurencyjny.

Teorię optymalnego wykorzystania zasobów sprecyzował William D. Nordhaus (1973). Przedstawił on koncepcję technologii-tła (backstop technology). Koncepcja ta zakłada, że jeżeli substytut (może to być również technologia) jest w stanie zaspokoić w takim samym stopniu potrzeby lub świadczyć takie same usługi, jak wcześniej używane dobro, ale po wyższym koszcie i bez ryzyka wyczerpania się w istotnym z punktu widzenia analizy ekonomicznej przedziale czasowym, to nosi on nazwę technologii-tła. Substytucja ta jest opłacalna ekonomicznie, gdy globalny koszt krańcowy nie osiągnie kosztu uruchomienia technologii-tła. Klasycznym przykładem takiej technologii jest pozyskiwanie energii elektrycznej bezpośrednio z energii słonecznej, będące alternatywą do produkcji energii elektrycznej z paliw kopalnych.

Teoria ekonomii poszukuje odpowiedzi na liczne pytania związane z problem wyczerpywania się zasobów naturalnych, szczególnie tych nieodnawialnych, które odgrywają ważną rolę w życiu człowieka i gospodarce. Obecny stan wiedzy pozwala określić trzy kierunki myślenia związane z teorią zasobów naturalnych (Gołębiowska, 2011):

- zasoby naturalne są skończone,
- zasoby naturalne są nieskończone i nieograniczone,
- zasoby naturalne są nieskończone, lecz ograniczone.

Możliwość dalszego rozporządzania zasobami naturalnymi zależy przede wszystkim od:

- tempa ich eksploatacji, które z kolei zależy od wzorców konsumpcji powielanych w skali świata oraz stopy wzrostu gospodarczego,
- wyników badań naukowych i postępu technologicznego w zakresie nowych procesów produkcyjnych, wynajdywania substytutów oraz metod wykrywania rezerw (Marciniak, 2013).

2.3. Problem gospodarowania ograniczonymi zasobami naturalnymi

Zasoby naturalne stanowią podstawę ludzkiej egzystencji i działalności. Wyróżnić można dwie główne funkcje zasobów naturalnych. Przede wszystkim zasoby naturalne dostarczają ważnych surowców do produkcji towarów i usług oraz różnych usług środowiskowych. Funkcja ta jest często określana jako funkcja źródłowa. Ponadto, zasoby naturalne mogą być medium odbierającym odpady pochodzące z produkcji i konsumpcji – odpady są gromadzone w przyrodzie. Funkcja ta jest często określana jako funkcja zlewu (Komisja Europejska - DG Environment, 2002).

Jeśli zasoby naturalne ulegną wyczerpaniu lub degradacji, te fizyczne i środowiskowe funkcje ulegną zmniejszeniu, a tym samym może to skutkować niższym poziomem konsumpcji. Patrząc na zarządzanie zasobami, interesujące są zatem dwa efekty.

- Wyczerpanie zasobów. Dotyczy to w pierwszej kolejności zasobów nieodnawialnych, których wykorzystanie z definicji zmniejszy całkowite zapasy, co może być wynikiem nadmiernej eksploatacji zasobów odnawialnych.
- Degradacja zasobów. Odpady lub skutki uboczne procesów konsumpcji i produkcji mogą powodować degradację zasobów naturalnych. W efekcie nastąpi obniżenie poziomu usług fizycznych i środowiskowych.

Klub Rzymski zwrócił uwagę na skończoność zasobów nieodnawialnych na początku lat 70. XX wieku i przewidział wyczerpanie kilku głównych zasobów w ciągu dziesięcioleci (Meadows, Meadows, Randers i Behrens III, 1972). Twierdzenia te okazały się błędne z wielu powodów. Po pierwsze, rzeczywiste rezerwy tych zasobów okazały się znacznie większe niż pierwotne szacunki. Technologie poszukiwania i produkcji uległy poprawie. Doprowadziło to do wzrostu zasobów wydobywalnych oraz ciągłego odkrywania nowych rezerw surowców. Po drugie, wykorzystanie zasobów nie rosło tak szybko, jak pierwotnie przewidywano. Przyczyniły się do tego rozwój technologiczny, prowadzący do zwiększenia efektywności wykorzystania zasobów, rozwój substytutów i zwiększony poziom recyklingu. W dzisiejszych czasach obawy społeczne coraz bardziej zwracają się w stronę degradacji zasobów środowiska. Ze względu na zwiększoną konsumpcję i presję wynikającą ze wzrostu liczby ludności, zasoby te stają się coraz bardziej ograniczone, a degradacja zasobów środowiska jest ogólnie postrzegana jako główne zagrożenie dla ludzkości.

Ludzkość zmieniała środowisko od zarania dziejów, a duża część tego przekształcenia pierwotnej natury w aktywa produkcyjne jest przyczyną naszego obecnego bogactwa, m.in. przekształcanie lasów w grunty rolne. Proces rozwoju można zatem postrzegać jako przekształcanie zasobów naturalnych w różne formy produktów i towarów, co zwiększyło dobrobyt ludzi, chociaż rozkład tego dobrobytu jest dość nierówny, przy dużych dysproporcjach wśród krajów.

Kwestię wyczerpywania się zasobów należy zatem postrzegać w kontekście wpływu na ogólny dobrostan człowieka. W wielu przypadkach złe polityki powodują niepotrzebną degradację zasobów. W zakresie, w jakim wyczerpywanie się zasobów jest częścią trwającego procesu przekształcania ich w bardziej produktywne aktywa stworzone przez człowieka, mamy do czynienia z bardziej złożonym kompromisem. Jedną z głównych niepewności w tym zakresie jest to, że nie mamy wystarczającej wiedzy na temat rzeczywistych ograniczeń konwersji zasobów naturalnych.

Zagadnienia dotyczące środowiska naturalnego, w tym także jego zasobów były włączane do teorii ekonomii wraz z rozwojem społeczno-gospodarczym (Juszczyk, 2016). Jeszcze w latach 50. XX wieku stosunek podstawowych szkół ekonomicznych do tematyki ekologicznej był raczej neutralny. Dopiero w latach 60. i 70. XX wieku zwrócono uwagę na problematykę ekologicznych uwarunkowań i skutków działalności gospodarczej, związaną m.in. z nieodnawialnością wielu zasobów przyrody. Ponadto, kontynuacja wzrostu gospodarczego wymagała podjęcia odpowiednich kroków ku utworzeniu państwowych ram administracyjno-prawnych, które regulowałyby wykorzystanie zasobów środowiska. Do istotnych przejawów wzrostu zainteresowania problematyką zużycia podstawowych zasobów zaliczyć można pierwsze dwa raporty dla Klubu Rzymskiego (Fiedor, 2002). W pierwszym z nich, zatytułowanym „Granice wzrostu” (Meadows, Meadows, Randers i Behrens III, 1972), założono, że dostępność zasobów naturalnych jest stała oraz przedstawiono opcjonalne możliwości zużycia tychże nawozów. Jedną z alternatyw wskazywała, że zasobów może zabraknąć już w latach 80. XX wieku.

Smith (2007) uważał, że środowisko przyrodnicze może być traktowane jako naturalna bariera wzrostu gospodarczego, uwarunkowanego przede wszystkim procesem akumulacji kapitału. Proces ten trwa ma swoje granice i trwa tak długo, aż dany kraj osiągnie maksymalny poziom bogactwa społecznego. Poziom ten uwarunkowany jest m.in. od zasobów naturalnych kraju, takich jak gleba, czy klimat. Ponadto, wpływ ma

sytuacja ekonomiczna danego kraju w stosunku do innych krajów. Maksymalnemu poziomowi bogactwa społecznego odpowiada maksymalna ilość kapitału, która może być zastosowana z zyskiem. Wówczas stopa zwrotu spada do poziomu minimalnego, który jest niezbędny do pokrycia naturalnego ryzyka gospodarowania. Gdy stan maksymalny zostanie osiągnięty, akumulacja netto zamiera, stopa wzrostu spada do zera, zaś gospodarka osiąga pewien hipotetyczny stan stacjonarny (Fiedor, 2002). Cytując za Smithem (2007): „W kraju, który osiągnął pełnię bogactw, na jaką mu zezwala jego natura, jego gleby, klimat oraz położenie względem innych krajów, który więc nie może czynić dalszych postępów, lecz także się nie cofa, zarówno płaca robocza, jak i zyski od kapitału byłyby prawdopodobnie bardzo niskie. W kraju gęsto zaludnionym w stosunku do tego, ilu ludzi obszar jego może wyżywić lub jego kapitał zatrudnić, współzawodnictwo o pracę byłoby tak wielkie, że zredukowałoby płace robocze do tego, co zaledwie wystarczyłoby na to, by utrzymać dotychczasową liczbę robotników; a ponieważ kraj byłby całkowicie zaludniony, liczba ta nie mogłaby dalej wzrastać. W kraju zaopatrzonym w taką ilość kapitału, która odpowiada całej działalności gospodarczej, którą kraj ten powinien prowadzić, ilość kapitałów użytkowanych w każdej poszczególnej gałęzi byłaby taka, na jaką zezwala natura i rozmiar tej gałęzi”.

W koncepcji stagnacji sekularnej, opracowanej przez Ricardo, kluczowym czynnikiem determinującym ruch gospodarki w kierunku stanu stacjonarnego jest prawo malejącej produktywności ziemi. Pomimo tego, że prawo malejących przychodów występuje w każdym dziale gospodarki i dotyczy każdego czynnika produkcji, jednak w teorii Ricardo najważniejszym czynnikiem jest ziemia. Mechanizm ekonomiczny, przez który prawo to wywołuje ruch gospodarki w kierunku stanu stacjonarnego, jest następujący (Fiedor, 2002):

- „malejące przychody w rolnictwie (i przemyśle wydobywczym) powodują wzrost wysokości rent gruntowych oraz ich łącznej wielkości, co jest związane z koniecznością brania pod uprawę ziem o coraz gorszej urodzajności (lub gorzej położonych) w celu zaspokojenia potrzeb rosnącej ludności kraju,
- rosnące renty gruntowe (a także inne renty naturalne) prowadzą do wzrostu wysokości tzw. płac naturalnych, w wyniku czego w długim okresie spada zarówno stopa zysku, jak i masa zysków w gospodarce,
- malejące zyski oznaczają w gospodarce spadek akumulacji kapitału, a w efekcie ruch gospodarki w kierunku stanu stacjonarnego, czyli wzrostu zerowego,

- w stanie stacjonarnym akumulacja netto kapitału jest zerowa, podobnie jak stopa wzrostu, stałe są płace i wielkość ludności, zyski są minimalne (wystarczające – podobnie jak w teorii Smitha – na pokrycie jedynie naturalnego ryzyka gospodarowania)”).

W obu przedstawionych powyżej teoriach, osiągnięcie (lub nie) maksymalnego poziomu bogactwa społecznego nie jest tylko wynikiem posiadanych przez dane państwo zasobów naturalnych. Smith twierdził, że maksymalny stan bogactwa społecznego zależy jest od szeroko rozumianych czynników instytucjonalnych, nie zaś od posiadanych zasobów naturalnych. Ponadto, stan stacjonarny może osiągnąć zarówno kraj bogaty, jak i biedny.

Główną barierą wzrostu w teorii Ricardo jest natomiast prawo malejącej produktywności ziemi. Negatywne działanie prawa malejącej produktywności ziemi, przejawiające się w tym, że każda kolejna jednostka ziemi powoduje wzrost mniejszy niż poprzednia, przyczynia się do hamowania procesu akumulacji, którego wynikiem jest ruch gospodarki w stronę stanu stacjonarnego. Ricardo zgadzał się ze Smithem, że stan stacjonarny może charakteryzować się różnym poziomem produktu społecznego na osobę, różną wielkością populacji, a także niższymi lub wyższymi płacami jednostkowymi. Jako siły sprawcze tych różnic wymieniał czynniki społeczne, kulturowe i polityczne. Największą rolę przypisywał natomiast podziałowi nadwyżki ekonomicznej między płace i zyski. Jego zdaniem to od poziomu płac zależy, czy kraj osiągnie stan stacjonarny na niższym lub wyższym poziomie bogactwa społecznego. Wyższy poziom dobrobytu w stanie stacjonarnym uzależniony jest od wzrostu liczebności ludności robotniczej, który jest w kolei zależny od wzrostu płac.

Marks, w modelu dynamiki gospodarczej, nie wskazywał bezpośrednio na to, że elementami ustanawiającymi granice wzrostu systemu gospodarczego są czynniki naturalne. Główną różnicą między modelami Smitha i Ricardo a modelem Marksa jest to, że ten ostatni nie wprowadził w swoim modelu terminu „stan stacjonarny” lub innego, znaczeniowo zbliżonego terminu. Marks relację człowiek-środowisko traktuje głównie jako walkę o kontrolę nad siłami natury. Podejście to wynika bezpośrednio z powszechnego rozumienia tej relacji w XIX wieku, zgodnie z którą człowiek może w zamierzony sposób kontrolować przebieg wszystkich procesów produkcyjnych, również tych bezpośrednio związanych z procesami biologicznymi. Zakładano, że rozwój technologii pozwoli na oddzielenie procesów produkcyjnych od warunków

środowiskowych. Obecne podejście jest zgoła inne – relacja człowiek-środowisko jest nierozdzielna, zaś procesy gospodarowania uwzględniane są w ramach poszczególnych ekosystemów czy całego środowiska przyrodniczego. W obliczu rosnącego znaczenia zasobów naturalnych w gospodarce dla krajów rozwijających się i paradoksu, że kraje dobrze wyposażone często radzą sobie gorzej niż kraje niewyposażone, ekonomiści zastosowali trzy ścieżki rozważań (Cockburn, Henseler, Maisonnave i Tiberti, 2018):

- wyczerpywanie się zasobów i zrównoważone zarządzanie zasobami,
- degradacja środowiska i hipoteza środowiskowej krzywej Kuzneta,
- klątwa surowcowa.

Problemy zubożenia dotyczą eksploatacji zarówno odnawialnych, jak i nieodnawialnych zasobów naturalnych. Nadmierna eksploatacja zasobów odnawialnych może prowadzić do ich nieodwracalnego uszczuplenia. Wyczerpywanie się nieodnawialnych zasobów naturalnych (np. paliw kopalnych, minerałów) jest nieuniknione, chociaż postęp technologiczny i odkrycia mogą zapewnić dostęp do nowych źródeł zasobów, aby przedłużyć okres eksploatacji. Zwiększona wydajność technologii eksploatacji może również przyspieszyć marnotrawstwo (OECD, 2008).

Wyczerpanie zasobów może bezpośrednio wpływać na dobrobyt w krótkim okresie lub może dotyczyć tylko przyszłych pokoleń (Barbier, 2014). Zrównoważone zarządzanie zasobami ma na celu uniknięcie lub ograniczenie negatywnych skutków wyczerpywania się zasobów. Wymaga pomiaru tempa deprecjacji zasobów naturalnych oraz uwzględnienia powiązania między zasobami a wzrostem w całej jego złożoności (Santopietro, 1998; Rammel, Stagl i Wilfing, 2007; Dauvin i Guerreiro, 2017). Może to obejmować egzekwowanie zrównoważonych wskaźników wydobywania zasobów odnawialnych, aby umożliwić regenerację zasobów (np. połów ryb). W przypadku zasobów nieodnawialnych zrównoważone zarządzanie zasobami obejmuje ponowne inwestowanie rent z zasobów naturalnych w inne sektory, co może zrekompensować utratę kapitału naturalnego przez jego wyczerpanie (Lange i Wright, 2004).

Eksploatacja zasobów naturalnych może powodować degradację środowiska bezpośrednio poprzez proces wydobywania surowców nieodnawialnych (np. zanieczyszczenie środowiska z górnictwa) oraz poprzez eksploatację zasobów odnawialnych (np. szkody ekologiczne spowodowane wylesianiem) oraz pośrednio (np. emisje CO₂ z wykorzystania paliw kopalnych). Negatywne skutki degradacji środowiska (np. na zdrowie i dochody) zwykle dotyczą biednych w sposób

nieproporcjonalny do bogatych, a czasem prowadzą nawet do przesiedleń lub migracji (Laczko i Aghazarm, 2009).

Hipoteza środowiskowej krzywej Kuznetsa (ŚKK) wyjaśnia, w jaki sposób degradacja środowiska zależy od zamożności kraju. Opisuje związek między degradacją środowiska a dochodem per capita jako odwrócony kształt litery U (Barbier, 1997). Wiele badań znajduje dowody empiryczne na korzyść hipotezy ŚKK dla różnych wskaźników środowiskowych: wylesiania (Bhattarai i Hammig, 2004), zużycia energii elektrycznej (Burke, 2011), emisji (Cole, 2003; He, 2009; Lipford i Yandle, 2010) oraz wielu innych wskaźników środowiskowych (Cole, Rayner i Bates, 1997).

Klątwa zasobów opisuje paradoks polegający na tym, że wzrost gospodarczy w wielu bogatych w zasoby krajach rozwijających się pozostaje w tyle za krajami rozwijającymi się ubogimi w zasoby. Wiele krajów rozwijających się bogatych w zasoby buduje swój rozwój wokół ich eksploatacji. Często jednak eksploatują swoje zasoby nieefektywnie i nie inwestują ponownie rent z zasobów naturalnych w inne inwestycje produkcyjne (Barbier, 2003). Zamiast oczekiwanych korzyści płynących z nieoczekiwanych dochodów z zasobów naturalnych, przekleństwo zasobów może wywołać negatywne skutki: zmniejszony wzrost gospodarczy, wzrost ubóstwa i/lub nierówności, konflikty i niestabilność polityczną (Siakwah, 2017).

Niezaprzeczalny wpływ zasobów naturalnych na rozwój gospodarczy wymusza poszukiwanie sposobów ich zachowania i racjonalnej gospodarki nimi. Teoria ekonomii wyróżnia dwie podstawowe zasady trwałości kapitału: słabą i mocną (Łuszczuk, 2010).

W słabej zasadzie trwałości kapitału wskazuje się na konieczność zachowania całkowitego zasobu kapitału, niezależnie od jego rodzaju. Suma kapitału antropogenicznego, naturalnego i zasobów ludzkich powinna zapewnić przyszłym pokoleniom nie niższy niż obecnie poziom dobrobytu i możliwości rozwoju społeczno-gospodarczego. Zdaniem zwolenników tej teorii nie ma znaczenia, który kapitał będzie podstawą kreowania przyszłego dobrobytu. Warunkiem koniecznym i wystarczającym jest zachowanie sumy całego kapitału. W sytuacji, gdy ubytek kapitału naturalnego będzie rekompensowany przez wzrost ilości kapitału antropogenicznego, łączny kapitał nie będzie malał, a osiągnięty rozwój będzie miał charakter trwały (Łuczka-Bakuła, 2006). Takie podejście znajduje swoje uzasadnienie w teorii ekonomii neoklasycznej. Zgodnie z tą zasadą, kapitał naturalny i antropogeniczny mogą być wzajemnie zastępowane. Gdy jeden z czynników wyczerpuje się, jego cena rośnie, zaś konsumpcja spada. Pojawiają się

jednocześnie technologie, stanowiące alternatywę dla rzadkiego i droższego dobra, co w efekcie przyczynia się do spełnienia warunku sprawiedliwości międzypokoleniowej, pomimo wyczerpywania się zasobów naturalnych.

Mocna zasada trwałości kapitału jest podejściem bardziej zachowawczym. Oprócz wymaganej stałości całkowitego zasobu kapitału konieczna jest także stałość jego struktury. To podejście wynika z przekonania o ograniczonych możliwościach substytucji kapitału. Jediną możliwością jest substytucja w ramach jednego rodzaju kapitału. Oznacza to, że nieodnawialny kapitał naturalny może być zastąpiony kapitałem odnawialnym, jednak musi to nastąpić w takiej ilości, by poziom dobrobytu społecznego był co najmniej taki sam. Przykładem takiej substytucji może być zastępowanie produkcji energii z surowców kopalnych energią wiatrową lub słoneczną (o ile jej produkcja nie będzie powodowała powstawania innych uciążliwości).

Mocna trwałość zasobów naturalnych jest celem raczej nieosiągalnym we współczesnych uwarunkowaniach społeczno-gospodarczych i politycznych. Restrykcje dotyczące użytkowania zasobów naturalnych mogą wiązać się z powstawaniem konfliktów wewnętrznych. Lokalne społeczności będą oczekiwały nie tylko zagwarantowania interesów środowiska naturalnego, lecz przede wszystkim środowiska sztucznego, wsparcia przedsiębiorczości i wzrostu zatrudnienia, zmniejszenia zakresu ubóstwa i nierówności społecznych, dostępu do usług zdrowotnych i edukacyjnych czy nawet wzrostu płac i konsumpcji kosztem prowadzonej polityki ekologicznej (Jeżowski, 2004).

Żadna z przedstawionych zasad nie jest pozbawiona wad, jak również ich zastosowanie w praktyce jest trudne, bądź nawet niemożliwe. Słaba zasada trwałości kapitału nie zabezpiecza w pełni najbardziej wrażliwych ekosystemów dla przyszłych pokoleń. Mocna zasada trwałości kapitału nie zapewnia natomiast sprawiedliwości międzygeneracyjnej. Konieczne jest zatem szukanie bardziej uniwersalnych rozwiązań, które pozwolą na obecne użytkowanie zasobów naturalnych, bez ograniczania dostępu do nich przyszłym pokoleniom.

Analizując literaturę dotyczącą m.in. klątwy surowcowej i jej powiązań z niepokojami społecznymi, można odnieść wrażenie, że obfitość zasobów naturalnych jest problemem, który doprowadza kraje do ubóstwa. Wynika to przede wszystkim z poszukiwania renty przez potężne grupy, które starają się zachować kontrolę nad zasobami (co wpływa na wyniki gospodarcze i zwiększa prawdopodobieństwo

konfliktów społecznych) lub z powodu aprecjacji kursów walutowych, co z kolei prowadzi do spadku produktywności i konkurencyjności sektorów wtórnych. Poglądy te pomijają jednak, że zasoby naturalne stanowią potencjalne bogactwo, a wiele krajów rozwiniętych, takich jak Stany Zjednoczone, Norwegia czy Kanada, nadal świetnie prosperuje dzięki zasobom naturalnym. Chociaż uzależnienie poszczególnych krajów od zasobów naturalnych stwarza pewne ryzyko dla dalszego wzrostu gospodarczego, stwarza również ogromne możliwości, jeśli zasoby naturalne są efektywnie zarządzane (Coria i Sterner, 2011).

Efektywne zarządzanie zasobami ma zapewnić, że zasoby będą wykorzystywane w sposób pozwalający zmaksymalizować długoterminowy dobrobyt społeczny i uzyskać jak najwięcej korzyści. Jeśli zasoby są nieodnawialne ważne jest również, aby pozyskiwać je w tempie i w sposób, które zapewniają największe korzyści ekonomiczne reszcie gospodarki. Doświadczenia badawcze i polityczne wskazują, że najbardziej bezpośrednimi przyczynami nadmiernej eksploatacji są nieprecyzyjne prawa własności, błędna wycena nakładów i produktów eksploatacji zasobów, słaba dostępność informacji, układy monopolistyczne lub inne formy władzy rynkowej lub złe decyzje inwestycyjne podejmowane przez agencje państwowe (Ascher, 1999). Nie jest łatwo jednak stwierdzić, czy dominują niedoskonałości rynku, czy też niepowodzenia polityki, które są również powszechne w przypadku różnych rodzajów zasobów naturalnych.

Zasoby naturalne pod wieloma względami stanowią podstawę działalności gospodarczej. Zasoby, takie jak minerały czy drewno, mają duży udział w produkcji gospodarczej w wielu krajach. Zasoby gleby i wody mają również fundamentalne znaczenie dla działalności rolniczej, kluczowej części gospodarki w wielu krajach rozwijających się. Zrównoważone zarządzanie zasobami naturalnymi stawia wyjątkowe wyzwania. Jednym z nich jest minimalizowanie cykli boomu i załamania. Kraje, które są w dużym stopniu uzależnione od zasobów naturalnych, są na nie podatne. Ten problem można rozwiązać za pomocą różnych polityk. Jedną z nich może być utworzenie funduszu stabilizacyjnego, który ma na celu zmniejszenie wpływu niestabilnych dochodów na rząd i gospodarkę. Alternatywną opcją jest wykorzystanie nadzwyczajnych dochodów do finansowania inwestycji publicznych (np. w infrastrukturę), które zwiększają produktywność inwestycji prywatnych. Kolejnym rozwiązaniem jest antycykliczna polityka fiskalna w odniesieniu do cen surowców. Dywersyfikacja eksportu to kolejny sposób na zminimalizowanie wpływu cykli boomu

i załamania. Jest to jednak długotrwały proces. Inicjatywy, takie jak instrumenty zarządzania ryzykiem towarowym i specjalne programy wspierające rozwój nowych sektorów eksportowych, mogą pomóc rządowi w przetrwaniu zewnętrznych wstrząsów i utrzymaniu ich strategii dywersyfikacji. Gospodarki oparte na zasobach potrzebują również znacznego stopnia elastyczności kursów walutowych, aby móc dostosować się do zmian w warunkach wymiany handlowej.

Innym wyzwaniem jest unikanie tzw. „choroby holenderskiej”, czyli regresu gospodarczego, spowodowanego odkryciem i intensywną eksploatacją złóż surowców naturalnych. Potencjalny negatywny wpływ sektora zasobów naturalnych na gospodarkę można złagodzić za pomocą odpowiednich polityk. Konkretnie inwestycje publiczne finansowane z nadzwyczajnych dochodów, dywersyfikacja eksportu i odpowiedni system podatkowy mogą odegrać kluczową rolę w zapobieganiu „chorobie holenderskiej” i wesprzeć rozwój sektora niezasobowego.

Nadużywanie i degradację odnawialnych zasobów naturalnych mogą ograniczyć jasno określone prawa dostępu. Ponadto, umożliwiają one lepsze wykorzystanie zasobów. W przypadku zasobów odnawialnych kluczowym wyzwaniem jest także zapewnienie, aby tempo wydobycia nie przekraczało zdolności do regeneracji, innymi słowy zapewnienie zrównoważonej eksploatacji.

2.4. Energia jako czynnik produkcji

Czynniki produkcji to termin ekonomiczny, który opisuje nakłady wykorzystywane do produkcji towarów lub usług w celu osiągnięcia zysku ekonomicznego. Obejmują one wszelkie zasoby potrzebne do stworzenia towaru lub usługi. Liczba i definicja czynników różnią się w zależności od celu teoretycznego, nacisku empirycznego lub szkoły ekonomicznej (Friedman, 2007). Pierwszymi ekonomistami, wyróżniającymi czynniki produkcji, byli francuscy fizjokraci. Wierzyli oni, że bogactwo narodów pochodzi wyłącznie z wartości rolnictwa lub zagospodarowania ziemi i że produkty rolne powinny być wysoko wyceniane (Dieterle, 2017). Przedstawiane przez nich teorie były najbardziej popularne w drugiej połowie XVIII wieku. Fizjokratyzm stał się jedną z pierwszych dobrze rozwiniętych teorii ekonomicznych i poprzedzała pierwszą nowoczesną szkołę ekonomii klasycznej zapoczątkowaną przez Adama Smitha.

Klasyczna ekonomia Adama Smitha, Davida Ricardo i ich zwolenników skupia się na zasobach fizycznych przy definiowaniu czynników produkcji i omawia rozkład

kosztów i wartości między tymi czynnikami. Smith uważał plony ziemi za główne źródło dochodów i bogactwa każdego kraju. Dla Smitha rolnictwo było bardziej produktywnie niż produkcja, ponieważ ma dwie siły współbieżne w produkcji, ziemię i pracę, podczas gdy produkcja ma tylko jedną (pracę). Podział pracy był głównym elementem wzrostu produktywności (Hubacek i van den Bergh, 2006). Klasyczni ekonomiści uznali zasoby naturalne za godne odrębnego potraktowania analitycznego, ponieważ oferowane przez nich usługi są bezpłatne. Oprócz pracy (a później także kapitału) ziemia pozostała odrębnym czynnikiem w funkcji produkcji.

Różnorodność czynników produkcji wpłynęła na konieczność ich uporządkowania. Jako pierwszy uczynił to francuski ekonomista Jean-Baptiste Say, który w *Traktacie* (Say, 2001), swojej głównej pracy ekonomicznej, stwierdził, że każdy proces produkcyjny wymaga wysiłku, wiedzy i „zastosowania” przez przedsiębiorcę. Według niego przedsiębiorcy są pośrednikami w procesie produkcyjnym, którzy łączą czynniki wytwórcze, w celu zaspokojenia popytu konsumentów. W rezultacie odgrywają one centralną rolę w gospodarce i pełnią rolę koordynującą (Koolman, 1971). Say wyróżnił trzy podstawowe czynniki, tj.:

- ziemia – dobra pochodzenia naturalnego będące w posiadaniu ludzi, wszelkie dary natury (np. powietrze, gleba, surowce mineralne oraz bogactwo wód, czyli jeziora, rzeki, morze). Ich bogactwo jest ograniczone, a ludzie nie mają na to wpływu. Dlatego jeśli człowiek chce zwiększyć podaż dóbr konsumpcyjnych, to musi zdecydować się na zwiększenie swojego wysiłku lub na podaży dóbr kapitałowych,
- praca (siła robocza) – każde wykorzystanie ludzkiej energii w dążeniu do zamierzonego celu. Jest to działalność człowieka fizyczna oraz umysłowa. Człowiek w tym procesie łączy ze sobą wszystkie elementy do produkcji i tworzy nowe wartości. W jakim stopniu czynnik ziemi będzie wykorzystany, zależy od dostępności czynnika pracy,
- kapitał – dobra wytworzone uprzednio, zasoby trwałe, które służą do rozpoczęcia lub kontynuowania działalności gospodarczej. Ludzie mogą zwiększyć swoją produkcję przez powiększenie zasobów dostępnych dóbr kapitałowych. Dzięki wykorzystaniu tych dóbr powiększa się produktywność gospodarki. Kapitał dzieli się na kapitał ludzki i rzeczowy. Kapitał ludzki są to zasoby wiedzy, umiejętności, zdrowia i energii, które są zawarte w człowieku. Są to wszelkie nakłady (pieniężne, rzeczowe, czasowe) jakie ponosi człowiek, w związku z wykształceniem, kwalifikacjami

i umiejętnościami. Kapitał rzeczowy (tzw. kapitał fizyczny) to środki produkcji - środki pracy (maszyny, narzędzie) oraz przedmioty pracy (surowce, materiały).

Klasyccy ekonomiści również używali słowa „kapitał” w odniesieniu do pieniędzy. Pieniądz jednak nie był uważany za czynnik produkcji w sensie zasobu kapitału, ponieważ nie jest używany do bezpośredniej produkcji żadnego dobra (Benchimol, 2015). Zwrot pożyczonych pieniędzy lub pożyczonych zasobów został nazwany odsetkami, podczas gdy zwrot do faktycznego właściciela zasobów kapitałowych (narzędzi itp.) został nazwany zyskiem.

W XIX wieku rozwój przemysłu, rozwój technologiczny i przyspieszenie akumulacji kapitału wywołały szereg zmian w klasycznym myśleniu ekonomicznym. Można wyróżnić trzy krytyczne zmiany (Gómez-Baggethun, de Groot, Lomas i Montes, 2009):

- powolne przesuwanie się głównego nacisku na ziemię i pracę w kierunku czynników pracy i kapitału,
- przejście od analizy fizycznej do analizy pieniężnej,
- przejście od wartości użytkowych do wartości wymiany.

Główną ideą marksizmu były siły wytwórcze. Karl Marks oraz Friedrich Engels (Marks i Engels, 1987) w swojej krytyce ekonomii politycznej odnoszą się do połączenia środków pracy (takich jak narzędzia, maszyny, ziemia czy infrastruktura etc.) z siłą roboczą. Koncepcja ta wyrosła najprawdopodobniej z zaproponowanych przez Adama Smitha „sił produkcyjnych pracy” (Smith A., 2007), jednak o koncepcji „sił produkcyjnych” wspominał Friedrich List (1841) w *National System of Political Economy*. Pojęcie „siły wytwórcze” obejmuje wszystkie te siły, które są stosowane przez ludzi w procesie produkcyjnym (ciało i mózg, narzędzia i techniki, materiały, zasoby, jakość współpracy pracowników, sprzęt), w tym funkcje zarządcze i inżynierskie, technicznie niezbędne do produkcji (w przeciwieństwie do funkcji kontroli społecznej). Wiedza ludzka może być również siłą produkcyjną. Wraz ze społecznymi i technicznymi stosunkami produkcji siły wytwórcze stanowią historycznie specyficzny sposób produkcji. Marks uważał, że „elementarnymi czynnikami procesu pracy” lub „siłami produkcyjnymi” są (Marks, 1951):

- praca,
- przedmiot pracy (obiekty przekształcone przez pracę),
- narzędzia pracy (lub środki pracy).

„Przedmiot pracy” odnosi się do zasobów naturalnych i surowców, w tym ziemi. „Narzędzia pracy” to narzędzia w najszerszym tego słowa znaczeniu. Obejmują one budynki fabryczne, infrastrukturę i inne obiekty stworzone przez człowieka, które ułatwiają produkcję towarów i usług przez pracowników. Podejście to jest podobne do przedstawionego wcześniej klasycznego podejścia do czynników produkcji, jednak w przeciwieństwie do szkoły klasycznej i wielu dzisiejszych ekonomistów, Marks dokonał wyraźnego rozróżnienia między faktycznie wykonaną pracą a „siłą roboczą” lub zdolnością do pracy jednostki. Wykonywana praca jest obecnie często określana jako „wysiłek” lub „usługi pracownicze”. Siła robocza może być postrzegana jako zasób, który może wytworzyć przepływ siły roboczej. Kluczowym czynnikiem produkcji dla Marksa i podstawą marksistowskiej teorii wartości jest praca. Zatrudnianie siły roboczej skutkuje produkcją dóbr lub usług („wartości użytkowej”) tylko wtedy, gdy jest zorganizowane i regulowane.

Jednoczącym podejściem klasycznych ekonomistów była analiza wartości (ziemia, praca i kapitał) zawartych w produkcie w celu określenia jego ceny. Zupełnie inną orientację przyjęła szkoła neoklasyczna, zapoczątkowana przez Jevonsa, Marshalla, Mengera i Walrasa, poszukujących współzależności między użytecznością w konsumpcji a kosztami w produkcji (Silvis i van der Heide, 2013). Neoklasyczna teoria ekonomii zaczęła wyjaśniać, w jaki sposób innowacje technologiczne umożliwiłyby zwiększoną substytucyjność między nakładami produkcyjnymi, takimi jak ziemia i kapitał, ostatecznie odrzucając obawy dotyczące fizycznego niedoboru (Georgescu-Roegen, 1971). Substytucja została podniesiona do centralnej zasady, na podstawie której wyjaśnia się zarówno system cen, jak i system produkcji. Podejście neoklasyczne ignoruje zasadniczą komplementarność między różnymi czynnikami produkcji lub różnymi rodzajami działalności. Neoklasycyści ekonomiści uważają, że różne formy kapitału (naturalnego, stworzonego przez człowieka, społecznego lub finansowego) są wzajemnie substytucyjne. Zgodnie z twierdzeniem Naredo (Gómez-Baggethun, de Groot, Lomas i Montes, 2009) „problem [fizycznego] niedoboru został zredukowany do problemu niedoboru kapitału, traktowanego jako abstrakcyjna kategoria, którą można wyrazić niejednorodnymi jednostkami monetarnymi”. Niedobór zasobów naturalnych mierzy się wówczas jedynie kosztem lub ceną zasobu, a nie jakąkolwiek fizyczną miarą jego obliczonej rezerwy. Innymi słowy, niedobór jest tymczasowy i można go przewyciężyć przez substytucję napędzaną zmianami cen względnych.

Ekonomia neoklasyczna, jedna z gałęzi ekonomii głównego nurtu, rozpoczęła się od klasycznych czynników produkcji: ziemi, pracy i kapitału. Opracowała jednak alternatywną teorię wartości i dystrybucji. Wielu jej praktyków dodało różne dodatkowe czynniki produkcji, głównie dotyczące kwestii kapitału jako czynnika produkcji. Rozróżnienia te obejmują:

- kapitał — ma wiele znaczeń. Jednym z nich jest kapitał finansowy gromadzony na prowadzenie i rozwój biznesu. Przede wszystkim oznacza jednak dobra, które mogą w przyszłości pomóc w wytwarzaniu innych dóbr, będących wynikiem inwestycji. Odnosi się do maszyn, dróg, budynków itp., które ludzie wyprodukowali do tworzenia towarów i usług,
- kapitał trwały — obejmuje maszyny, fabryki, sprzęt, nowe technologie, budynki, komputery i inne dobra, które mają na celu zwiększenie potencjału produkcyjnego gospodarki na przyszłe lata. Ten rodzaj kapitału nie zmienia się dzięki produkcji dobra,
- kapitał obrotowy — obejmuje zapasy wyrobów gotowych i półproduktów, które zostaną ekonomicznie skonsumowane w najbliższej przyszłości lub w niedalekiej przyszłości zostaną przetworzone na gotowe dobra konsumpcyjne. Są one często nazywane inwentarzem. Wyrażenie „kapitał obrotowy” było również używane w odniesieniu do aktywów płynnych (pieniądze) potrzebnych do natychmiastowych wydatków związanych z procesem produkcyjnym (na wypłatę wynagrodzeń, faktur, podatków, odsetek). Kwota lub charakter tego rodzaju kapitału zwykle zmienia się w trakcie procesu produkcyjnego,
- kapitał finansowy — to kwota, jaką zainwestował w niego inicjator biznesu. Kapitał finansowy często odnosi się do jego lub jej wartości netto związanej w firmie (aktywa minus zobowiązania), ale wyrażenie to często obejmuje pieniądze pożyczone od innych.

W pierwszej połowie XX wieku niektórzy autorzy dodali organizację lub przedsiębiorczość jako kolejny czynnik produkcji. Jednym z nich był brytyjski ekonomista Alfred Marshall, który do klasycznych trzech czynników produkcji dodał czwarty – przedsiębiorczość i organizację. W swojej pracy zatytułowanej *Principles of Economics* Marshall twierdził, że „czynniki produkcji są powszechnie klasyfikowane jako ziemia, praca i kapitał. Jako ziemię rozumie się materiał i moc, które natura daje za darmo do pomocy człowiekowi, w ziemi, wodzie, powietrzu, świetle i ciepłe. Poprzez

pracę rozumie się ekonomiczną pracę człowieka, zarówno fizyczną, jak i umysłową. Kapitał jest określany jako wszelkie nagromadzone środki na produkcję dóbr materialnych i na osiągnięcie tych korzyści, które powszechnie uważa się za część dochodu. Jest to główny zasób bogactwa, uważany raczej za czynnik produkcji niż za bezpośrednie źródło gratyfikacji. Kapitał składa się w dużej mierze z wiedzy i organizacji: z tego część jest własnością prywatną, a część nie. Wiedza jest naszym najpotężniejszym motorem produkcji; pozwala nam ujarzmić naturę i zmusić ją do zaspokojenia naszych pragnień. Organizacja wspomaga wiedzę; ma wiele form, m.in. jednej firmy, różnych firm w tej samej branży, różnych branż względem siebie, a także państwa zapewniającego wszystkim bezpieczeństwo i pomoc” (Marshall, 1961). Marshall uważał, że związek między organizacją a wiedzą jest bardzo ważny. To organizacja pozwala na wykorzystanie naszej wiedzy w praktyce oraz na ulepszanie jej. Marshall nie uważał organizacji za coś, co łączyłoby się jedynie z ziemią, pracą i kapitałem, ale rozumiał, że sama organizacja ma swoją wartość.

Przedsiębiorcę, jako czwarty czynnik, przedstawił austriacki ekonomista Joseph Schumpeter. Tę koncepcję Schumpeter rozwinął w swojej publikacji pt. *Theory of Economic Development* (Schumpeter, 1934). Twierdził on, że nie można powiedzieć nic konkretnego o nowoczesnej ekonomii bez uwzględnienia roli przedsiębiorcy. W typologii Schumpetera przedsiębiorca to osoba, która ma talent i chęć przełamywania oporów przed zmianą, poszukując nowego sposobu łączenia czynników produkcji. Schumpeter wyróżnia pięć przypadków, które obejmują jego koncepcję „nowych kombinacji czynników produkcji”.

- Stworzenie nowego dobra. Produkcja towarów, które nie są jeszcze znane grupie konsumentów lub dodają nową jakość do istniejącego towaru,
- Wprowadzenie nowej metody produkcji, która nie jest jeszcze znana. Nowa metoda produkcji nie musi opierać się na nowym odkryciu naukowym. Może to być istniejąca metoda, wykorzystana w nowy sposób, by zaproponować nową drogę wejścia produktu na rynek,
- Rozwój nowego rynku. Stworzenie nowego rynku, na którym branża, o której mowa, nie była jeszcze ugruntowana. Rynek ten nie istniał wcześniej lub istniał w szczątkowej formie,

- Zdobyć nowego źródła surowców lub półproduktów. Nie ma znaczenia, czy źródło istniało wcześniej i zostało po prostu zignorowane, czy zostało uznane za niedostępne lub czy zostało po raz pierwszy utworzone,
- Przeprowadzenie reorganizacji. Może to być ustanowienie pozycji monopolisty lub złamanie istniejącego monopolu.

Alternatywą dla ekonomii neoklasycznej jest ekonomia ekologiczna (*ecological economics*). Integruje ona, między innymi, pierwszą i drugą zasadę termodynamiki, w celu sformułowania bardziej realistycznych systemów ekonomicznych, które podlegają podstawowym ograniczeniom fizycznym. Ekonomia ekologiczna, oprócz skupienia się na efektywnej alokacji, kładzie nacisk na zrównoważenie skali oraz sprawiedliwą dystrybucję (Ament, 2019). Ekonomia ekologiczna różni się również od teorii neoklasycznych definicją czynników produkcji, zastępując je następującymi (Zencey, 2012; Daly i Farley, 2011):

- materia — materiał, z którego wytwarzane są produkty. Materia może zostać poddana recyklingowi lub ponownie wykorzystana poprzez rafinację lub reformowanie, ale nie można jej tworzyć ani niszczyć, co nakłada górną granicę na ilość materiału, który można wykorzystać. Całkowita ilość dostępnej materii jest stała, a gdy cała dostępna materia zostanie wykorzystana, nic więcej nie może być wyprodukowane bez recyklingu lub ponownego użycia materii z poprzednich produktów,
- energia — fizyczne, ale niematerialne nakłady produkcji. Możemy umieścić różne formy energii na skali użyteczności w zależności od tego, jak przydatne są one do tworzenia produktu. Ze względu na prawo entropii energia ma tendencję do zmniejszania użyteczności w czasie. Podobnie jak materia, energia nie może zostać stworzona ani zniszczona, a zatem istnieje również górna granica całkowitej ilości użytecznej energii,
- inteligencja projektowa — czynnik, który obejmuje wiedzę, kreatywność i efektywność tworzenia towarów – im lepszy projekt, tym bardziej wydajna i korzystna jest produkcja. Projekty są zazwyczaj ulepszeniami swoich poprzedników, ponieważ nasz zasób zgromadzonej wiedzy powiększa się z czasem.

Przy maksymalnych wskaźnikach trwałego poboru materii i energii, jedynym sposobem na zwiększenie produktywności jest wzrost inteligencji projektowej. Stanowi to podstawę dla podstawowej zasady ekonomii ekologicznej, a mianowicie, że nieskończony wzrost jest niemożliwy (Zencey, 2012).

Potencjalnie istotna rola energii w produkcji i wzroście gospodarczym wynika z podstawowych zasad fizycznych. Prawa termodynamiki i zachowania materii opisują niezmiennie ograniczenia, w których musi działać system ekonomiczny (Ayres i Kneese, 1969; Boulding, 1966). Pierwsza zasada termodynamiki (zasada zachowania energii) implikuje zasadę równowagi masy (Ayres i Kneese, 1969). W celu uzyskania danej produkcji, większe lub równe ilości materii muszą być użyte jako nakłady, z uwzględnieniem zanieczyszczenia oraz odpadów. W związku z tym istnieją minimalne wymagania dotyczące nakładów dla każdego procesu produkcyjnego. Druga zasada termodynamiki sugeruje, że do przeprowadzenia przemiany materii wymagana jest minimalna ilość energii. Przeprowadzanie przekształceń w skończonym czasie wymaga więcej energii niż te minima (Baumgärtner, 2004). Każda produkcja wiąże się w jakiś sposób z transformacją lub ruchem materii. Jakaś materia musi zostać przeniesiona lub przekształcona, chociaż poszczególne pierwiastki i związki chemiczne mogą być substytucyjne. Wszystkie procesy gospodarcze wymagają zatem energii, więc energia jest zawsze istotnym czynnikiem produkcji (Stern D. I., 1997). Dopóki dostępna jest wystarczająca ilość energii, nie stanowi to ostatecznego ograniczenia produkcji ekonomicznej, jak proponuje Georgescu-Roegen (1971). Oznacza to jednak zakłócenia środowiskowe, a ponieważ koncentracja i jakość zasobów maleje, koszty energii w pozyskiwaniu zasobów zwiększają się (Hall, Cleveland i Kaufmann, 1986).

Istotnymi koncepcjami, związanymi z rolą energii w gospodarce, są odtwarzalność oraz podział nakładów energii na pierwotne i pośrednie. Niektóre nakłady do produkcji są nieodtworzalne, podczas gdy inne można wytworzyć, po określonym koszcie, w ramach ekonomicznego systemu produkcji, można zatem stwierdzić, że są one odtwarzalne. Kapitał, praca, a w dłuższej perspektywie zasoby naturalne są odtwarzalnymi czynnikami produkcji, podczas gdy energia i materia są nieodtworzalnymi czynnikami produkcji. Paliwa i surowce, takie jak minerały, są teoretycznie odtwarzalnymi czynnikami (Stern D. I., 1999), chociaż z wyjątkiem rolnictwa i leśnictwa są one zwykle pozyskiwane z natury i reprezentują zakumulowaną pracę cykli biogeochemicznych planety, które z kolei są zasilane przez energię słoneczną i wewnętrzne ciepło Ziemi.

Ponieważ ani energia, ani materia nie są odtwarzalne, muszą być pozyskiwane ze środowiska z domniemanymi zakłóceniami dla środowiska. Jest to szczególnie istotne w przypadku energii, ponieważ ze względu na prawo entropii, nie można jej poddać

recyklingowi ani odtworzyć. Część metod pozyskiwania energii jest prawdopodobnie bardziej niebezpieczna dla zdrowia ludzkiego lub szkodliwa dla jakości środowiska niż pozostałe, jednak wszystkie metody – energia jądrowa, paliwa kopalne, energia wodna, energia wiatrowa, biomasa itp. – są destrukcyjne dla środowiska. Energia słoneczna jest bardzo rozproszona w porównaniu ze skoncentrowanymi zapasami paliw kopalnych, a rośliny i zwierzęta są bardzo nieefektywnymi konwerterami tej energii na energię i pracę użyteczną dla ludzi. Dlatego przejście na paliwa kopalne poprzez rewolucję przemysłową uwolniło istniejące wcześniej ograniczenia produkcji i wzrostu.

Za nieodtwarzalne nakłady uważana jest także informacja. Informacja jest zasadniczo nieodtwarzalnym czynnikiem produkcji tak samo jak energia, należy więc zwracać uwagę na oba te nakłady w takim samym stopniu (Spreng, 1993; Chen, 1994). Energia jest niezbędna do wydobycia informacji ze środowiska, podczas gdy aktywne wykorzystanie energii nie może odbywać się bez informacji i ewentualnie zgromadzonej wiedzy. Oczywiście energia może zapewnić niekontrolowane ogrzewanie, oświetlenie itp. bez jakiegokolwiek aktywności ze strony podmiotów gospodarczych, ale nawet nieinteligentne organizmy muszą wykorzystywać informacje, aby kontrolować zużycie energii. Jednak, w przeciwieństwie do energii, informacji nie da się łatwo określić ilościowo.

Pierwotne czynniki produkcji to nakłady, które istnieją na początku rozpatrywanego okresu i nie są bezpośrednio wykorzystywane w produkcji (choć mogą być degradowane lub akumulowane z okresu na okres), natomiast nakłady pośrednie to te, które powstały w trakcie rozpatrywanego okresu produkcji i są całkowicie zużyte w produkcji. Ekonomiści głównego nurtu zwykle myślą o kapitale, pracy i ziemi jako o podstawowych czynnikach produkcji, podczas gdy dobra, takie jak paliwa i materiały, są nakładami pośrednimi. Podejście to doprowadziło do skupienia się w teorii wzrostu głównego nurtu na podstawowych nakładach, w szczególności na kapitale i pracy. Energii i innym zasobom przypisuje się mniejszą i nieco pośrednią rolę w głównej teorii produkcji i wzrostu. Nakłady energii pierwotnej to zasoby magazynowe, takie jak złoża ropy naftowej, podczas gdy przepływ energii dostępnej dla gospodarki w dowolnym okresie jest endogeniczny, choć ograniczony przez ograniczenia biofizyczne, takie jak ciśnienie w złożach ropy naftowej i ograniczenia ekonomiczne, takie jak wielkość wydobycia, rafinacji czy zdolności wytwórczych, a także szybkość i wydajność, z jakimi te procesy mogą przebiegać (Stern D. I., 1999). Nie przypisuje im

się jednak wyraźnej roli w standardowych teoriach wzrostu makroekonomicznego, które koncentrują się na pracy i kapitale. Dlatego zrozumienie roli energii w teorii wzrostu głównego nurtu nie jest takie proste, a rola energii jako siły napędowej wzrostu gospodarczego i produkcji jest bagatelizowana.

Główne modele ekonomiczne głównego nurtu stosowane do wyjaśnienia procesu wzrostu (Aghion i Howitt, 2009) nie uwzględniają energii jako czynnika, który mógłby ograniczać lub umożliwiać wzrost gospodarczy, chociaż dużą uwagę zwraca się na wpływ cen ropy na aktywność gospodarczą w krótkim okresie (Hamilton, 2009). Ekonomisci zasobów opracowali modele, które uwzględniają rolę zasobów, w tym energii, w procesie wzrostu, ale te idee pozostają odizolowane w dziedzinie ekonomii zasobów. Z kolei ekonomiści ekologiczni często przypisują energii centralną rolę we wzroście gospodarczym. Nie sposób jednak zrozumieć roli energii we wzroście gospodarczym bez uprzedniego zrozumienia roli energii w produkcji.

Ekonomisci ekologiczni wywodzą swój pogląd na rolę energii we wzroście gospodarczym z biofizycznych podstaw gospodarki (Georgescu-Roegen, 1971; Costanza, 1980; Cleveland, Costanza, Hall i Kaufmann, 1984; Hall, Cleveland i Kaufmann, 1986; Ayres i Warr, 2005; Hall i Murphy, 2010). Niektórzy geografowie (Smil, 1994) i historycy ekonomii (Wrigley, 1988; Allen, 2009) również uważają, że energia odgrywa kluczową rolę we wzroście gospodarczym, a także jest ważnym czynnikiem wyjaśniającym rewolucję przemysłową. Ekonomisci ekologiczni argumentują również, że substytucja między kapitałem a zasobami oraz postępem technologicznym może odgrywać jedynie ograniczoną rolę w łagodzeniu niedoboru zasobów (Stern D. I., 1997). Niektórzy autorzy (Cleveland, Costanza, Hall i Kaufmann, 1984; Hall, Tharakan, Hallock, Cleveland i Jefferson, 2003) bagatelizują również rolę zmian technologicznych, argumentując, że albo zwiększone zużycie energii odpowiada za najbardziej widoczny wzrost wydajności, albo że zmiana technologiczna jest rzeczywista, ale innowacje zwiększają produktywność głównie poprzez umożliwienie zużycia większej ilości energii. Dlatego zwiększone zużycie energii jest główną lub jedyną przyczyną wzrostu gospodarczego.

Ekonomia ekologiczna jest reprezentowana przez modele biofizyczne, w których energia jest głównym czynnikiem produkcji. Z tego punktu widzenia cała wartość pochodzi z działania energii kierowanej przez kapitał i pracę. Przepływ energii w gospodarce pochodzi z rezerw paliw kopalnych i słońca, które stanowią nakład

pierwotny. W niektórych biofizycznych modelach ekonomicznych (Gever, Kaufmann i Skoale, 1986) ograniczenia geologiczne ustalają szybkość pozyskiwania energii, tak że przepływ, a nie zapasy można uznać za główny nakład. Z drugiej strony, kapitał i praca są traktowane jako przepływy konsumpcji kapitału i pracy, a nie jako zapasy, innymi słowy są uważane za nakłady pośrednie, które są tworzone i utrzymywane przez pierwotny nakład energii i przepływy materii.

2.5. Negatywne efekty zewnętrzne wykorzystania energii

Jako pierwszy teorię na temat występowania efektów zewnętrznych przedstawił brytyjski ekonomista Alfred Marshall, który w swojej publikacji *Principles of Economics* (Marshall, 1961) zaproponował rozróżnienie między korzyściami wewnętrznymi oraz zewnętrznymi, przy okazji tworząc termin efektów zewnętrznych. Korzyści zewnętrzne są czynnikami istotnymi dla przedsiębiorstwa, pochodzącymi z zewnątrz, które można zastosować w przedsiębiorstwie. Przykładem może być lepsza technologia, stworzona poza przedsiębiorstwem. Korzyści wewnętrzne to takie, które są pod kontrolą osób zarządzających firmą, na przykład od inteligentnego menedżera, który usprawnia działania przedsiębiorstwa. Według Marshalla korzyści zewnętrzne są powiązane ze skalą produkcji i zależne od ogólnego rozwoju produkcji, zaś korzyści wewnętrzne są zależne od zasobów posiadanych przez przedsiębiorstwa.

Marshall obawiał się, że efektywność na dużą skalę, wynikająca z korzyści zewnętrznych, może skutkować tak zwanym monopolem naturalnym, kiedy jedna firma może obsługiwać rynek taniej niż co najmniej dwie inne, mniejsze firmy. Naturalne monopole wymagają interwencji rządu, by zmaksymalizować dobrobyt społeczny.

Marshall wspominał o pojęciu zewnętrznych wpływów na produkcję, które można utożsamiać z efektami zewnętrznymi. Jego następcą, Arthur Pigou, wprowadził pojęcie efektów zewnętrznych w dzisiejszym rozumieniu. W swojej najsłynniejszej pracy *The Economics of Welfare* (2013) udoskonał teorię swojego poprzednika dotyczące efektów zewnętrznych. Pigou podał liczne przykłady tego, co obecnie znane jest jako negatywne i pozytywne efekty zewnętrzne, z których wszystkie zostały wyjaśnione jako forma zawodności rynku, która uzasadnia rozważenie interwencji państwa w celu zlikwidowania luki między kosztami prywatnymi i społecznymi. Przykładem mogą być latarnie morskie, zapewniające korzyści statkom, które nie płacą za swoje usługi (Sidgwick, 2011). Drogi publiczne mogą zapewniać wyższą wartość nieruchomości sąsiednim właścicielom gruntów, natomiast wynalazcy wytwarzają cenną wiedzę, którą

inni mogą wykorzystać dla ich osobistych i społecznych korzyści. Podczas gdy nowa produkcja może tworzyć dobrobyt, dym fabryczny może ograniczyć dostęp światła słoneczne i brudzić budynki. We wszystkich takich sytuacjach koszty i korzyści społeczne i prywatne różnią się i nie są łatwe do rozwiązania ze względu na „techniczne trudności w wyegzekwowaniu odszkodowania za przypadkowe krzywdy” (Pigou, 2013). Pigou argumentował wprowadzenie subsydiów i podatków w celu zmniejszenia różnic między kosztami społecznymi. Podejście to jest podstawą współczesnej analizy efektów zewnętrznych.

Kontynuując rozważania na temat efektów zewnętrznych, należy wspomnieć pracę Tibora Scitovsky’ego (1954). Omawiając efekty zewnętrzne, Scitovsky zidentyfikował cztery rodzaje bezpośredniej współzależności:

- kiedy satysfakcja jednostki jest związana z satysfakcją innej osoby,
- kiedy na zadowolenie wpływają niedogodności, takie jak dym pochodzący z produkcji,
- kiedy producenci oferują towary i usługi po niższych kosztach, co skutkuje oferowaniem większej satysfakcji przy niższych kosztach,
- kiedy produkcja producenta zależy od innych firm.

Scitovsky wyjaśnił, że ekonomiści na ogół mają niewiele do powiedzenia na temat pierwszego rodzaju efektów zewnętrznych. Również drugi efekt zewnętrzny uznał za nieistotny, uważając, że można z nim sobie poradzić poprzez przepisy dotyczące zdrowia i bezpieczeństwa publicznego, czy też tworzenie specjalnych stref dla przedsiębiorstw. Także trzeci efekt, zdaniem Scitovsky’ego, jest nieistotny, szczególnie w sensie politycznym, gdyż patenty na innowacje pozwalają innowatorom na zdobywanie zysków, a tym samym zachęcają do takich produktywnych działań. Innowatorzy sprzedają swoją produkcję nabywcom, którzy czerpią korzyści z wykorzystania nowej technologii w swojej produkcji. Inne innowacje są wynikiem badań sponsorowanych przez społeczeństwo, np. w rolnictwie, gdzie wyniki badań są udostępniane wszystkim. Ostatni efekt zewnętrzny wydawał się Scitovsky’emu mało istotny, gdyż może on dotyczyć nieopłacanych czynników produkcji. Jako przykład Scitovsky podał pracę Jamesa E. Meade’a, w której przedstawiono przykład sadów jabłoniowych oraz pszczelarzy (Meade, 1952).

Ekonomiści od dawna odróżniają technologiczne od finansowych efektów zewnętrznych (Holcombe i Sobel, 2001). Rozróżnienie to stworzył Jacob Viner (1931).

Technologiczny efekt zewnętrzny definiowany jest jako pośredni wpływ działalności konsumpcyjnej lub działalności produkcyjnej na zbiór konsumpcyjny konsumenta, funkcję użyteczności konsumenta lub funkcję produkcyjną producenta. Pośredni oznacza, że skutek dotyczy podmiotu innego niż ten, który wykonuje tę działalność gospodarczą i że ten efekt nie działa poprzez system cen (Eatwell, Milgate i Newman, 1989). Efekty zewnętrzne mogą być pozytywne lub negatywne i są dość zróżnicowane. Główne przykłady obejmują działania związane z zanieczyszczeniem (powietrza, wody, hałasem) czy pozytywną interakcję działań produkcyjnych. Z praktycznego punktu widzenia najistotniejsze są działania związane z zanieczyszczeniem, można więc powiedzieć, że teoria technologicznych efektów zewnętrznych jest zasadniczo podstawą ekonomii środowiska. Formalizacja technologicznych efektów zewnętrznych osiągnięta jest w mikroekonomii poprzez funkcjonalne uzależnienie zbiorów produkcyjnych, funkcji użyteczności i zbiorów (lub funkcji) produkcji, na które wpływają efekty zewnętrzne, od działań innych czynników, które wytwarzają te efekty pośrednie. Na przykład funkcja użyteczności konsumenta jest uzależniona od poziomu produkcji firmy zanieczyszczającej powietrze, którym oddycha konsument (Eatwell, Milgate i Newman, 1989). W latach 30. XX wieku między ekonomistami toczyła się zagmatwana debata na temat znaczenia finansowych efektów zewnętrznych, tj. efektów zewnętrznych, które działają poprzez system cen. Dość ogólny konsensus był taki, że finansowe efekty zewnętrzne są nieistotne dla ekonomii dobrobytu: fakt, że zwiększając konsumpcję dobra, wpływa się na dobrobyt pozostałych osób poprzez wynikający z tego wzrost cen, nie zagraża optymalności Pareto w równowadze konkurencyjnej. Dzieje się tak, gdy spełnione są wszystkie założenia wymagane do tego, aby równowaga konkurencyjna była optymalna w sensie Pareto.

Chociaż dokonuje się rozróżnienia między technologicznymi i finansowymi efektami zewnętrznymi, ich forma nie ma znaczenia dla firmy lub indywidualnego decydenta, ponieważ oba efekty reprezentują korzyści lub straty finansowe. Ekonomiści twierdzą jednak, że technologiczne efekty zewnętrzne mają znaczenie dla społeczeństwa, podczas gdy finansowe nie. Wynika to z założenia, że technologiczne efekty zewnętrzne zmniejszają dobrobyt społeczny, podczas gdy finansowe w żaden sposób na niego nie wpływają. Innymi słowy, technologiczne efekty zewnętrzne skutkują produkcją fizyczną, która jest albo za duża, albo za mała, podczas gdy finansowe efekty zewnętrzne jedynie redystrybuują bogactwo wśród podmiotów gospodarczych, nie zmniejszając go.

Za podstawę popularnego obecnie pojęcia efektów zewnętrznych uznaje się artykuł Francisa M. Batora (1958). Autor posługuje się w nim pojęciem optimum w sensie Pareto – jeżeli w społeczeństwie osiąga się optimum w sensie Pareto, nie jest możliwa żadna poprawa użyteczności ani efektywności, ponieważ nikt nie może polepszyć swojej sytuacji bez pogorszenia sytuacji kogoś innego. W taki sposób społeczeństwo osiąga tzw. „punkt błogości”. Głównym obszarem zainteresowań Batora była redystrybucja dochodów poprzez opodatkowanie w celu osiągnięcia społecznej błogości, ale jego analiza dotyczyła wszystkich kwestii ekonomicznych. Bator zauważył, że osiągnięcie „punktu błogości” jest niemożliwe z powodu niedoskonałych informacji, bezwładności i oporu przed zmianami, niewykonalności bezkosztowych podatków ryczałtowych, dążenia biznesmenów do „spokojnego życia, niepewności i niespójnych oczekiwań, kaprysów zagregowanego popytu itp. (Bator, 1958).

Istnienie niedoskonałości rynku, zgodnie z założeniami przedstawionymi przez Marshalla i Pigou, wymaga opodatkowania i subsydiowania przedsiębiorstw oraz jednostek w celu zbliżenia społeczeństwa do szczęścia. Bator zauważył jednak, że wniosek, że takie podatki i dotacje są konieczne, jest błędny. Bator wyjaśnił, że zgodnie z tym wnioskiem, problemem są tylko technologiczne efekty zewnętrzne, z którymi nie można sobie poradzić poprzez zmianę struktury własności. Jako ilustrację technologicznych efektów zewnętrznych Bator podał przykład mostów i radia. Mosty „borykają się” z nierównym użytkowaniem, którego nie można rozwiązać za pomocą cen. Ograniczone są również możliwości tego, co usłyszymy w radiu. Bator zauważył, że wiele funkcjonujących rynków jest dotkniętych efektami zewnętrznymi, które uzasadniają rozważenie ulepszeń narzuconych przez państwo. Efekty zewnętrzne powinny zatem oznaczać „każdą sytuację, w której niektóre koszty i korzyści Pareto pozostają zewnętrzne w stosunku do zdecentralizowanej kalkulacji kosztów i przychodów w kategoriach cen”. Oznacza to, że nie znajdujemy się w „punktach błogości” z powodu „usług nierekompensowanych” i „przypadkowych usług nieodpłatnych”, które są istotą niedoskonałości rynku.

Bator argumentował następnie, że istnieją trzy, czasem nakładające się, kategorie efektów zewnętrznych:

- własnościowe efekty zewnętrzne, występujące w sektorze publicznym i prywatnym. Bator zakładał, że nawet gdyby rynki działały doskonale, to ze względu na

okoliczności związane z instytucjami, prawami, zwyczajami lub wykonalnością, konkurencyjne rynki nie byłyby efektywne w sensie Pareto,

- technologiczne efekty zewnętrzne, wynikające z niejednorodności lub niepodzielności wielu dóbr,
- efekty zewnętrzne dóbr publicznych.

Mniej więcej w tym samym czasie gdy opublikowano artykuł Batora, Ronald Coase w swoim artykule przedstawił twierdzenie, nazwane później twierdzeniem Coase'a (1960). Twierdzenie to opisuje efektywność ekonomiczną alokacji ekonomicznej lub wyniku w obecności efektów zewnętrznych. Zgodnie z nim, jeśli handel efektami zewnętrznymi jest możliwy, a koszty transakcyjne są wystarczająco niskie, negocjacje doprowadzą do efektywnego wyniku Pareto, niezależnie od początkowej alokacji własności. Coase w żaden sposób nie odniósł się jednak do obaw Batora, uwzględniających niedoskonałości rynku wynikające z nierówności, dominacji firm czy też innych efektów zewnętrznych. Pigou i Bator byli jednymi z wielu ekonomistów, którzy wierzyli, że podatki mogą wyrównać koszty społeczne i prywatne, tak aby ograniczyć niepożądane zachowania i zrekompensować rzekomym poszkodowanym. Oznacza to, że ci, którzy cierpią z powodu efektów zewnętrznych, zostaliby zrekompensowani przez stronę, która te efekty zewnętrzne spowodowała.

Do narastającej w latach 60. XX wieku dyskusji na temat tego, jak można internalizować lub rozwiązywać efekty zewnętrzne za pomocą podatków korygujących i subsydiów włączył się również James M. Buchanan. Buchanan wskazał, że nałożenie podatków korygujących, aby uporać się np. z zanieczyszczeniami emitowanymi przez firmy w branży mniej niż czysto konkurencyjnej, zmniejszy dobrobyt konsumentów (Buchanan, 1969). Buchanan, podobnie jak Coase, nie postrzegał efektów zewnętrznych jako istotnych, m.in. dla polityki.

Odpowiedź na twierdzenia Buchanana przedstawił William Baumol. Odrzucił on analizę Buchanana i porównał środowiskowe efekty zewnętrzne do niepełnego zatrudnienia lub nadmiernej inflacji. Uważał, że środowiskowe efekty zewnętrzne powinny być w jakiś sposób równoważone, tak jak zatrudnienie i inflacja są równoważone przez politykę monetarną i fiskalną (Baumol, 1972). Efekty te mogłyby być równoważone przez system podatków lub dopłat, lecz ustalenie dokładnego poziomu np. emisji dymów jest trudne. Baumol zaproponował zatem ustalenie zadowalających poziomów emisji, by zachować równowagę między emisjami a produkcją. Podejście to

stanowiło podstawę do rozwoju ekonomii środowiska. Zdaniem Baumola, ekonomiści mogli odegrać ważną rolę w opracowywaniu rozwiązań wielu problemów, w tym zanieczyszczeń (Baumol, 1972).

W latach 70. XX wieku pojęcie efektów zewnętrznych ugruntowało się i stało się szczególnie popularne w dziedzinie ekonomii środowiska. Pojęcie to, zdaniem Carla Dahlmana, stało się normatywne i związane było z niedoskonałościami rynku (Dahlman, 1979). W odpowiedzi na to stwierdzenie wyróżnić można trzy odmienne podejścia, które, od nazwisk znanych ekonomistów, nazwać można odpowiednio stigleriańskim, hayekańskim oraz stigliziańskim. Pomimo różnic, we wszystkich wymienionych podejściach istnienie efektów zewnętrznych jest akceptowane. Zdaniem zwolenników podejścia stigleriańskiego, prawie wszystkie efekty zewnętrzne są nieistotnymi w sensie Pareto, to znaczy takimi, które nie warte są kosztów internalizacji. Częściowo zbieżne z tym podejściem jest podejście hayekańskie. Entuzjaści tego podejścia sugerują, że wiele efektów zewnętrznych nie ma znaczenia w sensie Pareto, jednak nie wszystkie takie są. Twierdzą również, że ta część efektów zewnętrznych, która ma znaczenie w sensie Pareto, zostanie prędzej czy później skorygowana przez prywatne siły rynkowe. Podejście stigliziańskie jest bliskie z podejściem hayekańskim w kwestii istnienia istotnych efektów zewnętrznych, jednak przedstawiciele tego podejścia nie zgadzają się ze stwierdzeniem, że wiele efektów zewnętrznych jest nieistotnych w sensie Pareto. Ponadto, odrzucają twierdzenie o braku możliwości korygowania efektów zewnętrznych przez siły rynkowe. Ich zdaniem, urzędnicy państwowi mogą korygować efekty zewnętrzne związane z Pareto w opłacalny sposób.

Efekty zewnętrzne definiuje się jako pozytywne lub negatywne konsekwencje działalności gospodarczej dla niepowiązanych stron trzecich. W rezultacie społeczny koszt (lub korzyść) tych działań różni się od ich indywidualnego kosztu (lub korzyści), co skutkuje zawodnością rynku. Istnieją różne rodzaje efektów zewnętrznych. Mogą one być pozytywne lub negatywne. Ponadto, istnieje jeszcze jedno rozróżnienie: zarówno pozytywne, jak i negatywne efekty zewnętrzne mogą pojawić się po stronie produkcji lub konsumpcji (Quickonomics, 2023).

Negatywne efekty zewnętrzne definiuje się jako działalność gospodarczą, która ma negatywny wpływ na niepowiązane osoby trzecie. Można je dalej podzielić na negatywne efekty zewnętrzne produkcji i konsumpcji. Negatywne efekty zewnętrzne produkcji to negatywne skutki, które powstają podczas procesu produkcyjnego towaru

lub usługi. Najczęstszym przykładem tego rodzaju efektów zewnętrznych jest zanieczyszczenie powodowane przez firmy podczas produkcji ich towarów. Innymi przykładami mogą być:

- zanieczyszczenie powietrza ze spalania paliw kopalnych, które powodują szkody w uprawach, materiałach, budynkach oraz zdrowiu publicznym (Komisja Europejska, 2004),
- antropogeniczne zmiany klimatyczne jako konsekwencja emisji gazów cieplarnianych pochodzących ze spalania paliw kopalnych i chowu zwierząt gospodarskich (Stern N., 2006),
- zanieczyszczenie wody ze ścieków przemysłowych, które może szkodzić roślinom, zwierzętom i ludziom,
- zanieczyszczenie hałasem podczas procesu produkcyjnego, które może być uciążliwe psychicznie i fizycznie,
- ryzyko systemowe, wynikające z ryzyka podejmowanego przez system bankowy w przypadku braku regulacji bankowych lub źle zaprojektowanych regulacji (White, McKenzie i Cole, 2008),
- negatywne skutki przemysłowej produkcji zwierząt gospodarskich, takie jak: zwiększenie puli bakterii opornych na antybiotyki z powodu nadużywania antybiotyków; problemy z jakością powietrza; zanieczyszczenie rzek, strumieni i wód przybrzeżnych odchodami zwierzęcymi (Weiss, 2008; Pew Commission on Industrial Farm Animal Production, 2008),
- wyczerpanie zasobów ryb w oceanie z powodu przełowienia.

Negatywne efekty zewnętrzne konsumpcji to negatywne skutki, które pojawiają się podczas konsumpcji dobra lub usługi. Zaliczyć można do nich:

- zanieczyszczenie hałasem – brak snu, wynikający z głośnego słuchania muzyki przez sąsiadów,
- oporność na antybiotyki, spowodowana zwiększonym stosowaniem antybiotyków,
- bierne palenie – dzielone koszty pogarszającego się stanu zdrowia i witalności spowodowane paleniem papierosów,
- korki drogowe – gdy więcej osób korzysta z dróg publicznych, użytkownicy dróg ponoszą koszty związane z korkami, takie jak dłuższe oczekiwanie w korkach i dłuższe czasy podróży. Zwiększona liczba użytkowników dróg zwiększa również prawdopodobieństwo wypadków drogowych (Small i Gomez-Ibanez, 1998),

- podwyżki cen, wynikające z konsumpcji produktów przez jednych konsumentów, w wyniku czego pogarsza się sytuacja pozostałych konsumentów, poprzez zapobieganie, ograniczanie czy opóźnianie konsumpcji. Efekty te są czasami nazywane finansowymi efektami zewnętrznymi, które jednak występują w ramach mechanizmu rynkowego i nie są uważane za źródło nieprawidłowości w funkcjonowaniu rynku lub nieefektywności, chociaż nadal mogą powodować znaczne szkody dla innych (Liebowitz i Margolis, 1994).

Pozytywne efekty zewnętrzne to działalność gospodarcza, która ma pozytywny wpływ na niepowiązane strony trzecie. Mogą one występować w postaci pozytywnych efektów zewnętrznych produkcji lub konsumpcji. Pozytywne efekty zewnętrzne produkcji to pozytywne efekty, które powstają podczas procesu produkcyjnego towaru lub usługi. Przykładem może być sad przy ulu. W tej sytuacji zarówno rolnik, jak i pszczelarz czerpią wzajemne korzyści, chociaż z ekonomicznego punktu widzenia żaden z nich nie uwzględnił potrzeb drugiego przy podejmowaniu decyzji. Innymi przykładami mogą być:

- rozwój wolnego oprogramowania (Weber, 2006),
- badania i rozwój, ponieważ wiele korzyści ekonomicznych z badań nie jest osiągniętych przez firmę inicjującą badania,
- prowadzenie zajęć z pierwszej pomocy dla pracowników firmy, co może przyczynić się również do uratowania życia poza przedsiębiorstwem,
- odrestaurowanie zabytkowych budynków, co może zachęcić więcej osób do odwiedzania okolicy i patronowania pobliskim firmom (Romero, 2004),
- firma zagraniczna, która demonstruje najnowocześniejsze technologie firmom lokalnym i poprawia ich produktywność (Iršová i Havránek, 2013).

Pozytywne efekty zewnętrzne konsumpcji to pozytywne skutki dla osób trzecich, które pochodzą z konsumpcji towaru lub usługi. Przykładem może być ogród sąsiada, który prawdopodobnie uprawia rośliny wyłącznie dla własnej przyjemności, jednak jego sąsiedzi mogą cieszyć się pięknem kwiatów. Pozostałe przykłady to:

- osoba utrzymująca atrakcyjny dom w sąsiedztwie, która może przynosić sąsiadom korzyści w postaci wzrostu wartości rynkowej ich nieruchomości (Samwick, 2007),
- zaszczepienie na chorobę zakaźną, które nie tylko zmniejsza prawdopodobieństwo własnej infekcji, ale także zmniejsza prawdopodobieństwo zarażenia innych poprzez kontakt z tą osobą i przyczynia się do kształtowania odporności zbiorowej,

- osoba fizyczna kupująca produkt połączony w sieci (np. smartfon). Zwiększa to użyteczność takich telefonów dla innych osób. Zjawisko, w którym nowy użytkownik produktu zwiększa wartość tego samego produktu będącego w posiadaniu innych, nazywa się zewnętrznym efektem sieci lub efektem sieciowym,

Sektor energetyczny jest głównym źródłem środowiskowych i pozaśrodowiskowych efektów zewnętrznych (tabela 2). Uwzględnienie efektów zewnętrznych w procesie podejmowania decyzji i polityki w odniesieniu do energii ma zasadnicze znaczenie dla zmniejszenia jej negatywnych skutków i przejścia w kierunku bardziej zrównoważonego zaopatrzenia i użytkowania energii.

Tabela 2. Przykłady kategorii wpływów prowadzących do potencjalnych efektów zewnętrznych

środowiskowe	pozaśrodowiskowe
<ul style="list-style-type: none"> • zdrowie ludzkie • wpływ szkodliwych substancji na florę i faunę • zakwaszanie • eutrofizacja • jakość gleby • zmiany klimatu • uciążliwości (hałas, nieprzyjemne zapachy) • bioróżnorodność 	<ul style="list-style-type: none"> • wykorzystanie zasobów • zatrudnienie • bezpieczeństwo i niezawodność dostaw • wpływ na Produkt Krajowy Brutto • rozwój obszarów wiejskich

Źródło: (Fouquet i inni, 2001)

Efekty zewnętrzne występują na wszystkich etapach cyklu paliwowego. Cykl paliwowy jest definiowany jako cykl obejmujący wszystkie czynności związane z dostawą energii cieplnej lub elektrycznej do użytkownika końcowego i składa się z następujących głównych grup czynności: produkcja i transport paliwa pierwotnego, konwersja na ciepło i energię elektryczną oraz dystrybucja energii elektrycznej i ciepła. Efekty zewnętrzne energii można ograniczyć poprzez poprawę cykli paliwowych, bardziej efektywne końcowe wykorzystanie energii i zmniejszenie zużycia energii. Efekty zewnętrzne podlegają wycenie, której celem jest osiągnięcie efektywnej ekonomicznie alokacji zasobów poprzez integrację efektów zewnętrznych w cenach energii. Wycena efektów zewnętrznych (i ogólnie proces oceny efektów zewnętrznych) jest przydatna do wskazania szkód/korzyści związanych z różnymi opcjami energetycznymi i może służyć jako podstawa do wprowadzenia instrumentów ekonomicznych odzwierciedlających społeczne koszty energii.

Do określenia efektów zewnętrznych związanych z cyklami paliwowymi powszechnie stosuje się dwie metody, które opierają się na podejściu odgórnym lub oddolnym. Podejście odgórne opiera się na wysoce zagregowanych danych dotyczących szkód i emisji. W przypadku, gdy dostępne są wystarczające dane na temat stanu środowiska, odpowiednie może być przedstawienie wskaźnika środowiskowych efektów zewnętrznych energii, aby oszacować konkretne skutki wynikające z emisji zanieczyszczeń do środowiska. Nie pozwala jednak na ocenę marginalnych skutków dodatkowej podaży energii, które zwykle są interesujące dla celów decyzyjnych i planistycznych. Podejście oddolne można ogólnie zastosować do wszelkiego rodzaju oddziaływań, dla których można zdefiniować ścieżkę wpływu. W przypadku zanieczyszczeń podejście to rozpoczyna się od określenia wielkości emisji z określonego źródła, a następnie wykorzystuje modele dyspersji do określenia szkód krańcowych wynikających z emisji.

Jednymi z pierwszych badań, w których podjęto próbę kwantyfikacji efektów zewnętrznych energii zostały przedstawione przez Hohmeyera (1996). Hohmeyer wykorzystał podejście odgórne do wyceny szkód związanych z oddziaływaniem środowiskowym wytwarzania paliw kopalnych na florę, faunę, ludzi i materiały oraz wziął pod uwagę wpływ zmian klimatu. Uwzględnione zostały także inne efekty zewnętrzne, niezwiązane z ochroną środowiska, takie jak wyczerpywanie się zasobów nieodnawialnych oraz subsydia rządowe.

Podobne badanie przeprowadzili Friedrich i Voss (1993). Odrzucili oni większość pozaśrodowiskowych efektów zewnętrznych, wziętych pod uwagę przez Hohmeyera (np. zatrudnienie), oszacowali koszty wykorzystania zasobów nieodnawialnych jako małe i zinternalizowane i za znaczące efekty zewnętrzne uznali wydatki na badania i rozwój oraz dotacje publiczne.

Efekty zewnętrzne, wycenione w ramach badania PACE (Ottinger, Wooley, Robinson, Hodas i Babb, 1990), odnosiły się do szkód spowodowanych zanieczyszczeniem powietrza. Duża część efektów zewnętrznych związanych z cyklami paliw kopalnych związanych jest ze zmianami klimatycznymi. Z kolei efekty zewnętrzne związane z energią odnawialną wynikają głównie z toksycznych emisji z procesu produkcyjnego w przypadku fotowoltaiki, hałasu w przypadku wiatru oraz emisji do atmosfery w przypadku biomasy.

Masuhr i Ott (Masuhr i Ott, 1994; Ott, 1996) wzięli pod uwagę efekty zewnętrzne wykorzystania energii w Szwajcarii. Efekty zewnętrzne cykli paliw kopalnych odpowiadały za szkody dla zdrowia ludzi, budynków, rolnictwa i leśnictwa spowodowane zanieczyszczeniem powietrza. Efekty zewnętrzne związane z energią wodną wynikały z pogorszenia naturalnego krajobrazu oraz wpływu na systemy wodne.

Szeroko zakrojonym wysiłkiem na rzecz wyceny efektów zewnętrznych energii jest Projekt ExternE. Projekt ExternE rozpoczął się w 1991 roku jako wspólne badanie Komisji Europejskiej i Departamentu Energii Stanów Zjednoczonych. Było to pierwsze systematyczne podejście do oceny kosztów zewnętrznych szerokiego zakresu różnych cykli paliwowych. Głównymi celami Projektu ExternE były (Komisja Europejska, 1995a):

- opracowanie ujednoliconej metodologii ilościowego określania wpływu na środowisko i kosztów społecznych związanych z produkcją i zużyciem energii,
- wykorzystanie tej metodologii do oceny kosztów zewnętrznych stopniowego wykorzystania różnych cykli paliwowych w różnych lokalizacjach w Unii Europejskiej,
- identyfikowanie krytyczne problemy metodologiczne i wymagania badawcze.

W cyklu paliwowym dla węgla zidentyfikowano ponad 200 kategorii wpływów prowadzących do potencjalnych efektów zewnętrznych, z których wybrano 11 najistotniejszych (Komisja Europejska, 1995b):

1. wpływ zanieczyszczenia atmosfery na zdrowie człowieka – poprzez emitowanie do atmosfery cząstek stałych SO_2 , NO_x i ozonu,
2. wypadki przy pracy – również spowodowane zanieczyszczeniem powietrza, głównie pyłem i radonem; najbardziej narażoną grupą są górnicy,
3. wpływ zanieczyszczenia atmosfery na materiały – uszkodzenia budynków, spowodowane korozją, w wyniku nadmiernych zanieczyszczeń powietrza,
4. wpływ zanieczyszczenia atmosfery na uprawy – szkody w uprawach, spowodowane przez ozon oraz SO_2 ,
5. wpływ zanieczyszczeń atmosferycznych na lasy – zanieczyszczenia pochodzące z cyklu paliwowego węgla są w głównej mierze odpowiedzialne za degradację lasów; drzewa są bardzo narażone na przenoszone na dalekie odległości zanieczyszczenia pochodzące ze spalania paliw kopalnych,

6. wpływ zanieczyszczeń atmosferycznych na rybołówstwo słodkowodne – opady atmosferyczne ze składnikami kwaśnymi, takimi jak kwas siarkowy lub azotowy, negatywnie wpływają na ekosystem wodny, w tym ryby,
7. wpływ zanieczyszczenia atmosfery na niezagospodarowane ekosystemy – szereg zanieczyszczeń ma wpływ na niezarządzane ekosystemy lądowe; emisje toksycznych zanieczyszczeń z elektrowni i kopalń niosą ze sobą pewne skutki, jednak zgodnie z nowoczesnymi normami emisyjnymi są najczęściej pomijalne,
8. wpływ na globalne ocieplenie – dominują emisje CO₂, pochodzące z elektrowni węglowych, jednak zauważalne są również emisje CO₂ pochodzące z pozostałych etapów cyklu paliwowego węgla,
9. wpływ hałasu – hałas jest emitowany na wszystkich etapach cyklu paliwowego węgla, w szczególności podczas pracy w elektrowni oraz w transporcie drogowym i kolejowym; hałas ma niekorzystny wpływ na ludzkie zdrowie,
10. wpływ górnictwa węgla kamiennego na jakość wód gruntowych i powierzchniowych – zanieczyszczenia wód mogą mieć wpływ na niezarządzane ekosystemy lądowe i wodne, rolnictwo oraz dostawy wody pitnej,
11. wpływ górnictwa węgla kamiennego na budownictwo – zawały skalne, powstające w wyniku wydobycia węgla kamiennego, powodują uszkodzenia budynków, systemów transportowych, dróg wodnych, infrastruktury wodociągowej i energetycznej.

Kategorie wpływów prowadzące do potencjalnych efektów zewnętrznych, wyróżniane w cyklu paliwowym ropy naftowej, są zbliżone do tych dotyczących węgla. Wyróżnia się wśród nich (Komisja Europejska, 1995c):

1. wpływ zanieczyszczenia atmosfery na zdrowie człowieka – procesy spalania na różnych etapach cyklu paliwowego ropy naftowej zwiększają stężenie niektórych zanieczyszczeń atmosferycznych; kilka z nich zostało powiązanych z niekorzystnymi skutkami zdrowotnymi u ogółu społeczeństwa,
2. wpływ zanieczyszczenia atmosfery na uprawy – uprawy mogą być bezpośrednio lub pośrednio uszkodzane przez zanieczyszczenia powietrza, jak m.in. SO₂, NO_x, oraz przez kwaśne deszcze,
3. wpływ zanieczyszczenia atmosfery na materiały – energetyczne systemy naftowe emitują zanieczyszczenia SO₂ i NO_x, które mogą uszkadzać zewnętrzne powierzchnie materiałów; uszkodzenia budynków związane z zanieczyszczeniem obejmują

odbarwienia, uszkodzenia powłok ochronnych, utratę szczegółów rzeźbienia i uszkodzenia konstrukcyjne,

4. wpływ zanieczyszczenia atmosfery na lasy – w cyklu paliwowym ropy naftowej emitowane są m.in. SO_2 i NO_x , które mogą bezpośrednio lub pośrednio (poprzez kwaśne deszcze lub ozon) uszkadzać ekosystemy leśne,
5. wypadki przy pracy i wypadki publiczne – działania na wszystkich etapach cyklu paliwowego ropy naftowej wpływają na zdrowie pracowników zaangażowanych w poszczególne procesy,
6. wpływ na globalne ocieplenie – systemy energetyczne ropy naftowej emitują ciepłarniane, które przyczyniają się do globalnego ocieplenia,
7. wpływ wycieków ropy na systemy morskie – ropa dostaje się do wód poprzez operacyjne lub przypadkowe uwolnienie z tankowców lub platform morskich, powodując różne przemiany fizyczne, chemiczne i biologiczne.

Dla gazu ziemnego wyróżnione zostały kategorie wpływów (Komisja Europejska, 1995c):

1. wpływ na globalne ocieplenie,
2. wpływ zanieczyszczenia atmosfery na zdrowie człowieka, materiały, uprawy, lasy, rybołówstwo i niezagospodarowane ekosystemy – wpływ zanieczyszczeń jest mniej poważny dla cyklu paliwowego gazu niż dla węgla, ponieważ emisje SO_2 i cząstek stałych są znikome; jednak emitowane są duże ilości NO_x , które przyczyniają się do powstawania kwaśnych deszczów, eutrofizacji oraz tworzenia ozonu troposferycznego, mających szkodliwy wpływ na uprawy, lasy, rybołówstwo, materiały, ekosystemy oraz zdrowie człowieka,
3. wpływ na ekosystemy wodne – szkodliwy wpływ cyklu paliwowego gazu ziemnego na środowisko morskie, związany z emisjami pochodzącymi z działalności wiertniczej oraz uwolnieniem ścieków z oczyszczalni gazów,
4. wypadki przy pracy – skutki zdrowotne w miejscu pracy występują na wszystkich etapach cyklu paliwowego gazu ziemnego; pracownicy są narażeni na ciągłe zagrożenia (np. wybuchowy charakter gazu, awarie konstrukcyjne platform); niektóre prace wiążą się z wysokim ryzykiem (np. wiercenie),
5. oddziaływania specyficzne dla wydobycia, przetwarzania i przesyłu gazu – przemysł gazowniczy wiąże się z szerokim zakresem emisji szkodliwych substancji do środowiska morskiego,

6. wpływ hałasu,
7. wpływ zmienionego użytkowania gruntów na niezagospodarowane ekosystemy – zmieniające się wzorce użytkowania gruntów związane z budową elektrowni, układaniem rurociągów itp. mogą mieć wpływ na różnorodność biologiczną (np. poprzez całkowite zniszczenie siedliska lub, pośrednio, poprzez zmianę lokalnej melioracji).

Projekt ExternE uwzględnia także kategorie wpływów prowadzące do potencjalnych efektów zewnętrznych związane ze zużyciem energii odnawialnej. W przypadku energii wiatrowej zostały wyszczególnione takie kategorie, jak (Komisja Europejska, 1995d):

1. wpływ hałasu – hałas pochodzący z wielu różnych źródeł w całym cyklu paliwowym energii wiatrowej i cyklu życia turbin wiatrowych, w tym z produkcji, budowy i eksploatacji turbin oraz ich transportu i konserwacji,
2. oddziaływanie wizualne turbin – wielkość, kształt, forma i liczba turbin wiatrowych, mające wpływ na wizualne odczucia; pod uwagę brane są również trasy dojazdowe do turbin oraz naziemne systemy dystrybucji energii pochodzącej z turbin,
3. wypadki pracowników przy produkcji, budowie i eksploatacji,
4. wypadki mające wpływ na ogół społeczeństwa w wyniku pracy turbin i przejazdów drogowych przez pracowników,
5. wpływ na globalne ocieplenie, spowodowany emisjami z przetwarzania materiałów i produkcji komponentów – emisje do atmosfery z cyklu paliwowego dla energetyki wiatrowej można określić jedynie na podstawie analizy cyklu życia,
6. oddziaływanie turbin na ptaki – głównymi potencjalnymi skutkami dla ptaków są kolizje w locie z łopatom pracujących turbin oraz zaburzenia zachowań spowodowane unikaniem turbin,
7. oddziaływanie na ekosystemy lądowe – wynikające przede wszystkim z długoterminowego użytkowania gruntu, na którym lokalizowane są farmy wiatrowe, jak również z prac budowlanych dotyczących turbin, urządzeń pomocniczych, dróg dojazdowych i budynków,
8. zakłócenia radiowe – sygnały elektromagnetyczne mogą być odbijane od łopatek turbiny, tak że pobliski odbiornik odbiera zarówno sygnał bezpośredni, jak i odbity; zakłócenia występują, ponieważ odbity sygnał jest zarówno opóźniony (z powodu

różnicy w długości ścieżki), jak i przesunięty w wyniku efektu Dopplera (z powodu ruchu ostrza).

Dla energii wodnej wyróżniono następujące kategorie wpływów prowadzące do potencjalnych efektów zewnętrznych (Komisja Europejska, 1995d):

1. wpływ na rolnictwo – głównymi skutkami są trwała utrata pastwisk z powodu zwiększenia powierzchni zbiorników czasowa utrata gruntów z powodu składowisk odpadów skalnych; innym skutkiem jest utrata rzek, w wyniku ich zmniejszonego przepływu, jako naturalnych ogrodzeń wokół pastwisk,
2. wpływ na lasy – karczowanie lasów pod tereny dla odpadów skalnych oraz linii przesyłowych,
3. wpływ na zaopatrzenie w wodę – ograniczenie zaopatrzenia w wodę, zarówno pitną, jak i przeznaczoną do nawadniania, w wyniku zmniejszonego przepływu wód,
4. wpływ na aktywności rekreacyjne – zmniejszenie przepływu oraz jakości wód w rzekach, jeziorach i wodospadach, tworzone składowiska odpadów skalnych oraz powstawanie linii przesyłowych wpływają na zmniejszenie zasobów ryb, liczby zwierząt i roślin oraz atrakcyjności dzikiej przyrody,
5. wpływ na rybołówstwo,
6. wpływ na ekosystemy, ochronę przyrody,
7. wypadki przy pracy – występujące podczas budowy zapór, wiercenia skał czy też innych etapów powstawania elektrowni wodnych,
8. wpływ linii przesyłowych na ptaki – śmierć ptaków, wynikająca ze zderzeń z liniami przesyłowymi oraz porażen prądem,
9. awarie zapór – duża ilość wody, mogąca spowodować zalanie zamieszkanym przez ludzi terenów.

Operacyjne efekty zewnętrzne energetyki jądrowej są stosunkowo niskie, ponieważ cykl życia energetyki jądrowej generuje niski poziom zanieczyszczenia powietrza i emisji gazów cieplarnianych. Jednak potencjalnie najbardziej znaczącymi efektami zewnętrznymi energii jądrowej są ryzyko poważnej awarii i długoterminowego składowania odpadów jądrowych (Timmons, Harris i Roach, 2014).

W przypadku biomasy wyróżnić można następujące efekty zewnętrzne związane z (Linares, Sáez i Leal, 1996):

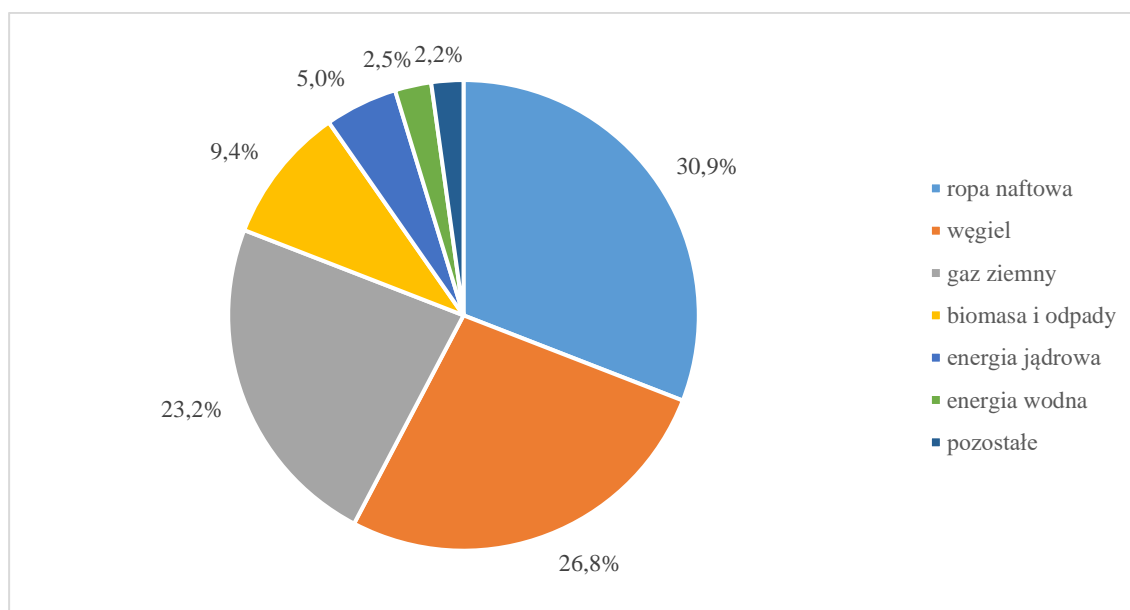
- zatrudnieniem – stworzenie nowego miejsca wytwarzania energii daje nowe możliwości zatrudnienia, nie zawsze jednak oznacza to korzyści społeczne,

- efektami makroekonomicznymi, takimi jak dochody z podatków,
- globalnym ociepleniem - biomasa na energię jest zwykle spalana w pewien sposób, co uwalnia zanieczyszczenia powietrza, co jest negatywnym efektem zewnętrznym wykorzystania biomasy,
- erozją – będąca jednym ze skutków uprawy biomasy, które nie są uwzględniane w kosztach produkcji.

3. ZASOBY I PRODUKTYWNOŚĆ ENERGII W POLSCE NA TLE KRAJÓW UNII EUROPEJSKIEJ, ZE SZCZEGÓLNYM UWZGLĘDNIENIEM ROLNICTWA

3.1. Zasoby nośników energii i ich struktura

Najczęściej wykorzystywanym źródłem energii nieodnawialnej we współczesnym świecie, mimo jej malejącego znaczenia, jest ropa naftowa. W 2019 roku blisko 31% całkowitej podaży energii na świecie stanowiło właśnie to źródło (rysunek 4).



Rysunek 4. Struktura światowej podaży energii według źródeł w 2019 roku (%)

Źródło: opracowanie własne na podstawie (International Energy Agency, 2021)

Ropa naftowa jest wykorzystywana głównie do produkcji paliw płynnych, stosowanych do napędu środków transportu, ale także wytwarzania innych produktów niezbędnych do zaspokajania potrzeb gospodarczych świata.

Globalne jej rezerwy w 2020 roku wyniosły 1732,4 mld baryłek (244,4 mld ton). Największymi rezerwami dysponowała Wenezuela, której zasoby w 2020 roku wyniosły 303,8 mld baryłek (48 mld ton), co stanowiło 17,5% globalnych rezerw. Kolejne 17,2% światowych rezerw ropy naftowej znajdowało się w Arabii Saudyjskiej (297,5 mld baryłek; 40,9 mld ton). Ponad 8% udziałem w rezerwach charakteryzowały się Kanada, Iran i Irak. Dziesięć krajów o największych rezerwach ropy naftowej posiadało ponad 86% światowych zasobów (1496,5 mld baryłek; 213,4 mld ton) tego surowca (oprócz wcześniej wymienionych były to Rosja, Kuwejt, Zjednoczone Emiraty

Arabskie, Stany Zjednoczone i Libia). Zauważalny jest zatem wysoki stopień koncentracji złóż na terenie niewielkiej grupy krajów.

Przy ocenie rezerw surowców stosowany jest współczynnik rezerw do produkcji (R/P). Współczynnik ten jest ilorazem rezerw pozostałych na koniec danego roku do wielkości w nim produkcji. Dzięki temu możliwe jest określenie czasu, na jaki wystarczą pozostałe rezerwy, przy założeniu niezmienniej wielkości produkcji. Współczynnik R/P dla ropy naftowej w 2020 roku wyniósł 58,7, co oznacza, że przy niezmienionej produkcji energii z tego źródła, rezerwy ropy naftowej wystarczą na niecałe 60 lat. Nie oznacza to jednak, że jest to liczba ostateczna, gdyż produkcja energii z ropy naftowej podlega zmianom, jak również odkrywane są nowe złoża tego surowca. Jeszcze w 2000 roku szacowane rezerwy ropy naftowej wynosiły około 1300 mld baryłek, natomiast w 1980 roku było to niecałe 700 mld baryłek.

W tabeli 3 zostały przedstawione kraje o najwyższym współczynniku R/P. Można zauważyć, że 8 z 10 krajów znajdujących się w zestawieniu to kraje posiadające największe rezerwy ropy naftowej. Wyjątkami są Jemen oraz Syria, czyli kraje o niewielkich rezerwach, ale również o niewielkiej produkcji. Sześć z 10 wymienionych krajów należy również do czołówki światowej pod względem produkcji ropy naftowej.

Tabela 3. Współczynnik R/P dla ropy naftowej w wybranych krajach świata w 2020 roku

Kraj	Rezerwy (w mln ton)	Produkcja (w mln ton)	R/P
Wenezuela	48 035	27,4	1 753,7
Libia	6 297	18,3	344,0
Syria	341	2,0	173,6
Iran	21 676	142,7	151,9
Kuwejt	13 981	130,1	107,4
Kanada	27 060	252,2	107,3
Irak	19 571	202,0	96,9
Jemen	393	4,1	96,3
Arabia Saudyjska	40 869	519,6	78,7
Zjednoczone Emiraty Arabskie	12 976	165,6	78,3
Świat	244 421	4 165,1	58,7

Źródło: opracowanie własne na podstawie (BP, 2021)

Drugim co do znaczenia źródłem energii nieodnawialnej na świecie jest węgiel. Jest to surowiec stosunkowo tani, dostępny w wielu regionach, a jego wydobycie nie jest tak skomplikowane jak pozostałych surowców kopalnych. Spalanie węgla jest jednak jedną z najbardziej zanieczyszczających środowisko metod produkcji energii. Powoduje znaczne pogorszenie jakości powietrza poprzez emisje toksycznych substancji, takich jak

między innymi SO₂, NO_x, drobnych i dużych pyłów (PM10 i PM2,5) oraz metali ciężkich, np. rtęć i kadm. Uwalniany do atmosfery w trakcie spalania węgla dwutlenek węgla powoduje nasilenie efektu cieplarnianego i w konsekwencji ocieplenie klimatu. Zadaniem polityki energetycznej państw jest poszukiwanie równowagi pomiędzy wykorzystaniem węgla jako taniego surowca energetycznego (co przyczynia się do wzrostu gospodarczego w krajach wykorzystujących to źródło energii), a koniecznością ochrony środowiska.

W 2019 roku węgiel stanowił blisko 27% całkowitej podaży energii. Światowe rezerwy tego surowca wyniosły na koniec 2020 roku ponad 1074 mld ton, z czego blisko 754 mld ton stanowiły rezerwy węgla kamiennego, zaś ponad 320 mld ton brunatnego. Krajem o największych udokumentowanych zasobach były Stany Zjednoczone (248,9 mld ton), co stanowiło 23,2% światowych rezerw tego surowca. W Rosji zlokalizowanych było 15,1% globalnych rezerw (162,2 mld ton), dużymi zasobami dysponowały również Australia (14,0%; 150,2 mld ton), Chiny (13,3%; 143,2 mld ton) oraz Indie (10,3%; 111 mld ton). Zasoby węgla zgromadzone w tych pięciu krajach stanowiły 75,9% całkowitych rezerw. Natomiast 10 krajów o najwyższych zasobach posiadało aż 90,7% (974,6 mld ton), zatem stopień koncentracji złóż węgla był wyższy niż w przypadku ropy naftowej. Największymi rezerwami węgla kamiennego w 2020 roku dysponowały Stany Zjednoczone (218,9 mld ton), Chiny (135,1 mld ton) oraz Indie (106 mld ton). W przypadku węgla brunatnego były to Rosja (90,4 mld ton), Australia (76,5 mld ton), Niemcy (35,9 mld ton) oraz Stany Zjednoczone (30 mld ton).

Współczynnik R/P dla węgla wyniósł w 2020 roku 138,7 (tabela 4). Oznacza to, że zasoby węgla, przy obecnej produkcji, wystarczą na ponad 2-krotnie dłuższy okres, niż zasoby ropy naftowej. Jedynie 4 kraje z 10 o najwyższym współczynniku R/P to kraje o wysokich udokumentowanych złożach węgla. Specyficznym krajem były natomiast Chiny, których współczynnik R/P, pomimo dużych zasobów surowca, wyniósł w 2020 roku 36,7. Wynikało to z ogromnej produkcji węgla w tym kraju. Tylko w 2020 roku Chiny wyprodukowały 3,9 mld ton węgla. Wielkość produkcji w pozostałych krajach świata wyniosła w tym samym okresie 3,84 mld ton.

Tabela 4. Współczynnik R/P dla węgla w wybranych krajach świata w 2020 roku

Kraj	Rezerwy (w mln ton)	Produkcja (w mln ton)	R/P
Nowa Zelandia	7 575	2,8	2 687,4
Ukraina	34 375	24,1	1 428,7
Brazylia	6 596	6,2	1 066,5
Wenezuela	731	0,7	1 049,3
Stany Zjednoczone	248 941	484,7	513,6
Węgry	2 909	6,1	474,9
Japonia	350	0,8	453,4
Rosja	162 166	399,8	405,6
Pakistan	3 064	7,7	395,8
Niemcy	35 900	107,4	334,3
Świat	1 074 108	7 741,6	138,7

Źródło: opracowanie własne na podstawie (BP, 2021)

Ważnym surowcem jest gaz ziemny, którego pokłady występują samodzielnie lub towarzyszą złożom ropy naftowej lub węgla kamiennego. Gaz ziemny staje się coraz bardziej istotnym surowcem energetycznym na świecie, a rynki gazu należą do najszybciej zmieniających się segmentów globalnego handlu paliwami kopalnymi. Wiele argumentów wskazuje na również na to, że gaz ziemny jest paliwem najmniej szkodliwym dla środowiska naturalnego, spośród wszystkich surowców energetycznych, i jednocześnie najbardziej z nich efektywnym. Problemem jest natomiast jego postać, utrudniająca wydobycie oraz transport.

Gaz ziemny stanowił w 2019 roku 23,2% całkowitej podaży energii na świecie. Jego rezerwy na koniec 2020 roku wyniosły 188,1 bln m³. Połowa światowych rezerw znajdowała się w trzech krajach: Rosji (19,9%, 37,4 bln m³), Iranie (17,1%, 32,1 bln m³) oraz Katarze (13,1%, 24,7 bln m³). Znacznymi zasobami (udział powyżej 5%) dysponowały także Stany Zjednoczone oraz Turkmenistan. Zasoby gazu ziemnego są rozlokowane bardziej równomiernie, niż ropy naftowej czy węgla. Dziesięć krajów o najwyższych zasobach posiadało 81,1% globalnych zasobów tego surowca.

Zasoby gazu ziemnego przy obecnej produkcji wystarczą na niecałe 50 lat (tabela 5). Wśród krajów o najwyższym współczynniku R/P dominują kraje azjatyckie. Ewenementem jest Jemen, którego zasoby powinny wystarczyć na ponad 2500 lat. Wynika to jednak z niewielkiej produkcji surowca w tym kraju. Pomimo dużych rezerw surowca, kraje takie, jak Rosja, Stany Zjednoczone, czy Chiny charakteryzują się niskim współczynnikiem R/P. Rezerwy w Rosji, przy obecnej wielkości produkcji,

wystarczą na około 59 lat, w Chinach na 43 lata, zaś w Stanach Zjednoczonych jedynie na niecałe 14 lat.

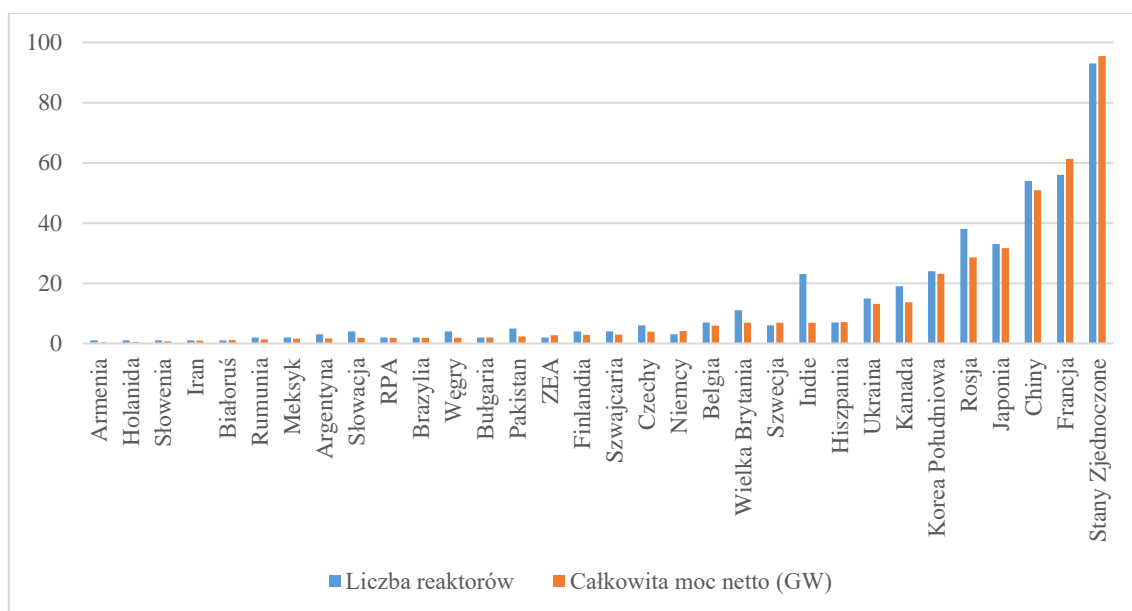
Tabela 5. Współczynnik R/P dla gazu ziemnego w wybranych krajach świata w 2020 roku

Kraj	Rezerwy (w mld m³)	Produkcja (w mld m³)	R/P
Jemen	266	0,1	2 618,8
Irak	3 529	10,5	336,3
Wenezuela	6 260	18,8	333,9
Turkmenistan	13 601	59,0	230,7
Katar	24 665	171,3	144,0
Iran	32 101	250,8	128,0
Kuwejt	1 695	15,0	113,2
Nigeria	5 473	49,4	110,7
Libia	1 430	13,3	107,4
Zjednoczone Emiraty Arabskie	5 939	55,4	107,1
Świat	188 074	3 853,7	48,8

Źródło: opracowanie własne na podstawie (BP, 2021)

Istotnym źródłem energii jest także energia jądrowa, która jest generowana przez rozszczepianie atomów. Idea energii jądrowej zrodziła się w latach 30. XX wieku, kiedy fizyk Enrico Fermi przeprowadził badania, których wynikiem była obserwacja, że neutrony mogą rozszczepiać atomy. Fermi kierował zespołem, który w 1942 roku przeprowadził pierwszą jądrową reakcję łańcuchową pod stadionem Uniwersytetu w Chicago. Rozwój energetyki jądrowej nastąpił w latach 50. Po raz pierwszy elektryczność wytworzono z niej w Idaho Experimental Breeder Reactor I w 1951 roku. Pierwsza elektrownia atomowa powstała w Obińsku w byłym Związku Radzieckim w 1954 roku, natomiast pierwsza komercyjna elektrownia jądrowa w Shippingport w Pensylwanii w 1957 r (Nunez, 2023).

W 2020 roku 439 reaktorów jądrowych dostarczało około 10% światowej energii elektrycznej (rysunek 5). Kraje wytwarzające najwięcej energii jądrowej to Stany Zjednoczone, Chiny, Francja, Rosja i Korea Południowa (International Atomic Energy Agency, 2023).



Rysunek 5. Liczba reaktorów jądrowych i ich całkowita moc netto w krajach świata w 2020 roku

Źródło: opracowanie własne na podstawie (International Atomic Energy Agency, 2023)

W podziale na regiony (tabela 6), największymi rezerwami ropy naftowej i gazu ziemnego dysponowały kraje Bliskiego Wschodu. Ich udział w całkowitej strukturze rezerw tych surowców wyniósł odpowiednio 48,3% oraz 40,3%. Region ten był ponadto najuboższym w przypadku zasobów węgla. Rezerwy tego surowca znajdowały się przede wszystkim w regionie Azji Pacyficznej, czyli m.in. w Chinach, Indiach, czy Australii (42,8%) oraz w Ameryce Północnej (23,9%). Dużymi zasobami gazu ziemnego dysponowały również kraje Wspólnoty Niepodległych Państw, na czele z Rosją (30,1%).

Tabela 6. Rezerwy surowców w poszczególnych regionach świata

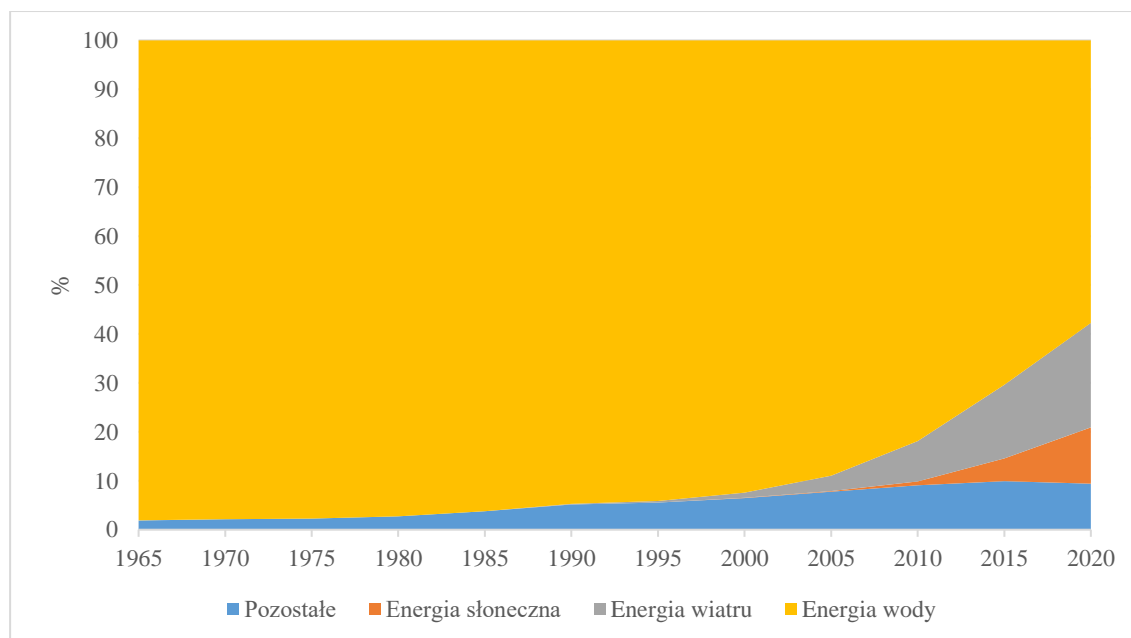
Region	Ropa naftowa		Gaz ziemny		Węgiel	
	mld ton	%	mld m3	%	mld ton	%
Ameryka Północna	36,1	14,0	15,2	8,1	256,7	23,9
Ameryka Środkowa i Południowa	50,8	18,7	7,9	4,2	13,7	1,3
Europa	1,8	0,8	3,2	1,7	137,2	12,8
Wspólnota Niepodległych Państw	19,9	8,4	56,6	30,1	190,7	17,8
Bliski Wschód	113,2	48,3	75,8	40,3	1,2	0,1
Afryka	16,6	7,2	12,9	6,9	14,8	1,4
Azja (region Pacyfiku)	6,1	2,6	16,6	8,8	459,8	42,8
Świat	244,4	100,0	188,1	100,0	1074,1	100,0

Źródło: opracowanie własne na podstawie (BP, 2021)

Równie istotną jak energia pochodząca ze źródeł konwencjonalnych jest dla światowej gospodarki energia odnawialna. Stosowanie odnawialnych źródeł energii jest korzystne pod wieloma względami. Poczynając od aspektów ekologicznych (mniejsza

emisja zanieczyszczeń, zmniejszenie efektu cieplarnianego i ilości odpadów), poprzez zdrowotne (związanych z aspektami ekologicznymi), kończąc na aspektach ekonomiczno-społecznych (tanie paliwa, dywersyfikacja dostaw energii, większa konkurencja między lokalnymi dostawcami energii, zagospodarowanie nieużytków). Energia odnawialna często wypiera konwencjonalne paliwa w czterech obszarach: wytwarzanie energii elektrycznej, ogrzewanie (wody, pomieszczeń), transport oraz usługi energetyczne na obszarach wiejskich lub obszarach będących poza siecią elektroenergetyczną.

Na rysunku 6 przedstawiono udziały poszczególnych źródeł energii odnawialnej w latach 1965-2020. Dominującym źródłem była energia wody, jednak sytuacja od 2000 roku uległa dynamicznym zmianom. Od tego czasu udział energii wiatrowej wzrósł z 1% do 21%, zaś energii słonecznej z 0% do 11%. Udział pozostałych źródeł energii odnawialnej (energia geotermalna, nowoczesna biomasa, odpady, fale i pływy) utrzymywał się od 2005 roku na stałym poziomie około 9%. Pod uwagę nie została wzięta energia pochodząca z tradycyjnej biomasy. Tradycyjna biomasa – węgiel drzewny, odpady organiczne i resztki poźniwne – była i jest nadal (szczególnie w krajach o niższych dochodach) ważnym źródłem energii. Trudno jednak o wysokiej jakości szacunki produkcji i zużycia energii z tych źródeł.



Rysunek 6. Struktura pozyskiwania energii pierwotnej ze źródeł odnawialnych na świecie w latach 1965-2020 (%)

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Our World in Data, 2023b)

Islandia i Norwegia to kraje, których energia pochodząca ze źródeł odnawialnych stanowi ponad 50% całkowitego jej zużycia (tabela 7). W prawie wszystkich krajach znajdujących się w zestawieniu głównym wykorzystywanym źródłem energii odnawialnej była energia wody. Wyjątkiem była Dania, która charakteryzowała się udziałem energii wiatru na poziomie 26%.

Tabela 7. Struktura zużycia energii według źródeł w 2020 roku w krajach o największym udziale energii odnawialnej w całkowitym zużyciu

Kraj	Struktura zużycia energii z (%)				
	węgla	ropy naftowej	gazu ziemnego	energii jądrowej	energii odnawialnej
Islandia	3	17	0	0	80
Norwegia	2	20	8	0	70
Szwecja	4	26	2	23	46
Brazylia	5	43	11	1	40
Ekwador	0	62	3	0	35
Szwajcaria	0	35	11	19	35
Austria	7	36	23	0	34
Nowa Zelandia	8	38	21	0	34
Dania	6	47	15	0	32
Peru	2	41	26	0	30

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Our World in Data, 2023b)

Kraje europejskie nie dysponowały znacznymi rezerwami surowców nieodnawialnych (tabela 8). Jedynie Niemcy, Polska oraz Ukraina posiadały udokumentowane na ponad 25 mld ton zasoby węgla. Zasoby te stanowiły ok. 9% światowych rezerw węgla. Kraje europejskie, w związku z brakiem znaczących rezerw surowcowych, zmuszone są importować surowce z bardziej zasobnych części świata oraz inwestować energię odnawialną, która nie jest zależna od fizycznych zasobów geologicznych.

Tabela 8. Rezerwy ropy naftowej, gazu ziemnego i węgla w krajach europejskich w 2020 roku

Kraj	Ropa naftowa			Gaz ziemny			Węgiel		
	mld ton	udział (%)	R/P	bln m ³	udział (%)	R/P	mld ton	udział (%)	R/P
Bułgaria	-	-	-	-	-	-	2,4	0,2	192
Czechy	-	-	-	-	-	-	3,6	0,3	113
Dania	0,1	0,02	16,2	0,03	0,01	20,3	-	-	-
Niemcy	-	-	-	0,02	0,01	4,4	35,9	3,3	334
Grecja	-	-	-	-	-	-	2,9	0,3	205
Węgry	-	-	-	-	-	-	2,9	0,3	475
Włochy	0,1	0,03	14,7	0,04	0,02	10,9	-	-	-
Holandia	-	-	-	0,1	0,1	6,5	-	-	-
Norwegia	1,0	0,5	10,8	1,4	0,8	12,8	-	-	-
Polska	-	-	-	0,1	0,04	18,4	28,4	2,6	282
Rumunia	0,1	0,03	22,7	0,1	0,04	9,1	0,3	0,03	19
Serbia	-	-	-	-	-	-	7,5	0,7	189
Hiszpania	-	-	-	-	-	-	1,2	0,1	282
Turcja	-	-	-	-	-	-	11,5	1,1	168
Ukraina	-	-	-	1,1	0,6	57,5	34,4	3,2	1429
Wielka Brytania	0,3	0,1	6,6	0,2	0,1	4,7	0,03	0,003	16
Pozostałe kraje	0,2	0,1	14,9	0,1	0,05	14,3	6,3	0,6	189
Unia Europejska	0,3	0,1	16,8	3,2	1,7	14,5	78,6	7,3	266
Europa	1,8	0,8	10,4	0,4	0,2	9,2	137,2	12,8	299

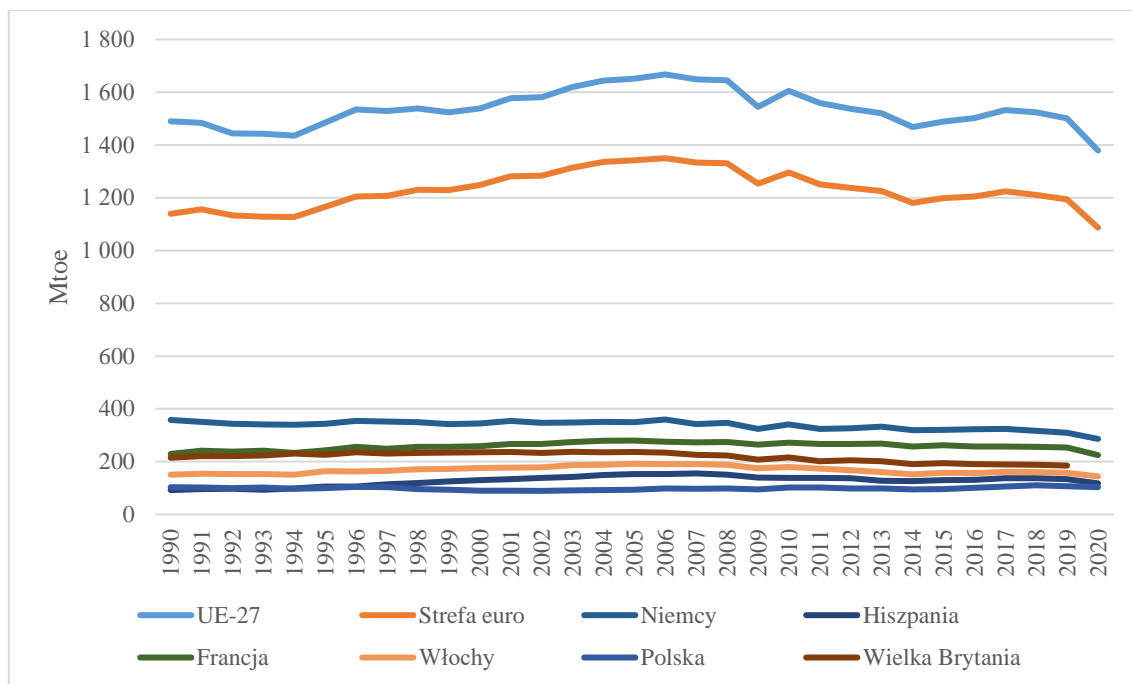
Źródło: opracowanie własne na podstawie (BP, 2021)

Energia dostępna brutto jest jednym z najważniejszych agregatów bilansu energetycznego i reprezentuje ilość energii niezbędną do zaspokojenia całego zapotrzebowania na energię podmiotów działających w danym kraju. Jej interpretacja dla poszczególnych produktów jest inna. W przypadku produktów wtórnych, które są wytwarzane jako produkty przemiany, zaś nie są traktowane jako produkcja pierwotna, dostępna energia brutto może być ujemna (Eurostat, 2023ac). Oblicza się ją według poniższego wzoru.

Energia dostępna brutto

$$= \text{produkcja pierwotna} + \text{produkcja z odzysku i recyklingu} \\ + \text{import} - \text{eksport} + \text{zmiany zapasów}$$

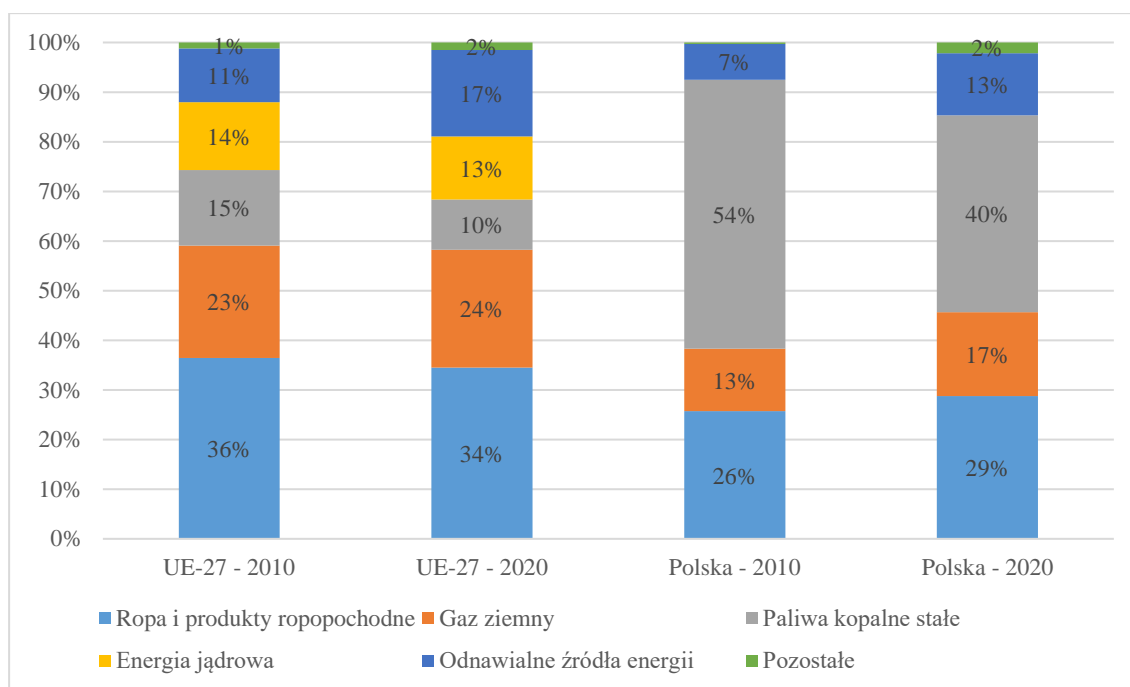
W latach 1990-2020 energia dostępna brutto w krajach Unii Europejskiej utrzymywała się na względnie stałym poziomie, wynoszącym około 1500 megaton oleju ekwiwalentnego (rysunek 7). Najwyższy poziom odnotowano w 2006 roku (1668 Mtoe). Średnia wartość energii dostępnej brutto w Polsce w badanym okresie wyniosła 98 Mtoe.



Rysunek 7. Energia dostępna brutto w krajach Unii Europejskiej w latach 1990-2020 (Mtoe)

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Eurostat, 2023ad)

W 2010 roku energia dostępna brutto w Unii Europejskiej pochodziła głównie z nieodnawialnych źródeł energii (ropa i produkty ropopochodne, gaz ziemny, paliwa kopalne stałe oraz energia jądrowa). Było to ponad 1600 Mtoe, co odpowiadało 89% całkowitej energii dostępnej brutto (rysunek 8). W Polsce z paliw nieodnawialnych w 2010 roku pochodziło aż 93% całkowitej energii dostępnej brutto. Struktura energii uległa zmianie, co było związane z częstszym korzystaniem z odnawialnych źródeł energii. Ich udział w całkowitej strukturze w 2020 roku wzrósł, zarówno w UE-27, jak i w Polsce, o 6 pp. Ponadto, w Polsce można zauważyć znaczny spadek udziału energii dostępnej brutto pochodzącej z paliw kopalnych stałych (spadek o 14 pp.), który jednak został częściowo zrekompenzowany wzrostem udziałów gazu ziemnego oraz ropy naftowej.

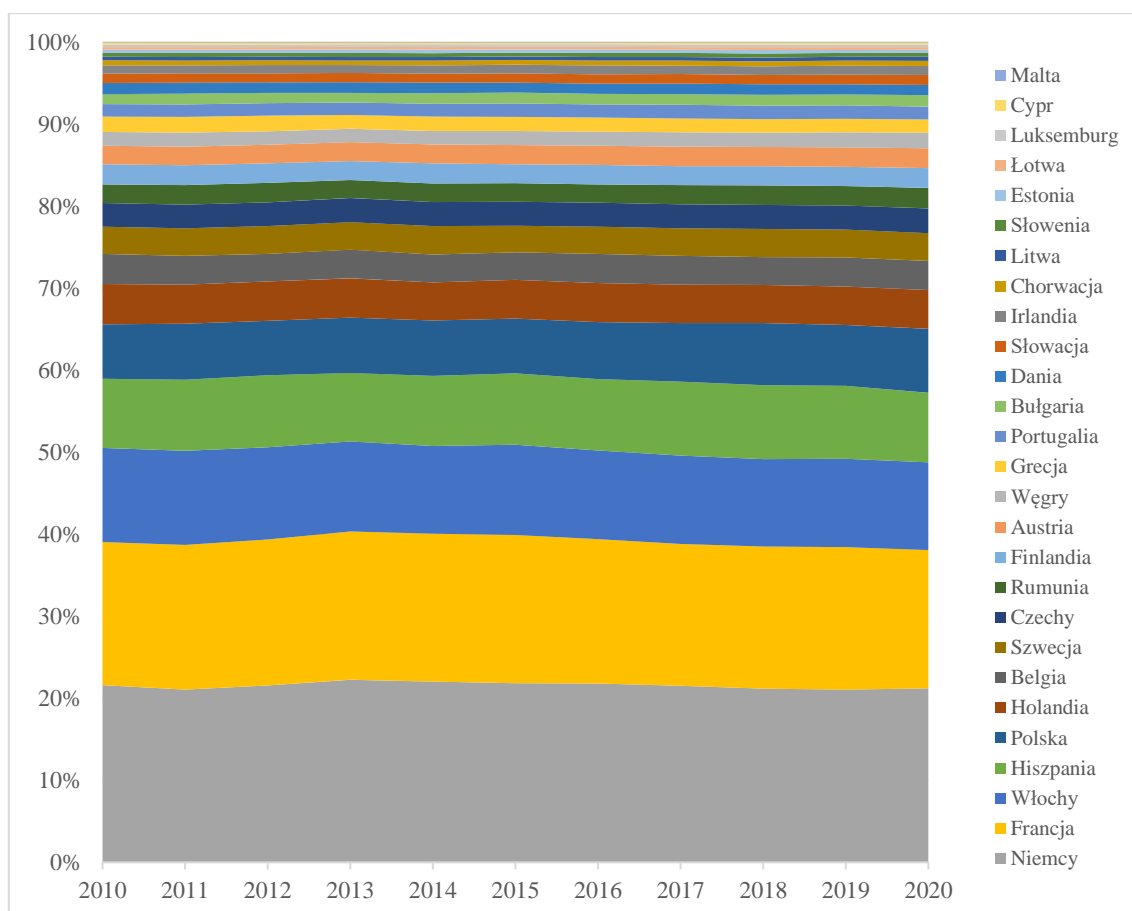


Rysunek 8. Energia dostępna brutto w podziale na nośniki energii (%)

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Eurostat, 2023az)

Zużycie energii pierwotnej mierzy całkowite zapotrzebowanie kraju na energię. Obejmuje zużycie samego sektora energetycznego, straty podczas przetwarzania (na przykład z ropy naftowej lub gazu w energię elektryczną) i dystrybucję energii, a także ostateczne zużycie przez odbiorców końcowych. Nie obejmuje nośników energii wykorzystywanych do celów nieenergetycznych (takich jak ropa wykorzystywana nie do spalania, ale do produkcji tworzyw sztucznych) (Eurostat, 2023bg).

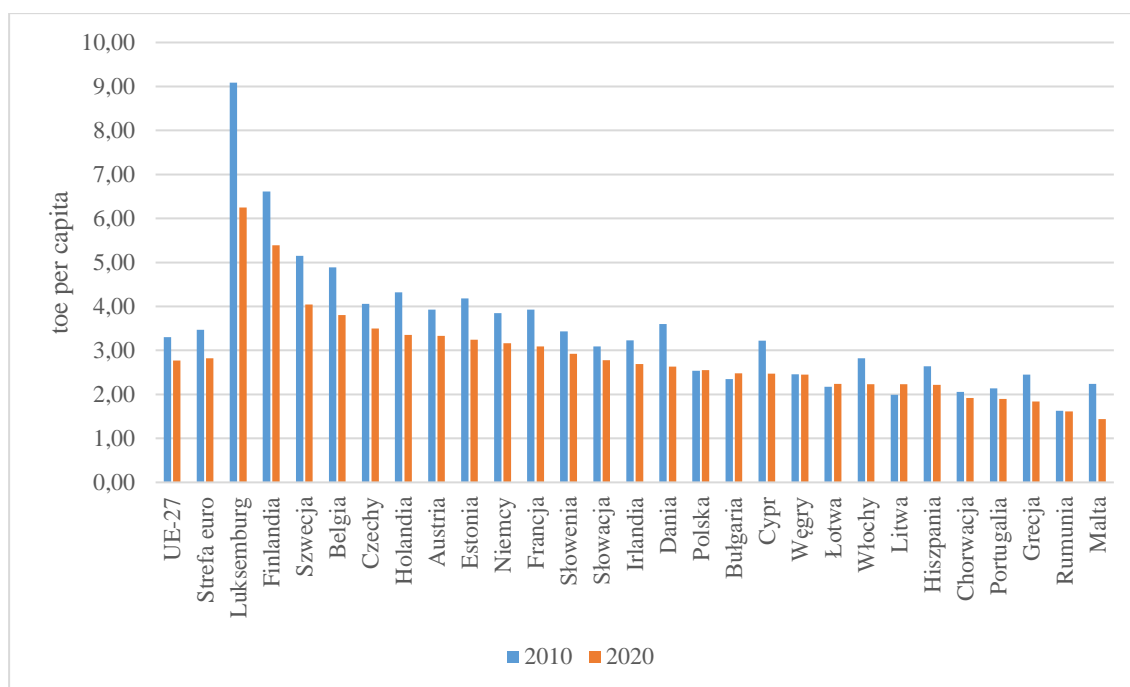
W badanym okresie kraje UE-27 zużywały średnio około 1350 Mtoe. Zużycie energii pierwotnej w trzech krajach (Niemcy, Francja i Włochy) stanowiło niemal 50% całkowitego jej zużycia (rysunek 9). Polska była krajem z piątym co do wielkości zużyciem w 2020 roku, które wyniosło 96,5 Mtoe i stanowiło 7,8% całkowitego zużycia energii pierwotnej w Unii Europejskiej. Litwa, jako jedyny kraj członkowski, nie odnotowała spadku zużycia. W 18 z 27 krajów Unii Europejskiej zużycie energii pierwotnej w 2020 roku zmniejszyło się, w porównaniu z 2010 rokiem, co najmniej o 10%. Wśród krajów o dużym zużyciu energii (ponad 90 Mtoe) jedynie Polska charakteryzowała się niewielkim spadkiem zużycia (0,1%). W pozostałych krajach, czyli w Niemczech, Francji, Włoszech oraz Hiszpanii zużycie energii pierwotnej zmniejszyło się średnio o 17,8%.



Rysunek 9. Zużycie energii pierwotnej w krajach Unii Europejskiej w latach 2010-2020 (%)

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Eurostat, 2023bh)

W przypadku zużycia energii pierwotnej per capita w 2020 roku wspólnotowym liderem był Luksemburg (rysunek 10). Dysproporcje między poszczególnymi krajami w badanym okresie zmniejszyły się, co wynika przede wszystkim ze zmniejszenia zużycia energii pierwotnej w krajach Unii Europejskiej. Zużycie energii pierwotnej per capita w krajach UE było w 2020 roku średnio niższe o 16,1%, w porównaniu z 2010 rokiem i wyniosło 2,77 toe. Krajami, w których zużycie to wzrosło były Polska, Bułgaria oraz Łotwa.

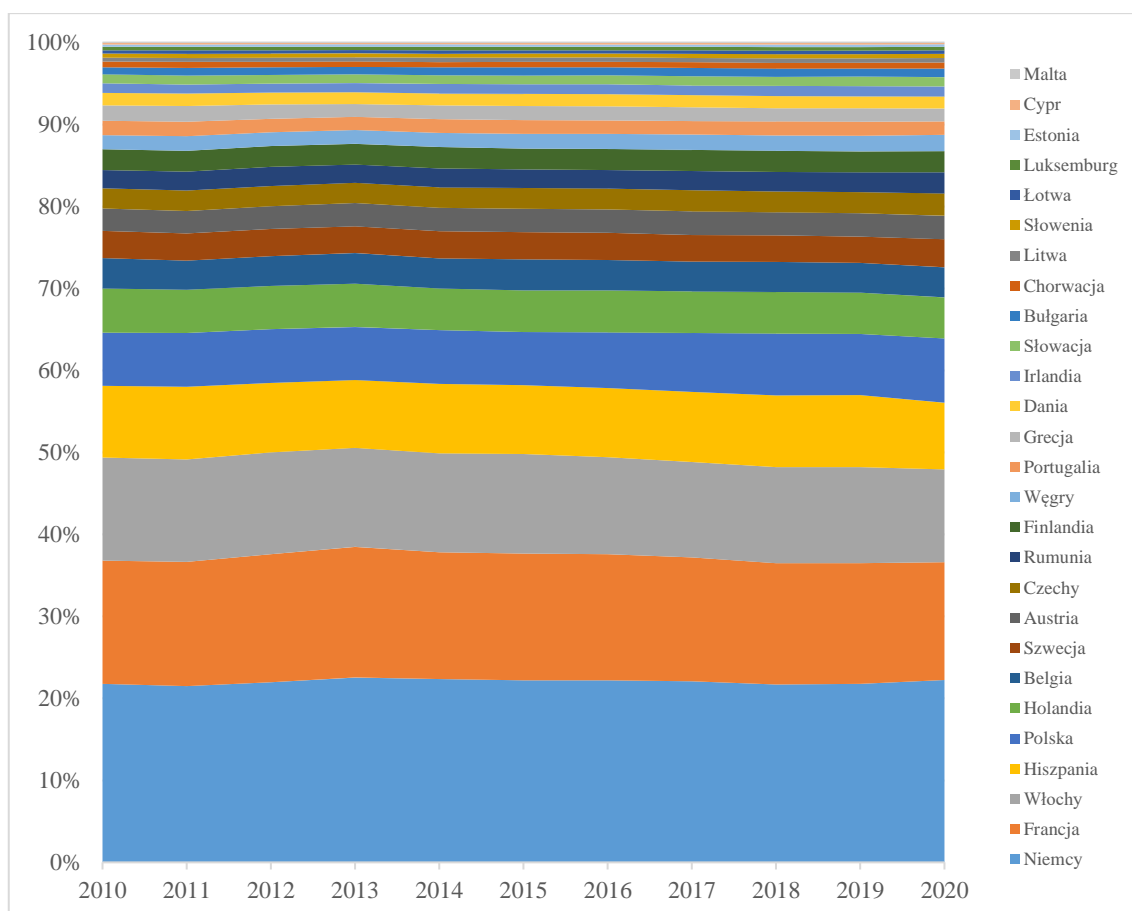


Rysunek 10. Zużycie energii pierwotnej w krajach Unii Europejskiej per capita w latach 2010-2020 (toe)

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Eurostat, 2023bh)

Finalne zużycie energii to całkowita energia zużyta przez użytkowników końcowych, takich jak gospodarstwa domowe, przemysł i rolnictwo. Jest to energia, która dociera do drzwi odbiorcy końcowego i wyklucza tę, która jest wykorzystywana przez sam sektor energetyczny. Finalne zużycie energii nie obejmuje energii zużywanej przez sektor energetyczny, w tym do dostaw i przemian. Nie obejmuje również paliwa przetwarzanego w elektrowniach przemysłowych producentów samochodów oraz koksu przetwarzanego na gaz wielkopiecowy, jeśli nie jest to część całkowitego zużycia przemysłowego, ale sektora przemian. Finalne zużycie energii w gospodarstwach domowych, usługach itp. obejmuje ilości skonsumowane przez gospodarstwa domowe, handel, administrację publiczną, usługi, rolnictwo i rybołówstwo (Eurostat, 2023ap).

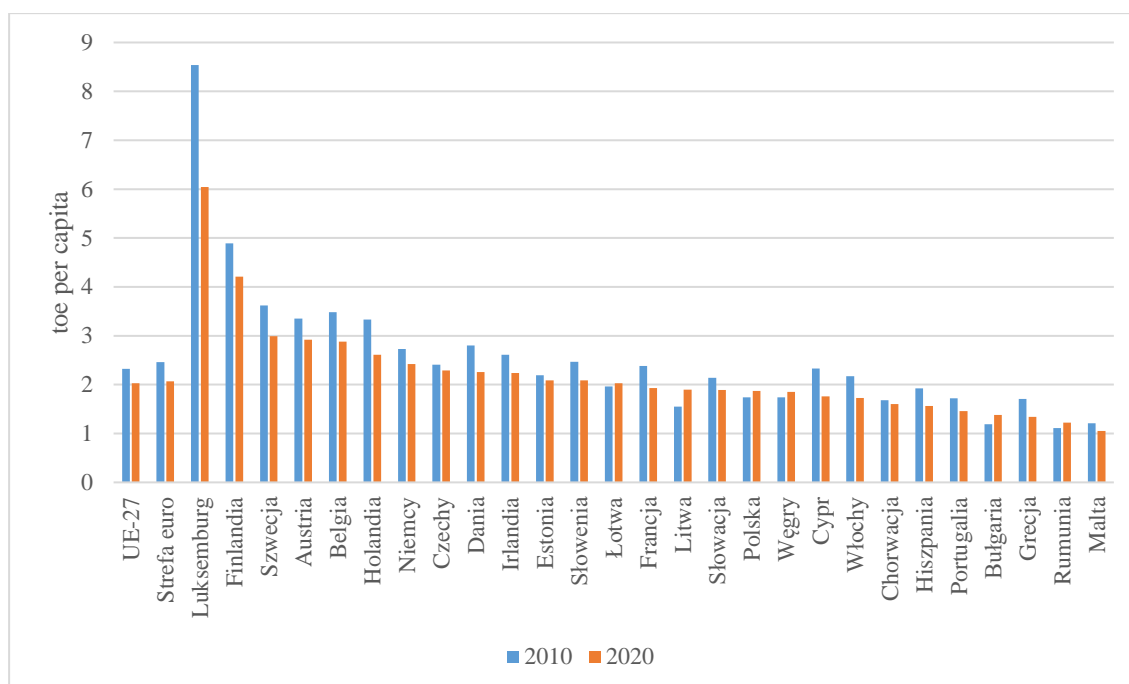
Finalne zużycie energii w krajach UE-27 w badanym okresie wyniosło średnio 975 Mtoe (rysunek 11). Zużycie to w 2020 roku, w porównaniu z 2010 rokiem, było niższe o ponad 11 %. Podobnie jak w przypadku energii pierwotnej, największymi konsumentami w 2020 roku były Niemcy, Francja, Włochy, Hiszpania oraz Polska, których udział w strukturze zużycia wyniósł blisko 64%. Polska, jako jedyny z tych krajów, odnotowała wzrost finalnego zużycia energii w badanym okresie (o 7,1%). W 22 z 27 krajów UE finalne zużycie energii zmniejszyło się, z czego w 15 krajach o co najmniej 10%.



Rysunek 11. Finalne zużycie energii w krajach Unii Europejskiej w latach 2010-2020 (%)

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Eurostat, 2023ar)

Finalne zużycie energii per capita dla krajów Unii Europejskiej wyniosło 2,03 toe. W porównaniu z 2010 rokiem oznaczało to spadek o 12,5%. Luksemburg ponownie był krajem o najwyższym zużyciu per capita, zaś dysproporcje między krajami Unii Europejskiej także się zmniejszyły (rysunek 12) W sześciu krajach, w tym w Polsce, finalne zużycie energii w 2020 roku było wyższe niż w 2010 roku.

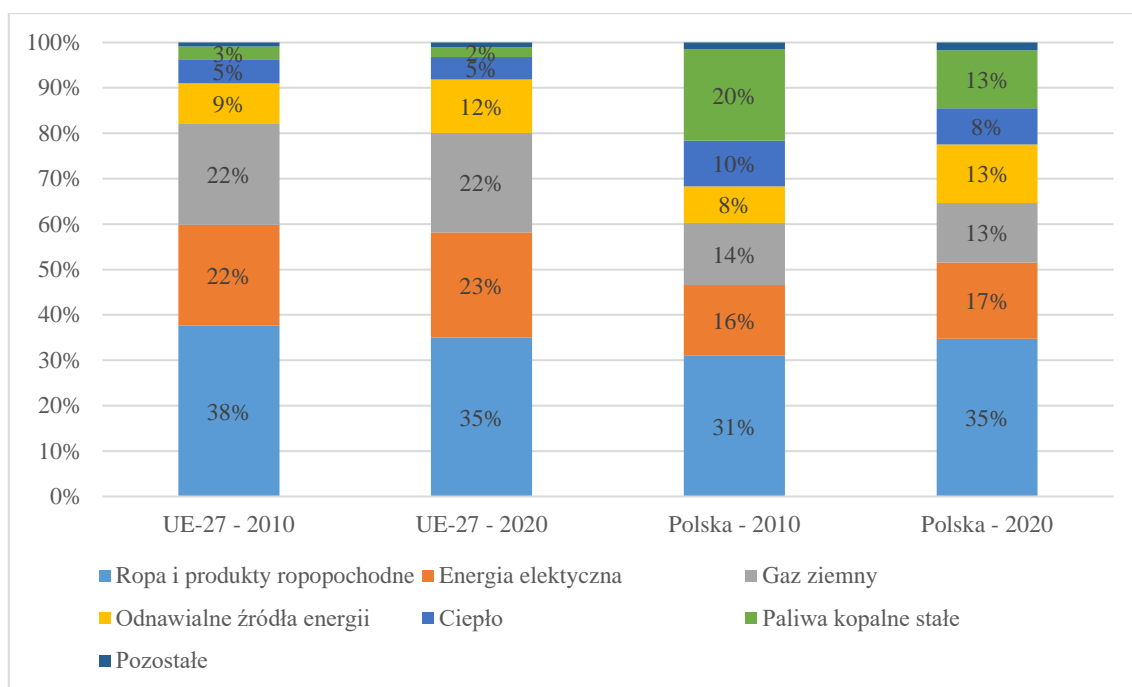


Rysunek 12. Finalne zużycie energii w krajach Unii Europejskiej per capita w latach 2010-2020 (toe)

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Eurostat, 2023ar)

Finalne zużycie energii w Unii Europejskiej w 2010 roku dotyczyło przede wszystkim trzech nośników energii – ropy i produktów ropopochodnych, energii elektrycznej oraz gazu ziemnego (rysunek 13). Ich sumaryczny udział w całkowitym finalnym zużyciu energii wyniósł 82%. Struktura ta w 2020 roku uległa nieznacznej zmianie. Zauważalny był wzrost finalnego zużycia energii z odnawialnych nośników energii i biopaliw, zaś spadek udziałów ropy i produktów ropopochodnych.

Nieco inaczej kształtowała się struktura finalnego zużycia energii w podziale na nośniki energii w Polsce. Istotnym nośnikiem, obok ropy, energii elektrycznej oraz gazu ziemnego były paliwa kopalne stałe, takie jak węgiel brunatny oraz kamienny. 80% finalnego zużycia energii pochodziło z tych czterech nośników. Podobna sytuacja miała miejsce w 2020 roku. Nastąpił jednak spadek udziałów paliw kopalnych stałych w strukturze na rzecz ropy i jej produktów oraz odnawialnych źródeł energii.

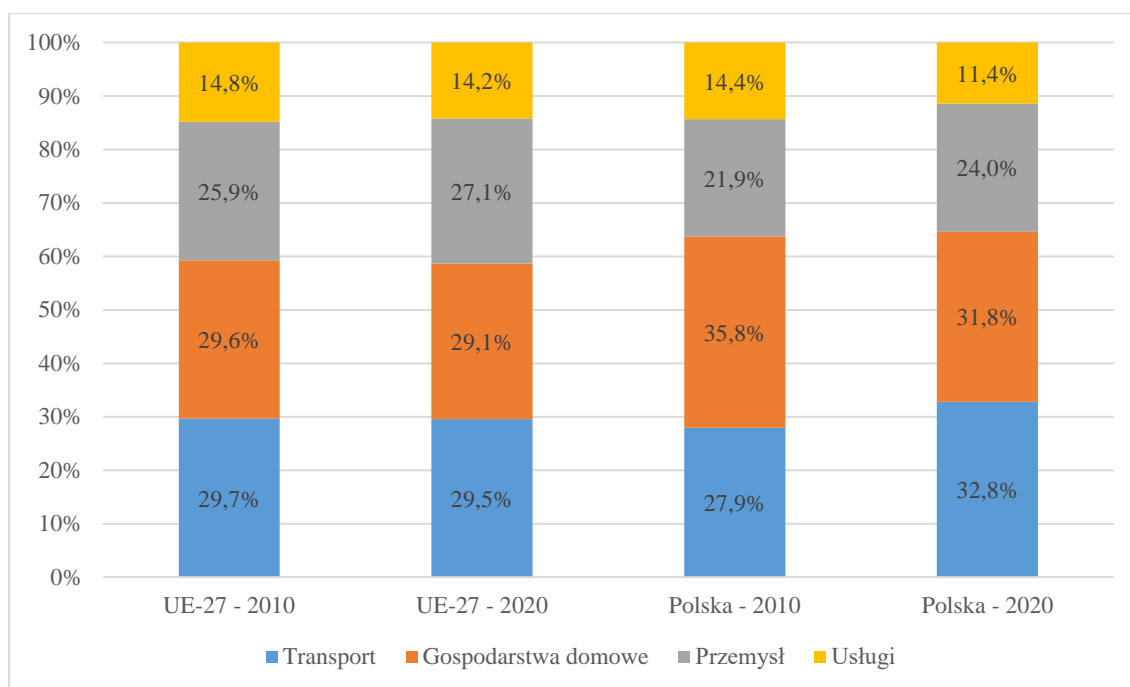


Rysunek 13. Finalne zużycie energii w Unii Europejskiej oraz w Polsce w podziale na nośniki energii w latach 2010-2020 (%)

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Eurostat, 2023at)

Struktura finalnego zużycia energii w Unii Europejskiej w podziale na sektory między 2010 a 2020 rokiem niemalże nie uległa zmianie. Zaobserwowano niewielki (1,2 pp.) wzrost udziałów przemysłu na rzecz pozostałych sektorów (rysunek 14).

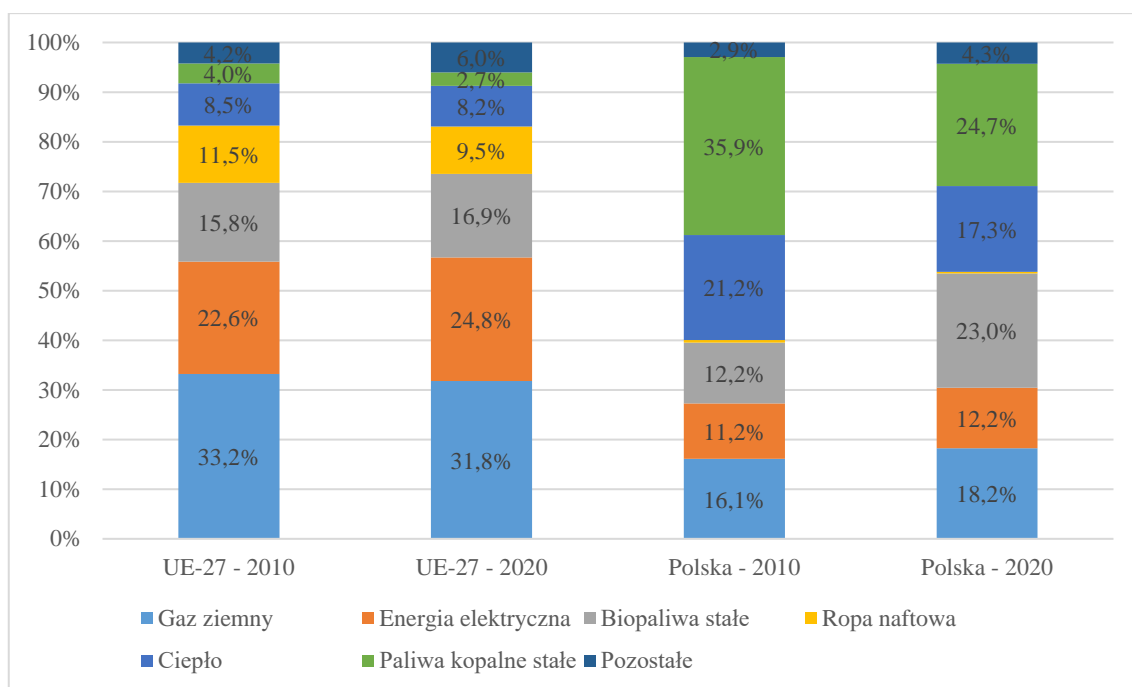
W strukturze finalnego zużycia energii w Polsce w podziale na sektory zachodzące zmiany były wyraźniejsze niż w przypadku całej Unii Europejskiej. Udział transportu w strukturze finalnego zużycia energii wzrósł o blisko 5 pp., natomiast przemysłu o 2 pp. Spadły natomiast udziały usług (o 3 pp.) oraz gospodarstw domowych (o 4 pp.)



Rysunek 14. Finalne zużycie energii w Unii Europejskiej oraz w Polsce w podziale na sektory w latach 2010-2020 (%)

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Eurostat, 2023au)

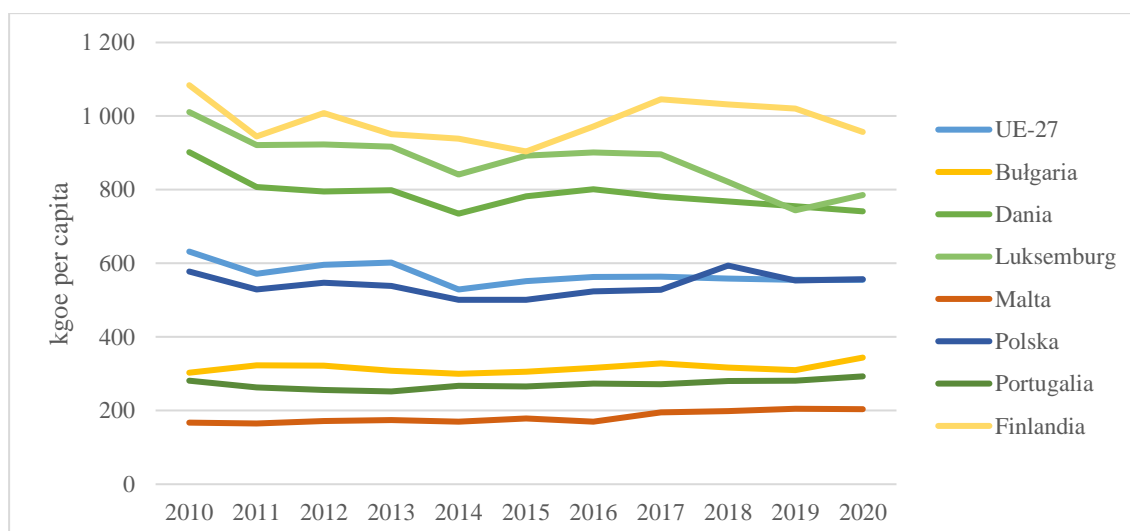
Głównym nośnikiem energii używanym w 2010 roku w gospodarstwach domowych w Unii Europejskiej był gaz ziemny (rysunek 15). W unijnych gospodarstwach używano także energię elektryczną oraz biopaliwa stałe. Odmienna sytuacja miała miejsce w Polsce, gdzie używano przede wszystkim takie nośniki energii jak paliwa kopalne stałe (węgiel kamienny i brunatny) oraz ciepło, pochodzące z przemian energii. Największy udział gazu ziemnego w strukturze finalnego zużycia energii w podziale na nośniki w 2020 roku odnotowano w Holandii (68%), jednak jeszcze w 2010 roku udział ten wyniósł blisko 78%. W przypadku energii elektrycznej była to Malta (72%), biopaliw stałych – Chorwacja (45%), ropy naftowej – Belgia (30%), ciepła – Dania (37%), zaś paliw kopalnych stałych – Polska (25%).



Rysunek 15. Finalne zużycie energii w gospodarstwach domowych w Unii Europejskiej oraz w Polsce w podziale na nośniki energii w latach 2010-2020 (%)

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Eurostat, 2023av)

Na rysunku 16 zostało przedstawione, ile energii elektrycznej i ciepła zużywa każdy mieszkaniec gospodarstwa domowego, z wyłączeniem energii używanej do transportu. Ponieważ wskaźnik odnosi się do finalnego zużycia energii, pod uwagę bierze się tylko energię zużytą przez odbiorców końcowych. Wyklucza się powiązane zużycie samego sektora energetycznego. Średnie finalne zużycie energii per capita dla UE-27 w 2020 roku wyniosło 555 kgoe, zaś dla badanego okresu 571 kgoe. W Polsce w latach 2010-2020 w gospodarstwach domowych zużywano średnio 541 kgoe per capita. Krajami z najmniejszym zużyciem w 2020 roku były Malta, Portugalia oraz Hiszpania, z kolei najwyższym zużyciem charakteryzowały się Finlandia, Luksemburg i Dania. W 6 z 27 badanych krajach zużycie w gospodarstwach domowych per capita spadło w analizowanym okresie o co najmniej 20%. Były to kraje o wysokim zużyciu per capita: Belgia, Irlandia, Luksemburg, Holandia, Słowenia i Szwecja. W Polsce zużycie w 2020 roku było niższe o 4%, w porównaniu z 2010 rokiem.



Rysunek 16. Finalne zużycie energii w gospodarstwach domowych per capita w latach 2010-2020 (kgoe)

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Eurostat, 2023aw)

Na własne potrzeby Unia Europejska potrzebuje również energii importowanej z krajów trzecich. W 2019 roku głównym importowanym produktem energetycznym były ropa i produkty ropopochodne, stanowiące prawie dwie trzecie importu energii do UE, a następnie gaz (27%) i stałe paliwa kopalne (6%).

Stabilność dostaw energii do UE może być zagrożona, jeśli duża część importu będzie skoncentrowana wśród stosunkowo niewielu partnerów zewnętrznych. W 2019 roku prawie dwie trzecie importu ropy i produktów ropopochodnych spoza UE pochodziło z Rosji (27%), Iraku (9%), Nigerii i Arabii Saudyjskiej (po 8%) oraz Kazachstanu i Norwegii (po 7%). Prawie trzy czwarte unijnego importu gazu ziemnego pochodziło z Rosji (41%), Norwegii (16%), Algierii (8%) i Kataru (5%), a ponad trzy czwarte stałych paliw kopalnych (głównie węgiel) pochodziło z Rosji (47%), Stanów Zjednoczonych (18%) i Australii (14%).

Ropa i produkty ropopochodne to ponad 80% importowanej energii na Cyprze, Malcie, w Grecji i Szwecji. Gaz to ponad jedna trzecia importowanej energii na Węgrzech, we Włoszech, w Austrii i na Słowacji. Natomiast paliwa stałe kopalne to około 20% importu energii w Polsce i na Słowacji.

Import nośników energii nieodnawialnej w Unii Europejskiej, za wyjątkiem gazu ziemnego, zmniejszył się (tabela 9). W 2020 roku import stałych paliw kopalnych był niższy o 46%, w porównaniu z 2010 rokiem. Największy spadek importu tych paliw odnotowano w Portugalii (99%) oraz w Estonii (95%). Kraje Unii Europejskiej

ograniczyły również import ropy i produktów ropopochodnych w badanym okresie. Import tych produktów dla wszystkich państw członkowskich był niższy o 10%. Mimo to, w 11 krajach import w 2020 roku był wyższy niż w 2010 roku, szczególnie w Estonii (wzrost o blisko 94%). Import ropy i produktów ropopochodnych został ograniczony w największym stopniu we Włoszech (spadek o blisko 33%). Odmienna sytuacja miała miejsce na rynku gazu ziemnego. Kraje Unii Europejskiej w badanym okresie zwiększyły import gazu o blisko 4%. Najbardziej widoczne było to w przypadku Danii, która w 2020 roku zaimportowała ponad 16 razy więcej gazu ziemnego niż w 2010 roku. Również Chorwacja oraz Holandia były krajami, w których import gazu ziemnego znacznie się zwiększył (odpowiednio o 100% i 132%).

Największym importerem paliw kopalnych stałych w Unii Europejskiej w 2020 roku były Niemcy (31,3 mln ton), które jednak jeszcze w 2010 roku importowały ponad 50 mln ton tych paliw. Drugim co do wielkości importerem była Polska, której import w badanym okresie wyniósł średnio 13 mln ton. Importowymi liderami w przypadku gazu ziemnego były Niemcy (80 mld m³), Włochy (66 mld m³) oraz Holandia (60 mld m³). Import ropy i produktów ropopochodnych w 2020 roku był blisko 8-krotnie większy niż paliw kopalnych stałych. Różnica w imporcie tych dwóch źródeł energii zwiększa się, gdyż w 2010 roku importowano niewiele ponad 4,5-krotnie więcej ropy i produktów ropopochodnych niż paliw kopalnych stałych. Podobnie jak w przypadku produktów ropopochodnych, największymi importerami w 2020 roku w Unii Europejskiej były Holandia (130 mln ton) oraz Niemcy (118 mln ton), przy czym import w tych krajach był niższy o około 10% w porównaniu z 2010 rokiem.

Tabela 9. Import nieodnawialnych źródeł energii w Unii Europejskiej w latach 2010-2020

Kraj	Paliwa stałe kopalne			Ropa i produkty ropopochodne			Gaz ziemny		
	2010	2020	zmiana	2010	2020	zmiana	2010	2020	zmiana
	mln ton	mln ton	%	mln ton	mln ton	%	mld m ³	mld m ³	%
UE-27	180,3	96,9	-46	830,5	746,5	-10	385,9	400,6	4
Strefa euro	146,5	72,3	-51	724,7	632,5	-13	349,1	352,1	1
Belgia	6,8	3,7	-45	56,4	52,8	-6	23,7	21,7	-9
Bułgaria	2,8	0,7	-77	7,7	7,1	-8	2,6	2,9	12
Czechy	3,7	4,3	17	10,5	10,4	-1	8,5	7,6	-11
Dania	4,6	1,1	-76	9,5	11,7	23	0,2	2,7	1654
Niemcy	50,5	31,3	-38	128,8	117,6	-9	94,0	80,4	-14
Estonia	0,1	0,0	-95	1,2	2,2	94	0,7	0,4	-36
Irlandia	1,6	0,4	-73	9,0	8,0	-11	5,2	3,4	-34
Grecja	0,7	0,3	-53	26,9	31,3	16	3,9	5,9	53
Hiszpania	13,0	4,9	-63	80,5	73,7	-8	36,7	32,5	-12
Francja	19,0	7,7	-59	104,8	76,6	-27	48,7	46,3	-5
Chorwacja	1,2	0,6	-48	4,9	4,4	-10	1,1	2,1	100
Włochy	22,1	7,6	-66	97,3	65,4	-33	75,4	66,4	-12
Cypr	0,0	0,0	31	2,9	2,3	-23	0,0	0,0	-
Łotwa	0,2	0,0	-78	1,9	2,0	4	1,1	1,1	-1
Litwa	0,3	0,2	-42	10,1	8,9	-11	3,1	2,9	-6
Luksemburg	0,1	0,1	-34	2,9	2,5	-12	1,4	0,7	-48
Węgry	2,1	1,3	-36	8,5	9,6	13	9,6	12,2	27
Malta	0,0	0,0	-	2,4	2,8	14	0,0	0,4	-
Holandia	12,4	6,1	-51	144,2	130,0	-10	25,7	59,8	132
Austria	5,0	3,6	-28	14,1	13,8	-2	12,4	16,5	33
Polska	13,8	13,1	-5	28,6	32,9	15	10,9	17,4	60
Portugalia	2,7	0,0	-99	15,1	14,4	-5	5,2	5,9	14
Rumunia	2,0	1,3	-37	8,2	10,9	32	2,3	2,1	-6
Słowenia	0,6	0,4	-36	3,2	4,0	25	1,1	0,9	-15
Słowacja	5,1	3,2	-36	6,8	7,3	7	6,1	4,3	-29
Finlandia	6,4	2,7	-57	16,0	16,8	5	4,7	2,6	-46
Szwecja	3,5	2,1	-40	27,8	27,0	-3	1,6	1,4	-11

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Eurostat, 2023ba; 2023bc; 2023be)

Kraje Unii Europejskiej przez 10 lat ogromnie uzależniły się od jednego eksportera paliw kopalnych stałych – Rosji (tabela 10). Mimo, że import był wyższy jedynie o 6 mln ton, to udział Rosji w całkowitej strukturze importu wzrósł aż o 24,5 pp. Udziały pozostałych głównych dostawców były na podobnym poziomie. Istotnym importerem (pod względem udziałów) stała się Australia, spadło znaczenie Kolumbii (5-krotnie mniejszy eksport) oraz Republiki Południowej Afryki (14-krotnie mniejszy eksport).

Tabela 10. Najwięksi eksporterzy paliw stałych kopalnych do krajów Unii Europejskiej w latach 2010-2020

2010			2020		
Kraj	mln ton	%	Kraj	mln ton	%
Rosja	38,0	21,1	Rosja	44,2	45,6
Kolumbia	25,7	14,3	Stany Zjednoczone	13,4	13,8
Stany Zjednoczone	25,4	14,1	Australia	11,9	12,2
Republika Południowej Afryki	15,8	8,8	Kolumbia	5,1	5,2
Australia	15,8	8,7	Kanada	2,0	2,1
Indonezja	9,9	5,5	Kazachstan	1,6	1,7
Ukraina	3,5	2,0	Republika Południowej Afryki	1,1	1,2
Kanada	3,2	1,8	Wielka Brytania	1,0	1,1
Norwegia	0,9	0,5	Mozambik	0,7	0,8
Wenezuela	0,7	0,4	Indonezja	0,4	0,4

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Eurostat, 2023bf)

Również w przypadku ropy i produktów ropopochodnych największym eksporterem była Rosja (tabela 11). Jednak w tym przypadku dywersyfikacja źródeł dostaw jest większa, zaś udziały Rosji znacznie mniejsze. Ponadto, udziały te zmniejszają się (spadek o prawie 5 pp.), podobnie jak wielkość importowanych produktów z rosyjskiego rynku (spadek o blisko 60 mln ton). Istotną rolę utraciła Libia (spadek udziałów z 6,6% do 1,3%), jednak było to głównie wynikiem sporych wahań w dostawach ropy naftowej i produktów ropopochodnych z tego kraju (średnia wielkość importu w badanych latach wyniosła 26 mln ton). Swoją pozycję na rynku umocniły natomiast Stany Zjednoczone, który stały się drugim co do wielkości eksporterem. Ich eksport wzrósł o 37 mln ton, co przyczyniło się do zwiększenia udziałów o ponad 5 pp. Jednym z głównych eksporterów stała się również Wielka Brytania, która w 2020 roku opuściła Unię Europejską.

Tabela 11. Najwięksi eksporterzy ropy i produktów ropopochodnych do krajów Unii Europejskiej w latach 2010-2020

2010			2020		
Kraj	mln ton	%	Kraj	mln ton	%
Rosja	228,2	27,5	Rosja	170,6	22,8
Libia	54,8	6,6	Stany Zjednoczone	52,6	7,0
Norwegia	48,9	5,9	Norwegia	47,8	6,4
Arabia Saudyjska	32,7	3,9	Arabia Saudyjska	44,3	5,9
Kazachstan	31,6	3,8	Wielka Brytania	40,2	5,4
Iran	29,7	3,6	Kazachstan	37,5	5,0
Azerbejdżan	23,0	2,8	Nigeria	34,6	4,6
Nigeria	20,7	2,5	Irak	29,1	3,9
Irak	17,0	2,0	Azerbejdżan	20,3	2,7
Stany Zjednoczone	15,7	1,9	Algieria	18,3	2,5

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Eurostat, 2023bd)

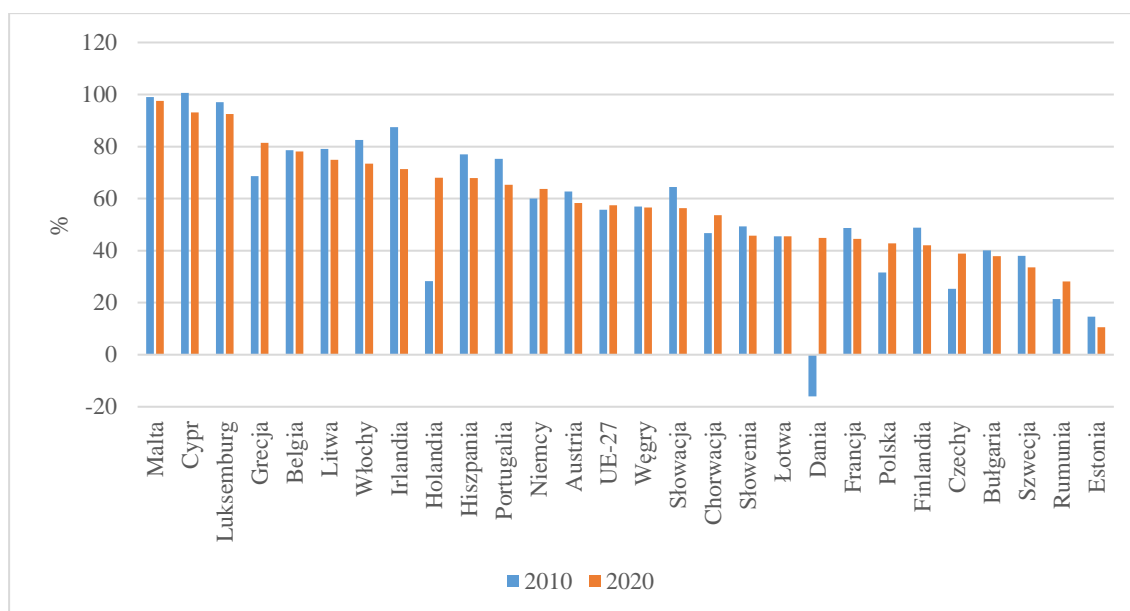
Głównym dostawcą gazu ziemnego do krajów Unii Europejskiej w badanym okresie była Rosja, która dodatkowo, w ciągu 11 lat, zwiększyła wielkość eksportowanego surowca o 35 mld m³, co wpłynęło z kolei na wzrost udziałów na rynku eksportu o blisko 8 pp. (tabela 12). Znaczenie Norwegii, Algierii oraz Kataru jako głównych eksporterów gazu ziemnego nie zmieniło się, jednak zmniejszyły się udziały tych krajów w strukturze eksportu, jak również wielkości surowca importowane przez kraje Unii Europejskiej z tych krajów. Odpowiednio piątym i szóstym największym eksporterem stały się Stany Zjednoczone i Wielka Brytania. Dynamiczny rozwój amerykańskiego rynku gazu ziemnego, pochodzącego w dużej mierze z ogromnych złóż łupków gazowych, sprawił, że od 2019 roku są one jedynym z głównych eksporterów tego surowca. W przypadku Wielkiej Brytanii pozycja wynika z opuszczenia przez nią struktur Unii Europejskiej.

Tabela 12. Najwięksi eksporterzy gazu ziemnego do krajów Unii Europejskiej w latach 2010-2020

2010			2020		
Kraj	mld m ³	%	Kraj	mld m ³	%
Rosja	119,7	31,0	Rosja	155,0	38,7
Norwegia	75,0	19,4	Norwegia	74,6	18,6
Algieria	49,3	12,8	Algieria	29,0	7,2
Katar	20,0	5,2	Katar	16,4	4,1
Nigeria	13,7	3,5	Stany Zjednoczone	15,7	3,9
Libia	10,0	2,6	Wielka Brytania	15,2	3,8
Egipt	4,5	1,2	Nigeria	11,5	2,9
Trynidad i Tobago	3,6	0,9	Libia	4,5	1,1
Turcja	0,6	0,2	Trynidad i Tobago	3,1	0,8
Oman	0,3	0,1	Gwinea Równikowa	1,1	0,3

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Eurostat, 2023bb)

Wskaźnik zależności energetycznej pozwala stwierdzić, w jakim stopniu gospodarka opiera się na imporcie w celu zaspokojenia swoich potrzeb energetycznych. Wskaźnik ten jest mierzony udziałem importu netto (import – eksport) w krajowym zużyciu energii brutto (czyli sumie wyprodukowanej energii i importu netto). Ujemna stopa zależności wskazuje na eksportera netto energii, podczas gdy stopa zależności przekraczająca 100% wskazuje, że produkty energetyczne były magazynowane. W Unii Europejskiej w 2020 roku wskaźnik zależności energetycznej wyniósł 57,5%, co oznacza, że ponad połowa potrzeb energetycznych UE została zaspokojona z importu netto (rysunek 17). Wskaźnik ten wahał się od ponad 90% na Malcie, w Luksemburgu i na Cyprze do 10% w Estonii. Wskaźnik zależności od importu energii wzrósł od 2010 roku, kiedy wyniósł zaledwie 55,8%. Jak wspomniano wcześniej, Unia Europejska jest uzależniona głównie od Rosji w zakresie importu ropy naftowej, gazu ziemnego i paliw stałych oraz od Norwegii w przypadku ropy naftowej i gazu ziemnego.



Rysunek 17. Wskaźnik zależności energetycznej w krajach Unii Europejskiej w latach 2010-2020 (%)

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Eurostat, 2023ai)

Kraje Unii Europejskiej, poza kilkoma wyjątkami, nie są znaczącymi eksporterami nieodnawialnych źródeł energii (tabela 13). Eksport paliw kopalnych stałych oraz gazu ziemnego w badanym okresie zmniejszył się (odpowiednio o 39% i 25%), zaś niewiele, bo o 2%, wzrósł eksport ropy i produktów ropopochodnych.

Największym eksporterem paliw kopalnych stałych (głównie węgla kamiennego oraz węgla brunatnego) była Polska. W 2020 roku Polska wyeksportowała ponad 11 mln ton paliw kopalnych stałych, co stanowiło ponad 58% całkowitego eksportu tych surowców w Unii Europejskiej. Jednak w porównaniu z 2010 rokiem ilość eksportowanego surowca spadła o jedną trzecią.

Większość krajów Unii Europejskiej w 2020 roku zwiększyła ilości eksportowanej ropy oraz produktów ropopochodnych. Ilości te są jednak niewielkie i, za wyjątkiem kilku krajów, nie przekraczają 10 mln ton rocznie. Największy eksporter ropy i produktów ropopochodnych w 2020 roku – Holandia (91 mln ton) – ograniczyła swój eksport o 9%, w porównaniu z 2010 rokiem. Pozostali więksi eksporterzy (eksport powyżej 18 mln ton), tj. Belgia, Niemcy, Grecja i Hiszpania, zwiększyli swój eksport w badanym okresie.

Holandia była także głównym eksporterem gazu ziemnego w Unii Europejskiej. Eksport gazu ziemnego z tego kraju stanowił w 2020 roku ponad 55% całkowitego eksportu z Unii Europejskiej, jednak w porównaniu z 2010 rokiem ilość eksportowanego

surowca zmniejszyła się o blisko 20 mld m³. Eksport w Polsce wzrósł 30-krotnie, co było możliwe m.in. dzięki wybudowaniu w Świnoujściu terminala gazowego LNG, jednak eksportowane ilości były nadal niewielkie (w ostatnich 5 latach było to około 1 mld m³). Różnicą między rynkiem gazu ziemnego a rynkami pozostałych paliw kopalnych jest również to, że pojawiają się na nim nowe kraje, eksportujące niewielkie ilości surowca (takie jak Bułgaria, Grecja, Litwa, Rumunia czy Szwecja).

Tabela 13. Eksport nieodnawialnych źródeł energii w Unii Europejskiej w latach 2010-2020

Kraj	Paliwa stałe kopalne			Ropa i produkty ropopochodne			Gaz ziemny		
	2010	2020	zmiana	2010	2020	zmiana	2010	2020	zmiana
	mln ton	mln ton	%	mln ton	mln ton	%	mld m3	mld m3	%
UE-27	31,694	19,349	-39	285,05	291,94	2	96,87	72,17	-25
Strefa euro	5,850	5,552	-5	242,26	251,24	4	92,42	64,58	-30
Belgia	1,075	0,229	-79	24,01	26,67	11	3,21	3,42	7
Bułgaria	0,090	0,028	-69	3,56	2,85	-20	0,00	0,01	-
Czechy	8,350	2,000	-76	1,63	1,85	13	0,16	0,00	-100
Dania	0,071	0,194	173	13,08	8,20	-37	3,54	1,71	-52
Niemcy	1,694	2,340	38	18,66	22,35	20	20,47	0,00	-100
Estonia	0,021	0,019	-11	0,39	1,92	392	0,00	0,00	-
Irlandia	0,010	0,000	-100	1,47	1,52	3	0,00	0,00	-
Grecja	0,000	0,002	-	9,50	18,81	98	0,00	0,03	-
Hiszpania	1,858	2,082	12	11,58	22,92	98	1,16	1,17	1
Francja	0,257	0,013	-95	22,88	13,00	-43	2,95	9,10	208
Chorwacja	0,000	0,000	-	1,93	2,33	21	0,48	0,05	-89
Włochy	0,308	0,305	-1	29,67	23,43	-21	0,14	0,32	124
Cypr	0,000	0,000	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00	-
Łotwa	0,002	0,004	125	0,26	0,29	12	0,00	0,00	-
Litwa	0,036	0,000	-100	7,40	5,80	-22	0,00	0,52	-
Luksemburg	0,000	0,000	-	0,01	0,00	-60	0,00	0,00	-
Węgry	0,376	0,259	-31	2,83	3,11	10	0,23	4,26	1775
Malta	0,000	0,000	-	0,02	0,19	1119	0,00	0,00	-
Holandia	0,158	0,272	72	100,53	91,94	-9	59,53	39,97	-33
Austria	0,012	0,030	140	2,22	2,88	29	4,96	10,04	102
Polska	16,844	11,292	-33	3,56	4,80	35	0,05	1,40	2934
Portugalia	0,000	0,082	-	2,83	5,25	85	0,00	0,00	-
Rumunia	0,079	0,003	-97	3,55	4,34	23	0,00	0,14	-
Słowenia	0,000	0,000	-	0,67	1,92	186	0,00	0,00	-
Słowacja	0,381	0,040	-90	3,45	3,62	5	0,00	0,00	-
Finlandia	0,038	0,134	253	6,73	8,73	30	0,00	0,00	-
Szwecja	0,034	0,023	-32	12,66	13,21	4	0,00	0,03	-

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Eurostat, 2023aj; 2023am; 2023an)

Eksport paliw stałych kopalnych w Unii Europejskiej to przede wszystkim eksport między krajami wspólnoty. Niewielka część zasobów jest eksportowana do krajów nie

należących do Unii Europejskiej, jednak sytuacja zaczyna się zmieniać (tabela 14). Ponad 12% eksportu trafiło w 2020 roku do dwóch krajów – Maroka i Indii. Eksport paliw kopalnych stałych do Indii w badanym okresie zwiększył się niemal 19-krotnie. Ponadto, jednym z głównych importerów stała się, po opuszczeniu wspólnoty, Wielka Brytania.

Tabela 14. Najwięksi importerzy paliw stałych kopalnych z krajów Unii Europejskiej w latach 2010-2020

2010			2020		
Kraj	mln ton	%	Kraj	mln ton	%
Serbia	0,39	1,2	Maroko	1,24	6,4
Norwegia	0,34	1,1	Indie	1,11	5,8
Turcja	0,33	1,0	Chiny	0,68	3,5
Ukraina	0,28	0,9	Ukraina	0,47	2,4
Algieria	0,23	0,7	Wielka Brytania	0,37	1,9
Bośnia i Hercegowina	0,19	0,6	Turcja	0,33	1,7
Stany Zjednoczone	0,17	0,5	Norwegia	0,30	1,6
Szwajcaria	0,10	0,3	Algieria	0,20	1,0
Republika Południowej Afryki	0,06	0,2	Wietnam	0,14	0,7
Indie	0,06	0,2	Serbia	0,14	0,7

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Eurostat, 2023ao)

Zwiększona dywersyfikacja kierunków eksportu poza kraje wspólnoty i jego intensyfikacja dotyczyła również ropy oraz produktów ropopochodnych (tabela 15). Dziesięciu największych importerów odebrało w 2020 roku ponad 27% eksportowanych z Unii Europejskiej ropy oraz produktów ropopochodnych. Głównym odbiorcą były Stany Zjednoczone, importujące ponad 6% europejskich zasobów. Istotnymi kierunkami eksportu stały się również Wielka Brytania oraz Gibraltar (będący brytyjskim terytorium zamorskim), których udział w eksporcie europejskich surowców stanowił blisko 7%.

Tabela 15. Najwięksi importerzy ropy i produktów ropopochodnych z krajów Unii Europejskiej w latach 2010-2020

2010			2020		
Kraj	mln ton	%	Kraj	mln ton	%
Stany Zjednoczone	17,51	6,1	Stany Zjednoczone	18,98	6,5
Singapur	12,95	4,5	Wielka Brytania	11,63	4,0
Nigeria	8,21	2,9	Gibraltar	8,06	2,8
Szwajcaria	7,04	2,5	Nigeria	7,71	2,6
Meksyk	4,39	1,5	Szwajcaria	7,19	2,5
Norwegia	4,20	1,5	Arabia Saudyjska	6,30	2,2
Turcja	4,01	1,4	Maroko	5,70	2,0
Libia	3,13	1,1	Singapur	5,17	1,8
Kanada	2,62	0,9	Turcja	4,24	1,5
Liban	1,91	0,7	Norwegia	4,03	1,4

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Eurostat, 2023a)

Określenie kierunków importu gazu ziemnego jest trudne, gdyż nie we wszystkich przypadkach określony został kraj docelowy eksportowanego surowca (tabela 16). W związku z tym w 2010 roku dla ponad 32% eksportowanego gazu nie określono importera, zaś w 2020 roku było to ponad 15%. Głównym importerem gazu stała się Szwajcaria, która w 2020 roku zakupiła blisko 7 mld m³ gazu ziemnego i niemal 10-krotnie zwiększyła ilość importowanego surowca, w porównaniu z 2010 rokiem. Istotnymi odbiorcami były również Ukraina oraz Wielka Brytania. Mimo to, gaz ziemny był głównie eksportowany wewnątrz wspólnoty.

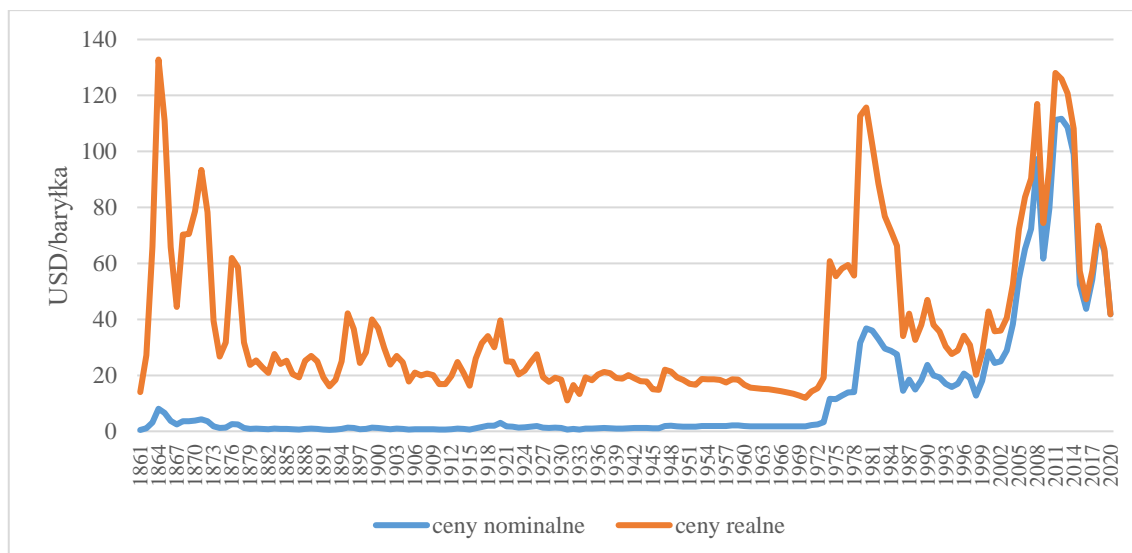
Tabela 16. Najwięksi importerzy gazu ziemnego z krajów Unii Europejskiej w latach 2010-2020

2010			2020		
Kraj	mln m ³	%	Kraj	mln m ³	%
Nie określono	31 594,53	32,616	Nie określono	11 153,90	15,455
Szwajcaria	693,00	0,715	Szwajcaria	6 781,71	9,397
Serbia	178,00	0,184	Ukraina	2 306,04	3,195
Chorwacja	22,00	0,023	Wielka Brytania	1 329,02	1,841
Norwegia	4,00	0,004	Serbia	725,00	1,005
			Chiny	266,59	0,369
			Gibraltar	179,84	0,249
			Indie	146,77	0,203
			Norwegia	24,52	0,034
			Andora	2,00	0,003

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Eurostat, 2023a)

3.2. Ceny nośników energii i czynniki warunkujące ich wahania

Większość głównych wahań cen ropy naftowej od 1973 roku można w dużej mierze wyjaśnić zmianami popytu na ropę naftową. Wraz z rozwojem światowej gospodarki rośnie popyt na ropę naftową. Cena ropy naftowej rosła również ze względu na większy popyt na jej zapasy w celu zabezpieczenia się przed przyszłymi niedoborami na rynku ropy. Historycznie, popyt na zapasy był wysoki w czasach napięcia geopolitycznego na Bliskim Wschodzie, niskiej produkcji ropy oraz spodziewanego silnego globalnego wzrostu gospodarczego. Na cenę ropy wpływ mogą mieć również wydarzenia polityczne. Najlepszymi przykładami są embargo OPEC w 1973 roku w odpowiedzi na wojnę Jom Kippur oraz rewolucja irańska w 1979 roku. Początkowa wysoka cena ropy w drugiej połowie XIX wieku wynikała przede wszystkim z niskiego wolumenu produkcji tego surowca, jak również wahań tejże produkcji. Kolejne lata to względnie stała cena baryłki ropy na poziomie około 22 USD. Podczas wojny w Wietnamie (lata 50. – 70. XX wieku) cena ropy spadła do poziomu około 16 USD za baryłkę. Podczas embarga OPEC w 1974 roku cena wzrosła 3-krotnie (w porównaniu z 1973 rokiem). Kolejny szok na rynku ropy naftowej nastąpił w 1979 roku (rewolucja irańska), kiedy to cena ropy wzrosła 2-krotnie, do poziomu 116 USD w 1980 roku. Następne lata to spadek cen, nawet do 20 USD za baryłkę w 1998 roku (najniższa cena w ostatnich 45 latach). W nowym tysiącleciu cena utrzymywała się na poziomie około 40 USD, jednak w 2005 roku i kolejnych nastąpił znaczny wzrost, do poziomu 117 USD w 2008 roku. Lata 2011-2014 to kolejny w historii okres wysokich cen ropy naftowej – pokłosie tzw. Arabskiej Wiosny. Średnia cena ropy w tych latach wyniosła 120 USD za baryłkę, ze szczytem w 2011 roku (128 USD). Kolejne pięć lat to spadek cen do poziomu około 47 USD. Kolejny szczyt cenowy nastąpił w 2018 roku (73 USD), by w 2020 roku cena ropy na rynkach światowych wyniosła 42 USD (rysunek 18).



Rysunek 18. Ceny ropy naftowej w latach 1861-2020 (USD/baryłka)

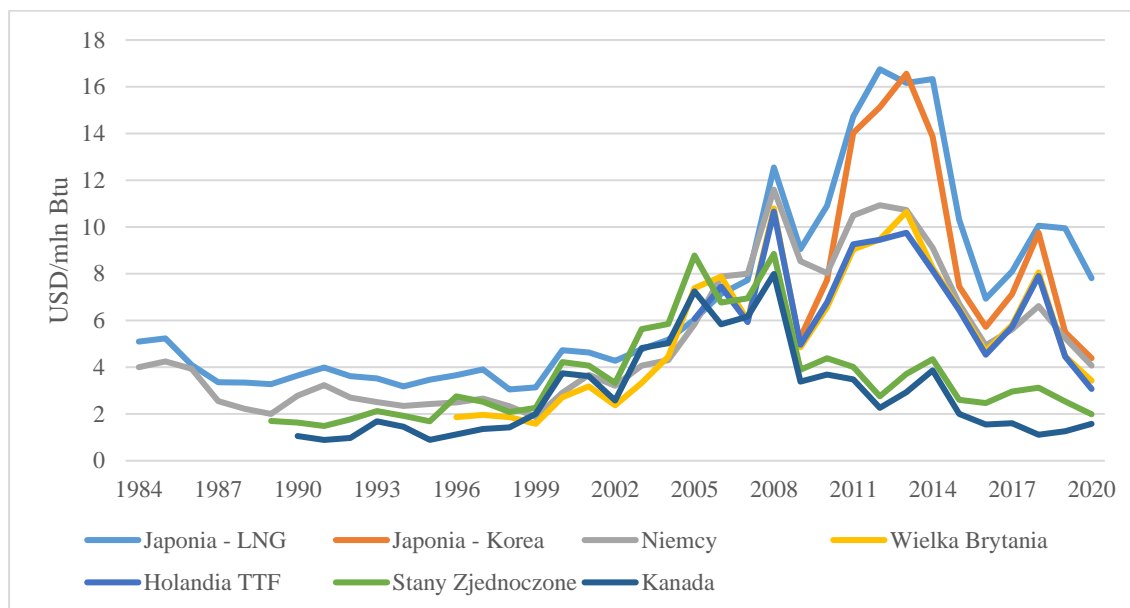
Źródło: (BP, 2021)

W zależności od rynku cena gazu ziemnego jest często wyrażana w jednostkach walutowych za objętość lub w jednostkach walutowych za zawartość energii. Na przykład dolary amerykańskie lub inna waluta na milion brytyjskich jednostek termicznych, tysięcy stóp sześciennych lub 1000 metrów sześciennych. Ceny gazu ziemnego dla odbiorców końcowych w całej Europie są bardzo zróżnicowane. Jednym z głównych celów projektowanego jednolitego rynku energii w UE jest wspólna struktura cenowa produktów gazowych. Niedawne badania wskazują, że ekspansja wydobycia gazu łupkowego w USA spowodowała spadek cen w porównaniu z innymi krajami, zwłaszcza europejskimi i azjatyckim, co przyczyniło się do tego, że ceny gazu w Stanach Zjednoczonych są 2- lub nawet 3-krotnie niższe. Oczekuje się, że umowa handlowa TTIP między USA a Europą otworzy dostęp do taniego amerykańskiego gazu ziemnego, co pozwoli Europie na dywersyfikację dostaw tego surowca, ale może zagrozić transformacji energetyki odnawialnej (Smedley, 2015).

Wraz ze wzrostem produkcji znacznie przewyższającym wzrost konsumpcji, poziom magazynowanego gazu ziemnego wzrósł w większości regionów, a ceny gwałtownie spadły (rysunek 19). Ceny w Stanach Zjednoczonych (Henry Hub) od 2014 roku spadły o ponad 54%, do średnio 1,99 USD/mln Btu w 2020 roku. Ceny europejskie (Wielka Brytania, Niemcy i Holandia) oraz azjatyckie (Japonia-Korea i Japonia-LNG), spadły średnio o blisko 60% od ostatniego szczytu cenowego, który wystąpił w 2013 roku. W przypadku rynków europejskich cena spadła średnio

z 10,37 USD/mln Btu do 3,52 USD/mln Btu, zaś w przypadku rynków azjatyckich z 16,36 USD/mln Btu do 6,10 USD/mln Btu.

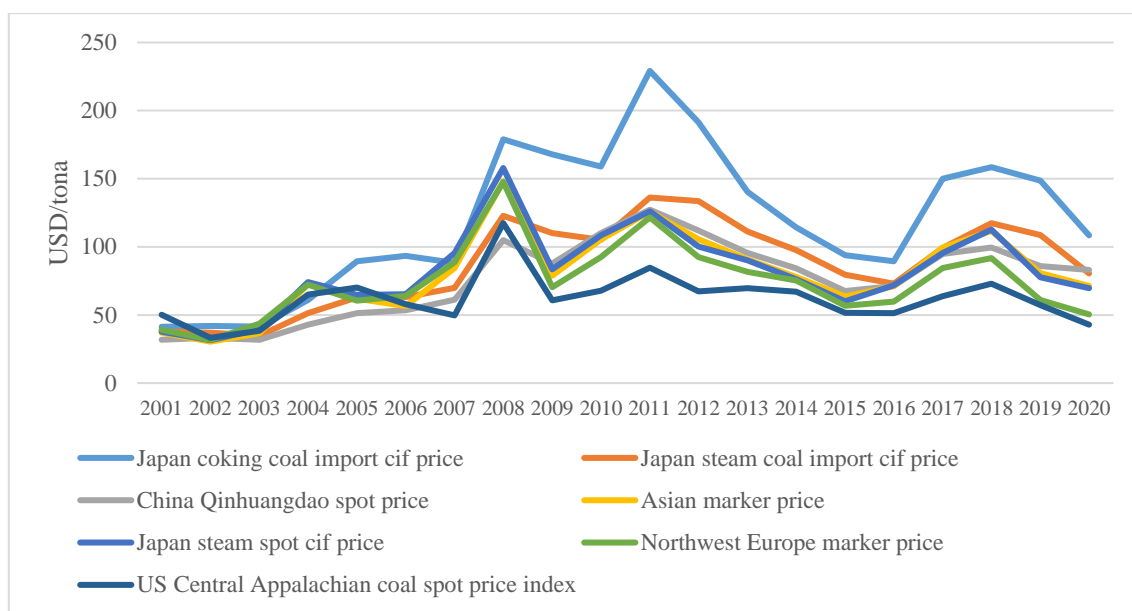
We wrześniu 2021 roku ceny gazu w Europie osiągnęły rekordowy poziom, po załamaniu się energetyki wiatrowej z powodu słabych wiatrów (Wallace, 2021). W grudniu 2021 roku ceny gazu ziemnego na hubie TTF w Holandii osiągnęły po raz pierwszy poziom 2000 USD za 1000 m³, co odpowiada 172,52 EUR/MWh (50,56 EUR/mln Btu).



Rysunek 19. Ceny gazu ziemnego w latach 1984-2020 (USD/mln Btu)

Źródło: (BP, 2021)

Najwyższe ceny węgla charakteryzowały rynki azjatyckie, głównie japoński (rysunek 20). Najniższe odnotowano na rynku amerykańskim oraz europejskim. Jeszcze w 2007 roku średnia cena na przedstawionych na wykresie rynkach wynosiła 77 USD za tonę. W 2008 roku nastąpił gwałtowny wzrost cen na wszystkich rynkach. Ceny wzrosły średnio o 82%, najwięcej na rynku amerykańskim (136%) oraz japońskim (103%). Wysokie ceny węgla utrzymywały się na rynku japońskim przez kolejne 4 lata, osiągając w 2011 roku maksymalną cenę w badanym okresie, na poziomie 229 USD za tonę. Ceny węgla spadały od 2011 roku średnio o 15% rocznie, aż do 2016 roku, kiedy odnotowano 3% wzrost cen. Kolejny rok to następny szczyt cenowy – średnia cena wzrosła o 41% (najwięcej na rynku japońskim – 68%). W 2019 roku ceny na wszystkich rynkach spadły, średnio o 19%, najwięcej na rynku europejskim (34%), zaś 2020 rok przyniósł kolejne obniżki cen, średnio o 18%.



Rysunek 20. Ceny węgla w latach 2001-2020 (USD/tona)

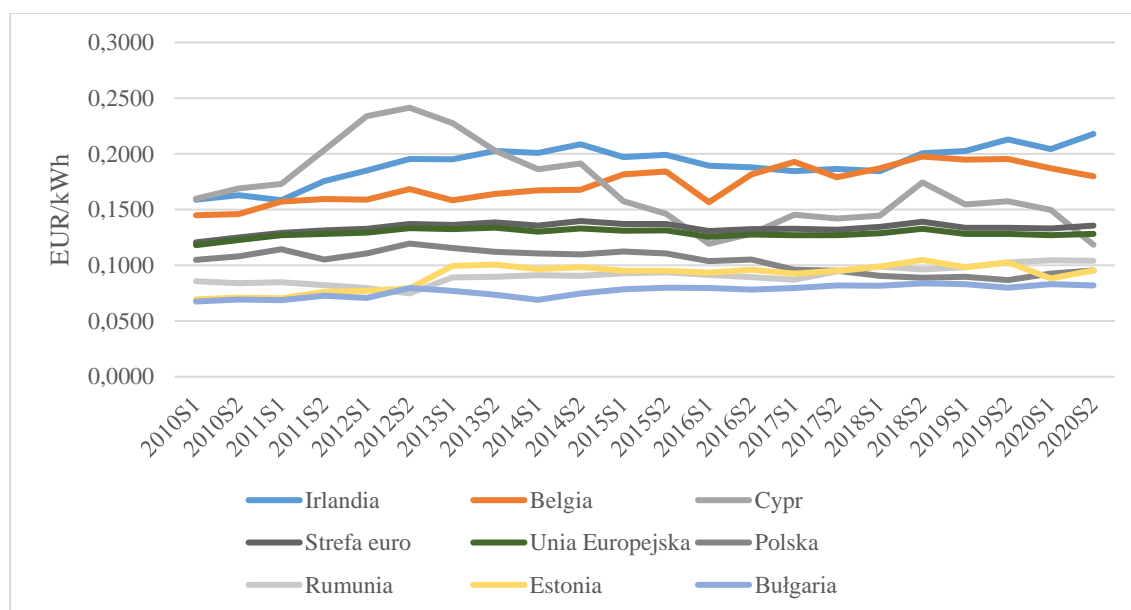
Źródło: (Our World in Data, 2023a)

Ceny energii w UE zależą od szeregu różnych warunków podaży i popytu, w tym sytuacji geopolitycznej, krajowego miksu energetycznego, dywersyfikacji importu, kosztów sieci, kosztów ochrony środowiska, trudnych warunków pogodowych oraz poziomu akcyzy i podatków. Należy pamiętać, że ceny obejmują podatki, opłaty i VAT dla gospodarstw domowych, ale nie obejmują podatków i opłat podlegających zwrotowi oraz VAT dla konsumentów niebędących gospodarstwami domowymi.

W przypadku gospodarstw domowych (zdefiniowanych jako średniej wielkości konsumenci o rocznym zużyciu w przedziale 2 500 kWh < zużycie < 5 000 kWh) wśród państw członkowskich UE w badanym okresie średnie najwyższe ceny energii elektrycznej były w Irlandii (0,1914 EUR/kWh), Belgii (0,1732 EUR/kWh) i na Cyprze (0,1694 EUR/kWh). Najniższe ceny energii elektrycznej odnotowano natomiast w Bułgarii (0,0770 EUR/kWh), Estonii (0,0906 EUR/kWh) i Rumunii (0,0911 EUR/kWh). Cena energii elektrycznej dla gospodarstw domowych w Irlandii była prawie 2,5-krotnie wyższa od ceny w Bułgarii. Polska była dziewiątym w kolejności krajem z najniższymi średnimi cenami energii elektrycznej (0,1035 EUR/kWh). Średnia cena dla wszystkich krajów członkowskich wyniosła 0,1287 EUR/kWh. W przypadku krajów strefy euro było to 0,1335 EUR/kWh (rysunek 21).

W porównaniu z drugim półroczem 2010 roku ceny energii elektrycznej w UE-27 wzrosły w drugim półroczu 2020 roku o 4,6%. Krajami o najwyższym wzroście cen energii elektrycznej były Estonia (34%), Irlandia (33,8%) oraz Grecja (33,3%).

W 11 krajach odnotowano spadek cen, największy na Węgrzech (36,3%), na Cyprze (30%) oraz na Malcie (22,1%). Do tego grona zaliczała się też Polska, dla której odnotowano spadek w wysokości 12%. Porównując ze sobą ceny energii elektrycznej z drugiego półrocza 2020 roku oraz z drugiego półrocza 2019 roku można stwierdzić, że sytuacja cenowa była względnie unormowana, gdyż spadek cen dla krajów Unii Europejskiej wyniósł 0,08% (0,0001 EUR/kWh). Rok do roku ceny spadły w 12 krajach, w największym stopniu na Cyprze (24,9%), w Szwecji (21,6%) oraz w Danii (12,9%). W pozostałych 15 krajach ceny wzrosły, najbardziej na Słowacji (14,1%), w Luksemburgu (10,6%) oraz w Polsce (9,9%).



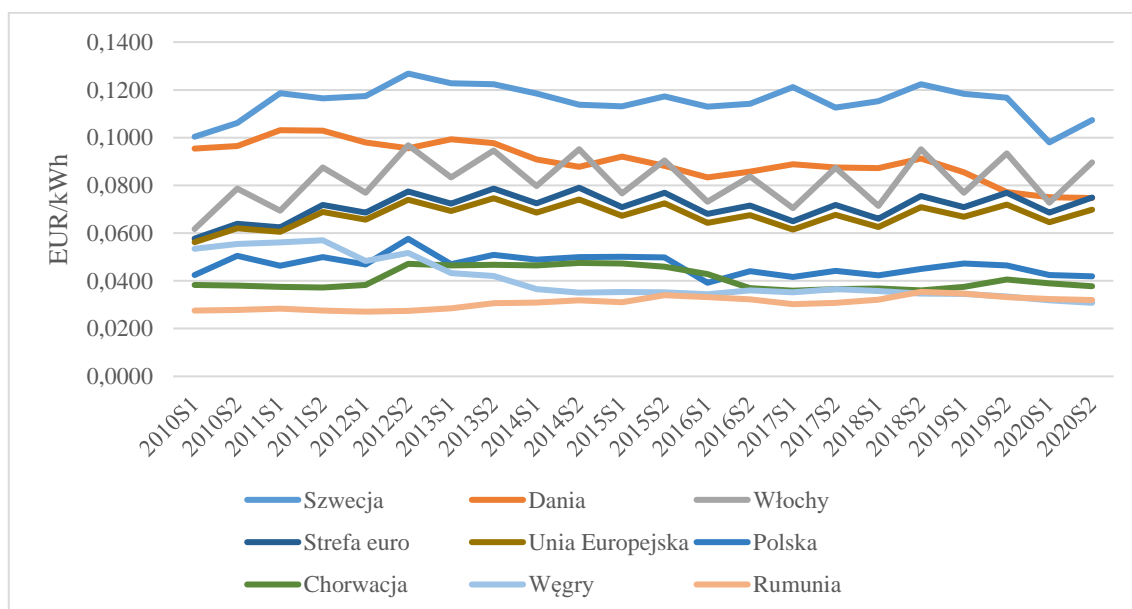
Rysunek 21. Ceny energii elektrycznej w gospodarstwach domowych w UE w latach 2010-2020 (EUR/kWh)

Źródło: (Eurostat, 2023ag)

Dla gospodarstw domowych w UE, definiowanych jako średniej wielkości konsumenci o rocznym zużyciu w przedziale 20-200 GJ (z wyłączeniem Cypru, Malty oraz Finlandii, które nie raportują cen gazu ziemnego dla gospodarstw domowych), najwyższe średnie ceny gazu ziemnego w badanym okresie wystąpiły w Szwecji (0,1151 EUR/kWh), Danii (0,0902 EUR/kWh) oraz we Włoszech (0,0820 EUR/kWh). Z kolei Rumunia (0,0309 EUR/kWh), Węgry (0,0406 EUR/kWh) oraz Chorwacja (0,0408 EUR/kWh) były krajami o najniższych cenach gazu ziemnego w latach 2010-2020. Cena gazu ziemnego dla gospodarstw domowych w Rumunii była prawie 3,5-krotnie niższa od ceny w Szwecji. Polska była ósmym w kolejności krajem z najniższymi średnimi cenami energii elektrycznej (0,0466 EUR/kWh). Średnia cena dla

wszystkich krajów członkowskich wyniosła 0,0673 EUR/kWh. W przypadku krajów strefy euro było to 0,0710 EUR/kWh (rysunek 22).

W porównaniu z drugim półroczem 2010 roku ceny gazu ziemnego w UE-27 wzrosły w drugim półroczu 2020 roku o 12,6%. Krajami o najwyższym wzroście cen energii elektrycznej były Hiszpania (64,8%), Holandia (40,3%) oraz Irlandia (33%). W 10 krajach odnotowano spadek cen, największy na Węgrzech (44,4%), na Litwie (34,9%) oraz na Łotwie (31%). Do tego grona zaliczała się też Polska, gdzie odnotowano spadek w wysokości 17%. Ceny gazu ziemnego w drugim półroczu 2020 spadły w Unii Europejskiej średnio o 0,0020 EUR/kWh (2,6%), w porównaniu z drugim półroczem 2019 roku. Ceny wzrosły tylko w trzech krajach: Niemczech (5,4%), Holandii (4,7%) oraz Portugalii (0,9%). W pozostałych krajach ceny gazu ziemnego spadły, w największym stopniu na Litwie (27,3%), w Bułgarii (21,3%) oraz na Łotwie (20,2%).



Rysunek 22. Ceny gazu ziemnego w gospodarstwach domowych w UE w latach 2010-2020 (EUR/kWh)

Źródło: (Eurostat, 2023ay)

Ropa naftowa to strategiczny surowiec energetyczny, zatem jej ceny są istotne dla wszystkich krajów, które stosują ją w przemyśle oraz w miksie energetycznym. Ceny ropy naftowej ulegają zmianom jak ceny innych produktów na światowych rynkach, jednak ich wahania mają dużo większe konsekwencje. Wynika to z jej podstawowego znaczenia dla wielu branż przemysłu, jak również z szerokiej gamy produktów naftowych.

Ceny ropy naftowej do 1973 roku charakteryzowały się małą zmiennością. Było to spowodowane niską ceną baryłki ropy naftowej oraz dominacją na rynku dużych zachodnich koncernów naftowych. Pierwszy kryzys naftowy, mający miejsce w latach 1973-1974, przyczynił się do wzrostu cen ropy naftowej, przeniesienia dominacji na rynku z zachodnich koncernów na państwa-eksporterów ropy (kraje OPEC) i zwiększenia niepewności na światowych rynkach surowców energetycznych. Obecnie, gwałtowne zmiany cen ropy, spowodowane wieloma czynnikami, są sytuacją normalną, do której uczestnicy rynku zdążyli się dostosować (Pach-Gurgul, 2016).

Silne wahania ceny ropy naftowej występują w okresach nadwyżek oraz niedoborów, jak również podczas występowania potencjalnych zagrożeń politycznych i gospodarczych, do których zaliczyć można m.in. wojny (Ross, 2013). Wahania te są istotne z punktu widzenia branż produkcyjnych i usługowych, gdyż wyższe ceny ropy naftowej powodują wzrost kosztów produkcji i usług, a w konsekwencji spadek efektywnego popytu. Czynniki, które oddziałują na poziom cen ropy naftowej można podzielić na (The World Bank, 2015):

- czynniki określające tendencje cenowe ropy naftowej w długim okresie (tzw. long-term drivers):
 - podaż ropy naftowej na światowym rynku,
 - popyt na ropę naftową,
 - światowy wzrost gospodarczy,
- czynniki określające tendencje cenowe ropy naftowej w krótkim okresie (tzw. short-term drivers):
 - nastroje inwestorów,
 - wydarzenia geopolityczne,
 - decyzje OPEC,
 - kurs dolara,
 - prognozy gospodarcze,
 - ataki terrorystyczne.

Zdaniem Kowalika i Herczakowskiej (2010) główne przyczyny wpływające na ceny ropy naftowej można podzielić na cztery grupy:

- czynniki ekonomiczne:
 - niska elastyczność cenowa popytu i podaży,
 - struktura dostaw (siła OPEC),

- wzrost popytu ze strony krajów azjatyckich (szczególnie Chin) i Bliskiego Wschodu,
- czynniki polityczne:
 - niepokoje i walki na terenach zasobnych w ropę,
 - spekulacje na temat nowych konfliktów,
 - groźby przerwania dostaw,
- czynniki geologiczne:
 - spadek wydobycia w krajach rozwiniętych i równocześnie demokratycznych,
 - rosnący dyktat krajów OPEC;
- rozwój rynku kapitałowego:
 - strategie portfelowe wykorzystujące indeksy rynków surowcowych,
 - rynek kontraktów futures,
 - spekulacje giełdowe.

Na ceny ropy naftowej wpływa podstawowe prawo podaży i popytu. Jeżeli popyt na ropę naftową rośnie (lub podaż na nią spada) to jej ceny powinny rosnąć, z kolei jeśli popyt na ropę spada (lub podaż na nią rośnie) wtedy powinno dojść także do spadku cen ropy naftowej. Gdy popyt na produkty ropopochodne jest wysoki, ceny dostosowują się, aby utrzymać poziom podaży na przyszłość z uwzględnieniem obecnego poziomu produkcji. Wysokie ceny z kolei pobudzają produkcję, poziom podaży wzrasta, a to skutkuje spadkiem cen ropy i jej produktów (Smith T., 2021).

Istotny wpływ na cenę ropy naftowej ma także jej produkcja. Przed 1970 rokiem przemysł naftowy był zdominowany przez siedem zachodnich firm, tzw. „Seven Sisters”. Firmy te działały na całym świecie i były odpowiedzialne za znaczący rozwój pól naftowych. Kartel ten składał się z Anglo-Persian Oil Company, Gulf Oil, Standard Oil of California, Texaco, Royal Dutch Shell, Standard Oil of New Jersey i Standard Oil Company of New York (Yergin, 1991). Po kryzysie naftowym w latach 70. XX wieku produkcja ropy naftowej na całym świecie została w dużym stopniu znacjonalizowana. Dziś wielonarodowe firmy kontrolują tylko około 5% światowych rezerw ropy naftowej, ale pozostają ważnymi partnerami na rynku ropy naftowej i rozwoju przemysłu naftowego. Od lat 70. XX wieku niektórzy z najbardziej znaczących producentów ropy kierowali swoje interesy za pośrednictwem Organizacji Krajów Eksportujących Ropę Naftową (OPEC). Inni producenci ropy są bardzo luźno reprezentowani przez Międzynarodową Agencję Energetyczną (IEA), która jest siostrzaną organizacją i dzieli

te same rozwinięte kraje członkowskie z Organizacją Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (OECD). Znaczący producenci i/lub konsumenci, tacy jak Rosja, Chiny i Indie, nie są jednak członkami żadnej z tych organizacji (Happonen, 2009). Wpływ na globalną podaż ropy naftowej ma również fakt, że ropa jest nieodnawialnym zasobem naturalnym, który podlega kilku warunkom, takim jak lokalizacja zasobów, ilość i właściwości fizyczne ropy znajdującej się w różnych złożach oraz formacja geologiczna, w której występuje ropa. Niektóre z tych czynników fizycznych determinują koszty wydobycia z danego złoża. Ponadto, odkrycie nowych złóż i ich zagospodarowanie wymaga czasu i znacznych inwestycji. Tak więc czynniki, które wpływają na światową produkcję ropy naftowej z istniejących złóż w krajach eksportujących ropę naftową, kształtują krótkoterminowe ceny ropy (King, Deng i Metz, 2012).

Organizacją, mającą duży wpływ na kształtowanie się cen ropy naftowej, jest Organizacja Krajów Eksportujących Ropę Naftową (OPEC). Celem OPEC jest koordynacja i ujednoczenie polityki naftowej krajów członkowskich w celu zapewnienia uczciwych i stabilnych cen dla producentów ropy naftowej, wydajne, ekonomiczne i regularne dostawy ropy naftowej do krajów konsumpcyjnych oraz godziwy zwrot z kapitału dla osób inwestujących w przemysł (OPEC, 2023). Decyzje OPEC zaczęły odgrywać znaczącą rolę na rynku ropy i regulacjach międzynarodowych. Wynika to z faktu, że państwa członkowskie OPEC produkują około 40% światowej ropy, a ich eksport stanowi około 60% światowego handlu ropą naftową. W 2021 roku OPEC oszacowała, że na jej kraje członkowskie przypada ponad 80% potwierdzonych światowych rezerw ropy (Ellerbeck, 2022).

Cena ropy jest w rzeczywistości ustalana na rynku kontraktów terminowych na ropę. Kontrakt futures na ropę jest wiążącą umową, która daje prawo do zakupu baryłki ropy po określonej cenie i terminie w przyszłości, a klienci kupują kontrakty terminowe w celu zabezpieczenia się przed wahaniami cen ropy, które niekorzystnie wpływają na rentowność (Kosakowski, 2022). Ceny kontraktów futures powyżej cen SPOT, które prowadzą do oczekiwań wyższych cen w przyszłości, mogą wpłynąć na to, że producenci ropy wstrzymają jej produkcję, aby sprzedać ją w późniejszym terminie z wyższymi zyskami. Może to ograniczyć bieżącą podaż ropy i znacząco wpłynąć na ceny (Olimb i Ødegård, 2010).

Na ceny ropy mają wpływ maklerzy i spekulanci rynkowi. Według Chicago Mercantile Exchange (CME) większość transakcji futures jest dokonywana przez

spekulantów, ponieważ mniej niż 3 % transakcji faktycznie kończy się przejęciem towaru będącego przedmiotem obrotu przez nabywcę kontraktu futures. Również nastroje rynkowe są kluczowym czynnikiem determinującym ceny ropy. Na przykład sama wiara, że popyt na ropę wzrośnie dramatycznie w pewnym momencie w przyszłości, może spowodować dramatyczny wzrost cen ropy w teraźniejszości, ponieważ spekulanci i hedgingowcy kupują także kontrakty futures na ropę (Lioudis, 2021).

Na światowy popyt na ropę, a co za tym idzie także na ceny ropy naftowej, wpływ mają wahania kursu dolara amerykańskiego. Ropa naftowa jest sprzedawana na całym świecie w dolarach amerykańskich, podczas gdy konsumenci kupują produkty naftowe w walutach lokalnych. Kiedy dolar amerykański traci na wartości w stosunku do innych walut, kraje, w których waluty nie doceniają dolara, cieszą się tanią ropą, podczas gdy konsumenci w krajach powiązanych z dolarem amerykańskim płacą wyższą cenę za tę samą baryłkę ropy. Deprecjacja dolara amerykańskiego w porównaniu z aprecjacją innych walut obniży koszt zakupu dolara. Zwiększy to popyt na ropę naftową w innych walutach niż dolar amerykański, co w konsekwencji prowadzi do wzrostu cen (Olimb i Ødegård, 2010).

Około 94% światowych potwierdzonych zasobów ropy naftowej jest kontrolowanych przez rządy, stąd decyzje polityczne w dużym stopniu wpływają na jej dostępność, dostawy i zużycie. Inwestycje naftowe w krajach produkujących ropę muszą konkurować z szeregiem innych priorytetów, w tym programami społecznymi i zdrowotnymi oraz innymi inwestycjami mającymi na celu dywersyfikację gospodarki i uniezależnienie się od produkcji ropy. Te priorytety zmniejszają dochody dostępne na inwestycje w zdolności produkcyjne ropy naftowej, co w konsekwencji wpływa na ceny. Polityka energetyczna i podatki w krajach bogatych w ropę również wpływają na cenę ropy. Jeśli rząd zakáže poszukiwań ropy naftowej w miejscu o udokumentowanych złożach, takich jak Zatoka Meksykańska, może to doprowadzić do ograniczenia dostaw ropy. Przepisy umów naftowych i wymagania nałożone przez kraje na międzynarodowe koncerny naftowe mogą zwiększać koszty produkcji i ostatecznie ceny ropy (Clover Global Solutions, 2012).

Światowe dostawy ropy są ograniczane przez wojny, terroryzm i działania partyzanckie, które są wynikiem niestabilności politycznej lub konfliktu. Niestabilność polityczna, zwłaszcza w strefach produkcji ropy naftowej, takich jak Bliski Wschód, miała znaczący wpływ na produkcję i cenę ropy. Napięcia z udziałem Iranu były

związane z jednymi z najwyższych cen ropy w historii, a złagodzenie tych napięć doprowadziło do obniżek cen z ich rekordowo wysokich poziomów. Wiadomości o niepokojach w strefach wydobywania ropy naftowej i związanych z działalnością naftową na całym świecie skutkują wysokimi cenami ropy (King, Deng i Metz, 2012).

Podobnie jak wiele innych towarów, ceny ropy naftowej są powiązane z działalnością gospodarczą większości krajów. Popyt i konsumpcja ropy naftowej we wszystkich sektorach wzrasta wraz ze wzrostem gospodarczym, przemysłowym i demograficznym, a spada w przypadku recesji gospodarczej. Kraje importujące ropę, takie jak Stany Zjednoczone i Chiny, zwiększają popyt na ropę w wyniku wzrostu gospodarczego, który ostatecznie prowadzi do wzrostu cen ropy. Jeśli ceny ropy utrzymają się na wysokim poziomie, wzrost gospodarczy w krajach importujących może spaść, powodując spadek popytu i cen ropy. Wysokie ceny będą również prowadzić do wzrostu inwestycji naftowych, budżetów poszukiwawczych i rozwojowych prowadzących do nowych odkryć ropy i zwiększonej podaży, co z czasem spowoduje spadek cen (Olimb i Ødegård, 2010).

Na popyt na ropę wpływają także sezonowe zmiany pogody. Choć wiadomo, kiedy spodziewać się okresów zwiększonego popytu, cena ropy co roku sezonowo rośnie i wyrównuje się. Ekstremalne warunki pogodowe, takie jak huragany, tsunami i burze, zwłaszcza w głównych regionach produkujących ropę naftową, mogą fizycznie wpływać na zakłady produkcyjne i infrastrukturę, zakłócając dostawy ropy naftowej i powodując wzrost cen (Clover Global Solutions, 2012).

Ceny gazu ziemnego, podobnie jak ceny ropy naftowej, są funkcją podaży i popytu rynkowego. Wzrost podaży gazu ziemnego generalnie skutkuje niższymi cenami gazu ziemnego, a spadek podaży zwykle prowadzi do wyższych cen. Wzrost popytu zazwyczaj prowadzi do wyższych cen, a spadek popytu zwykle prowadzi do niższych cen. Ze strony podażowej na ceny gazu ziemnego wpływają głównie trzy czynniki (U.S. Energy Information Administration, 2021):

- wielkość produkcji gazu ziemnego,
- stany zapasów gazu ziemnego w magazynach,
- wolumen importu i eksportu gazu ziemnego.

Od strony popytowej ceny gazu ziemnego zależne są od:

- zmienności pogody,
- poziomu wzrostu gospodarczego,

- dostępności i cen innych paliw.

Na podobne czynniki kształtujące ceny gazu ziemnego wskazuje ORLEN (2019). Obok czynników popytowych, takich jak wahania temperatur, struktura miksu energetycznego czy koniunktura gospodarcza oraz czynników podaźowych, do których zaliczyć można dostawy LNG, produkcję i dostawy rurociągowo, wyróżniane są również czynniki pozostałe, takie jak stan zapasów gazu ziemnego w magazynach, ceny gazu na rynkach ościennych, regulacje prawne, ceny ropy naftowej, ceny węgla, ceny energii elektrycznej oraz ceny emisji CO₂.

Zdaniem Giziene i Zalgiryte (2015), na ceny gazu ziemnego mają wpływ zarówno czynniki wewnętrzne, jak i zewnętrzne. Czynniki wewnętrzne obejmują ceny zakupu, transportu, magazynowania i wydobycia gazu ziemnego wraz z kosztami obiektoowymi, które obejmują koszty amortyzacji infrastruktury gazu ziemnego oraz koszty rozbudowy infrastruktury gazu ziemnego. Czynniki zewnętrzne obejmują cenę energii (prąd, ciepło) oraz paliwa (olej opałowy, węgiel). Czynniki wpływające na ceny energii elektrycznej można sklasyfikować jako (Girish i Vijayalakshmi, 2013):

- czynniki podstawowe:
 - ceny paliw,
 - temperatura,
 - warunki pogodowe,
 - indeksy czasowe,
 - koszt produkcji energii elektrycznej w przeliczeniu na jednostkę,
- czynniki operacyjne:
 - obciążenie systemu przesyłowego,
 - uwarunkowania pracy systemu zasilania,
 - produkcja energii elektrycznej (deficyt/nadwyżka),
 - konserwacja sieci,
 - obciążenie elektryczne,
- czynniki strategiczne:
 - umowy zakupu energii,
 - umowy dwustronne,
 - działanie giełdy energii,
 - struktura rynku,
- czynniki historyczne:

- cena,
- popyt.

Ceny energii elektrycznej w krajach europejskich są uzależnione od wielu czynników, niekoniecznie związanych z produkcją i przesyłem energii elektrycznej. Wśród tych czynników wyróżnić można (Kancelaria Senatu. Biuro Analiz, Dokumentacji i Korespondencji, 2018):

- strukturę źródeł wytwarzania energii elektrycznej, będąca charakterystyczna dla każdego kraju,
- ceny paliw na rynku europejskim i światowym,
- transgraniczne połączenia międzysystemowe,
- łączenie rynków.
- koncentrację dostawców,
- warunki pogodowe,
- wielkość zapotrzebowania odbiorców indywidualnych i przemysłu,
- zarządzanie popytem,
- efektywność energetyczną.

Wahania cen energii elektrycznej w Polsce powodowane są najczęściej zmianą czynników zwyczajnych, do których zaliczyć można m.in. ceny uprawnień do emisji CO₂, ceny węgla, postępujące modernizacje i inwestycje w nowe moce wytwórcze, obrót energią elektryczną, certyfikaty, czy otoczenie makroekonomiczne. Na ceny te wpływ mają także czynniki nadzwyczajne, takie jak nieprzewidziane zmiany kosztów wytwarzania (związane np. z nałożeniem embarga na paliwo), próby manipulacji na rynkach hurtowych czy zmiany legislacyjne (Audyteł, 2019).

3.3. Gospodarka paliwowo-energetyczna w Polsce

Węgiel kamienny oraz węgiel brunatny, których udziały wyniosły odpowiednio 44,1% i 24,1%, były w 2020 roku najważniejszymi paliwami służącymi do wytwarzania energii elektrycznej. Produkcja z odnawialnych źródeł energii stanowiła 17,9%. Najbardziej istotnymi nośnikami w tej grupie były energia wiatru oraz biomasa i biogaz. Energia słoneczna miała najmniejszy udział, ale cechowała się największą dynamiką wzrostu. Rok do roku produkcja energii elektrycznej ze źródeł nieodnawialnych spadła o 2,5 pp. Ponadto, w 2020 roku wyprodukowano blisko 9000 GWh energii elektrycznej mniej

z tych źródeł. W przypadku źródeł odnawialnych produkcja energii wzrosła o ponad 2800 GWh (tabela 17).

Tabela 17. Produkcja energii elektrycznej w Polsce według nośników energii

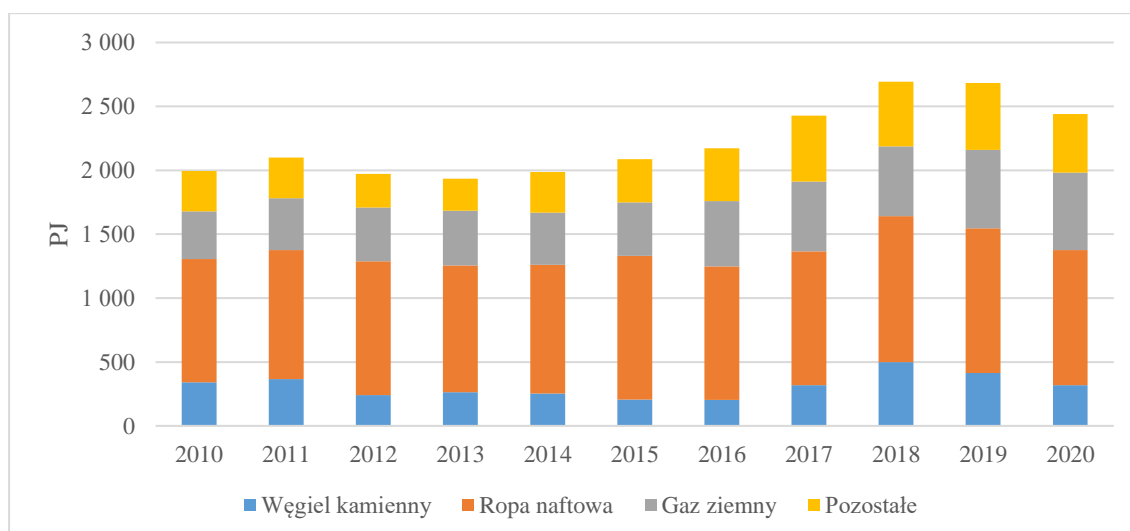
Wyszczególnienie	Poziom i struktura produkcji energii według nośników w latach					
	2010		2019		2020	
	GWh	%	GWh	%	GWh	%
Węgiel kamienny	87 863	55,7	76 538	46,7	69 668	44,1
Węgiel brunatny	48 651	30,9	41 639	25,4	38 148	24,1
Paliwa gazowe ¹	4 890	3,1	15 131	9,2	16 891	10,7
Pozostałe paliwa ²	4 797	3,0	4 620	2,8	4 291	2,7
Z wody przepompowanej	568	0,4	706	0,4	819	0,5
OZE, w tym:	10 889	6,9	25 354	15,5	28 227	17,9
biomasa	5 905	3,7	6 443	3,9	7 118	4,5
biogaz	400	0,3	1 135	0,7	1 232	0,8
woda	2 920	1,8	1 958	1,2	2 118	1,3
wiatr	1 664	1,1	15 107	9,2	15 800	10,0
słońce	.	.	711	0,4	1 958	1,2
RAZEM	157 658	100,0	163 989	100,0	158 043	100,0

1 - gaz ziemny wysokometanowy i zaazotowany, gaz z odmetanowania kopalń, gaz towarzyszący ropie naftowej

2 - oleje opałowe i napędowe, gazy przemysłowe, nieorganiczne odpady przemysłowe i komunalne

Źródło: (Ministerstwo Klimatu i Środowiska, Agencja Rynku Energii S.A., 2021)

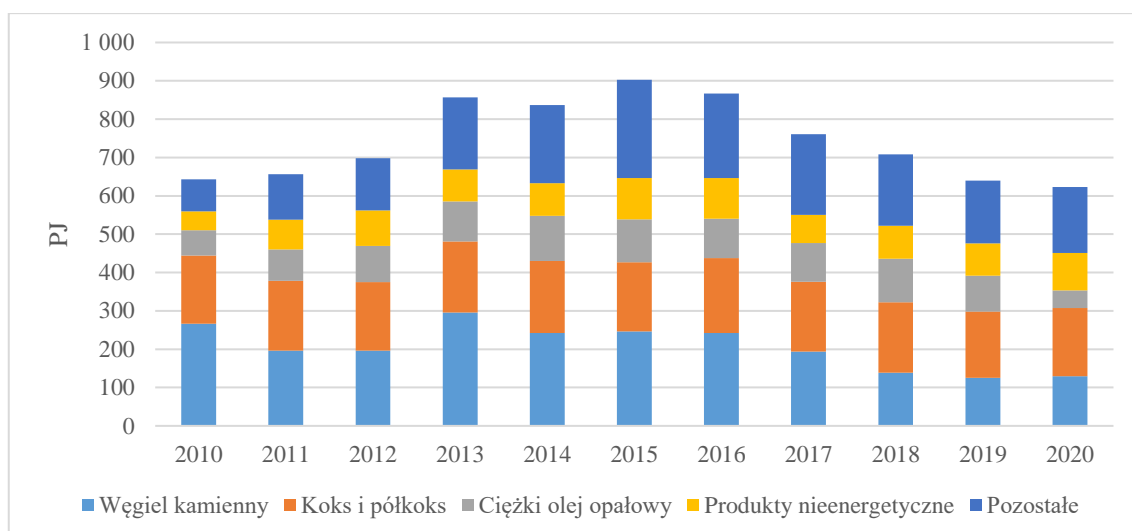
Znaczenie surowców energetycznych z importu, głównie ropy naftowej i gazu, zaczęło zwiększać się znacząco po 2013 roku (rysunek 23). W 2010 roku wielkość importu wyniosła 1994,5 PJ, była zatem o ponad 20% niższa niż w 2020 roku. Pomimo spadku importu w 2020 roku (w porównaniu z 2019 rokiem), wielkość importu (2440,7 PJ) przekroczyła wielkość krajowego pozyskania energii. Import dwóch najważniejszych nośników – ropy naftowej i gazu ziemnego – stanowił w 2020 roku 68,2% całości importu. Ich import jednak się zmniejszył, gdyż w latach 2012-2016 ropa naftowa stanowiła średnio 51,4% całości importu, zaś gazu ziemnego 21,5%.



Rysunek 23. Import energii w Polsce według nośników (PJ)

Źródło: (Główny Urząd Statystyczny, 2011; 2013a; 2014; 2015a; 2016; 2017a; 2018a; 2019a; 2020a; 2021a)

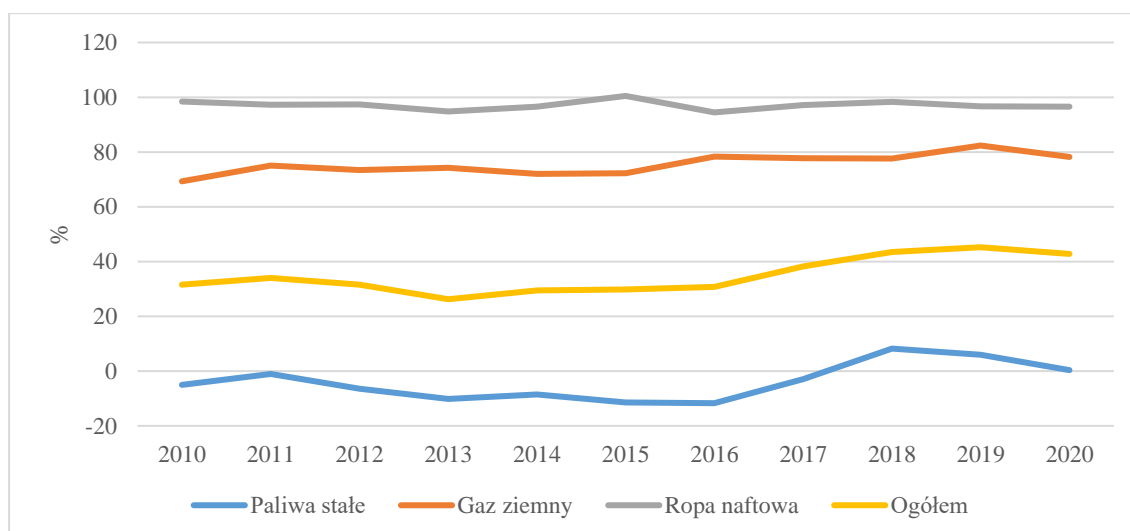
Eksport energii był mniejszy od importu i w 2020 roku wyniósł 622,7 PJ, co stanowiło 25,5% importu. Najważniejszymi eksportowanymi produktami energetycznymi były w 2020 roku koks i półkok, których udział w eksporcie wyniósł 28,5%. Drugim pod względem udziału nośnikiem był węgiel kamienny z udziałem 20,9%. Lata 2013-2016 to znaczny wzrost eksportu energii w Polsce, ze szczytem w 2015 roku (902,3 PJ). Średni eksport w tych latach wyniósł 865,7 PJ, natomiast w latach 2010-2012 było to 665,8 PJ (eksport mniejszy o 23%), zaś w latach 2017-2020 – 682,8 PJ (eksport mniejszy o 21%). Do 2018 roku ponad 25% eksportowanej energii pochodziło z węgla kamiennego, natomiast od 2018 roku głównymi eksportowanymi surowcami energetycznymi były koks i półkok (rysunek 24).



Rysunek 24. Eksport energii w Polsce według nośników (PJ)

Źródło: (Główny Urząd Statystyczny, 2011; 2013a; 2014; 2015a; 2016; 2017a; 2018a; 2019a; 2020a; 2021a)

Polska należała do tych państw Unii Europejskiej, których uzależnienie od importu energii było najmniejsze, odnotowano jednak tendencję rosnącą. W latach 2010-2017 import pokrywał średnio 30% krajowego zapotrzebowania, a w latach 2018-2020 było to już ponad 42%. Działo się tak głównie za sprawą paliw stałych, w przypadku których w latach 2010-2017 krajowe saldo importu było ujemne, zaś już w 2018 roku zapotrzebowanie krajowe zaspokajane było przez import w 8,2%. W badanym okresie import paliw stałych w Polsce wyniósł jednak -3,9%, dzięki czemu Polska była najmniej zależnym od importu paliw stałych krajem Unii Europejskiej (średnia dla Unii Europejskiej w badanym okresie wyniosła 40,7%). W największym stopniu Polska była uzależniona od ropy naftowej (rysunek 25). W latach 2010-2020 import tego surowca pokrywał średnio 97,1% krajowego zapotrzebowania i był wyższy od średniej dla UE, wynoszącej 95,3%. Polska była również jednym z krajów o najmniejszym uzależnieniu od importu gazu ziemnego. Średnie uzależnienie importu gazu ziemnego dla krajów Unii Europejskiej wyniosło w badanym okresie 76%, w Polsce wskaźnik ten wyniósł 75,5%.



Rysunek 25. Uzależnienie od importu energii w Polsce (%)

Źródło: (Eurostat, 2023ah)

Wydobycie węgla kamiennego obniżyło się w 2020 roku w stosunku do roku poprzedniego o 11,9% i wyniosło 54,7 mln ton (tabela 18). W stosunku do 2010 roku wydobycie spadło o 28,7%. Tendencja spadkowa wydobywania utrzymywała się od 2012 roku. W przypadku zużycia nastąpił znaczny (o 25,1%) spadek do 62,9 mln ton w 2020 roku. Wielkość importu węgla kamiennego w 2020 roku przewyższyła wielkość eksportu o 8,2 mln ton. Znacząco zmniejszył się w badanym okresie eksport węgla kamiennego (spadek o 53,6%).

Tabela 18. Bilans węgla kamiennego

Wyszczególnienie	Bilans węgla w latach (mln t)											
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
Wydobycie	76,7	76,4	79,9	77,1	73,3	72,7	70,8	66,0	63,9	62,1	54,7	
Zużycie	84,8	83,5	75,7	78,8	73,6	71,9	74,7	73,8	74,8	68,8	63,5	
Eksport	10,0	7,0	7,0	10,8	9,0	9,2	9,1	7,1	4,9	4,4	4,6	
Import	13,6	15,0	9,8	10,5	10,4	8,3	8,3	12,9	19,2	16,7	12,8	

Źródło: (Główny Urząd Statystyczny, 2011; 2013a; 2014; 2015a; 2016; 2017a; 2018a; 2019a; 2020a; 2021a)

Wydobycie gazu ziemnego w 2020 roku wyniosło 141,4 PJ i było o 8,2% niższe niż w 2010 roku (tabela 19). Tendencja spadkowa wydobywania, podobnie jak w przypadku węgla kamiennego, utrzymywała się od 2012 roku. Rosło natomiast zużycie gazu ziemnego w Polsce. W badanym okresie wzrosło ono o 30,5% (ponad 178 PJ). Rosnące zapotrzebowanie na gaz ziemny pokrywane było importowanym surowcem. Import w latach 2010-2020 zwiększył się o blisko 233 PJ (wzrost o 62,4%). Import znacznie przewyższał eksport, jednak od 2016 roku zaczęto eksportować z Polski większe ilości

surowca. Wielkości te w 2020 roku były blisko 30-krotnie większe niż w 2010 roku. Wynika to przede wszystkim z oddania do użytku gazoportu w Świnoujściu, obsługującego dostawy i wysyłki skroplonego gazu ziemnego (LNG).

Tabela 19. Bilans gazu ziemnego w Polsce

Wyszczególnienie	Bilans gazu ziemnego w latach (PJ)										
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Wydobycie	154,0	161,2	163,6	160,1	156,0	154,2	148,7	145,4	143,3	143,5	141,4
Zużycie	584,4	592,3	625,0	627,9	612,5	615,6	657,3	693,8	721,9	757,0	762,7
Eksport	1,6	1,0	0,1	3,2	2,6	1,9	30,0	42,3	23,6	24,3	48,4
Import	373,1	404,6	420,5	430,0	406,5	418,4	510,2	545,7	547,5	613,1	605,9

Źródło: (Główny Urząd Statystyczny, 2011; 2013a; 2014; 2015a; 2016; 2017a; 2018a; 2019a; 2020a; 2021a)

Wydobycie ropy naftowej w Polsce wyniosło 0,9 mln ton w 2020 roku i pokryło 3,6% zużycia. Średnio, w badanym okresie, wydobycie pokrywało 3,5% zapotrzebowania na ropę naftową (tabela 20). Zużycie ropy naftowej w 2020 roku wyniosło 25,6 mln t i było o 6,1% niższe niż w roku poprzednim, wzrosło natomiast, w porównaniu z 2010 rokiem o 12,1%. Średnie zużycie w latach 2010-2020 wyniosło 25,2 mln t. Import w badanym okresie pokrywał średnio 98% zapotrzebowania na ropę naftową. Eksportowane ilości ropy naftowej były niewielkie i wynosiły średnio 0,3 mln t rocznie.

Tabela 20. Bilans ropy naftowej w Polsce

Wyszczególnienie	Bilans ropy naftowej w latach (mln t)										
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Wydobycie	0,7	0,6	0,7	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9
Zużycie	22,8	24,2	25,2	24,2	24,1	26,1	25,8	25,1	27,0	27,3	25,6
Eksport	0,2	0,3	0,2	0,4	0,4	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
Import	22,7	23,8	24,6	23,3	23,7	26,5	24,6	24,6	26,8	26,6	24,9

Źródło: (Główny Urząd Statystyczny, 2011; 2013a; 2014; 2015a; 2016; 2017a; 2018a; 2019a; 2020a; 2021a)

Produkcja energii elektrycznej obniżyła się w 2020 roku o 3,6% do poziomu 158,0 TWh, natomiast zużycie energii spadło o 2,6% do 161,3 TWh. Do 2018 roku produkowana energia elektryczna była wystarczająca, by pokryć zapotrzebowanie krajowe (tabela 21). W latach 2019-2020 zużycie przewyższyło jednak produkcję energii elektrycznej, niezbędne zatem było zwiększenie importu. Import w 2019 roku był wyższy o 29,3% niż w 2018 roku. W 2020 roku doszło do kolejnego zwiększenia importu, tym razem o 15,4%. Do 2015 roku nadwyżki produkowanej energii były eksportowane poza Polskę, zaś saldo eksportu było dodatnie. Od 2016 roku import energii elektrycznej

przewyższał wartości eksportowane. W 2016 roku różnica ta wyniosła 2 TWh, natomiast w 2020 było to 13,3 TWh.

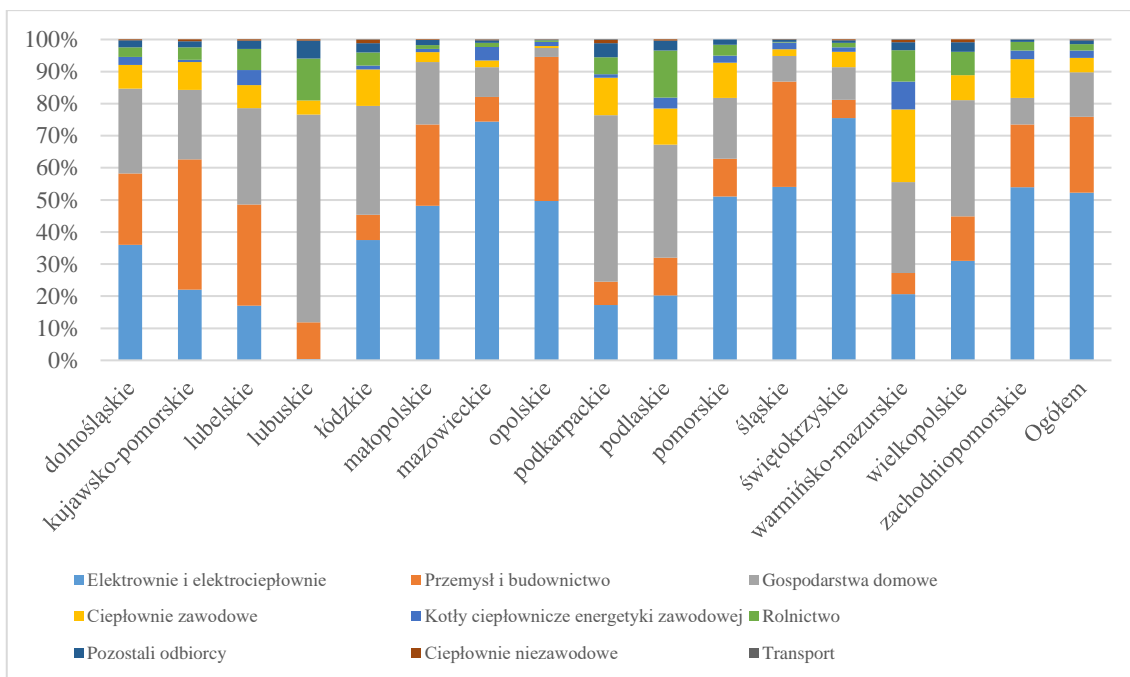
Tabela 21. Bilans energii elektrycznej w Polsce

Wyszczególnienie	Bilans energii elektrycznej w latach (TWh)										
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Produkcja	157,7	163,5	162,1	164,6	159,1	164,9	166,6	170,5	170,0	164,0	158,0
Zużycie	144,5	147,7	148,4	149,8	151,0	154,1	159,1	162,8	166,8	165,7	161,3
Eksport	7,7	12,0	12,6	12,3	11,3	14,8	12,0	11,0	8,1	7,2	7,4
Import	6,3	6,8	9,8	7,8	13,5	14,5	14,0	13,3	13,8	17,9	20,6

Źródło: (Główny Urząd Statystyczny, 2011; 2013a; 2014; 2015a; 2016; 2017a; 2018a; 2019a; 2020a; 2021a)

W 2020 roku zużyto w Polsce 62,4 mln ton węgla kamiennego¹. Najwięcej w województwach śląskim (15,2 mln ton) oraz mazowieckim (12,8 mln ton), najmniej w lubuskim (0,3 mln ton) oraz podlaskim (0,6 mln ton). Ponad 52,2% (32,6 mln ton) węgla zostało zużyte przez elektrownie i elektrociepłownie, 23,7% (14,8 mln ton) w przemyśle i budownictwie, zaś 13,9% (8,7 mln ton) przez gospodarstwa domowe. Struktura zużycia węgla kamiennego w poszczególnych województwach była bardzo zróżnicowana (rysunek 26). Zużycie węgla kamiennego w rolnictwie w 2020 roku wyniosło 1,3 mln ton. Największy udział w strukturze zużycia rolnictwo miało w województwie podlaskim (14,7%), z kolei największe ilości węgla zostały zużyte w województwach mazowieckim i wielkopolskim (0,2 mln ton).

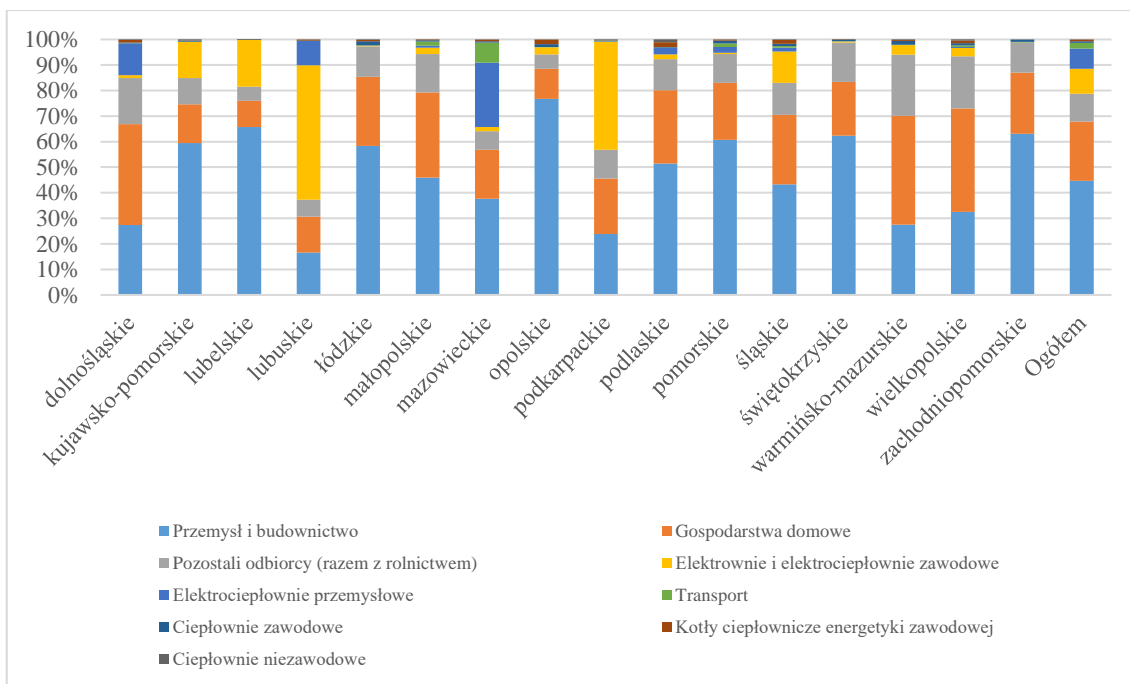
¹ Zużycie to nie obejmuje zużycia bezpośredniego na ogrzewanie w podmiotach zaliczanych do sekcji D „Wytwarzanie i zaopatrywanie w energię elektryczną, gaz, parę wodną, gorącą wodę i powietrze do układów klimatyzacyjnych”



Rysunek 26. Zużycie węgla w Polsce w 2020 roku (%)

Źródło: (Główny Urząd Statystyczny, 2021d)

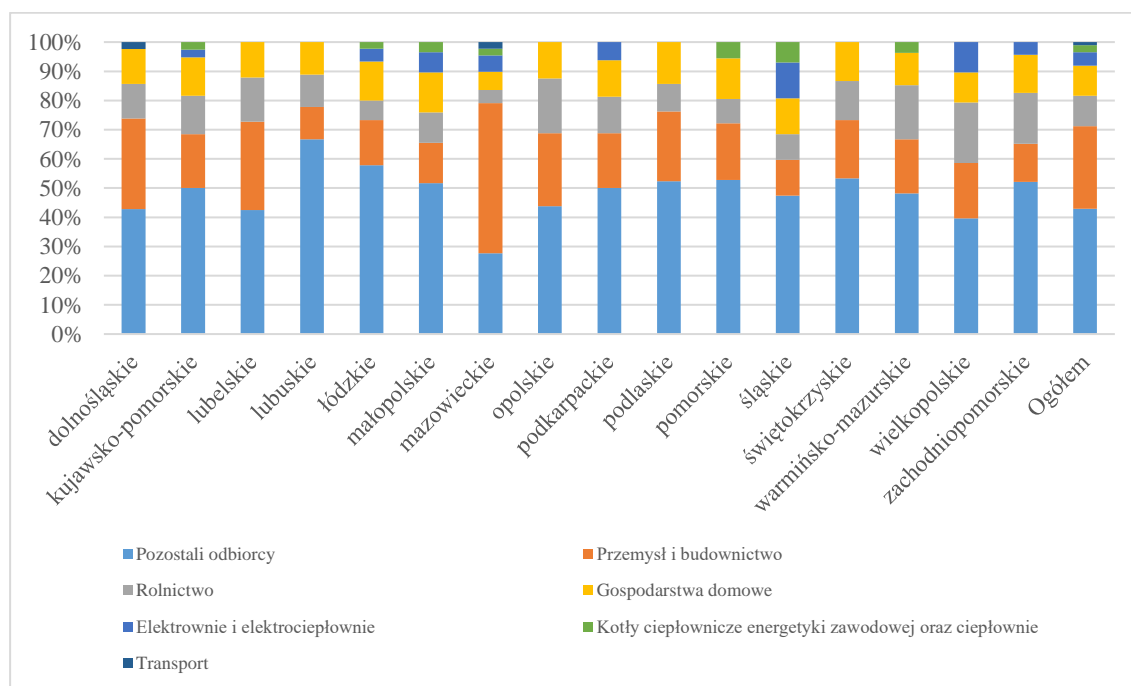
W 2020 roku zużyto w Polsce 694,7 PJ gazu ziemnego. Najwięcej w województwie mazowieckim (173,4 PJ), najmniej w podlaskim (7,2 PJ) oraz warmińsko-mazurskim (8,2 PJ). W przemyśle i budownictwie zużyto 44,7% (310,7 PJ) gazu ziemnego, natomiast 23,2% (160,8 PJ) w gospodarstwach domowych (rysunek 27).



Rysunek 27. Zużycie gazu ziemnego w Polsce w 2020 roku (%)

Źródło: (Główny Urząd Statystyczny, 2021d)

W 2020 roku zużyto w Polsce 645 tys. ton lekkiego oleju opałowego. Najwięcej w województwie mazowieckim (175 tys. ton), najmniej w lubuskim (9 tys. ton). 43% (275 tys. ton) lekkiego oleju opałowego zostało zużyte przez pozostałych odbiorców z sektora drobnych odbiorców (funkcjonujących poza rolnictwem i nie będących gospodarstwami domowymi), 28,3% (181 tys. ton) w przemyśle i budownictwie, zaś po 10,3% (66 tys. ton) przez gospodarstwa domowe i rolnictwo. Struktura zużycia węgla kamiennego w poszczególnych województwach była zbliżona (rysunek 28). Zużycie lekkiego oleju opałowego w rolnictwie w 2020 roku wyniosło 66 tys. ton. Największy udział w strukturze zużycia rolnictwo miało w województwach wielkopolskim (20,7%), opolskim (18,8%) i warmińsko-mazurskim (18,5%), z kolei największe ilości lekkiego oleju opałowego zostały zużyte w województwach wielkopolskim (12 tys. ton) oraz mazowieckim (8 tys. ton).

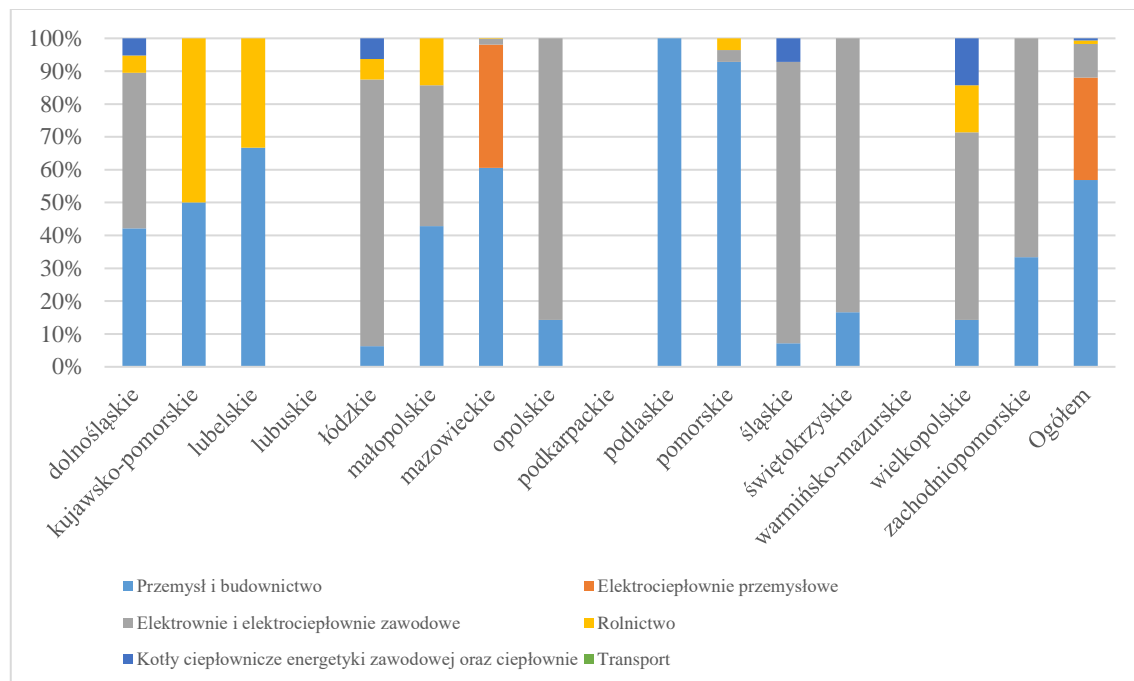


Rysunek 28. Zużycie lekkiego oleju opałowego w Polsce w 2020 roku (%)

Źródło: (Główny Urząd Statystyczny, 2021d)

W 2020 roku zużyto w Polsce 802 tys. ton ciężkiego oleju opałowego. W województwie mazowieckim zużyto 668 tys. ton (83,3% całkowitego zużycia). W województwach pomorskim i śląskim, będących drugimi w zestawieniu, zużyto ponad 23 razy mniej ciężkiego oleju opałowego niż w województwie mazowieckim. W trzech województwach (lubuskim, podkarpackim i warmińsko-mazurskim) w 2020 roku nie odnotowano zużycia tego surowca. W przemyśle i budownictwie zużyto 56,9% (456 tys. ton) ciężkiego oleju opałowego, 31,2% (250 tys. ton) w elektrociepłowniach

przemysłowych, zaś 10,2% (82 tys. ton) w elektrowniach i elektrociepłowniach zawodowych. Struktura zużycia węgla kamiennego w poszczególnych województwach była zróżnicowana (rysunek 29). Zużycie lekkiego oleju opałowego w rolnictwie w 2020 roku wyniosło 9 tys. ton.

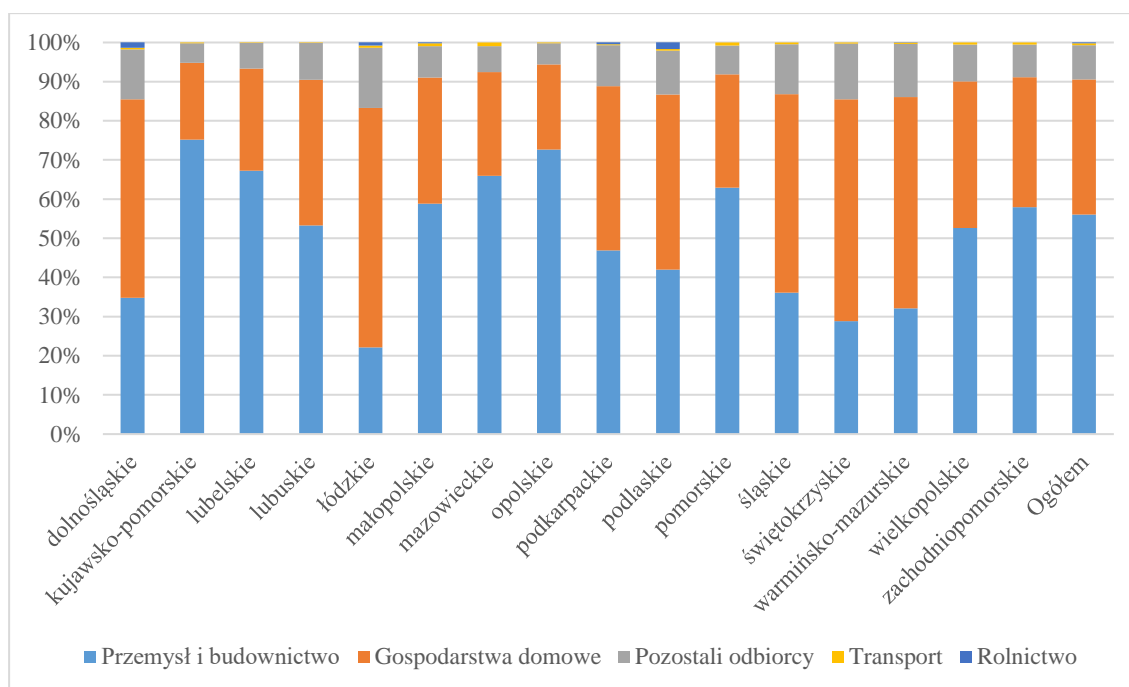


Rysunek 29. Zużycie ciężkiego oleju opałowego w Polsce w 2020 roku (%)

Źródło: (Główny Urząd Statystyczny, 2021d)

W 2020 roku w Polsce zużyto 441,1 PJ ciepła². Największym konsumentem ciepła było województwo mazowieckie (103,2 PJ, co stanowiło 23,4% całkowitego zużycia w Polsce). Kolejne województwa w zestawieniu, czyli kujawsko-pomorskie oraz śląskie zużyły około 2,5 razy mniej ciepła niż województwo mazowieckie. Najmniejsze zużycie ciepła miało miejsce w województwie świętokrzyskim (6,7 PJ). Struktura zużycia ciepła w poszczególnych województwach była zbliżona (rysunek 30). Ciepło było używane głównie w przemyśle i budownictwie (56,1% całkowitego zużycia w Polsce) oraz w gospodarstwach domowych (34,5%). Zużycie ciepła w rolnictwie stanowiło 0,18% całkowitego zużycia. Jedynie w sześciu województwach odnotowano zużycie ciepła na cele rolnicze, z największymi udziałami w województwie podlaskim (1,7%) oraz dolnośląskim (1,3%).

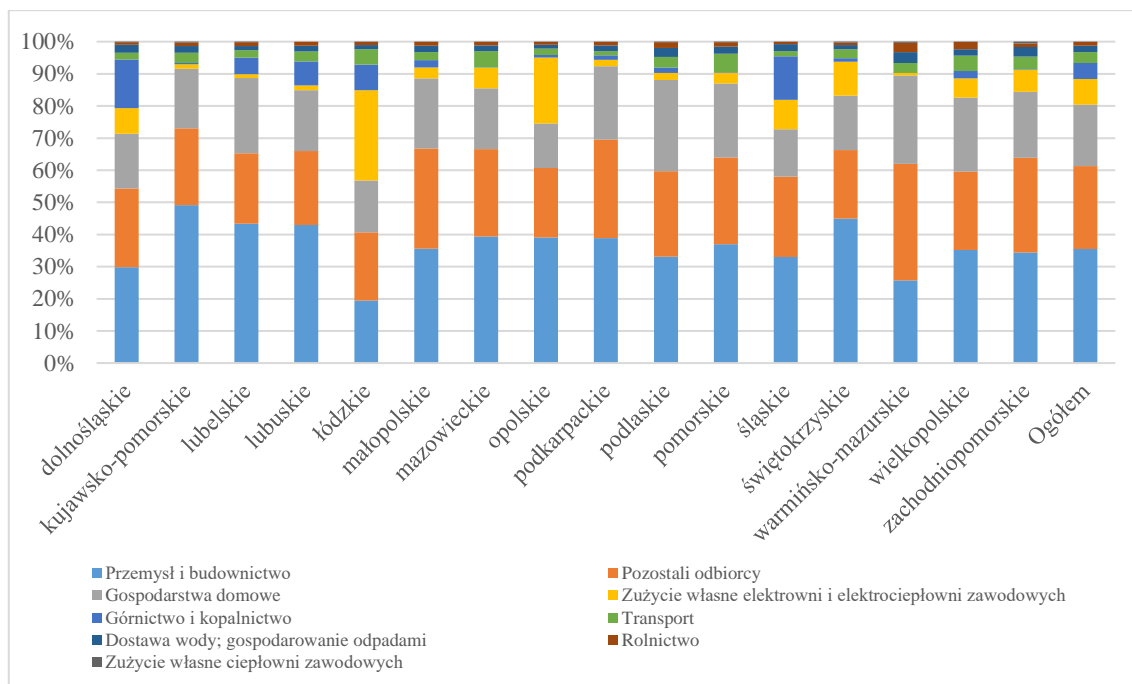
² Zużycie to nie obejmuje zużycia w podmiotach zaliczanych do sekcji B - "Górnictwo i wydobywanie", D - „Wytwarzanie i zaopatrywanie w energię elektryczną, gaz, parę wodną, gorącą wodę i powietrze do układów klimatyzacyjnych” i E - „Dostawa wody; gospodarowanie ściekami.



Rysunek 30. Zużycie ciepła w Polsce w 2020 roku (%)

Źródło: (Główny Urząd Statystyczny, 2021d)

W 2020 roku w Polsce zużyto 157,1 TWh energii elektrycznej. Najwięcej energii elektrycznej zużyto w województwach mazowieckim (26,4 TWh) oraz śląskim (24,5 TWh), najmniej w podlaskim (3,2 TWh), warmińsko-mazurskim (3,6 TWh) oraz lubuskim (4 TWh). W Polsce energia elektryczna w 2020 roku była zużywana głównie w przemyśle i budownictwie (35,5%), przez pozostałych odbiorców (25,8%) z sektora drobnych odbiorców (nie będących gospodarstwami domowymi oraz odbiorcami związanymi z rolnictwem) oraz gospodarstwa domowe (19,1%). Struktura zużycia ciepła w poszczególnych województwach była zbliżona (rysunek 31). Zużycie energii elektrycznej w rolnictwie w Polsce wyniosło 1,8 TWh, co stanowiło 1,2% całkowitego zużycia. Do województw z największym zużyciem energii elektrycznej na cele rolnicze w strukturze zużycia zaliczyć można województwo warmińsko-mazurskie (2,9%) oraz wielkopolskie (2,3%).



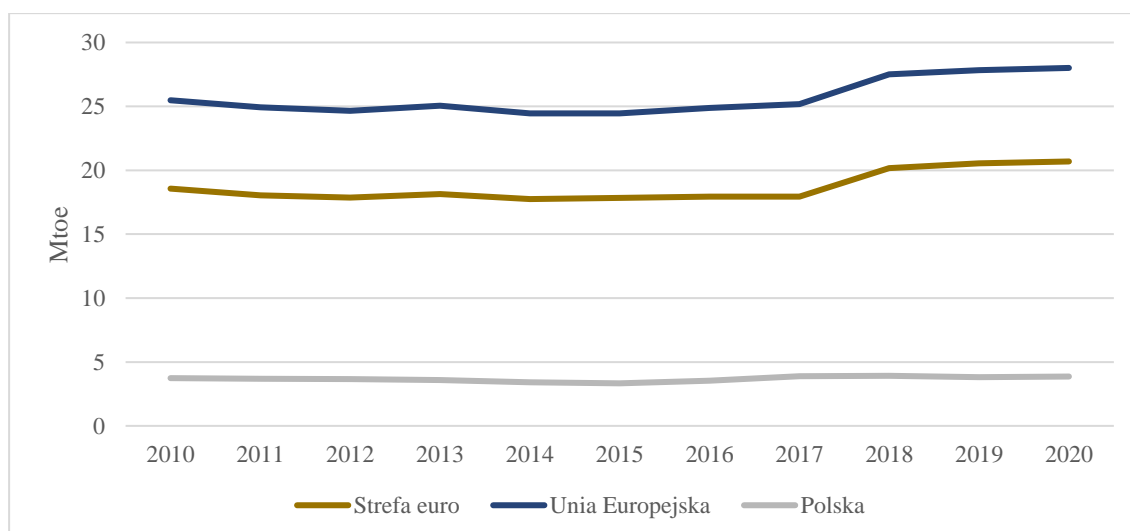
Rysunek 31. Zużycie energii elektrycznej w Polsce w 2020 roku (%)

Źródło: (Główny Urząd Statystyczny, 2021d)

3.4. Struktura zużycia nośników energii w rolnictwie

Finalne zużycie energii mierzy zużycie energii w kraju z wyłączeniem wszelkiego nieenergetycznego wykorzystania nośników energii. Finalne zużycie energii obejmuje jedynie energię zużywaną przez użytkowników końcowych, takich jak przemysł, transport, gospodarstwa domowe, usługi i rolnictwo; wyklucza energochłonność samej energetyki oraz straty powstałe podczas przetwarzania i dystrybucji energii (Eurostat, 2023aq).

Zużycie energii finalnej w rolnictwie Unii Europejskiej charakteryzowało się trendem rosnącym – od 2010 roku do 2020 roku zużycie średnio w całej Wspólnocie zwiększyło się o 9,9%, w krajach strefy euro o 11,5%, natomiast w Polsce o 3,7% (rysunek 32). Polska była trzecim w kolejności, za Francją oraz Holandią, krajem o najwyższym średnim w badanym okresie zużyciu energii finalnej. W 10 z 27 krajów odnotowano spadek zużycia energii finalnej w rolnictwie w badanym okresie. Zwiększenie zużycia energii finalnej w UE wynikało przede wszystkim z dużego wzrostu zużycia w jednym kraju członkowskim – Niemczech. Zużycie energii finalnej w tym kraju było w 2020 roku wyższe o 181,7% niż w 2010 roku.

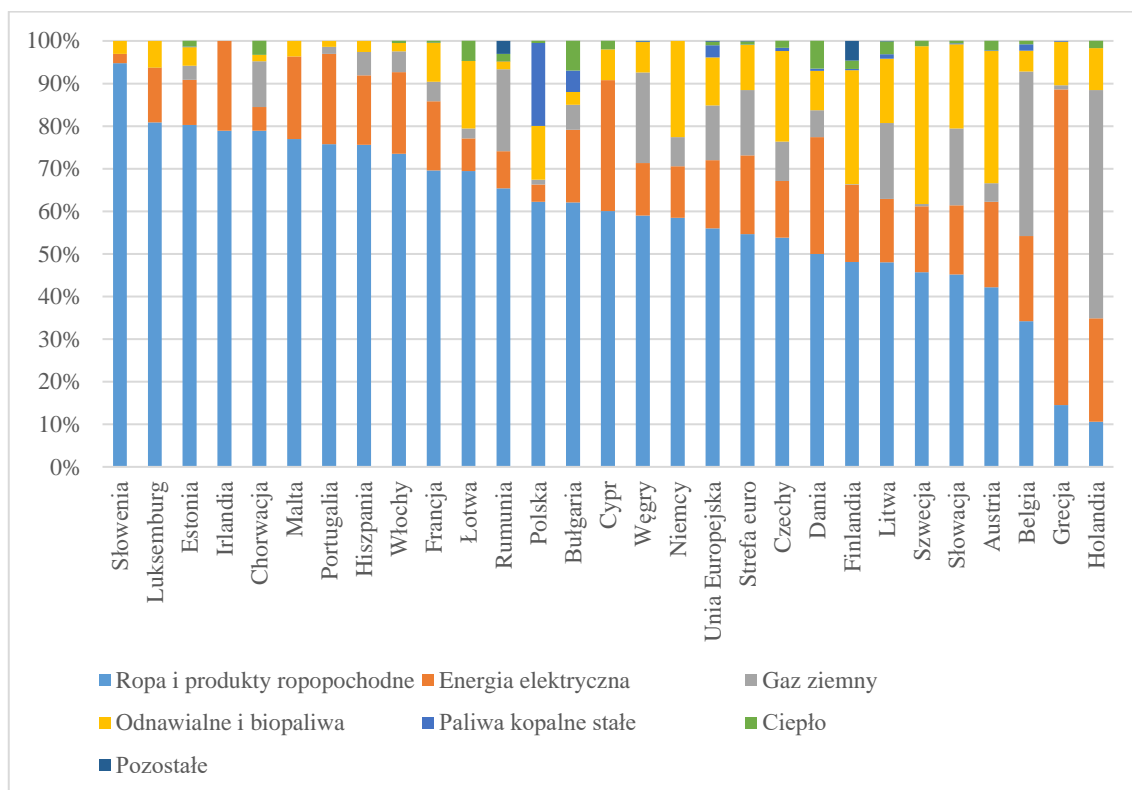


Rysunek 32. Zużycie energii finalnej w rolnictwie w Polsce, krajach strefy euro oraz w UE-27 w latach 2010-2020 (Mtoe)

Źródło: (Eurostat, 2023ae)

Struktura zużycia energii finalnej w rolnictwie w krajach Unii Europejskiej w 2020 roku była bardzo zróżnicowana (rysunek 33). Głównym zużywanym w rolnictwie nośnikiem energii były ropa i produkty ropopochodne (56% w UE), jednak wyróżnić można zarówno kraje, które ograniczyły zużycie tego nośnika w rolnictwie (Holandia – 11%, Grecja – 15%), jak również te, w których strukturze zużycia stanowił on ponad 80% (Słowenia – 95%, Luksemburg – 81%). Ropa i produkty ropopochodne były głównymi zużywanymi nośnikami energii finalnej w rolnictwie w 24 krajach Unii Europejskiej, w tym w Polsce (62% udziałów w całkowitej strukturze zużycia energii finalnej). Wyjątkami była Grecja, w której głównym zużywanym nośnikiem była energia elektryczna (74% udziałów w strukturze) oraz Belgia i Holandia, dla których głównym nośnikiem był gaz ziemny (odpowiednio 39% i 54%). Energia elektryczna stanowiła ponad ¼ zużywanej energii finalnej w rolnictwie także na Cyprze (31%) oraz w Danii (27%). Gaz ziemny był z kolei jednym z ważniejszych źródeł energii finalnej na Węgrzech (21%), w Rumunii (19%), na Słowacji (18%) oraz na Litwie (18%). Źródła odnawialne stanowiły znaczny odsetek zużywanej energii finalnej w rolnictwie w Szwecji (37%), Austrii (31%) oraz w Finlandii (27%). Cechą charakterystyczną Polski był wysoki udział paliw kopalnych stałych w strukturze zużycia energii finalnej, wynoszący 20%. Tylko w innych 5 krajach Unii Europejskiej udział paliw kopalnych w całkowitej strukturze wyniósł ponad 1%. Zużycie ciepła stanowiło 1% całkowitej

struktury zużycia energii finalnej w Unii Europejskiej, jednak dla Bułgarii i Danii odsetek ten wyniósł 7%.



Rysunek 33. Struktura zużycia energii finalnej według nośników w rolnictwie w UE-27 w 2020 roku (%)

Źródło: (Eurostat, 2023ae)

W latach 2010-2020 udział rolnictwa w całkowitym zużyciu energii finalnej średnio w UE wzrósł o 0,54 pp., z kolei w krajach strefy euro o 0,62 pp. Trend odwrotny zaobserwowano w 10 krajach, w tym w Polsce (tabela 22). Udział rolnictwa w całkowitym zużyciu energii finalnej w krajach Unii Europejskiej wyniósł w 2020 roku średnio 3,16%, zaś dla krajów strefy euro było to 3%. Zdecydowanie największy udział rolnictwa w całkowitym zużyciu energii w UE miał miejsce w Holandii (9%). Krajem o wysokich udziałach rolnictwa była również Polska (5,5%).

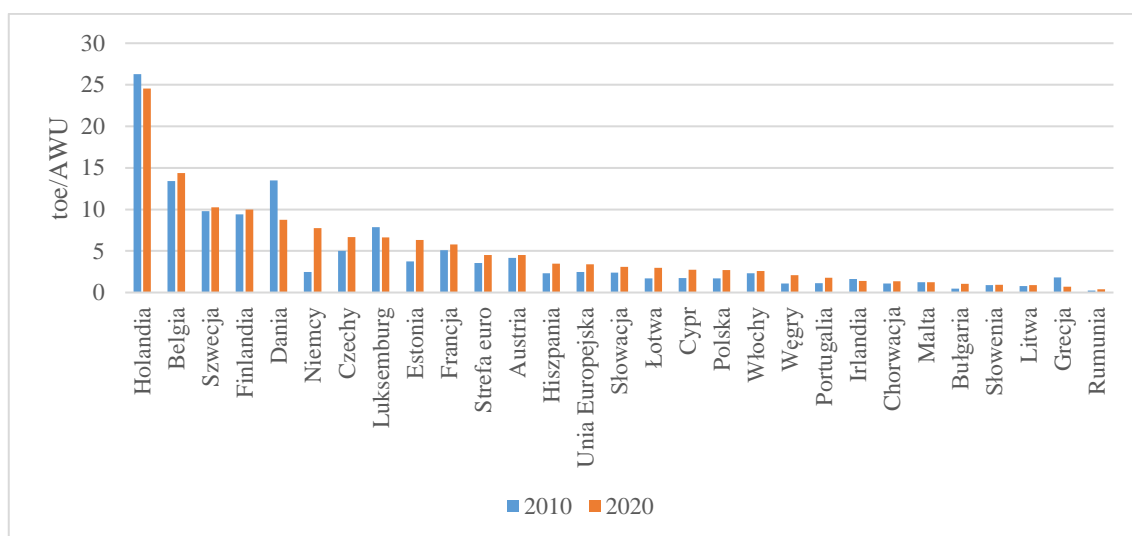
Tabela 22. Udział rolnictwa w całkowitym zużyciu energii finalnej w latach 2010-2020

Kraj	Udział rolnictwa w całkowitym zużyciu energii finalnej w latach (%)		
	2010	2015	2020
Unia Europejska	2,62	2,69	3,16
Strefa euro	2,37	2,46	3,00
Holandia	7,92	8,31	9,04
Polska	5,72	5,47	5,51
Łotwa	3,63	4,22	5,40
Dania	4,92	4,71	4,32
Estonia	3,29	4,79	4,01
Węgry	2,89	3,43	3,99
Hiszpania	2,62	3,23	3,75
Chorwacja	3,09	3,24	3,63
Francja	2,82	2,99	3,25
Cypr	2,14	2,73	2,97
Finlandia	3,09	3,09	2,87
Portugalia	2,00	2,22	2,70
Czechy	2,26	2,63	2,69
Włochy	2,21	2,38	2,68
Belgia	2,34	2,19	2,60
Rumunia	1,78	2,12	2,26
Litwa	2,30	2,04	2,15
Austria	2,06	2,10	2,06
Irlandia	2,41	1,90	2,05
Bułgaria	2,11	1,98	1,98
Grecja	4,35	1,64	1,91
Niemcy	0,61	0,73	1,87
Szwecja	1,97	1,95	1,87
Słowenia	1,38	1,57	1,62
Słowacja	1,30	1,68	1,37
Malta	1,49	0,43	1,30
Luksemburg	0,75	0,71	0,72

Źródło: (Eurostat, 2023bi)

Finalne zużycie energii w rolnictwie UE na jednego zatrudnionego wyniosło w 2020 roku średnio 3,4 toe i było wyższe o 0,9 toe (38%) niż w 2010 roku, co wynikało ze zmniejszającej się liczby zatrudnionych w rolnictwie oraz rosnącego zużycia energii w tym sektorze (rysunek 34). W badanym okresie liczba pełnozatrudnionych w rolnictwie (AWU) spadła o ponad 2 miliony, natomiast zużycie energii wzrosło o 2,5 mln ton oleju ekwiwalentnego. Liderami pod względem zużycia energii na zatrudnionego w rolnictwie były cztery państwa: Holandia (24,6 toe/AWU), Belgia (14,4 toe/AWU), Szwecja (10,3 toe/AWU) i Finlandia (10 toe/AWU), czyli kraje charakteryzujące się stosunkowo

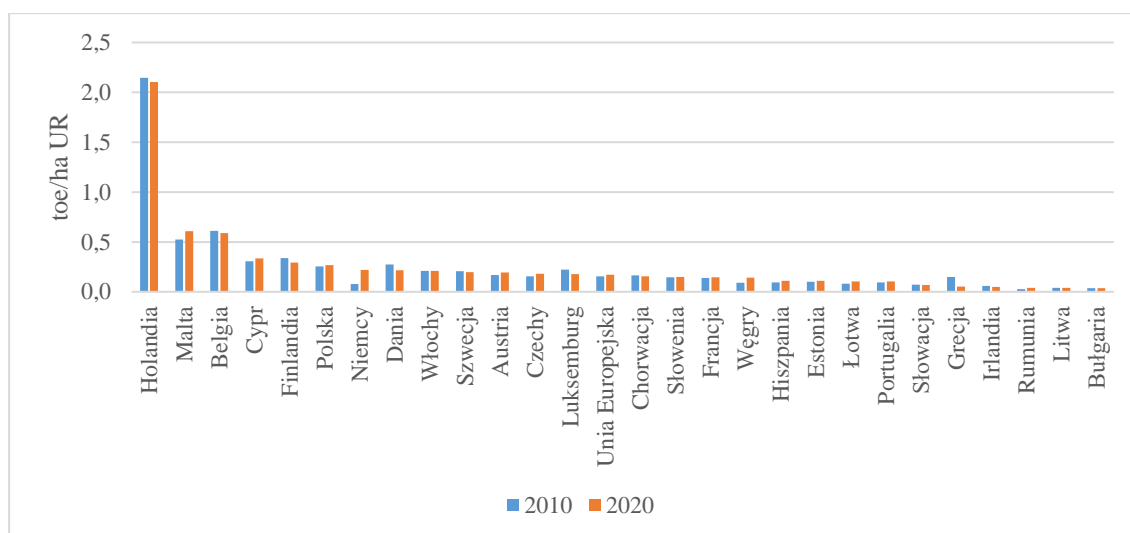
niskim zatrudnieniem i intensywnym rolnictwem, co z kolei determinuje zwiększone zapotrzebowanie na energię. Po drugiej stronie zestawienia znajdowały się kraje, w których udział pracujących w rolnictwie był jednym z największych w UE, a rolnictwo miało często charakter ekstensywny – Rumunia (0,4 toe/AWU) oraz Grecja (0,7 toe/AWU). Dla Polski, będącej krajem o najwyższym zatrudnieniu w rolnictwie oraz krajem o drugim najwyższym zużyciu energii finalnej w rolnictwie w Unii Europejskiej, współczynnik ten wyniósł w 2020 roku 2,7 toe/AWU i był wyższy o 60,8% w porównaniu z 2010 rokiem.



Rysunek 34. Finalne zużycie energii w rolnictwie i leśnictwie na jednego zatrudnionego (toe/AWU)

Źródło: (Eurostat, 2023aa; 2023ae)

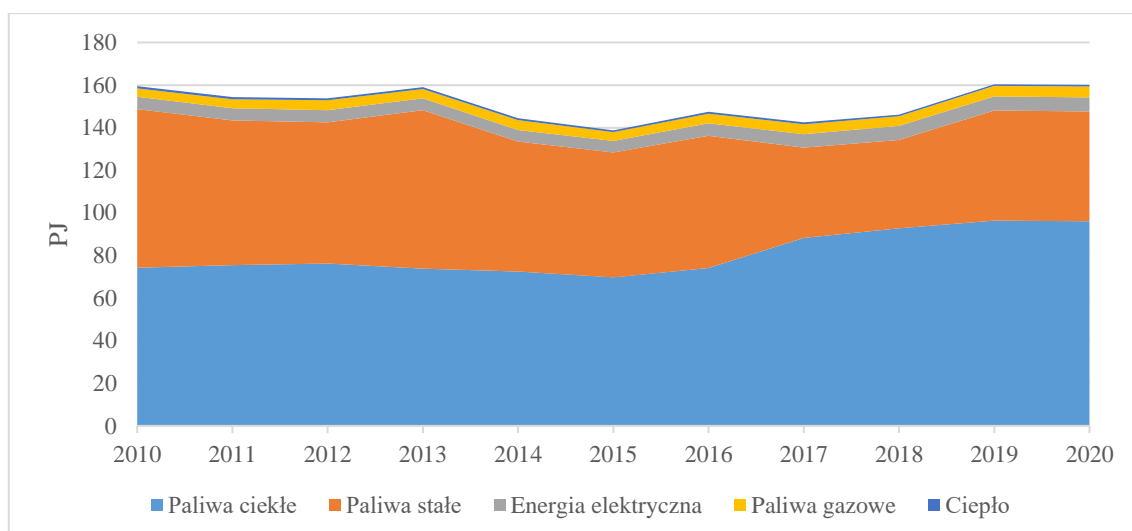
Kolejnym istotnym wskaźnikiem jest finalne zużycie energii w rolnictwie na 1 ha użytków rolnych (rysunek 35). W 2020 roku zdecydowanym liderem w tym zakresie była Holandia, ponad 12 razy więcej energii na hektar UR niż średnio we wszystkich krajach UE. Było to spowodowane bardzo intensywnym rolnictwem oraz wysokim udziałem produkcji szklarniowej wymagającej wysokich nakładów energii. Z kolei najmniejsze zużycie energii finalnej na hektar UR zaobserwowano w Bułgarii, Rumunii oraz na Litwie. W Polsce wskaźnik ten wyniósł w 2020 roku 0,27 toe/ha i był wyższy, w porównaniu z 2010 rokiem, o 4,6%.



Rysunek 35. Finalne zużycie energii w rolnictwie i leśnictwie na hektar użytków rolnych (toe/ha UR)

Źródło: (Eurostat, 2023as)

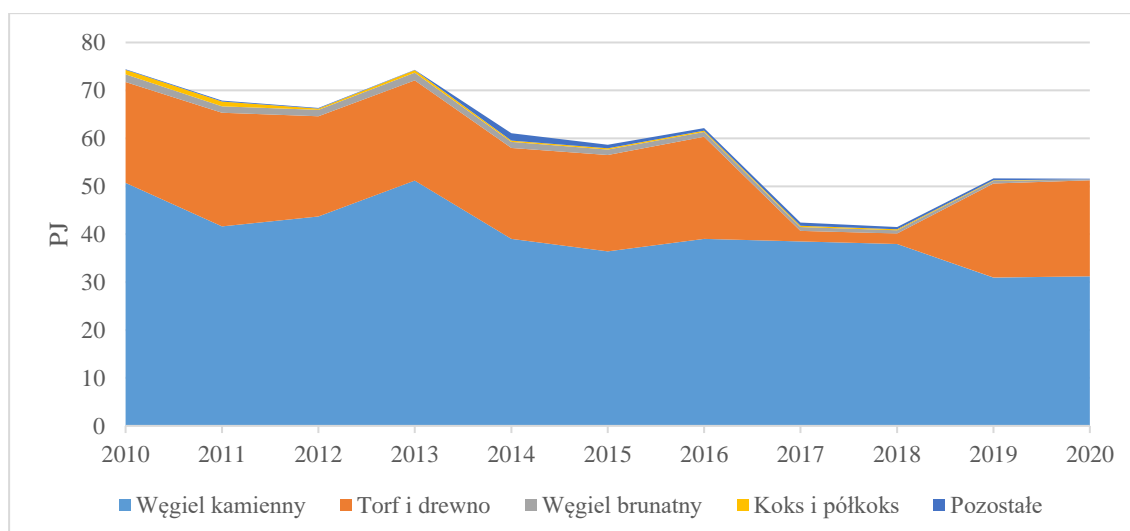
W 2020 roku łączne bezpośrednie nakłady energii w rolnictwie polskim wyniosły 160 PJ i były o 0,4% większe niż w 2010 roku. W latach 2010-2013 bezpośrednie zużycie energii wyniosło średnio 156,7 PJ. W kolejnych latach (2014-2018) zużycie to zmniejszyło się, wynosząc średnio 143,9 PJ. Ostatnie dwa lata badanego okresu to ponowny wzrost, spowodowany przede wszystkim zwiększeniem zużycia paliw ciekłych, zwłaszcza oleju napędowego. W tym okresie średnie zużycie nośników energii w rolnictwie wyniosło 160,2 PJ (rysunek 36). W strukturze procentowej wartości opałowej zużywanych w rolnictwie nośników energii największy udział miały paliwa ciekłe (46,4–63,5%). Duży był też udział paliw stałych (28,4–46,7%). Energia elektryczna stanowiła od 3,5 do 4,6%, paliwa gazowe – od 2,4 do 3,3%, a ciepło – od 0,5 do 0,7% w tej strukturze. W porównaniu ze stanem z 2010 roku zużycie paliw gazowych zwiększyło się w 2020 roku o 30,6%, paliw ciekłych – o 29,3%, a energii elektrycznej – o 14,3%. Zmniejszyło się natomiast zużycie paliw stałych – o 30,7% i ciepła – o 29,6%.



Rysunek 36. Zużycie nośników energii w polskim rolnictwie w latach 2010-2020 (PJ)

Źródło: (Główny Urząd Statystyczny, 2011; 2013a; 2014; 2015a; 2016; 2017a; 2018a; 2019a; 2020a; 2021a)

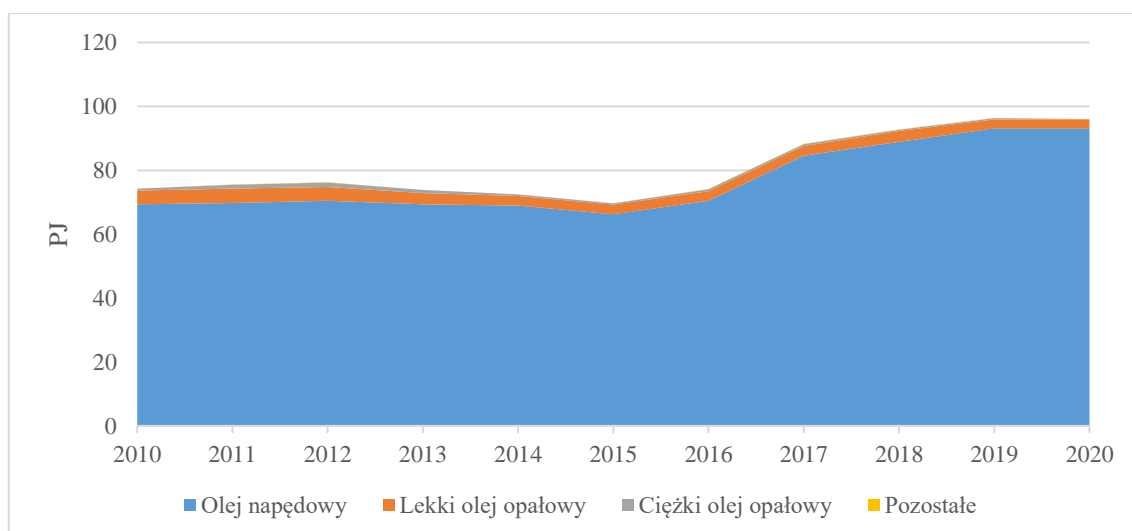
Wśród zużytych w rolnictwie paliw stałych dominował węgiel kamienny z udziałem od 59,1 do 91,5% w tej grupie nośników energii. Udział drewna i torfu wyniósł od 5,2 do 38,7%, węgla brunatnego – od 0,4 do 2,2%, koksu – od 0,0 do 1,4%, zaś pozostałych paliw stałych (w tym brykietów z węgla brunatnego) – od 0,05 do 2,5% (rysunek 37). W latach 2017-2018 zużycie paliw stałych w rolnictwie spadło do poziomu około 42 PJ. Było to spowodowane zmniejszeniem zużycia torfu oraz drewna. W porównaniu do 2016 roku zużycie tych nośników spadło w 2017 roku o 89,7%. Po 2018 roku zużycie torfu i drewna wzrosło do poziomów podobnych do lat 2010-2016, zaś udział w strukturze zużycia paliw stałych tych nośników energii wzrósł do poziomu około 38% (w latach 2010-2016 było to średnio 31,8%, natomiast w latach 2017-2018 – około 5,2%).



Rysunek 37. Zużycie paliw stałych w polskim rolnictwie w latach 2010-2020 (PJ)

Źródło: (Główny Urząd Statystyczny, 2011; 2013a; 2014; 2015a; 2016; 2017a; 2018a; 2019a; 2020a; 2021a)

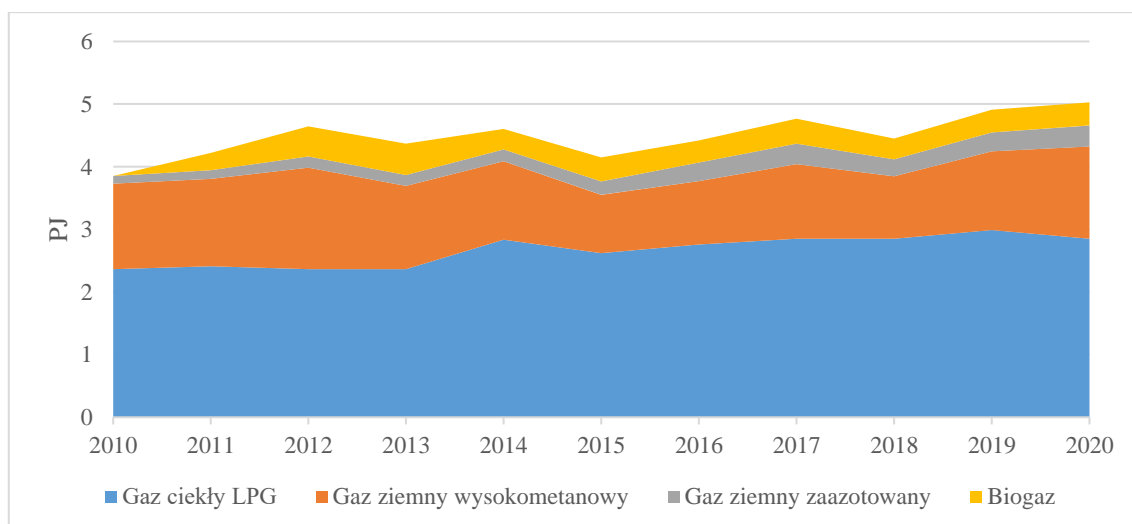
Spośród zużywanych w rolnictwie paliw ciekłych największy udział w strukturze wartości opałowej paliw ciekłych miały oleje napędowe (rysunek 38). Ich udział w poszczególnych latach okresu badawczego wyniósł od 92,4 do 97,0%. Lekki olej opałowy stanowił od 2,9 do 5,9%, ciężki olej opałowy – od 0,02 do 1,8%, a pozostałe paliwa ciekłe, w tym głównie benzyny silnikowe – od 0,04 do 0,09%. W 2020 roku zużycie olejów napędowych było o 34,3% większe w porównaniu ze stanem z 2010 roku. Zmniejszyło się natomiast zużycie pozostałych paliw ciekłych: lekkiego oleju opałowego o 35,1%, zaś ciężkiego oleju opałowego aż o 96,0%.



Rysunek 38. Zużycie paliw ciekłych w polskim rolnictwie w latach 2010-2020 (PJ)

Źródło: (Główny Urząd Statystyczny, 2011; 2013a; 2014; 2015a; 2016; 2017a; 2018a; 2019a; 2020a; 2021a)

Najmniejszą zmiennością charakteryzowało się w badanym okresie zużycie paliw gazowych w rolnictwie. Łączne zużycie tych paliw w poszczególnych latach wyniosło od 3,9 PJ w 2010 roku do 5,0 PJ w 2020 roku. Największy udział w tym zużyciu miał gaz ciekły LPG – od 51,0 do 64,1% (rysunek 39). Gaz ziemny wysokometanowy stanowił od 22,4 do 35,5%, a gaz ziemny zaazotowany – od 3,1 do 6,9% wartości opałowej zużytych paliw gazowych. W strukturze zużycia paliw gazowych w polskim rolnictwie od 2011 roku pojawił się również biogaz, którego udziały w strukturze stanowiły od 6,5 do 11,6%.

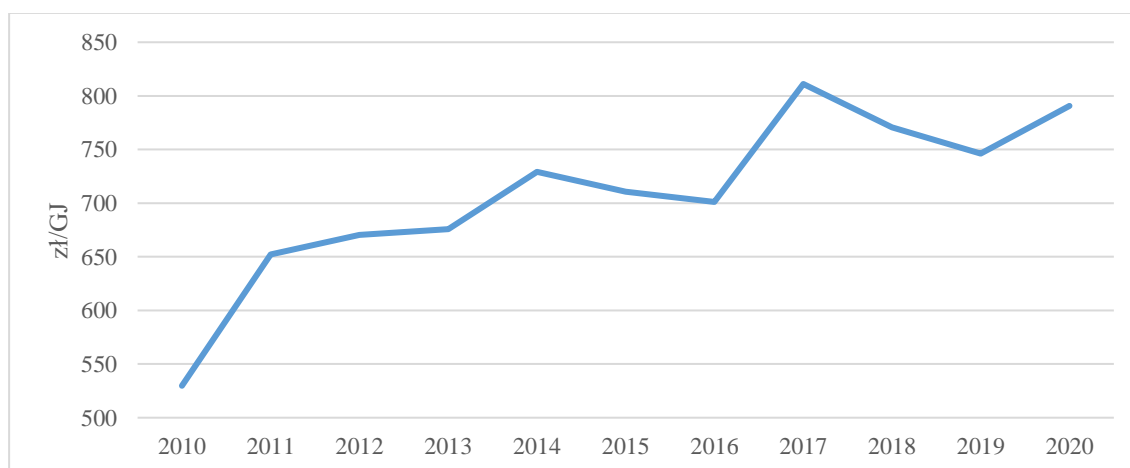


Rysunek 39. Zużycie paliw gazowych w polskim rolnictwie w latach 2010-2020 (PJ)

Źródło: (Główny Urząd Statystyczny, 2011; 2013a; 2014; 2015a; 2016; 2017a; 2018a; 2019a; 2020a; 2021a)

Zestawiając zużycie nośników energii w polskim rolnictwie z produkcją globalną rolnictwa można stwierdzić, że efektywność wykorzystania energii w polskim rolnictwie jest coraz wyższa (rysunek 40). W 2020 roku zużycie 1 GJ nośników energii pozwoliło na wytworzenie 791 złotych produkcji globalnej. Stosunek ten był wyższy w porównaniu z 2010 rokiem o blisko 50%. Średniorocznie, stosunek produkcji globalnej w stosunku do zużycia energii w polskim rolnictwie wzrasta o około 5%. Największy wzrost odnotowano w 2011 roku, w którym stosunek ten wzrósł o ponad 23%. Było to możliwe dzięki wzrostowi produkcji globalnej w rolnictwie o ponad 16 mld złotych w porównaniu z poprzednim rokiem (najwięcej w badanym okresie) oraz spadkowi zużycia nośników energii w rolnictwie o ponad 5 PJ. W latach 2015-2019 wystąpiły, za wyjątkiem 2017 roku, niewielkie, wynoszące między 1,3% a 5%, spadki produkcji globalnej w przeliczeniu na 1 GJ zużytej energii w rolnictwie. Nie były one jednak spowodowane wyłącznie spadkiem produkcji globalnej w rolnictwie rok do roku (taka sytuacja wystąpiła w 2014, 2015 i 2018 roku) lecz również wzrostem zużycia nośników energii w rolnictwie (szczególnie w 2016 i 2019 roku). Warto odnotowania jest to, że w latach 2014-2015 wystąpiły spadki zarówno produkcji globalnej w rolnictwie, jak i zużycia niemal wszystkich nośników energii. Podobna sytuacja wystąpiła także w latach 2016-2017, z tą różnicą, że odnotowano wzrosty zarówno produkcji globalnej, jak i zużycia nośników energii w rolnictwie. W pozostałych badanych latach związki te nie były tak wyraźne.

Rysunek 40. Produkcja globalna rolnictwa w przeliczeniu na 1 GJ w latach 2010-2020 (zł/GJ)



Źródło: (Główny Urząd Statystyczny, 2011; 2013a; 2013b; 2014; 2015a; 2015b; 2016; 2017a; 2018a; 2019a; 2019c; 2020a; 2021a; 2021c)

3.5. Produktywność nakładów energii w rolnictwie

Obecnie większość energii pochodzi ze źródeł nieodnawialnych, takich jak ropa naftowa, gaz ziemny czy węgiel. Paliwa stałe, płynne, gazowe oraz energia elektryczna stają się zasobami deficytowymi, zatem ich wykorzystanie musi podlegać zasadom racjonalnego gospodarowania. Równie ważnym aspektem, związanym z wykorzystaniem źródeł nieodnawialnych, jest redukcja emisji gazów cieplarnianych, gdyż zmiany klimatyczne stanowią obecnie główne zagrożenie dla całego świata. Działania podjęte przez światowych liderów (Porozumienie Paryskie), w szczególności w Unii Europejskiej (Europejski Zielony Ład), zmierzają ku tworzenia nieemisyjnych gospodarek, a co za tym idzie poszczególnych sektorów, w tym rolnictwa. Produkcja rolna uznawana jest za główne źródło zanieczyszczeń powietrza, wody i gleby, przyczyniając się do utraty różnorodności biologicznej oraz przyczyniając się do zmian klimatu i nadmiernej eksploatacji zasobów naturalnych (Bieroza, Bol i Glendell, 2021). Skutkiem tego jest konieczność wprowadzenia usprawnień technologicznych, które pozwolą utrzymać produkcję rolną na dotychczasowym poziomie, równoległe zmniejszając nakłady energii wykorzystywane w rolnictwie (Viksnina i Leibus, 2022).

Pomimo tego, że rolnictwo nie jest głównym konsumentem energii w porównaniu z innymi sektorami gospodarki, zmiany kosztów energii mogą mieć znaczny wpływ na rentowność gospodarstw rolnych. Badania przeprowadzone przez Balla i innych (2015), wskazują, że wzrost cen energii nie jest rekompensowany proporcjonalnym wzrostem cen produktów rolnych, a więc prowadzi do spadku opłacalności w rolnictwie. Co więcej, produktywność energii cechowała się niestabilnością i nie była ściśle powiązana z produktywnością czynników produkcji. Prowadzi to do tego, że reakcja sektora rolnego na zmiany cen energii, jak również jego zdolność do wykorzystania energii była zmienna. Zdaniem autorów jest to istotne, ponieważ efektywność energetyczna odgrywa kluczową rolę w rozwoju zrównoważonych praktyk rolniczych w świetle globalnej presji wynikającej ze wzrostu liczby ludności i dochodów oraz nasilającej się tendencji do urbanizacji.

Kluczowym problemem dla rolnictwa w przyszłości jest nie tylko produkowanie więcej, ale także produkowanie w sposób zrównoważony. Zgodnie z paradygmatem zrównoważonego rozwoju wykorzystanie energii w rolnictwie musi być nie tylko efektywne, ale także prowadzić do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych z paliw kopalnych.

Produktywność nakładów energetycznych jest powszechnym wskaźnikiem energetycznym wykorzystywanym w badaniach związanych z energią (Hercher-Pasteur, Loiseau, Sinfort i Hélias, 2020). Wyższą produktywność nakładów energii w rolnictwie obserwuje się w krajach rozwiniętych niż w krajach słabiej rozwiniętych. Jest to związane z wykorzystaniem lepszych technologii i lepszym zarządzaniem gospodarstwem (Mushtaq, Maraseni, Maroulis i Hafeez, 2009). Zużycie energii w rolnictwie stało się bardziej intensywne w związku z wykorzystaniem wysokowydajnych nasion, nawozów i chemikaliów, a także oleju napędowego i energii elektrycznej. Nakłady te stanowią znaczną część zasobów energetycznych w systemie produkcyjnym współczesnego rolnictwa. Intensywniejsze wykorzystanie nakładów w rolnictwie i dostęp do obfitych zasobów energii kopalnej zapewniły wzrost produkcji żywności i standardu życia (Hatirli, Ozkan i Fert, 2006).

Postęp technologiczny umożliwia krajom uzyskanie efektywności energetycznej poprzez poprawę bieżącej produkcji lub zachęcanie do korzystania z energii odnawialnej. Jednak pomimo ciągłych wysiłków zmierzających do zmniejszenia zużycia energii, globalne zapotrzebowanie na energię wzrasta, co pogarsza stan środowiska. Problem ten staje się coraz bardziej widoczny w dobie celów zrównoważonego rozwoju. W związku z tym decydenci polityczni i inne zainteresowane strony kierują swoją uwagę na zmniejszanie zużycia energii poprzez jej efektywne wykorzystanie, a postęp technologiczny może mieć w tym kluczowe znaczenie (Khan, Nouman i Ullah, 2023). Wiele badań wykazało, że postęp technologiczny może zwiększyć efektywność energetyczną, a tym samym doprowadzić do zmniejszenia zużycia energii (Du i Yan, 2009; Jin i Zhang, 2014; Sinton i Levine, 1994; Tang i Tan, 2013; Fisher-Vanden, Jefferson, Jingkui i Jianyi, 2006).

Wraz z modernizacją rolnictwa rośnie zużycie energii w sektorze rolniczym, w tym energii bezpośredniej, takiej jak olej napędowy, benzyna i energia elektryczna, oraz energii pośredniej, takiej jak nawozy i pestycydy (Panchasara, Samrat i Islam, 2021). Rosnącemu zużyciu energii w produkcji rolnej towarzyszą masowe emisje dwutlenku węgla, które w szerokim zakresie wpłynęły na regionalne środowisko ekologiczne i globalne zmiany klimatu (Özilgen i Sorgüven, 2011; Aziz, Sharif, Raza i Rong, 2020; Rehman i inni, 2022). Postęp technologiczny w rolnictwie może poprawić efektywność produkcji i zmniejszyć energochłonność, zmniejszając w ten sposób zużycie energii i emisję dwutlenku węgla z produkcji rolnej (Wang i Zheng, 2021; Yang, Jia, Yang

i Yuan, 2021; Ali, Ishaq, Bakhsh i Yasin, 2022). Mechanizacja gospodarstw rolnych odgrywa bardzo istotną rolę w zrównoważonym rozwoju rolnictwa poprzez terminowość prac rolniczych, unikanie marnotrawstwa środków, zwiększanie efektywności wykorzystania środków, zwiększanie rentowności i minimalizowanie kosztów eksploatacji (Kumari i inni, 2019). Postępująca mechanizacja w rolnictwie przyczynia się także do zmniejszenia zużycia energii na jednostkę produkcji, w szczególności gdy odnotowany jest także postęp technologiczny w rolnictwie (Bartová, Fandel i Matejková, 2018; Wicki, 2018).

Podczas gdy wiele czynników wpływa na efektywność wykorzystania energii, wielkość gospodarstwa odgrywa kluczową rolę w wpływaniu na produktywność energetyczną, zwłaszcza w krajach, w których średnia wielkość gospodarstwa wynosi poniżej 1 ha (Wu i inni, 2018). Większość badań koncentruje się na związku między wielkością gospodarstwa a produktywnością (Key, 2019; Rada i Fuglie, 2019; Wu i inni, 2018), tylko w niektórych z nich jednocześnie rozważa się związki między wielkością gospodarstwa a produktywnością oraz konsekwencje środowiskowe, które są istotne dla zrównoważonego rozwoju rolnictwa (Syp, Faber, Borzęcka-Walker i Osuch, 2015). Wielkość gospodarstwa rolnego ma jednak wpływ środowisko, w tym na emisję gazów cieplarnianych związane z produkcją rolną. Większe gospodarstwa zwykle zużywają więcej paliwa, ale mają niższą emisję dwutlenku węgla na jednostkę produktu ze względu na relatywnie wyższe plony (Todde, Murgia, Caria i Pazzona, 2018). Co więcej, zwiększenie wielkości gospodarstwa pozwala uzyskać wyższe plony przy niższych nakładach nawozów oraz środków ochrony roślin oraz niższym zużyciu paliwa na jednostkę powierzchni, zmniejszając w ten sposób ślad węglowy (Syp, Faber, Borzęcka-Walker i Osuch, 2015; Zhu i inni, 2018). Badania przeprowadzone w Szwajcarii (Alig, Mieleitner i Baumgartner, 2011), dotyczące gospodarstw mlecznych, wskazują, że bardziej wydajne energetycznie są większe gospodarstwa. Zhang i inni (2021), w badaniach nad poprawą efektywności energetycznej w uprawie kukurydzy potwierdzili natomiast, że wraz ze wzrostem wielkości gospodarstw obserwuje się spadek zużycia paliw kopalnych, a co za tym idzie, ich produkcja jest bardziej efektywna energetycznie. Efektywność energetyczna i produktywność energetyczna były wyższe w większych gospodarstwach także w przypadku produkcji bawełny w Turcji (Yilmaz, Akcaoz i Ozkan, 2005), podobnie jak w przypadku produkcji pszenicy w Iranie (Sefeedpari, Ghahderijani i Pishgar-Komleh, 2013).

Z kolei Erdal i inni (Erdal, Esengun i Erdal, 2009) stwierdzili, że małe gospodarstwa rolne, specjalizujące się w produkcji pomidorów, były bardziej efektywne energetycznie niż gospodarstwa wielkoobszarowe. Podobne wnioski dotyczyły dwóch najczęściej używanych systemów upraw ryżu w Indiach (Soni, Sinha i Perret, 2018). Produktywność energii w gospodarstwach specjalizujących się w uprawie ryżu w Tajlandii (Ulla, 2009) oraz w Indiach (Nassiri i Singh, 2009) także malała wraz ze wzrostem wielkości gospodarstwa.

Produktywność energetyczna jako wskaźnik jest częściej wykorzystywana w badaniach dotyczących produkcji roślinnej niż zwierzęcej (Jekayinfa, Ola, Afolaan i Ogunwale, 2012; Sefeedpari, Rafiee, Akram i Pishgar-Komleh, 2014; Choudhary i inni, 2017). Szacuje się, że intensywność energetyczna produkcji zwierzęcej jest zazwyczaj znacznie wyższa, niż w przypadku produkcji roślinnej (Pelletier i inni, 2011), także w przypadku intensywnych upraw (Vittuari, De Menna i Pagani, 2016). Także energochłonność energetyczna towarowej produkcji zwierzęcej jest wyższa niż w przypadku produkcji roślinnej (Wójcicki, 2015). Badania przeprowadzone na Litwie (Dabkienė, Baležentis i Štreimikienė, 2022) wskazały z kolei, że najwyższą energochłonnością, mierzoną stosunkiem kosztów energii do produkcji ogółem przypadającej na gospodarstwo, charakteryzowały się gospodarstwa sadowniczo-owocowe, a najniższą gospodarstwa mleczne. Pomimo tego, że gospodarstwa specjalizujące się w uprawie zbóż, roślin oleistych i roślin wysokobiałkowych są przeciętnie najmniej efektywne energetycznie, zużywają one mniej energii w porównaniu z gospodarstwami mleczarskimi czy mieszanymi. Tym samym, pomimo warunków glebowo-klimatycznych, które ograniczają ich efektywność bardziej niż w przypadku gospodarstw hodowlanych, gospodarstwa zbożowe, oleiste i białkowe dobrze radzą sobie pod względem wykorzystania zasobów energetycznych (Ghali, Latruffe i Daniel, 2016). Z punktu widzenia efektywności energetycznej głównym celem produkcji roślinnej jest maksymalizacja przekształcenia energii słonecznej i innych zasobów w użyteczne (zwykle jadalne) produkty. Maksymalizacja wydajności produkcyjnej z ograniczonej bazy gruntów ornych została ułatwiona dzięki dodaniu nawozów, pestycydów, wody do nawadniania, czy orki, które są wspierane przez przepływy energii za pośrednictwem przemysłu (Pelletier i inni, 2011).

Produktywność nakładów energetycznych opisuje ilość produktu uzyskiwanego na jednostkę nakładów energii. Nakłady energii pochodzą z różnych źródeł, które można

sklasyfikować jako odnawialne lub nieodnawialne. Nakłady energii odnawialnej obejmują m.in. wodę do nawadniania, pracę ludzką i energię w nasionach. Energia nieodnawialna obejmuje m.in. maszyny, olej napędowy, energię elektryczną, czy energię pochodzącą z nawozów i środków agrochemicznych (Bartzas i Komnitsas, 2018).

Produktywność nakładów energetycznych w gospodarstwach rolnych jest bardzo wrażliwa na klimat, dostępność wody, rodzaj gleby i praktyki gospodarowania. Żywność wyprodukowana w regionalnych gospodarstwach blisko konsumenta może być mniej wydajna energetycznie niż ta sama żywność wyprodukowana w bardziej sprzyjającym regionie gdzie indziej. Ta uwaga podważa częste uogólnienia dotyczące środowiskowych preferencji lokalnej produkcji i konsumpcji. Na przykład Schlich i Fleissner (2005) ustalili, że ze względu na różnice w klimacie i użytkowaniu gruntów producenci jagnięciny w Nowej Zelandii, którzy mogli utrzymywać swoje stada na pastwiskach przez cały rok, byli znacznie bardziej efektywni energetycznie na kilogram wyprodukowanego mięsa niż niemieccy producenci, którzy potrzebowali obór i paszy uzupełniającej przez pięć miesięcy w roku. Ta różnica przeważała nad zwiększoną energią potrzebną do transportu jagnięciny nowozelandzkiej do Niemiec. Milà i Canals i inni (2007) przeanalizowali nakłady energii pierwotnej potrzebnej do całorocznego dostarczania jabłek na rynki europejskie. Jabłka z Nowej Zelandii lub innych krajów półkuli południowej były podobnie lub bardziej energooszczędne niż jabłka uprawiane w Europie wiosną i latem, a mniej wydajne jesienią i zimą. Krytyczne czynniki obejmowały różnice w zużyciu energii do uprawy, czas przechowywania w chłodni, straty produktowe i transport. Z kolei Blanke i Burdick (2005) obliczyli, że jabłka uprawiane w Niemczech były bardziej energooszczędne niż jabłka nowozelandzkie, pomimo wyższych plonów z hektara w Nowej Zelandii i pięciu miesięcy przechowywania niemieckich jabłek w chłodni poza sezonem.

Ocena produktywności energetycznej i efektywności energetycznej różnych upraw polowych, w tym pszenicy, przy użyciu różnych podejść jest dość powszechna w literaturze (Ghorbani i inni, 2011; Mohammadi, Tabatabaeefar, Shahin, Rafiee i Keyhani, 2008; Canakci, Topakci, Akinci i Ozmerzi, 2005; Rahman i Rahman, 2013; Tabatabaeefar, Emamzadeh, Ghasemi Varnamkhasti, Rahimizadeh i Karimi, 2009; Pishgar-Komleh, Sefeedpari i Rafiee, 2011; Mani, Kumar, Panwar i Kant, 2007; Nassiri i Singh, 2009; Unakitan, Hurma i Yilmaz, 2010). Jednak duża liczba tych badań koncentrowała się na ocenie produktywności energetycznej poprzez zastosowanie

podejścia księgowego. Ograniczeniem podejścia księgowego jest to, że dostarcza ono informacji na temat obserwowanego wykorzystania nakładów i otrzymywanych produktów, ale nie otrzymuje się odpowiedzi, czy taki wynik jest technicznie wydajny, czy nie. Innymi słowy, podejście to nie dostarcza informacji o tym, czy rolnicy wykorzystują minimalne możliwe poziomy nakładów, aby wyprodukować określoną wielkość produkcji, czy też wytwarzają maksymalny możliwy poziom produkcji przy użyciu określonej ilości nakładów, co jest znane jako technicznie efektywny proces produkcji (Rahman i Kamrul Hasan, 2014).

Niektóre z badań wykorzystywały podejście nieparametryczne, w szczególności metodę DEA, w celu zbadania produktywności energetycznej i efektywności upraw (Banaeian i Zangeneh, 2011; Nassiri i Singh, 2009). Wadą takiego podejścia jest przypisywanie wszystkich błędów i szumów statystycznych nieefektywności, a tym samym zaniżanie poziomu rzeczywistej wydajności produkcyjnej poszczególnych producentów. W kilku badaniach zastosowano również podejście parametryczne i/lub ekonometryczne do badania produktywności energetycznej, ale ograniczały się one do modeli deterministycznych, zakładających doskonałą efektywność techniczną procesu produkcyjnego (Singh S., Singh, Mittal i Pannu, 1998; Hamedani, Shabani i Rafiee, 2011).

Kizilaslan (2009) badał zużycie energii do produkcji wiśni w Turcji. Do realizacji celu określił energię wejścia-wyjścia, produktywność energii oraz formy energii bezpośrednio, pośrednio, odnawialne i nieodnawialne. Strapatsa i inni (2006) zbadali nakłady energii do produkcji jabłek w celu określenia najbardziej energochłonnych czynności. Badania przeprowadzili w latach 1999–2000 w 26 sadach jabłoniowych w środkowej Grecji. W badaniu przeprowadzonym w Chile przez Hetza zbadano energochłonność produkcji owoców w celu poprawy efektywności jej wykorzystania. W powyższej pracy zebrano dane od 187 producentów w latach 1992–1995. Badanymi owocami były winogrona, maliny, pomarańcze, cytryny, śliwki, gruszki i jabłka. Hetz odnotował, że w przypadku większości upraw zużycie paliwa i nawozy chemiczne miały największy udział (>75%) we wszystkich nakładach energetycznych (Hetz, 1998). Singh i inni (2004) zbadali energochłonność produkcji pszenicy w pięciu strefach agroklimatycznych Pendżabu. W badaniach oceniono wrażliwość określonego poziomu nakładu energii na produktywność. Mohammadi i inni (2010) zbadali efektywność zużycia energii, produktywność energetyczną, energię właściwą, energię netto

i energochłonność produkcji kiwi w prowincji Mazandaran. Efektywność zużycia energii wynosząca 1,54 zaobserwowana w badaniu wskazuje, że na jednostkę energii zużytej do produkcji kiwi wyprodukowano 1,54 razy więcej energii. W bilansach energetycznych współczynnik energetyczny jest często stosowany do badania efektywności energetycznej w produkcji roślinnej (Kuesters i Lammel, 1999). W literaturze badano współczynnik energetyczny dla różnych owoców, np. 0,96 dla wiśni (Kizilaslan, 2009), 1,0 dla jabłek (Strapatsa, Nanos i Tsatsarelis, 2006) oraz 2,99 i 5,10 dla winogron uprawionych odpowiednio w szklarniach i na otwartej przestrzeni (Ozkan, Fert i Karadeniz, 2007). Produktywność energii, energia właściwa, energia netto i energochłonność produkcji kiwi miały wynieść odpowiednio 0,81 kg/MJ, 1,23 MJ/kg, 16354,23 MJ/ha i 4,99 MJ/1 USD. Produktywność energii liczona była jako stosunek wydajności produkcji kiwi (w kg/ha) do nakładów energii (MJ/ha).

Badania dotyczące nakładów energii w produkcji ryżu z wykorzystaniem różnych systemów nawadniających w wybranych rozwijających się i rozwiniętych krajach przedstawili Mushtaq i inni (Mushtaq, Maraseni, Maroulis i Hafeez, 2009). Średnie zużycie energii w wybranych krajach rozwiniętych było 1,2 razy większe niż zużycie energii w wybranych krajach rozwijających się. Wynika to z wysokich nakładów energii, takich jak nawozy chemiczne, pestycydy i insektycydy. Produkcyjność energii, a tym samym produktywność energii, liczona jako stosunek zebranych plonów (w kg) do całkowitych nakładów energii (w kWh) w wybranych krajach rozwiniętych była 1,82 razy wyższa niż w krajach rozwijających się. Wyniki badań wskazują na powiązania między wydajnością a zużyciem energii, przy czym wyższe plony są przypisywane wyższym poziomom energii wejściowej. Nakłady, takie jak paliwo, elektryczność, nasiona, nawozy i chemikalia, stanowią znaczną część dostaw energii potrzebnych w nowoczesnych systemach produkcji rolnej, zwłaszcza w produkcji ryżu. Wybrane kraje rozwinięte uwzględnione w badaniach mają wyższą produktywność energetyczną w stosunku do wszystkich nakładów energii w porównaniu z wybranymi krajami rozwijającymi się dzięki ulepszeniom w technologii rolnej i zarządzaniu gospodarstwem.

Celem badań przeprowadzonych Banaeiana i Zangeneha (2011) było określenie zużycia energii, jakościowa analiza przepływu energii, a także zbadanie efektywności energetycznej za pomocą metody DEA w produkcji kukurydzy w Iranie w okresie siedmiu lat. Ponadto, badana była produktywność energii, będąca stosunkiem produkcji kukurydzy (w kg/ha) do nakładów energii (w MJ/ha). Średnia produktywność

energetyczna gospodarstw produkujących kukurydzę w Iranie wyniosła 0,17 kg/MJ. Oznacza to, że na jednostkę energii (MJ) uzyskano 0,17 kg kukurydzy. Produktywność ta została dodatkowo zestawiona z wynikami osiągniętymi w przypadku produkcji pomidorów (Esengun, Erdal, Gündüz i Erdal, 2007) – produktywność energii wynosząca 1, bawełny – wynosząca 0,06 (Ozkan, Akcaoz i Karadeniz, 2004), czy buraka cukrowego – produktywność energii na poziomie 1,53 (Erdal, Esengün, Erdal i Gündüz, 2007).

Mandal i inni (Mandal, Saha, Ghosh, Hati i Bandyopadhyay, 2002) zbadali zapotrzebowanie na energię i stosunek energii wejściowej do wyjściowej w systemach produkcji roślinnej opartych na soi. Ponadto, zbadali również produktywność energii (liczoną jako stosunek wydajności ziarna w kg/ha do nakładów energii w MJ/ha) dla soi, pszenicy, gorczycy i ciecierzycy. Pszenica, o największym nakładzie energii, dała najwyższą produktywność energetyczną ziarna (0,15 kg/MJ) w porównaniu z innymi badanymi uprawami, prawdopodobnie z powodu wysokiej produktywności ziarna pszenicy. W konsekwencji oszacowano, że sekwencja upraw soi i pszenicy zapewnia wyższą produktywność energetyczną (0,134). Podobnie ciecierzycy i gorczyca dawały wysoką produktywność energetyczną ze względu na mniejszy wkład energetyczny, chociaż ich wydajność ziarna była dość niska.

Badania dotyczące produktywności energetycznej w produkcji ryżu przeprowadzono także w Indiach, w Bengalu Zachodnim (Chauhan, Mohapatra i Pandey, 2006). Wstępna analiza wyników badań wykazała duże różnice w nakładach energii (w zakresie od 7000 do 14 000 MJ/ha) i uzyskiwanych plonach (w zakresie od 1500 do 3500 kg/ha), co prowadzi do dużych różnic w produktywności energetycznej (plon na jednostkę zużytej energii, kg/MJ) wśród rolników indywidualnych, nawet w tej samej strefie agroklimatycznej. Jest zatem oczywiste, że istnieje wystarczająco dużo możliwości poprawy produktywności energetycznej indywidualnych rolników poprzez wskazanie działań i źródeł związanych z marnotrawstwem energii.

Unakitan, Hurma oraz Yilmaz (2010) przeprowadzili badania, których celem było porównanie zużycia energii przy produkcji rzepaku w gospodarstwach o różnej wielkości w regionie Trakya w Turcji. W szczególności badana była efektywność wykorzystania energii, produktywność energii, energia właściwa i energia netto, podobnie jak bezpośrednie i pośrednie zużycie energii, zużycie energii odnawialnej i nieodnawialnej oraz stosunek korzyści do kosztów wszystkich producentów rzepaku. Produktywność

energii mierzona była jako stosunek uzyskanych plonów (w kg/ha) do nakładów energii (w MJ/ha). Zgodnie z wynikami badań, energia była efektywniej wykorzystywana w gospodarstwach dużych zaś średnia produktywność energetyczna rzepaku wyniosła 0,17 kg/MJ.

Podobny charakter do ww. badań miały także te przeprowadzone przez Esenguna, Gündüza i Erdala (2007), które miały na celu określenie ilości energii zużytej do produkcji suszonych moreli oraz zbadanie efektywności zużycia energii oraz wykonanie analizy ekonomicznej produkcji suszonych moreli w Malatyi w Turcji. Produktywność energetyczna gospodarstw wyniosła odpowiednio 0,24 kg/MJ dla gospodarstw małych (o powierzchni do 3 ha) oraz 0,25 kg/MJ dla gospodarstw dużych (o powierzchni powyżej 3 ha). Główne nakłady energii w obu typach gospodarstw stanowiły nawozy i pestycydy. Nakłady energetyczne w mniejszych gospodarstwach były większe, jednak efektywność energetyczna i produktywność energetyczna były większe dla gospodarstw większych.

Bartzas i Komnitsas (2018) w swoich badaniach dokonali analizy przepływu energii, aby ocenić wydajność energetyczną produkcji pistacji w Grecji i zidentyfikować jej najbardziej energochłonne fazy. Średnie wartości efektywności wykorzystania energii i produktywności energetycznej wyniosły odpowiednio 70% i 0,06 kg/MJ. Wyniki te wskazują, że istnieje znaczny potencjał poprawy efektywności energetycznej produkcji pistacji na badanym obszarze. Poprawa wyżej wymienionych wskaźników nie musi jednak oznaczać większych korzyści ekonomicznych i/lub wzrostu społeczno-gospodarczego. Porównanie bilansu energetycznego na podstawie wielkości gospodarstw zajmujących się uprawą pistacji wykazało, że gospodarstwa powyżej 0,4 ha odniosły większy sukces pod względem efektywności wykorzystania energii i produktywności energetycznej ze względu na wyższy plon i lepsze zarządzanie wykorzystanymi nakładami.

Produktywność zużycia energii w latach 1950-1990 w rolnictwie USA zbadał Cutler J. Cleveland (1995). Zdefiniował on produktywność energii w rolnictwie jako stosunek wskaźnika produkcji do wskaźnika nakładów energii. Wskaźnik produkcji był obliczany jako wskaźnik całkowitej produkcji rolnej Departamentu Rolnictwa Stanów Zjednoczonych, który obejmował produkcję zbóż, owoców i warzyw oraz produktów pochodzenia zwierzęcego. Wskaźnik produkcji to indeks Laspeyresa, który waży fizyczne jednostki poszczególnych wyprodukowanych produktów spożywczych z ich cenami jednostkowymi w okresie bazowym. Z kolei wskaźnik nakładów energii był

liczony jako bezpośrednie i pośrednie zużycia energii w gospodarstwach rolnych w USA w produkcji roślinnej i zwierzęcej. Bezpośrednie zużycie energii to ilość paliw kopalnych i energii elektrycznej zużywanych w gospodarstwach do produkcji żywności. Pośrednie zużycie energii składa się z dwóch elementów: energii wykorzystywanej poza gospodarstwem do produkcji środków produkcji, takich jak maszyny rolnicze, chemikalia, nawozy i usługi rolnicze, oraz paliwa wykorzystywanego do wytwarzania energii elektrycznej kupowanej przez rolników. Cleveland zakładał, że produktywność wykazuje malejące zwroty z nakładów energii. Wyniki modelu ekonometrycznego, stworzonego przez Clevelanda, wskazały, że na produktywność zużycia energii wpływają zmiany ilości energii zużywanej na hektar, średniej wielkości gospodarstw, ilości uprawianych gruntów, relacji pogłównia zwierząt do produkcji roślinnej oraz pogoda. Produktywność energii wykazywała silne malejące zwroty ze wzrostu zużycia energii na hektar gruntów. Wyniki badań nie potwierdziły natomiast hipotezy postawionej przez Clevelanda, zgodnie z którą skutki erozji gleby i innych form degradacji zasobów zmniejszyły produktywność zużycia energii w sektorze rolnym w USA. Było to prawdopodobnie wynikiem postępu technologicznego i reakcji behawioralnych ze strony rolników.

Produktywność energetyczną w rolnictwie USA badał także Ball i inni (2015). Wykazali oni, że chociaż rolnictwo nie jest głównym użytkownikiem energii w porównaniu z innymi sektorami gospodarki, zmiany kosztów energii mogą mieć znaczący wpływ na rentowność gospodarstw. Produktywność energii była bardziej zmienna niż produktywność czynników produkcji, a co za tym idzie reakcja produkcji rolnej na zmiany cen energii, jak również na zdolność sektora rolnego do wydajniejszego wykorzystania energii, była zmienna.

4. WYNIKI EKONOMICZNO-PRODUKCYJNE BADANYCH GOSPODARSTW ROLNYCH

4.1. Wykorzystanie czynników produkcji

Do celów analitycznych wybrano gospodarstwa wyspecjalizowane w:

- uprawie zbóż (innych niż ryż), roślin oleistych i wysokobiałkowych na nasiona – typ 151,
- uprawie warzyw i truskawek pod wysokimi osłonami – typ 211,
- uprawie drzew i krzewów owocowych (bez winorośli i oliwek) – typ 36,
- chowie bydła mlecznego – typ 45,
- chowie bydła rzeźnego – typ 46,
- chowie trzody chlewnej – typ 51 oraz
- gospodarstwa mieszane – typ 8.

Badane gospodarstwa podzielono na dwie grupy w każdym typie, według ich wielkości ekonomicznej, a mianowicie:

- Grupa A – gospodarstwa bardzo małe, małe i średnio-małe ($2\ 000 \leq \text{€} < 50\ 000$),
- Grupa B – gospodarstwa średnio-duże i duże ($50\ 000 \leq \text{€} < 500\ 000$).

Liczba badanych gospodarstw, w podziale na typ produkcji oraz wielkość ekonomiczną, została przedstawiona w tabeli 23.

Tabela 23. Liczba badanych gospodarstw

Typ gospodarstw	Grupa A					Grupa B				
	2016	2017	2018	2019	2020	2016	2017	2018	2019	2020
151	591	597	581	577	571	461	454	470	474	480
211	24	24	24	26	27	68	67	68	65	65
36	174	172	172	170	175	36	38	38	40	35
45	562	536	519	500	499	847	873	889	908	908
46	120	118	116	115	116	19	21	23	24	23
51	27	23	20	26	25	168	454	470	474	480
8	754	767	766	763	761	510	498	499	502	504

Źródło: opracowanie własne

W rozdziale czwartym zaprezentowane zostały średnie wartości wyników ekonomiczno-produkcyjnych badanych gospodarstw, w tym:

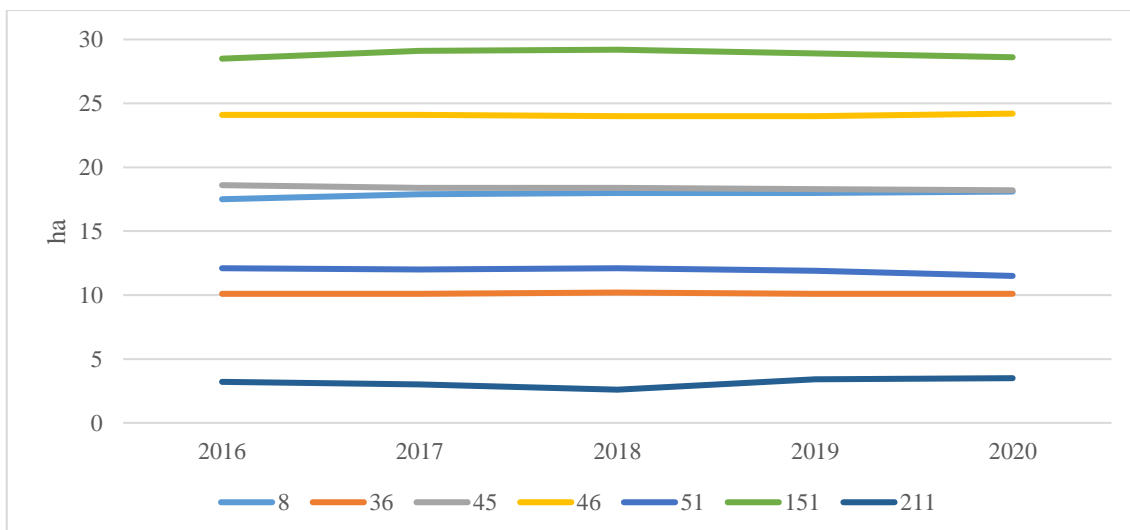
- zasoby czynników produkcji,
- źródła finansowania majątku,
- struktura kosztów,
- oraz dochody badanych gospodarstw rolnych.

4.1.1. Zasoby ziemi

Powierzchnia użytków rolnych w Polsce w 2020 roku wyniosła 19,2 mln ha, co stanowiło około 61,4 % powierzchni kraju (Główny Urząd Statystyczny, 2020c). Ogólna powierzchnia gruntów w użytkowaniu gospodarstw rolnych wyniosła w 2020 roku 16,7 mln ha i zmniejszyła się w porównaniu do 2010 roku o 0,3 mln ha, tj. o 1,9%. Niekorzystna była również struktura agrarna w Polsce. Średnia powierzchnia użytków rolnych przypadająca na 1 gospodarstwo w 2020 roku wyniosła 11,35 ha. W porównaniu z 2010 rokiem odnotowano zatem wzrost średniej powierzchni użytków rolnych w gospodarstwie o 1,5 ha, jednak było to wynikiem przede wszystkim spadku liczby gospodarstw oraz zwiększenia się średniej powierzchni użytków rolnych w gospodarstwach o powierzchni 20–50 ha użytków rolnych (Główny Urząd Statystyczny, 2022).

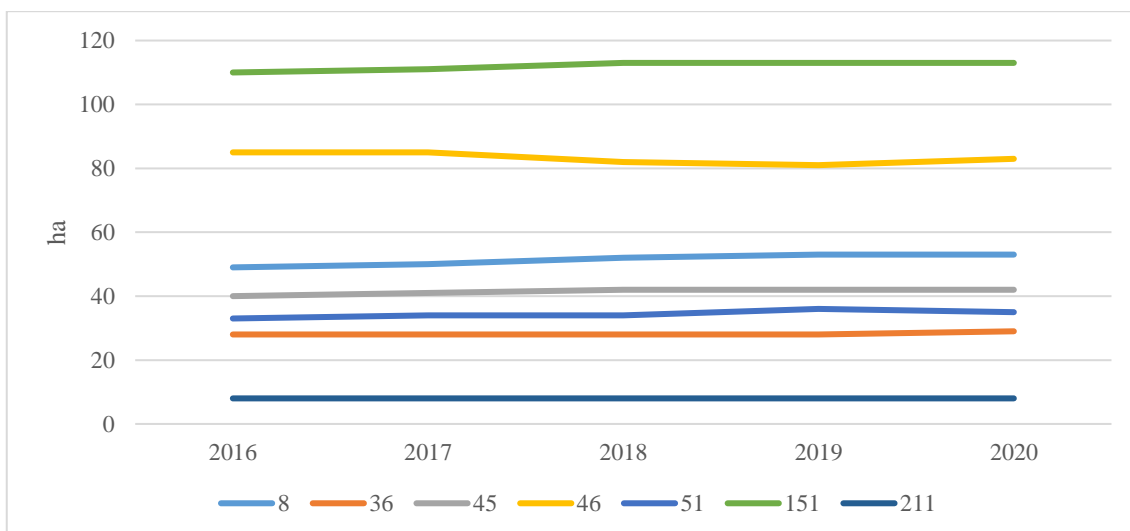
W badanych gospodarstwach rolnych powierzchnia użytków rolnych była znacznie większa niż średnia powierzchnia użytków rolnych wszystkich gospodarstw w Polsce. Średnia powierzchnia badanych gospodarstw wynosiła w latach 2016-2020 około 31 ha. Różnice pojawiały się w przypadku podziału na typy produkcji rolnej, zarówno dla gospodarstw z grupy A (rysunek 41), jak i dla gospodarstw z grupy B (rysunek 42). Jedynie w 3 z analizowanych 14 typów gospodarstw średnia powierzchnia użytków rolnych nie przekroczyła w 2020 roku 11,35 ha. W przypadku gospodarstw z grupy A były to gospodarstwa typu 36 oraz 211, natomiast w przypadku gospodarstw z grupy B – gospodarstwa typu 211. Największą średnią powierzchnią UR w 2020 roku dysponowały z kolei gospodarstwa typu 151 z grupy B – było to 113 ha.

W analizowanych 5 latach największy przyrost średniej powierzchni UR, wynoszący 4 ha zaobserwowano wśród gospodarstw typu 8 z grupy B. Zmniejszenie średniej powierzchni UR odnotowano w gospodarstwach typu 46 z grupy B oraz w gospodarstwach z typów 45 i 51 z grupy A. W pozostałych typach gospodarstw wystąpiły wzrosty średniej powierzchni UR, wynoszące maksymalnie 2 ha. Te niewielkie zmiany mogą wynikać z trudności w dostępie do ziemi o przeznaczeniu rolniczym, jak również z braku możliwości zwiększania zasobów ziemi.



Rysunek 41. Powierzchnia użytków rolnych (ha) – Grupa A

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN



Rysunek 42. Powierzchnia użytków rolnych (ha) – Grupa B

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Produktywność ziemi w badanych gospodarstwach to stosunek wartości produkcji rolniczej (wyrażonej w tys. zł) do powierzchni użytków rolnych ogółem, czyli powierzchni własnej oraz dodzierżawionej (wyrażonej w ha).

Wyróżniającym się pod względem produktywności ziemi typem wśród gospodarstw grupy A były gospodarstwa z typu 211, których średnia produktywność w badanym okresie wyniosła 146,6 tys. zł/ha. Wartość ta była ponad 19-krotnie wyższa w porównaniu z pozostałymi typami gospodarstw o podobnej wielkości ekonomicznej (tabela 24). Ten typ gospodarstw wyróżniał się również wśród gospodarstw grupy B (tabela 25).

W przypadku większości typów rolniczych, niezależnie od wielkości produkcji, w badanym okresie odnotowano wzrost produktywności ziemi. Największe wzrosty produktywności odnotowano dla gospodarstw typu 211. W przypadku gospodarstw grupy A produktywność ziemi wzrosła o 75,7 tys. zł/ha, natomiast w przypadku gospodarstw grupy B wzrost wyniósł 34 tys. zł/ha. Było to wynikiem zwiększenia wartości produkcji rolnej w gospodarstwach tego typu.

Tabela 24. Produktywność ziemi (tys. zł/ha UR) – Grupa A

Typ gospodarstw	Produktywność ziemi (tys. zł/ha UR)				
	2016	2017	2018	2019	2020
151	3,2	3,6	3,6	3,5	4,1
211	95,8	144,4	167,1	154,2	171,5
36	12,3	13,3	11,9	12,9	15,2
45	5,9	7,1	6,9	7	7,1
46	2,7	2,9	2,9	2,8	2,9
51	13,7	13,8	12,7	15,6	12
8	5,8	6,1	6	5,9	5,7

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Tabela 25. Produktywność ziemi (tys. zł/ha UR) – Grupa B

Typ gospodarstw	Produktywność ziemi (tys. zł/ha UR)				
	2016	2017	2018	2019	2020
151	4,0	4,0	4,0	4,0	5,0
211	122,0	134,0	139,0	153,0	156,0
36	13,0	14,0	12,0	13,0	18,0
45	9,0	11,0	11,0	12,0	12,0
46	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
51	20,0	21,0	19,0	24,0	20,0
8	7,0	8,0	7,0	8,0	8,0

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Wskaźnik technicznego uzbrojenia ziemi w badanych gospodarstwach został obliczony jako stosunek sumy wartości aktywów trwałych (budynków, maszyn i urządzeń) do powierzchni użytków rolnych. Średnie techniczne uzbrojenie ziemi w gospodarstwach grupy A wyniosło 38,2 tys. zł/ha (tabela 26). W przypadku gospodarstw grupy B średnia ta wyniosła 43,6 tys. zł/ha, jednak w ich wypadku można łatwo wyróżnić dwa typy gospodarstw – o wysokim wskaźniku uzbrojenia ziemi (typ 211) oraz o niskim wskaźniku uzbrojenia ziemi (pozostałe gospodarstwa) (tabela 27).

Prawie wszystkie typy gospodarstw, niezależnie od wielkości ekonomicznej, odnotowały spadek wskaźnika technicznego uzbrojenia ziemi w badanym okresie. W największym stopniu dotyczyło to gospodarstw typu 51 a grupy A (spadek o 23,4%) oraz gospodarstw typu 46 z grupy B (spadek o 23,1%). Wyjątkami były gospodarstwa

typu 45 z grupy B (wskaźnik bez zmian) oraz gospodarstwa typu 211 z grupy A (wzrost wskaźnika o 23,3%).

Tabela 26. Techniczne uzbrojenie ziemi (tys. zł/ha UR) – Grupa A

Typ gospodarstw	Techniczne uzbrojenie ziemi (tys. zł/ha UR)				
	2016	2017	2018	2019	2020
151	9,5	9,3	8,9	8,5	8,3
211	141,0	205,2	204,9	177,6	173,8
36	31,5	30,6	29,9	29,0	28,8
45	17,1	16,6	15,8	15,4	15,0
46	11,7	11,0	10,9	11,0	10,7
51	24,4	21,8	19,1	20,9	18,7
8	14,8	14,0	13,3	12,5	12,0

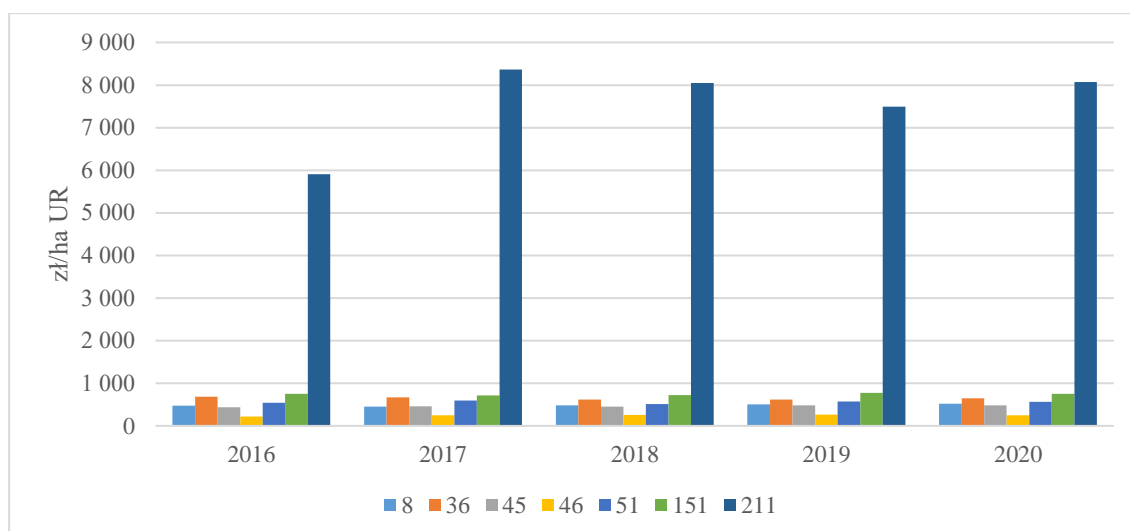
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Tabela 27. Techniczne uzbrojenie ziemi (tys. zł/ha UR) – Grupa B

Typ gospodarstw	Techniczne uzbrojenie ziemi (tys. zł/ha UR)				
	2016	2017	2018	2019	2020
151	8,0	8,0	8,0	7,0	7,0
211	212,0	202,0	201,0	199,0	187,0
36	31,0	27,0	27,0	26,0	26,0
45	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
46	13,0	11,0	10,0	10,0	10,0
51	27,0	27,0	26,0	26,0	26,0
8	14,0	13,0	13,0	12,0	12,0

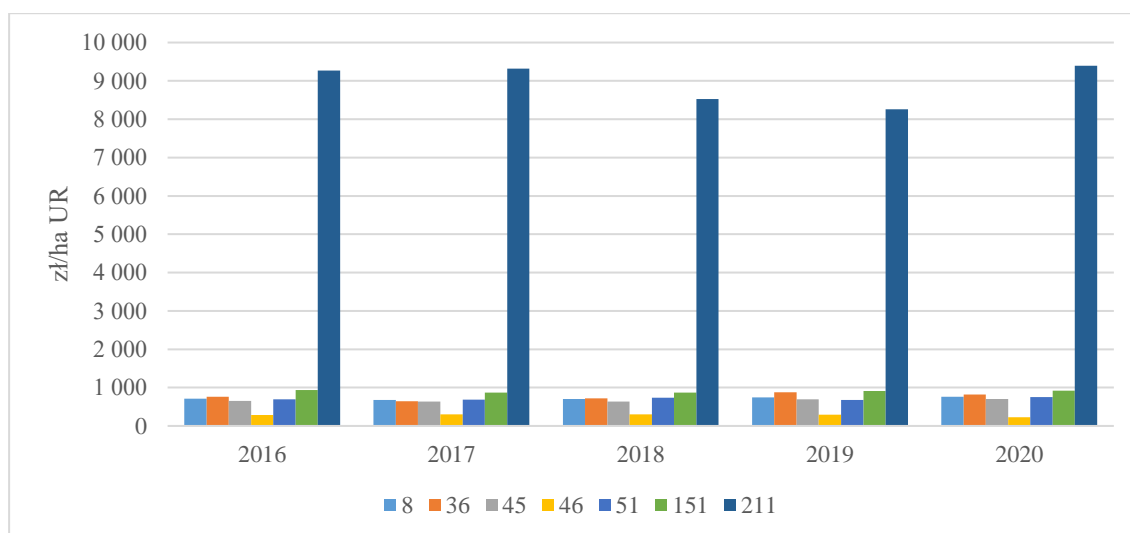
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

W badanym okresie gospodarstwa grupy A zużywały średnio na 1 ha UR nawozy o wartości 1531 złotych (rysunek 43), z kolei gospodarstwa grupy B – 1856 złotych (rysunek 44). Wśród badanych gospodarstw największym wartościowym zużyciem nawozów mineralnych w przeliczeniu na 1 hektar użytków rolnych charakteryzowały się gospodarstwa typu 211 (7577 złotych w grupie A i 8952 złote w grupie B). Największy spadek zużycia nawozów, wynoszący 20%, odnotowano dla gospodarstw typu 46. Z kolei największy wzrost zużycia nawozów mineralnych, zarówno pod względem procentowym, jak i wartościowym, odnotowano wśród gospodarstw typu 211 w grupie A. Wzrost ten wyniósł 2 166 złotych i był wyższy w 2020 roku w porównaniu z 2016 rokiem o 36,7%.



Rysunek 43. Zużycie nawozów mineralnych na ha UR (zł/ha UR) – Grupa A

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN



Rysunek 44. Zużycie nawozów mineralnych na ha UR (zł/ha UR) – Grupa B

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

4.1.2. Zasoby pracy

W badanych gospodarstwach do analizy zasobów pracy użyto mierników zgodnych z przyjętą metodologią FADN (nakłady pracy ogółem – AWU³, czas pracy ogółem – godz.⁴, nakłady pracy ogółem na 100 ha UR, udział czasu pracy najemnej⁵

³ Całkowite nakłady pracy ludzkiej w ramach działalności operacyjnej gospodarstwa rolnego = AWU wyrażone w jednostkach przeliczeniowych pracy = osobach pełnozatrudnionych = 2 120 godz./rok.

⁴ Całkowity czas pracy ludzi w ramach działalności operacyjnej gospodarstwa rolnego, wyrażony w godzinach.

⁵ Czas pracy w ramach działalności operacyjnej gospodarstwa rolnego osób opłaconych gotówką lub w naturze, wyrażony w godzinach.

w czasie pracy ogółem – %, ekonomiczna wydajność pracy⁶ – zł/h lub zł/AWU, techniczne uzbrojenie pracy⁷ – tys. zł/AWU).

Wydajność pracy rosła wraz ze wzrostem skali produkcji. W grupie B wszystkie typy gospodarstw lepiej wykorzystywały zasoby pracy, co przejawiało się mniejszym ich zapotrzebowaniem na jednostkę przeliczeniową (100 ha UR). Badane gospodarstwa, niezależnie od wielkości ekonomicznej, charakteryzowały się stabilnością nakładów pracy w przeliczeniu na 100 ha użytków rolnych. Dla gospodarstw grupy A nakłady te w 2020 roku były średnio mniejsze o 3,5% w porównaniu z 2016 rokiem, dla grupy B spadek ten był mniejszy (0,3%).

Największymi nakładami pracy charakteryzowały się, niezależnie od wielkości ekonomicznej, gospodarstwa typu 211 (tabela 28 i tabela 29). W obu grupach najmniejszymi nakładami pracy w przeliczeniu na 100 ha UR charakteryzowały się gospodarstwa typu 151. Ten typ gospodarstw charakteryzował się również największą różnicą w nakładach między dwoma badanymi grupami wielkości ekonomicznej. Nakłady pracy w przeliczeniu na 100 ha UR w tym typie produkcji w grupie A były średnio o 166% wyższe niż w grupie B.

Tabela 28. Nakłady pracy na 100 ha UR (AWU/100 ha UR) – Grupa A

Typ gospodarstw	Nakłady pracy na 100 ha UR (AWU/100 ha UR)				
	2016	2017	2018	2019	2020
151	5,5	5,4	5,4	5,2	5,1
211	210,7	238,5	248,1	218,5	233,6
36	25,1	23,2	25,0	23,1	23,1
45	11,4	11,5	11,2	11,1	11,0
46	8,3	8,2	8,2	8,0	7,8
51	14,1	14,1	16,0	14,5	14,8
8	12,8	12,3	12,2	11,1	10,8

Zródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

⁶ Dochód z rodzinnego gospodarstwa/czas pracy ogółem.

⁷ Budynki + maszyny i urządzenia /liczba osób pełnozatrudnionych.

Tabela 29. Nakłady pracy na 100 ha UR (AWU/100 ha UR) – Grupa B

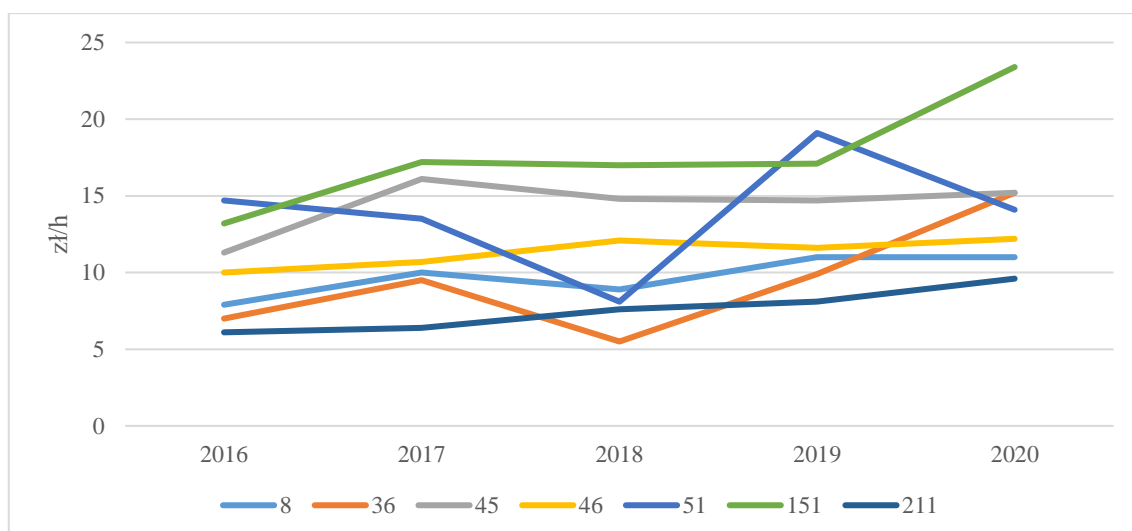
Typ gospodarstw	Nakłady pracy na 100 ha UR (AWU/100 ha UR)				
	2016	2017	2018	2019	2020
151	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
211	96,0	98,0	94,0	103,0	104,0
36	16,0	14,0	16,0	14,0	15,0
45	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
46	3,0	3,0	4,0	3,0	3,0
51	7,0	8,0	7,0	7,0	7,0
8	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Ekonomiczna wydajność pracy, liczona w złotych na godzinę, wśród badanych gospodarstw grupy A była bardzo zróżnicowana i wahała się od 7,56 zł/h (typ 211) do 17,58 zł/h (typ 151). Średnia wydajność dla wszystkich typów gospodarstw w tej grupie wyniosła 12 zł/h. Dynamika zmian w badanym okresie również była duża. Większość typów gospodarstw zwiększyła swoją ekonomiczną wydajność pracy, w największym stopniu gospodarstwa typu 36 (wzrost o 117%), jednak dla gospodarstw typu 51 wydajność ta spadła o 4,1% (rysunek 45).

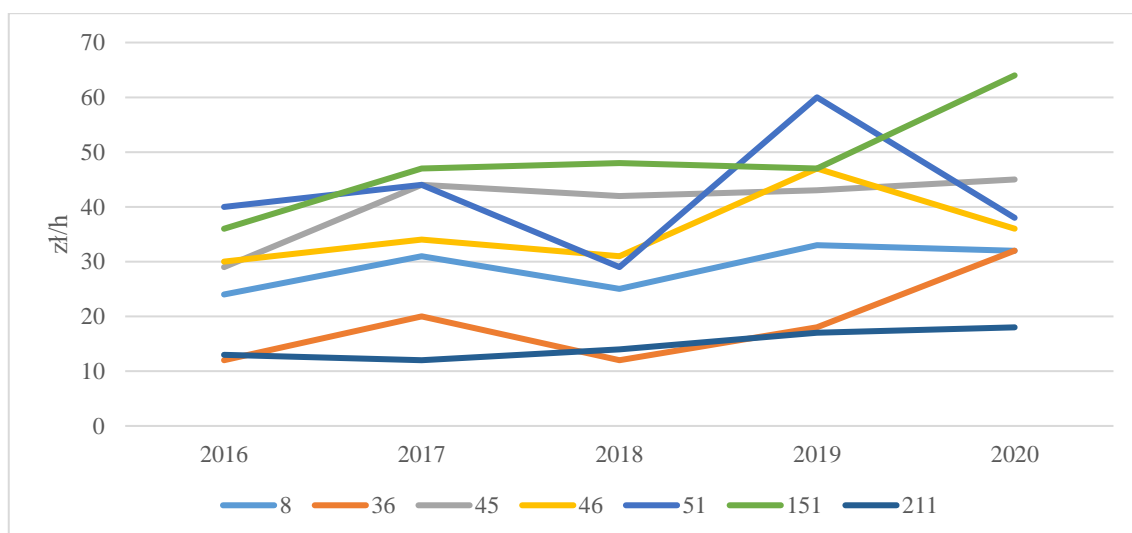
Gospodarstwa grupy B charakteryzowały się wyższą ekonomiczną wydajnością pracy – średnia dla badanych gospodarstw w tej grupie wyniosła 32,77 zł/h. Ekonomiczna wydajność pracy była zróżnicowana (od 14,8 zł/h dla gospodarstw typu 211 do 48,4 zł/h dla gospodarstw typu 151). Dynamika wydajności charakteryzowała się większą zmiennością. Zauważalne były wysokie wzrosty wydajności, jak w przypadku gospodarstw typu 36, który wyniósł 166,7% (rysunek 46).

Średnia ekonomiczna wydajność pracy, liczona w złotych na AWU, wyniosła w grupie A 26 983 zł/AWU, natomiast w grupie B 75 662 zł/AWU. Wskaźniki dla najbardziej wydajnych gospodarstw, czyli gospodarstw typu 151 wyniosły odpowiednio 38 765 zł/AWU oraz 112 130 zł/AWU. W przypadku najmniej wydajnych gospodarstw, czyli typu 211 wskaźniki te wyniosły odpowiednio 16 824 zł/AWU oraz 32 704 zł/AWU.



Rysunek 45. Ekonomiczna wydajność pracy (zł/h) – Grupa A

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN



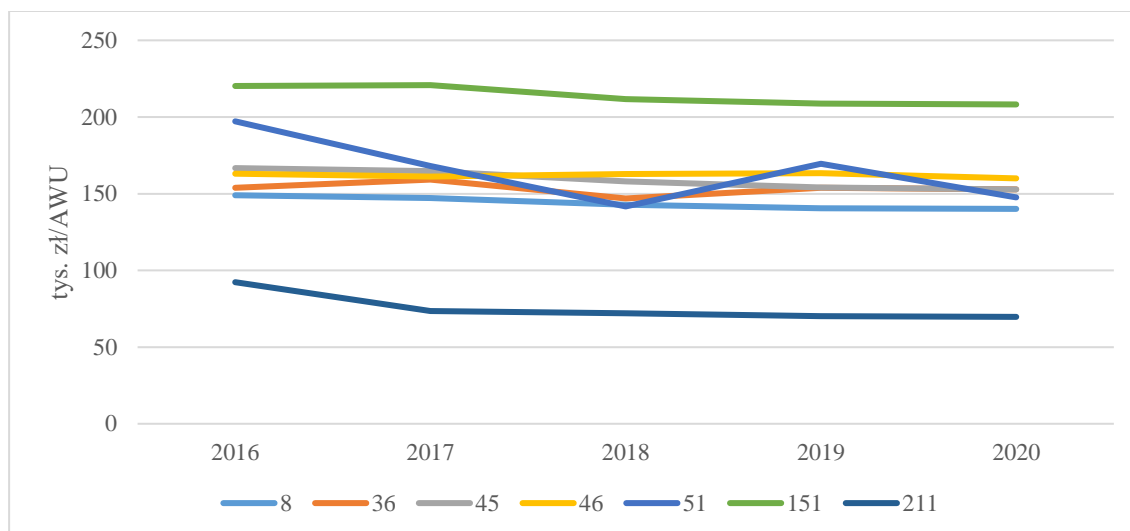
Rysunek 46. Ekonomiczna wydajność pracy (zł/h) – Grupa B

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Techniczne uzbrojenie pracy w badanych gospodarstwach obliczono jako relację aktywów trwałych (budynki + maszyny i urządzenia) do całkowitych nakładów pracy wyrażonych w jednostkach przeliczeniowych AWU. Niemal we wszystkich typach gospodarstw, niezależnie od ich wielkości ekonomicznej, uzbrojenie pracy środkami pracy zmniejszało się (rysunek 47 i rysunek 48). W badanym okresie uzbrojenie to zmniejszyło się w największym stopniu dla dwóch typów gospodarstw z grupy A – gospodarstw typu 211 (spadek o 24,5%) oraz typu 51 (spadek o 25,1%).

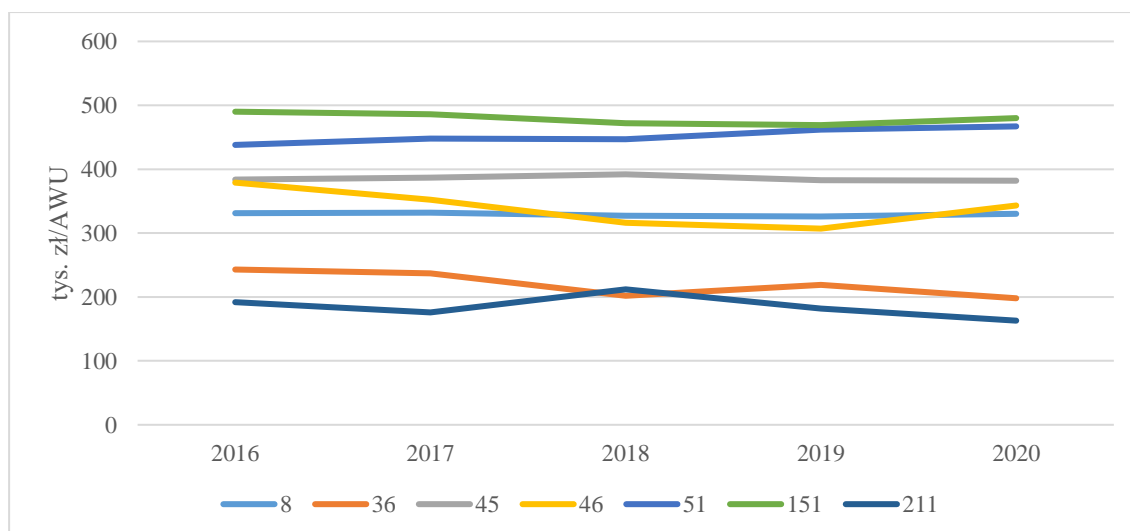
Ostatni wymieniony typ gospodarstw charakteryzował się w badanym okresie najwyższym technicznym uzbrojeniem pracy, liczonemu w tys. zł na AWU. W przypadku

grupy A wyniosło ono średnio 214 tys. zł/AWU, natomiast dla grupy B wartość tego wskaźnika wyniosła średnio 479 tys. zł/AWU. Wśród obu grup najniższym średnim technicznym uzbrojeniem pracy charakteryzowały się gospodarstwa typu 211 (odpowiednio 75,5 tys. zł/AWU oraz 172 tys. zł/AWU).



Rysunek 47. Techniczne uzbrojenie pracy (tys. zł/AWU) – Grupa A

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN



Rysunek 48. Techniczne uzbrojenie pracy (tys. zł/AWU) – Grupa B

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

4.1.3. Zasoby kapitału

W grupie A pod względem liczby ciągników w przeliczeniu na 100 ha użytków rolnych wyróżniały się gospodarstwa typu 211, dla których wskaźnik w badanym okresie wyniósł średnio 87,6 i był wyższy ponad 6-krotnie w porównaniu ze średnią dla pozostałych typów gospodarstw. Wskaźnik ten we wszystkich typach gospodarstw

w badanym okresie wzrósł, średnio o 13,9%. Wartość ta wynika przede wszystkim ze wzrostu, który wystąpił w przypadku gospodarstw typu 211 (tabela 30).

W grupie B różnice w liczbie ciągników w przeliczeniu na 100 ha użytków rolnych były mniejsze. W przypadku tej grupy ponownie wyróżniały się gospodarstwa typu 211, dla których wskaźnik w badanym okresie wyniósł 29,8 i był blisko 3,5-krotnie wyższy w porównaniu z pozostałymi typami gospodarstw. Wahania wskaźnika dla tej grupy ekonomicznej były mniejsze niż w przypadku grupy A (tabela 31).

Tabela 30. Liczba ciągników (szt./100 ha UR) – Grupa A

Typ gospodarstw	Liczba ciągników (szt./100 ha UR)				
	2016	2017	2018	2019	2020
151	8,8	8,9	9,0	9,1	9,2
211	58,2	95,2	94,4	89,7	100,5
36	20,8	21,0	21,0	21,3	22,5
45	13,8	13,9	14,0	14,4	14,5
46	10,5	10,6	11,0	10,8	10,7
51	17,1	15,9	16,3	17,6	17,7
8	13,6	13,5	13,6	13,7	13,8

Zródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Tabela 31. Liczba ciągników (szt./100 ha UR) – Grupa B

Typ gospodarstw	Liczba ciągników (szt./100 ha UR)				
	2016	2017	2018	2019	2020
151	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
211	29,0	29,0	30,0	31,0	30,0
36	13,0	14,0	14,0	14,0	14,0
45	9,0	10,0	10,0	10,0	10,0
46	6,0	5,0	6,0	6,0	6,0
51	10,0	11,0	10,0	10,0	10,0
8	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0

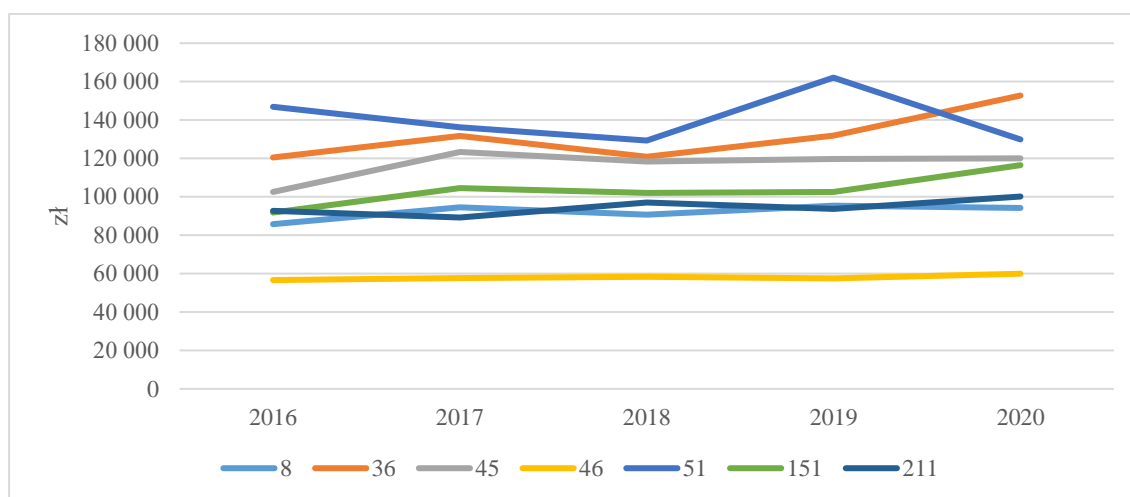
Zródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

4.2. Produkcja i jej wartość

Produkcja ogółem w badanych gospodarstwach obejmuje sprzedaż, przekazania do gospodarstwa domowego, zużycie na potrzeby gospodarstwa rolnego, różnicę stanu zapasów, różnicę wartości zwierząt wynikającą ze zmiany cen, a pomniejszona jest o zakup zwierząt (Polski FADN, 2022). Średnia wartość produkcji ogółem dla badanych gospodarstw grupy A wyniosła 105,4 tys. złotych, natomiast dla gospodarstw grupy B 419,6 tys. złotych. Wśród grupy A dla niemal wszystkich typów produkcji rolnej wartość produkcji w badanym okresie zwiększyła się, a wzrost wyniósł średnio 11,85%. Wyjątkiem były gospodarstwa typu 51. Gospodarstwa te miały jednak w badanym

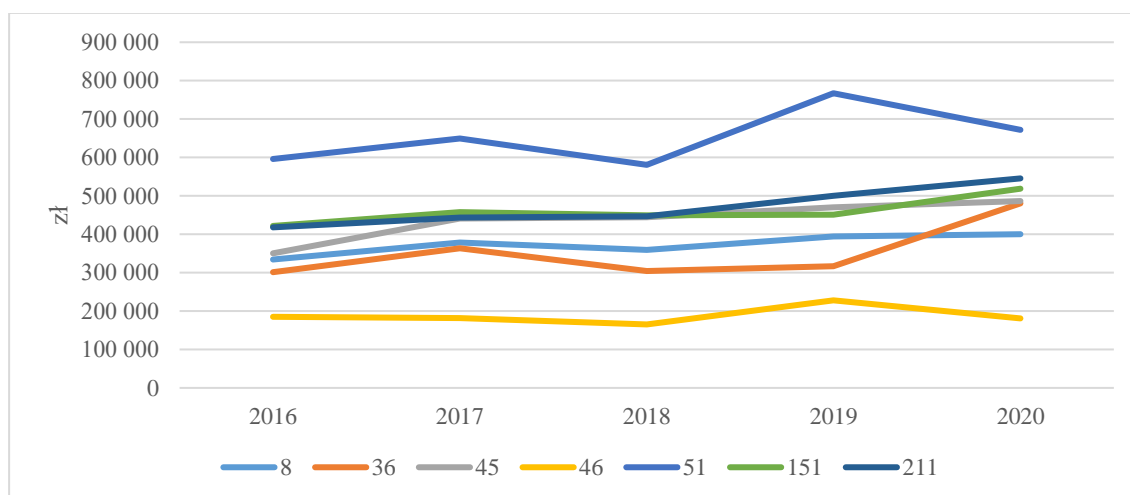
okresie najwyższą średnią wartość produkcji (140,8 tys. złotych). Największy procentowy wzrost wartości produkcji ogółem, wynoszący 26,9%, odnotowano w gospodarstwach typu 151 (rysunek 49).

Większe wahania wartości produkcji ogółem wystąpiły w grupie B. Jedynym typem gospodarstw, które w badanym okresie cechowały się spadkiem produkcji ogółem były gospodarstwa typu 46 (spadek o 2,3%). Największy wzrost wartości produkcji ogółem, zarówno pod względem ilościowym (wzrost o 179 tys. złotych), jak i procentowym (59,4%) odnotowano dla gospodarstw typu 36 (rysunek 50).



Rysunek 49. Produkcja ogółem (zł) – Grupa A

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN



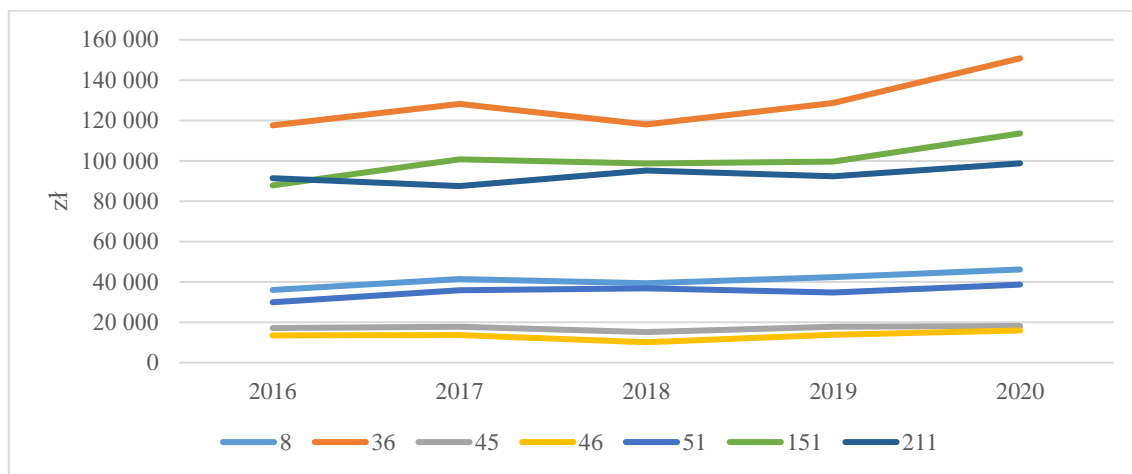
Rysunek 50. Produkcja ogółem (zł) – Grupa B

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Wartość produkcji roślinnej dla gospodarstw grupy A wyniosła w badanym okresie 61,3 tys. złotych. Po uwzględnieniu jedynie gospodarstw specjalizujących się w uprawach ogrodnich i uprawach trwałych średnia ta wzrosła do poziomu

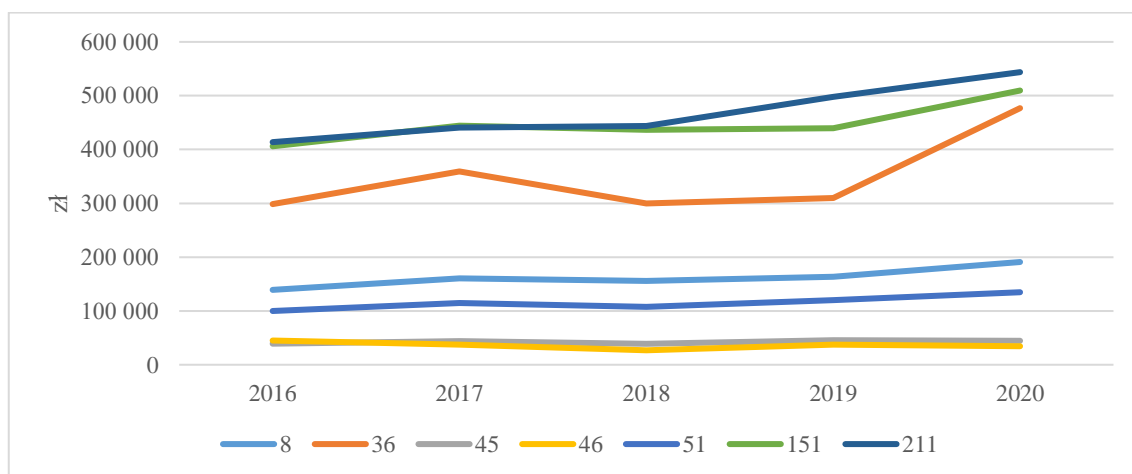
107,3 tys. złotych. Typem gospodarstw wyróżniającym się w tej grupie były gospodarstwa typu 36, których średnia wartość produkcji roślinnej wyniosła 128,7 tys. złotych. (rysunek 51). We wszystkich typach produkcji (niezależnie od tego, czy była to typ ukierunkowany na produkcję roślinną, produkcję zwierzęcą czy były to gospodarstwa mieszane) odnotowano wzrost wartości produkcji roślinnej.

Średnia wartość produkcji roślinnej dla grupy B w badanym okresie wyniosła 231,4 tys. złotych. Uwzględniając jedynie gospodarstwa specjalizujące się w produkcji roślinnej, średnia ta wyniosła 421,3 tys. złotych. Gospodarstwa ukierunkowane na produkcję typowo roślinną odnotowały duże wzrosty wartości produkcji roślinnej w badanym okresie, a największym wzrostem charakteryzowały się gospodarstwa typu 36 (rysunek 52).



Rysunek 51. Produkcja roślinna (zł) – Grupa A

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

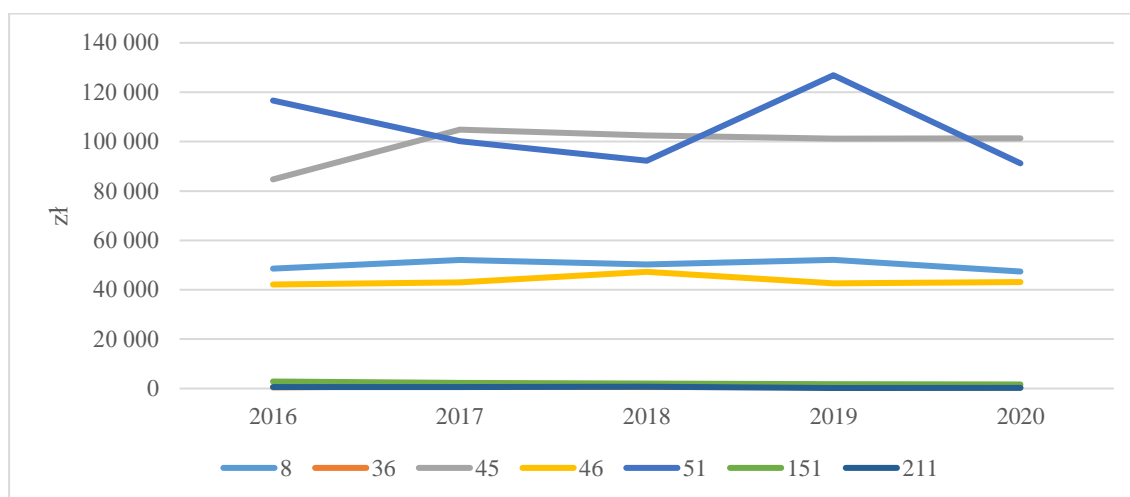


Rysunek 52. Produkcja roślinna (zł) – Grupa B

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

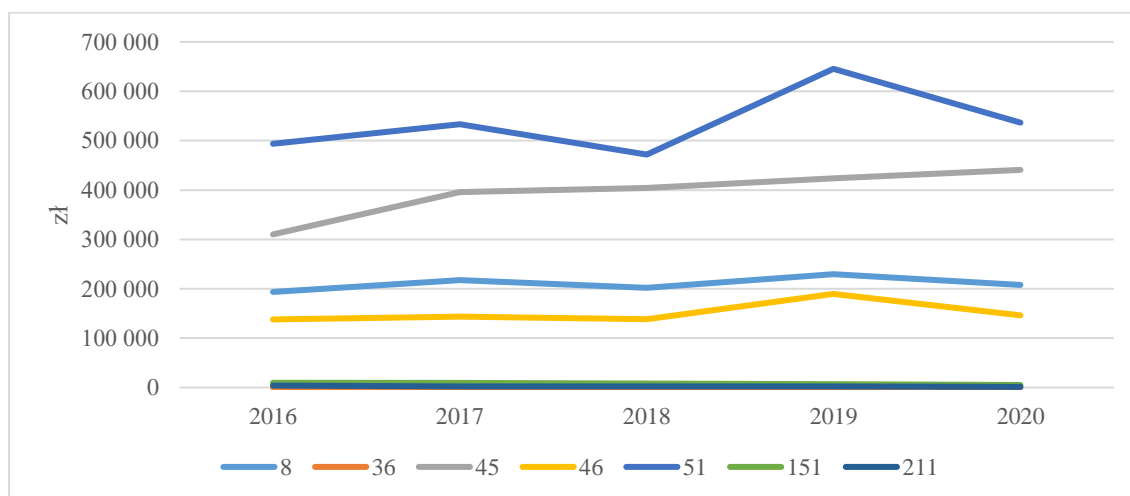
Wartość produkcji zwierzęcej dla grupy A wyniosła w badanym okresie 43 tys. złotych. Po uwzględnieniu jedynie gospodarstw specjalizujących się w produkcji zwierzęcej średnia ta wzrosła do poziomu 82,7 tys. złotych. Wyróżniającym się typem gospodarstw był typ 51, których średnia wartość produkcji roślinnej wyniosła 105,5 tys. złotych. Największym wzrostem w badanym okresie charakteryzowały się gospodarstwa typu 45 (rysunek 53).

Średnia wartość produkcji roślinnej dla grupy B w badanym okresie wyniosła 186,2 tys. złotych. Uwzględniając jedynie gospodarstwa specjalizujące się w produkcji zwierzęcej, średnia ta wyniosła 360,8 tys. złotych. Największym wzrostem (o 42,1%, czyli o 130,6 tys. złotych) charakteryzowały się gospodarstwa typu 45 (rysunek 54).



Rysunek 53. Produkcja zwierzęca (zł) – Grupa A

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN



Rysunek 54. Produkcja zwierzęca (zł) – Grupa B

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Największą wartością kosztów ogółem w przeliczeniu na 1 ha użytków rolnych charakteryzowały się, zarówno w grupie A (tabela 32), jak i w grupie B (tabela 33), gospodarstwa typu 211. Wartości te były odpowiednio 15- i 14-krotnie większe w porównaniu ze średnimi dla pozostałych typów gospodarstw. Gospodarstwa tego typu charakteryzowały się również dużą dynamiką wzrostu wartości kosztów ogółem.

Średni wzrost kosztów ogółem w przeliczeniu na 1 ha użytków rolnych w grupie A wyniósł w badanym okresie 8,4%. Dla grupy B średni wzrost kosztów ogółem w przeliczeniu na 1 ha użytków rolnych był niższy i wyniósł 8%.

Gospodarstwa z grupy B cechowały się na ogół większymi kosztami ogółem w przeliczeniu na 1 ha użytków rolnych, w porównaniu z gospodarstwami z grupy A. Różnica ta wyniosła średnio 17%, a szczególnie zauważalna była dla gospodarstw typu 51 (różnica na poziomie 35%) oraz typu 45 (różnica na poziomie 32%). Wyjątkiem były gospodarstwa typu 36, których średnie koszty ogółem były większe o 1,5% w grupie A niż w grupie B.

Tabela 32. Koszty ogółem na 1 ha UR (zł/ha) – Grupa A

Typ gospodarstw	Koszty ogółem na 1 ha UR (zł/ha)				
	2016	2017	2018	2019	2020
151	3 155,6	3 183,3	3 240,5	3 275,9	3 335,3
211	66 988,0	104 387,9	108 420,7	93 507,9	99 467,6
36	10 107,6	9 816,6	10 203,4	9 515,7	9 868,0
45	4 959,1	5 116,5	5 265,6	5 391,1	5 495,9
46	3 014,9	3 025,7	3 044,1	3 080,6	3 109,3
51	10 485,3	10 594,0	10 982,8	11 397,6	9 975,9
8	5 174,1	5 225,8	5 254,5	5 088,1	5 067,1

Zródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

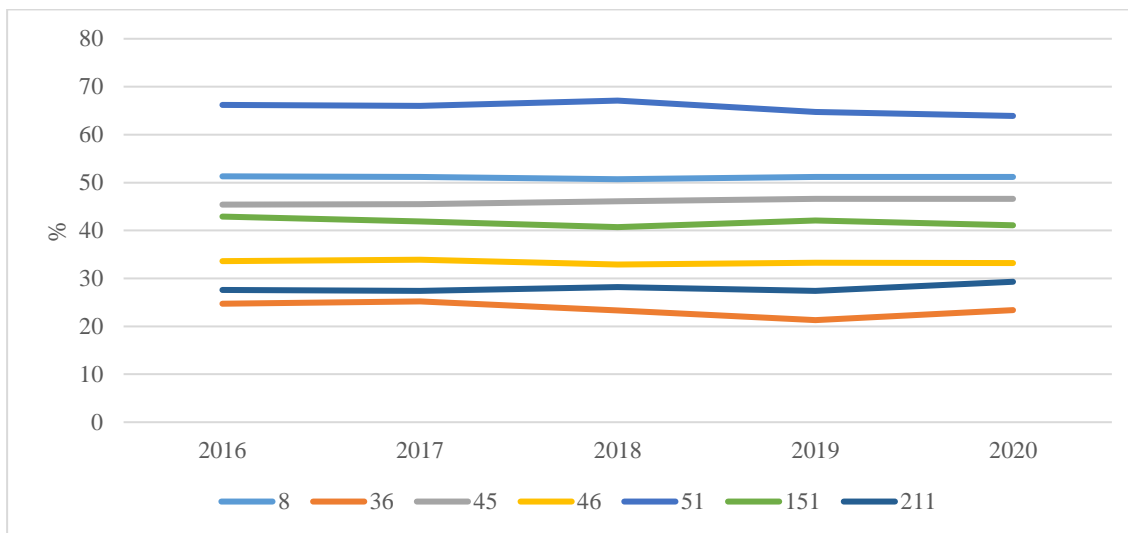
Tabela 33. Koszty ogółem na 1 ha UR (zł/ha) – Grupa B

Typ gospodarstw	Koszty ogółem na 1 ha UR (zł/ha)				
	2016	2017	2018	2019	2020
151	3 499,0	3 495,0	3 500,0	3 572,0	3 555,0
211	102 996,0	112 313,0	110 674,0	111 614,0	120 471,0
36	10 044,0	9 189,0	9 657,0	9 522,0	10 381,0
45	6 998,0	7 382,0	7 694,0	8 113,0	8 338,0
46	3 407,0	3 215,0	3 344,0	3 339,0	3 365,0
51	15 377,0	16 150,0	16 305,0	17 245,0	17 045,0
8	6 371,0	6 485,0	6 563,0	6 583,0	6 686,0

Zródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

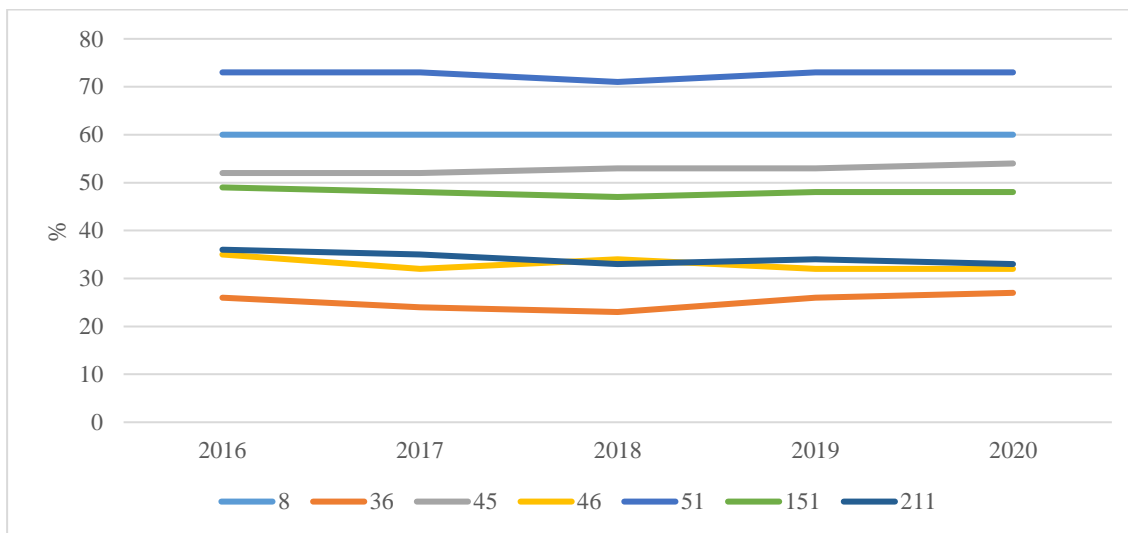
Średni udział kosztów bezpośrednich w kosztach ogółem w grupie A wyniósł 41,3% (rysunek 55) i był niższy o 5,2 pp. w porównaniu z grupą B (rysunek 56). Największa dysproporcja wystąpiła w przypadku gospodarstw typu 8 – było to 8,8 pp.

Jedynie dwa typy gospodarstw w obu grupach charakteryzowały się średnim udziałem kosztów bezpośrednich w badanym okresie powyżej 50%. Były to gospodarstwa typu 51 (odpowiednio 63,2% oraz 72,6%) oraz typu 8 (odpowiednio 51,1% oraz 60%). Dodatkowo, średnią powyżej 50% cechowały się gospodarstwa typu 45 w grupie B (52,8%). Zmiany zachodzące w obu grupach były niewielkie. Średnia zmiana dla grupy A wyniosła 1,3 pp., natomiast dla grupy B było to 1,4 pp.



Rysunek 55. Udział kosztów bezpośrednich w kosztach ogółem (%) – Grupa A

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN



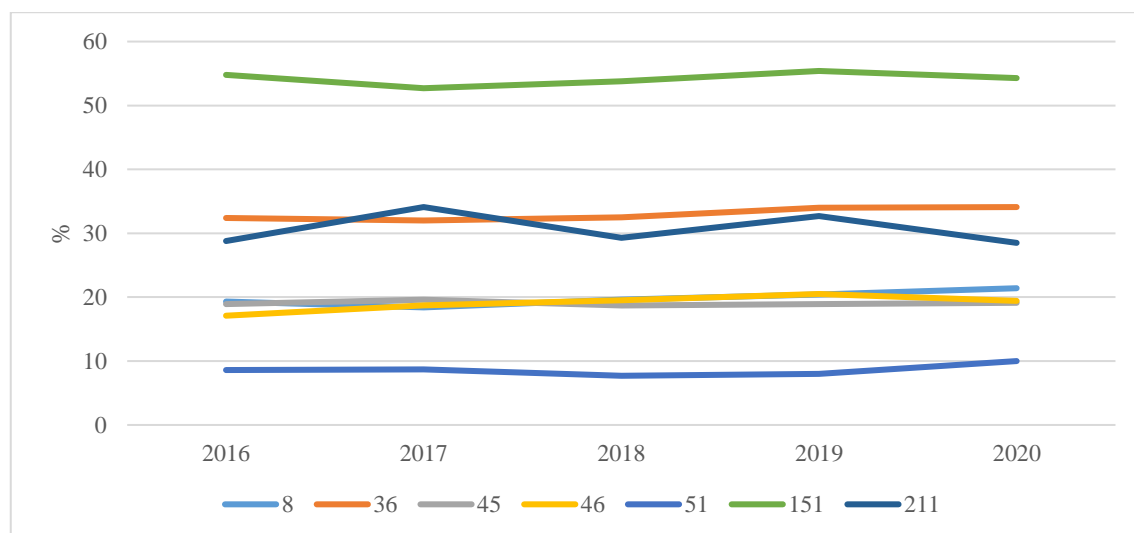
Rysunek 56. Udział kosztów bezpośrednich w kosztach ogółem (%) – Grupa B

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Istotną część w kosztach bezpośrednich badanych gospodarstwa stanowiły koszty nawozów. Zarówno w grupie A (rysunek 57), jak i w grupie B (rysunek 58) stanowiły one ponad 26% kosztów bezpośrednich. Największym udziałem kosztów nawozów

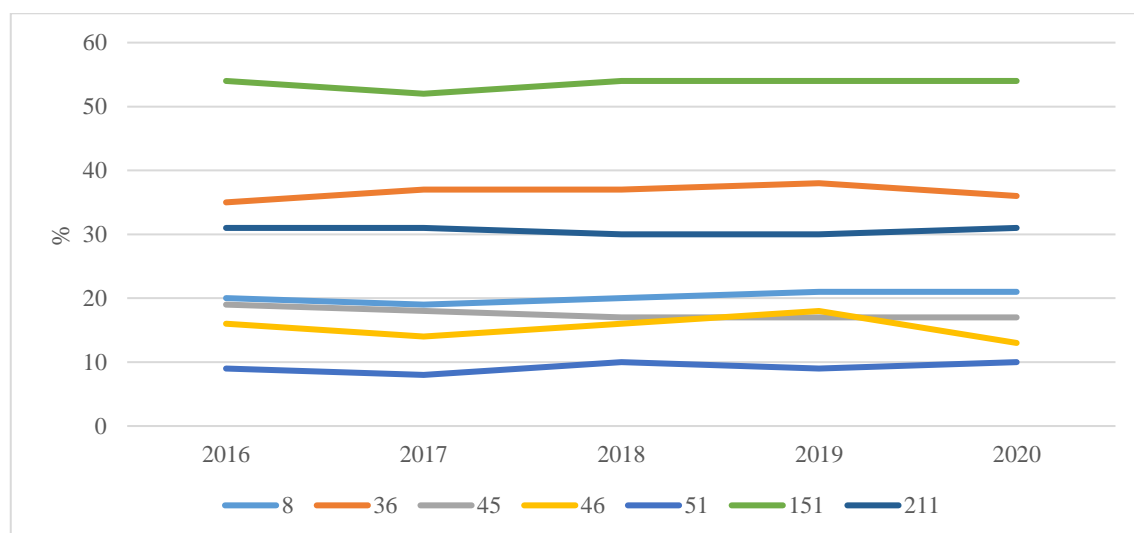
w obu tych grupach charakteryzowały się gospodarstwa typu 151 (odpowiednio 54,2% oraz 53,6%), najmniejszym – gospodarstwa typu 51 (odpowiednio 8,6% oraz 9,2%).

Średnia zmiana udziału kosztów nawozów w grupie A wyniosła 1,2 pp. W grupie B zmiana ta wyniosła 1,1 pp.



Rysunek 57. Udział kosztów nawozów w kosztach bezpośrednich (%) – Grupa A

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN



Rysunek 58. Udział kosztów nawozów w kosztach bezpośrednich (%) – Grupa B

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

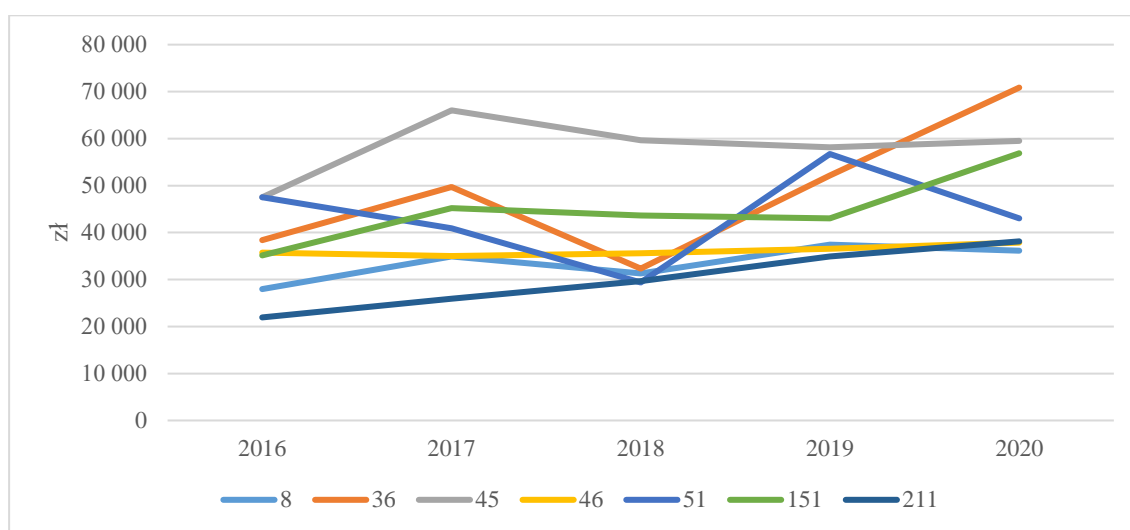
4.3. Dochody gospodarstw

W badanym okresie dochód z rodzinnego gospodarstwa rolnego w badanych gospodarstwach uległ znaczącej poprawie. Średni dochód w grupie A w 2020 roku był

wyższy średnio o 34,7% w porównaniu z 2016 rokiem (rysunek 59), w grupie B było to 47,5% (rysunek 60).

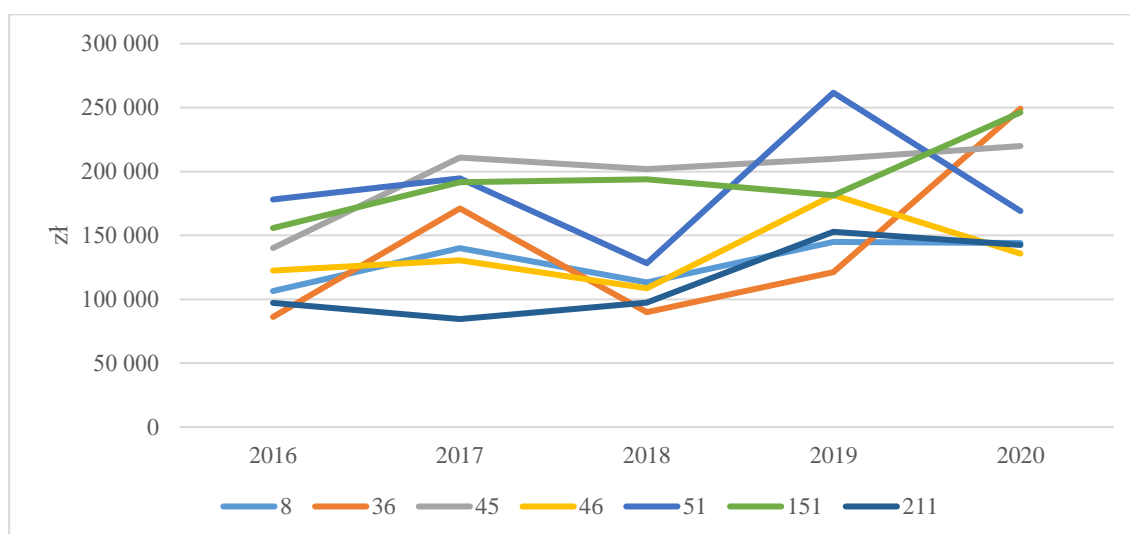
Jedynym typem gospodarstw, dla których odnotowano spadek dochodów, były gospodarstwa typu 51. W grupie A spadek wyniósł 9,5%, z kolei w grupie B 5%. W największym stopniu dochody wzrosły w gospodarstwach typu 36, odpowiednio o 84,7% oraz 189,1%.

Wysokość dochodów z rodzinnego gospodarstwa rolnego w grupie B była blisko 3-krotnie wyższa niż w przypadku grupy A. Największe dysproporcje wystąpiły wśród gospodarstw typu 51, dla których dochody w grupie B były wyższe o 328% niż w przypadku grupy A.



Rysunek 59. Dochód z rodzinnego gospodarstwa rolnego (zł) – Grupa A

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN



Rysunek 60. Dochód z rodzinnego gospodarstwa rolnego (zł) – Grupa B

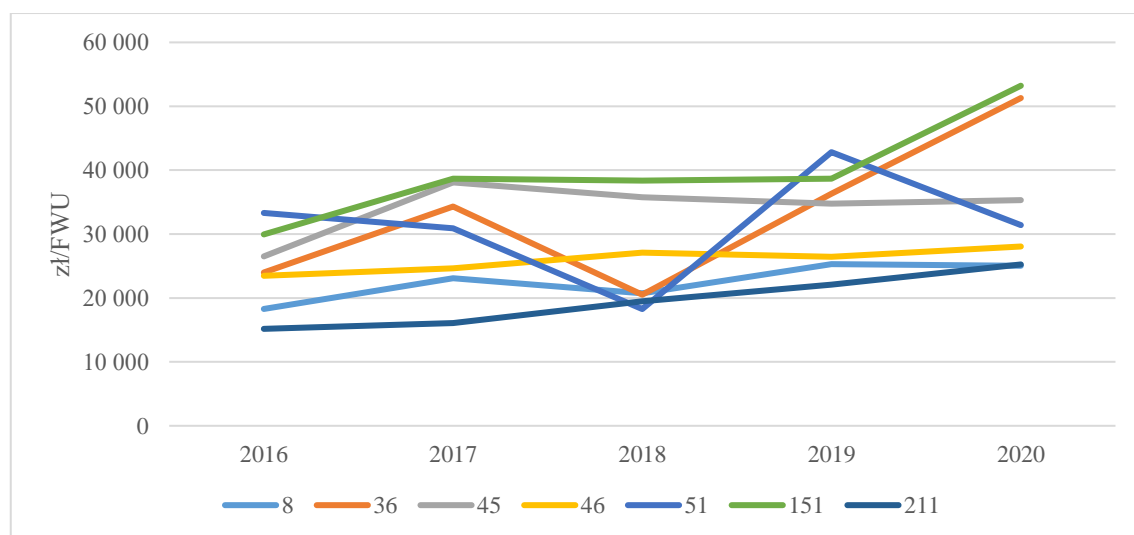
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Średni dochód z rodzinnego gospodarstwa rolnego na osobę pełnozatrudnioną rodziny w badanym okresie dla grupy A wyniósł 29,5 tys. zł/FWU (rysunek 61). Średnia dla grupy B wyniosła w badanym okresie 98,7 tys. zł/FWU, była zatem wyższa o 235% (rysunek 62).

Najwyższym średnim dochodem z rodzinnego gospodarstwa rolnego na osobę pełnozatrudnioną rodziny w badanym okresie charakteryzowały się gospodarstwa typu 151. W przypadku grupy A dochód ten wyniósł 39,8 tys. zł/FWU, natomiast w grupie B było to 151,8 tys. zł/FWU. W odmiernej sytuacji znajdowały się gospodarstwa typu 211, dla których wskaźnik ten był najniższy w badanej grupie gospodarstw. Dla grupy A wyniósł on 19,6 tys. zł/FWU, natomiast dla grupy B było to 69,5 tys. zł/FWU.

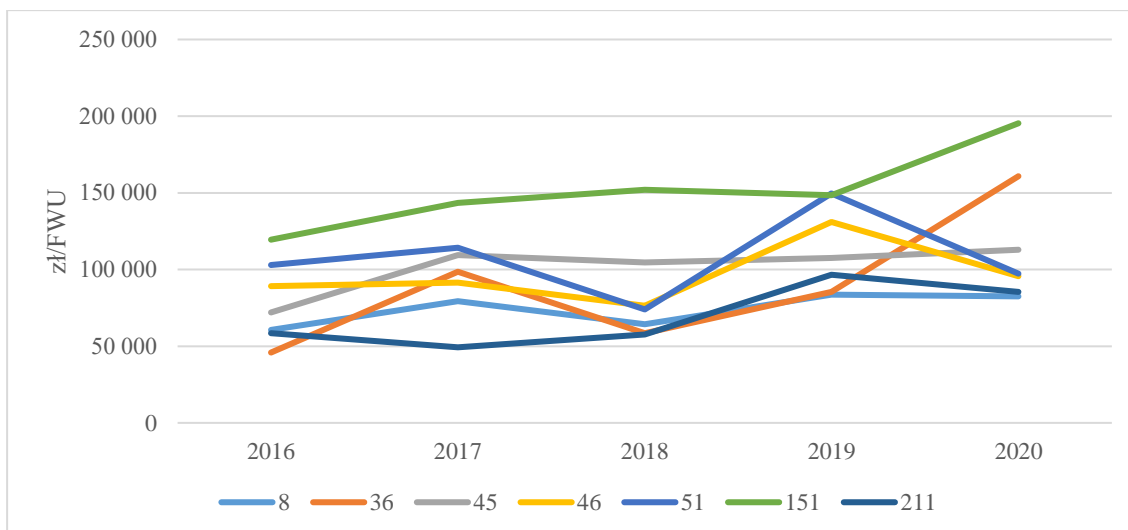
W badanym okresie doszło do znacznego wzrostu dochodów z rodzinnego gospodarstwa rolnego na osobę pełnozatrudnioną rodziny (zł/FWU). Średni wzrost wskaźnika w grupie A wyniósł 48,5%, natomiast w grupie B 65%. Wyróżniały się gospodarstwa typu 36, których wzrost dochodów wyniósł odpowiednio 113,8% oraz 250,7%.

Dochody z rodzinnego gospodarstwa rolnego na osobę pełnozatrudnioną rodziny w grupie B były średnio o 69,8% wyższe niż w przypadku grupy A. Największa dysproporcja (73,8%) wystąpiła w przypadku gospodarstw typu 151.



Rysunek 61. Dochód z rodzinnego gospodarstwa rolnego na osobę pełnozatrudnioną rodziny (zł/FWU) – Grupa A

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN



Rysunek 62. Dochód z rodzinnego gospodarstwa rolnego na osobę pełnozatrudnioną rodziny (zł/FWU) – Grupa B

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

5. PRODUKTYWNOŚĆ NAKŁADÓW ENERGII W GOSPODARSTWACH ROLNYCH

5.1. Koszty nośników energii w badanych gospodarstwach rolnych w zależności od kierunku i skali produkcji

Przedstawione w rozdziale 5 koszty nośników energii były wielkościami średnimi dla poszczególnych kierunków produkcji. Największymi kosztami energii w grupie A i B cechowały się gospodarstwa typu 211 (tabela 34). W przypadku grupy A koszty te wyniosły w badanym okresie średnio 21,7 tys. złotych, czyli były ponad 2,5-krotnie wyższe niż średnia wartość dla pozostałych typów gospodarstw w tej grupie (8,6 tys. złotych) oraz ponad 3-krotnie wyższe niż w gospodarstwach o najniższych kosztach energii, czyli w gospodarstwach typu 51 (6,8 tys. złotych). Co więcej, w gospodarstwach tego typu wystąpił najwyższy spadek kosztów energii w badanym okresie, zarówno pod względem ilościowym (spadek o 6,2 tys. złotych), jak i procentowym (spadek o 25,4%). Spadek kosztów energii odnotowano także w gospodarstwach typu 36, w pozostałych typach koszty energii w badanym okresie wzrosły. Największe procentowe wzrosty dotyczyły gospodarstw typów 51 oraz 8 (wzrost 10,7%), ilościowe z kolei gospodarstw typu 45 (wzrost o 825 złotych).

Średnie koszty energii w gospodarstwach typu 211 w grupie B wyniosły w badanym okresie 108,2 tys. złotych (tabela 35). Były zatem blisko 5-krotnie wyższe niż koszty tego samego typu gospodarstw w grupie A. Były także wyższe o 271% od średnich kosztów pozostałych typów gospodarstw w grupie B (29,1 tys. złotych). Gospodarstwa typu 211 cechowały się największym ilościowym (wzrost o 27,7 tys. złotych) oraz procentowym (30,4%) wzrostem kosztów energii. Jedynym typem gospodarstw, który odnotował spadki kosztów energii w obu grupach gospodarstw były gospodarstwa typu 36.

Średnie koszty energii w grupie B były w badanym okresie wyższe o blisko 260% w porównaniu z grupą A. Największa dysproporcja, wynosząca blisko 400% dotyczyła gospodarstw typu 211.

Tabela 34. Koszty energii (zł) – Grupa A

Typ gospodarstw	Koszty energii (zł)				
	2016	2017	2018	2019	2020
151	10 025,4	10 690,5	11 667,7	11 580,3	10 601,7
211	24 452,9	22 598,7	24 543,5	18 615,9	18 251,9
36	9 100,9	8 400,5	9 349,1	9 325,6	8 980,0
45	8 600,5	9 084,0	9 676,9	9 860,1	9 426,0
46	7 436,4	7 090,6	8 093,1	8 535,4	7 970,5
51	6 453,6	6 025,0	6 903,2	7 742,7	7 144,9
8	7 107,1	7 530,7	8 055,6	8 303,3	7 864,8

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Tabela 35. Koszty energii (zł) – Grupa B

Typ gospodarstw	Koszty energii (zł)				
	2016	2017	2018	2019	2020
151	39 466,0	42 977,0	46 226,0	47 609,0	44 058,0
211	91 112,0	119 952,0	115 566,0	95 412,0	118 818,0
36	25 956,0	26 626,0	28 386,0	25 040,0	24 862,0
45	25 073,0	27 111,0	29 627,0	31 426,0	29 090,0
46	20 593,0	23 549,0	25 524,0	28 759,0	25 520,0
51	22 840,0	24 092,0	26 329,0	27 549,0	26 583,0
8	22 769,0	24 786,0	27 501,0	27 782,0	25 884,0

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Po odniesieniu kosztów energii badanych gospodarstw do posiadanych przez nich powierzchni użytków rolnych różnica pomiędzy gospodarstwami typu 211 a pozostałymi typami gospodarstw znacznie zwiększyła się. Było to wynikiem stosunkowo wysokich kosztów energii w tych gospodarstwach, jak również ich relatywnie niewielkiej powierzchni.

W grupie A koszty energii na 1 ha użytków rolnych gospodarstw typu 211 były ponad 65-krotnie wyższe niż średnia dla pozostałych typów gospodarstw (tabela 36). Gospodarstwa te odnotowały także największy wzrost kosztów energii na 1 ha użytków rolnych w badanym okresie, wynoszący 60% (wzrost o 13,4 tys. złotych). Jako jedyne spadek kosztów energii (o 2,9%) odnotowały gospodarstwa typu 36.

Nieco niższa, bo 63-krotna różnica średnich kosztów energii na 1 ha użytków rolnych między gospodarstwami typu 211 a pozostałymi typami gospodarstw wystąpiła w grupie B (tabela 37). Wspomniany typ gospodarstw charakteryzował się co prawda największym ilościowym wzrostem kosztów energii (wzrost o 7,6 tys. zł), jednak procentowo najwyższy wzrost w badanym okresie odnotowano dla gospodarstw typu 46 (wzrost o 26,8%). Gospodarstwa typu 36 ponownie cechowały się największym spadkiem kosztów energii.

Koszty energii na 1 ha użytków rolnych we wszystkich typach produkcji były wyższe dla grupy B. Najmniejsze różnice wystąpiły w przypadku gospodarstw typu 151 (4%), z kolei największe w gospodarstwach typu 45 (32,4%).

Tabela 36. Koszty energii na 1 ha UR (zł) – Grupa A

Typ gospodarstw	Koszty energii na 1 ha UR (zł)				
	2016	2017	2018	2019	2020
151	354,2	368,9	404,2	397,7	377,4
211	22 294,1	44 728,8	40 935,4	36 178,6	35 679,9
36	905,3	834,5	923,8	919,1	879,4
45	488,8	515,1	548,6	555,0	540,4
46	344,2	334,9	374,3	392,2	366,1
51	628,5	592,0	662,4	742,9	665,2
8	441,6	451,8	476,4	485,6	452,9

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Tabela 37. Koszty energii na 1 ha UR (zł) – Grupa B

Typ gospodarstw	Koszty energii na 1 ha UR (zł)				
	2016	2017	2018	2019	2020
151	362,0	386,0	416,0	421,0	393,0
211	34 750,0	42 075,0	42 754,0	36 363,0	42 343,0
36	1 061,0	989,0	1 058,0	1 006,0	910,0
45	624,0	676,0	723,0	769,0	714,0
46	321,0	367,0	365,0	442,0	407,0
51	711,0	746,0	814,0	800,0	772,0
8	482,0	508,0	552,0	547,0	510,0

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Wysokie koszty materiałów opałowych w gospodarstwach typu 211 miały także bezpośredni wpływ na wielkość udziałów tych kosztów w kosztach energii ogółem. Dla tego typu gospodarstw w grupie A udział ten wyniósł w badanym okresie średnio 41,5% (tabela 38), natomiast w przypadku grupy B było to 34,4% (tabela 39).

W większości przypadków udziały kosztów materiałów opałowych w kosztach energii były wyższe w grupie A niż w grupie B. Wyjątkiem były gospodarstwa typów 151 oraz 46, których udziały w grupie B były większe odpowiednio o 2,5 pp. oraz 0,1 pp. w porównaniu z grupą A.

Tabela 38. Udział kosztów materiałów opałowych w kosztach energii (%) – Grupa A

Typ gospodarstw	Udział kosztów materiałów opałowych w kosztach energii (%)				
	2016	2017	2018	2019	2020
151	1,2	1,5	1,1	0,9	1,0
211	46,2	45,3	44,3	38,1	33,7
36	0,8	0,9	0,6	0,5	0,3
45	0,7	1,0	1,0	0,8	0,8
46	0,4	0,4	0,0	0,7	0,0
51	1,8	1,3	1,9	1,8	3,3
8	2,0	1,7	1,1	1,2	1,3

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Tabela 39. Udział kosztów materiałów opałowych w kosztach energii (%) – Grupa B

Typ gospodarstw	Udział kosztów materiałów opałowych w kosztach energii (%)				
	2016	2017	2018	2019	2020
151	4,0	4,0	3,0	3,0	4,0
211	32,0	35,0	36,0	33,0	36,0
36	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0
45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
46	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0
51	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0
8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Po odniesieniu kosztów materiałów pędnych do powierzchni gospodarstw rolnych sytuacja wygląda podobnie do tej, która dotyczy kosztów materiałów opałowych. Gospodarstwa typu 211, niezależnie od wielkości ekonomicznej, charakteryzowały się znacznie wyższymi kosztami materiałów pędnych niż pozostałe typy gospodarstw.

Średni koszt materiałów pędnych na 1 ha użytków rolnych w gospodarstwach typu 211 w grupie A wyniósł w badanym okresie 4,3 tys. złotych/ha (tabela 40). Różnica między tym typem gospodarstw a pozostałymi była blisko 11-krotna. Niemal we wszystkich typach gospodarstw odnotowano wzrost kosztów materiałów pędnych na 1 ha użytków rolnych. Wyjątkiem były natomiast gospodarstwa typu 36, które odnotowały spadek kosztów na poziomie 4,2%.

Zbliżona sytuacja wystąpiła w grupie B. Średni koszt materiałów pędnych na 1 ha użytków rolnych w gospodarstwach typu 211 w grupie B wyniósł w badanym okresie 1,8 tys. złotych/ha (tabela 41). Różnica między tym typem gospodarstw a pozostałymi była blisko 4-krotna. Niemal we wszystkich typach gospodarstw odnotowano wzrost kosztów materiałów pędnych na 1 ha użytków rolnych. Wyjątkiem, podobnie jak

w przypadku grupy A, były gospodarstwa typu 36, które odnotowały spadek kosztów na poziomie 11,8%.

Dla 6 z 7 typów gospodarstw średnie koszty materiałów pędnych na 1 ha użytków rolnych były wyższe w grupie B. Dla wspomnianych sześciu typów gospodarstw koszty materiałów pędnych na 1 ha użytków rolnych w grupie B były średnio o 16,6% wyższe niż w grupie A. Wyjątek stanowiły gospodarstwa typu 211, dla których średnie koszty materiałów pędnych w grupie A były wyższe o 134% niż w przypadku grupy B.

Tabela 40. Koszty materiałów pędnych na 1 ha UR (zł/ha) – Grupa A

Typ gospodarstw	Koszty materiałów pędnych na 1 ha UR (zł/ha)				
	2016	2017	2018	2019	2020
151	311,1	323,9	359,9	355,9	331,9
211	3 519,6	3 740,4	4 532,5	5 123,2	4 808,4
36	595,0	554,0	625,9	614,1	570,2
45	366,0	384,6	417,9	428,9	404,7
46	274,7	267,4	304,0	318,5	290,9
51	352,1	383,6	433,5	520,6	425,9
8	330,4	344,2	375,2	391,3	352,9

Zródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Tabela 41. Koszty materiałów pędnych na 1 ha UR (zł/ha) – Grupa B

Typ gospodarstw	Koszty materiałów pędnych na 1 ha UR (zł/ha)				
	2016	2017	2018	2019	2020
151	317,0	339,0	375,0	383,0	344,0
211	1 727,0	1 909,0	1 956,0	1 920,0	1 733,0
36	604,0	608,0	654,0	576,0	533,0
45	477,0	526,0	572,0	614,0	546,0
46	281,0	332,0	324,0	407,0	370,0
51	464,0	489,0	552,0	541,0	474,0
8	392,0	424,0	466,0	466,0	422,0

Zródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Udziały kosztów materiałów pędnych w kosztach energii w poszczególnych typach gospodarstw były mniej zróżnicowane niż w przypadku udziałów kosztów materiałów opałowych w kosztach energii. Było to wynikiem bardziej wyrównanego poziomu kosztów materiałów pędnych w badanych gospodarstwach.

Największymi udziałami kosztów materiałów pędnych w kosztach energii w grupie A cechowały się gospodarstwa typu 151 (tabela 42). W badanym okresie udziały kosztów materiałów pędnych w tych gospodarstwach wyniosły średnio 88,9%. Gospodarstwa typu 211 odnotowały natomiast najniższy udział kosztów materiałów pędnych w kosztach energii, wynoszący w badanym okresie średnio 41%.

Gospodarstwa typu 151 charakteryzowały się także najwyższymi udziałami kosztów materiałów pędnych w kosztach energii w grupie B (tabela 43). Udziały te w badanym okresie wyniosły 90,8%. Najniższymi udziałami cechowały się natomiast gospodarstwa typu 211 (43,8%).

W większości przypadków udziały kosztów materiałów pędnych w kosztach energii były wyższe w grupie B niż w grupie A. Średnia różnica dla 5 z 7 typów gospodarstw wyniosła 4,5 pp. Wyjątek stanowiły gospodarstwa typów 36 oraz 51, dla których udziały w grupie A były wyższe niż w przypadku grupy B. Różnice te wyniosły w badanym okresie odpowiednio 2,6 pp. i 0,3 pp.

Tabela 42. Udział kosztów materiałów pędnych w kosztach energii (%) – Grupa A

Typ gospodarstw	Udział kosztów materiałów pędnych w kosztach energii (%)				
	2016	2017	2018	2019	2020
151	88,2	88,3	89,4	90,2	88,6
211	37,5	36,3	40,9	45,0	45,4
36	72,1	71,1	73,1	73,2	71,5
45	73,4	73,2	74,6	75,7	73,3
46	79,2	79,4	81,0	80,9	79,3
51	63,7	68,8	68,9	72,9	67,4
8	75,9	76,8	79,0	80,0	77,5

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Tabela 43. Udział kosztów materiałów pędnych w kosztach energii (%) – Grupa B

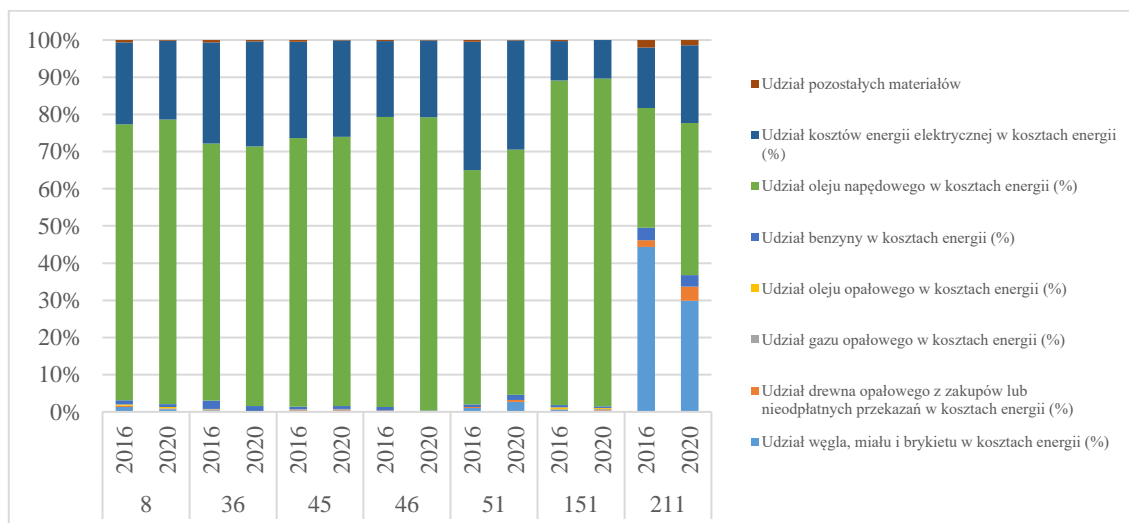
Typ gospodarstw	Udział kosztów materiałów pędnych w kosztach energii (%)				
	2016	2017	2018	2019	2020
151	90,0	90,0	92,0	92,0	90,0
211	45,0	45,0	45,0	44,0	40,0
36	69,0	72,0	71,0	69,0	67,0
45	76,0	77,0	78,0	79,0	76,0
46	89,0	87,0	87,0	91,0	90,0
51	68,0	68,0	70,0	70,0	64,0
8	82,0	83,0	85,0	85,0	83,0

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Największy odsetek kosztów energii w grupie A, niezależnie od typu produkcji, stanowiły koszty oleju napędowego (rysunek 63). Średnia udziałów tej grupy kosztów wyniosła w badanym okresie 70%. Najwyższe udziały oleju napędowego w kosztach energii odnotowano w gospodarstwach typu 151 (88,3%), najniższe natomiast w gospodarstwach typu 211 (36%). Ostatni wspomniany typ gospodarstw był szczególnie ze względu na udział węgla, miału i brykietu w kosztach energii. Udział ten był porównywalny z udziałem olej napędowego i wyniósł w badanym okresie średnio 38,3%. Było to wynikiem wykorzystywania tych nośników energii do ogrzewania upraw pod

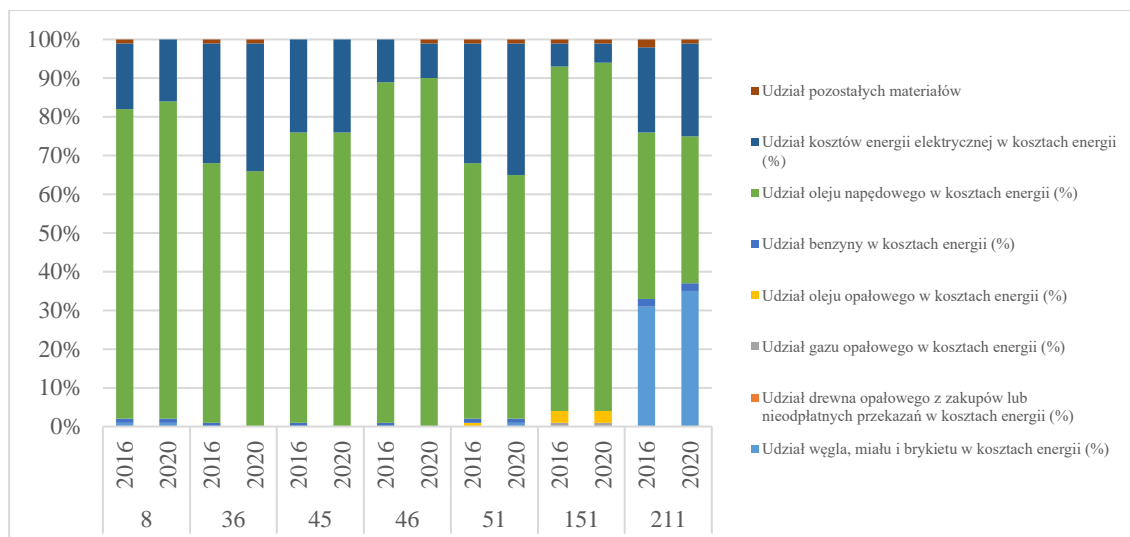
osłonami. Gospodarstwa typu 211 w grupie A cechowały się także najwyższymi udziałami drewna opałowego (2,6%) oraz benzyny (3,5%) w kosztach energii w badanych gospodarstwach. Istotną rolę pełni również energia elektryczna, która w badanym okresie stanowiła średnio 21,4% kosztów energii w badanych gospodarstwach. Największym udziałem energii elektrycznej w kosztach energii charakteryzowały się gospodarstwa typu 51 (29,7%), najmniejszymi natomiast gospodarstwa typu 151 (9,9%).

Koszty oleju napędowego stanowiły także największy odsetek w kosztach energii w grupie B (rysunek 64). Średnia udziałów tej grupy kosztów dla wspomnianej grupy gospodarstw w badanym okresie wyniosła 73%. Najwyższe udziały oleju napędowego w kosztach energii odnotowano w gospodarstwach typu 151 (90%), najniższe natomiast w gospodarstwach typu 211 (41,6%). Gospodarstwa typu 151 cechowały się także najwyższymi udziałami gazu opałowego (1%) oraz oleju opałowego (2,6%) w kosztach energii w badanych gospodarstwach. Podobnie jak w przypadku grupy A, gospodarstwa typu 211 charakteryzowały się wysokim udziałem węgla, mialu i brykietu w kosztach energii, który wyniósł w badanym okresie średnio 33,6%. Gospodarstwa te odnotowały także najwyższe udziały benzyny w kosztach energii – średnia w badanym okresie wyniosła 1,8%. Koszty energii elektrycznej w badanej grupie gospodarstw stanowiły średnio 19,4% kosztów energii. Największym udziałem energii elektrycznej w kosztach energii charakteryzowały się gospodarstwa typów 36 (30,4%) oraz 51 (30,2%), najmniejszymi natomiast gospodarstwa typu 151 (5,2%).



Rysunek 63. Udział kosztów poszczególnych materiałów opalowych, materiałów pędnych oraz energii elektrycznej w kosztach energii (%) – Grupa A

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

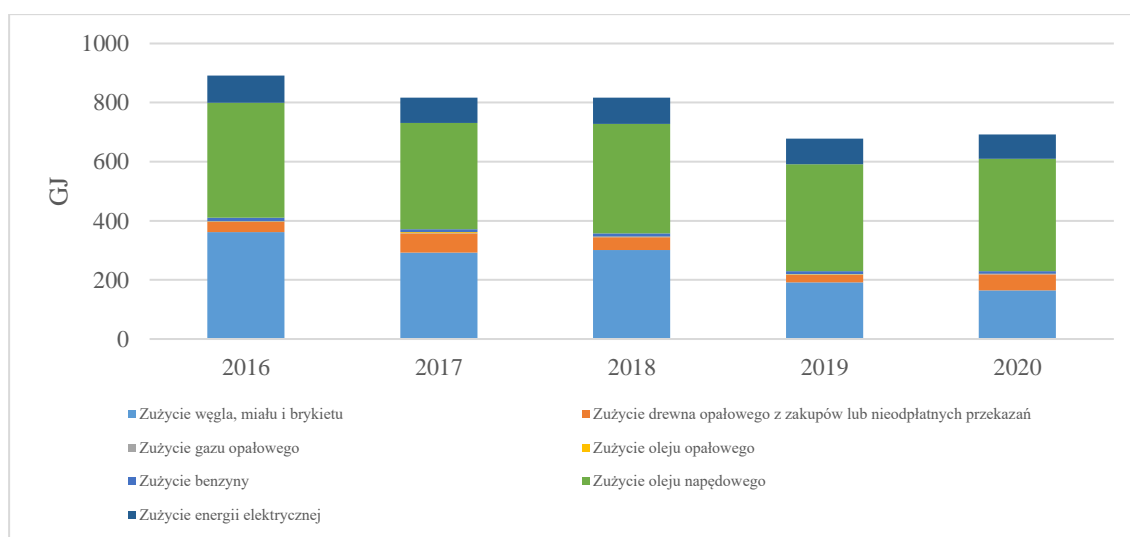


Rysunek 64. Udział kosztów poszczególnych materiałów opalowych, materiałów pędnych oraz energii elektrycznej w kosztach energii (%) – Grupa B

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

5.2. Struktura zużycia energii w badanych gospodarstwach rolnych

Średnie zużycie energii w grupie A wyniosło 781,4 GJ (rysunek 65). Zużycie to było najwyższe na początku badanego okresu, czyli w 2016 roku (891,7 GJ), by w 2020 roku zmniejszyć się o 22%, do poziomu 692,6 GJ. Dominującym nośnikiem energii był olej napędowy, którego zużycie wyniosło średnio 372,1 GJ i przez cały okres utrzymywało się na względnie stałym poziomie. Zużycie węgla dorównywało zużyciu oleju napędowego w 2016 roku (361,4 GJ), jednak kolejne lata to spadek zużycia tego nośnika energii, do poziomu 164,7 GJ w 2020 roku (spadek o 54%).

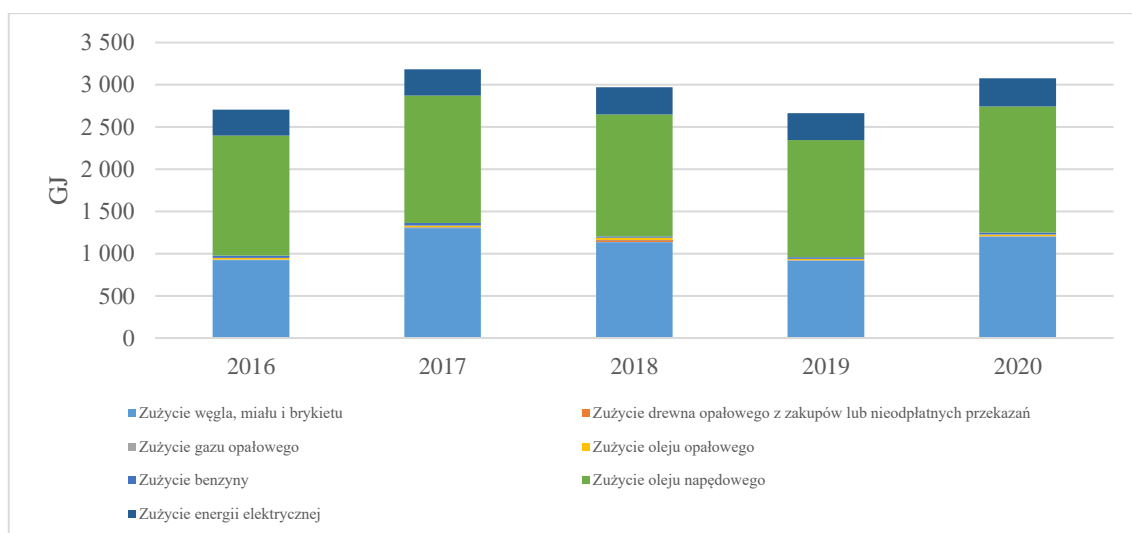


Rysunek 65. Średnie zużycie energii w grupie A w latach 2016-2020 (GJ)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Zużycie energii w grupie B w latach 2016-2020 było wyższe średnio o 279% w porównaniu z grupą A. Najmniejsza dysproporcja między badanymi grupami gospodarstw wystąpiła w 2016 roku (203%), największa w 2020 roku (344%).

Średnie zużycie energii w grupie B wyniosło 2918,4 GJ (rysunek 66). W przypadku tej grupy gospodarstw trudniej o wskazanie jednego trendu, gdyż zużycie energii w badanych latach ulegało znacznym zmianom, zależnym przede wszystkim od zużycia węgla. Lata, w których zużycie węgla było najwyższe (2017, 2018 oraz 2020) były także latami, w których całkowite zużycie energii w gospodarstwach było najwyższe (ze szczytem zużycia w 2017 roku, na poziomie 3181,9 GJ). Z kolei pozostałe lata, w których zużycie to było najniższe (2016 i 2019 rok) charakteryzowały się także najniższym zużyciem węgla. Nośnikiem energii o największym zużyciu był olej napędowy, którego średnie zużycie w badanym okresie wyniosło 1451,2 GJ. Zużycie węgla wyniosło średnio 1094,9 GJ, jednak w odróżnieniu od grupy A, w przypadku grupy B zużycie to wzrosło w 2020 roku, w porównaniu z 2016 rokiem, o 30%.



Rysunek 66. Średnie zużycie energii w grupie B w latach 2016-2020 (GJ)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Gospodarstwa typu 211 zużywały w latach 2016-2020 największe ilości energii wśród gospodarstw z grupy A. Z kolei gospodarstwa typu 51 zużywały średnio najmniej energii w badanym okresie (53,8 GJ).

Nośnikiem energii używanym w największej ilości w grupie A był olej napędowy. Średnie roczne zużycie oleju napędowego w latach 2016-2020 w tej grupie wyniosło 53,2 GJ. Najwyższym zużyciem oleju napędowego charakteryzowały się gospodarstwa typu 151 (75,8 GJ), najmniejszym gospodarstwa typu 51 (36,1 GJ). Drugim

co do wielkości zużywanym nośnikiem energii był węgiel, którego średnie zużycie wyniosło 37,5 GJ, przy czym do tak dużego średniego zużycia tego nośnika przyczynił się jeden typ gospodarstw, czyli gospodarstwa typu 211, których średnie zużycie w badanym okresie wyniosło 253,4 GJ, przy średniej dla pozostałych typów produkcji wynoszącej 1,5 GJ. Średnie zużycie energii elektrycznej w badanych gospodarstwach wyniosło średnio 12,5 GJ, przy czym największym średnim zużyciem, na poziomie 22,2 GJ, charakteryzowały się gospodarstwa typu 211.

Gospodarstwa typu 211 odpowiadały za zużycie 96,2% węgla w badanym okresie w grupie A. Ponadto, były one odpowiedzialne za 59,8% całkowitego zużycia benzyny, 88,4% całkowitego zużycia drewna opałowego i 25,3% całkowitego zużycia energii elektrycznej. Zużycie gazu opałowego w gospodarstwach typu 36 stanowiło średnio 39,7% całkowitego zużycia tego nośnika energii. Z kolei gospodarstwa typu 151 dominowały w zużyciu oleju napędowego (średnio 20,4%) oraz oleju opałowego (56,4%).

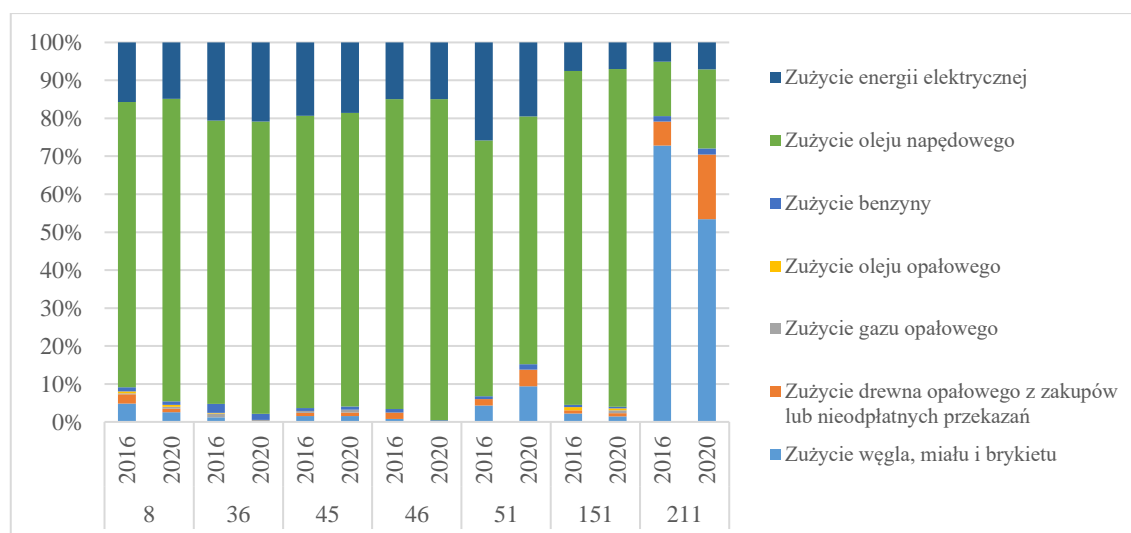
Ilość zużywanej energii w grupie A spadła w 2020 roku, w porównaniu do 2016 roku, w przypadku większości nośników. Zużycie węgla spadło o 54%, zużycie oleju opałowego o 35%, zużycie benzyny o 25, zużycie energii elektrycznej o 10%, a zużycie oleju napędowego o 2%. Wzrost zużycia charakteryzował natomiast drewno opałowe (wzrost o 53%) oraz gaz opałowy (wzrost o 50%).

Struktura zużycia energii w grupie A w badanym okresie kształtowała się następująco (%):

- olej napędowy – 48,23,
- węgiel, miał i brykiet – 33,06,
- energia elektryczna – 11,32,
- drewno opałowe – 5,71,
- benzyna – 1,31,
- gaz opałowy – 0,19,
- olej opałowy – 0,18.

Struktury w poszczególnych typach gospodarstw różniły się jednak od typowej struktury przedstawionej powyżej (rysunek 67). Udział zużycia oleju napędowego w strukturze zużycia energii, za wyjątkiem gospodarstw typu 211, wahał się między 67,13% (typ 51) a 88,84% (typ 151). W strukturze zużycia energii dla gospodarstw typu 211 główny udział miało zużycie węgla, miału i brykietu (66,22%), na drugim miejscu

znalazło się zużycie oleju napędowego (15,94%), na trzecim natomiast drewna opałowego (10,34%). Udziały pierwszego i trzeciego nośnika energii w strukturze w tym typie produkcji rolnej były wyjątkowe w porównaniu z pozostałymi typami. Dla pozostałych typów gospodarstw udział zużycia drewna opałowego w strukturze wahał się między 0,20% a 3,87%, zaś w przypadku węgla było to między 0,65% a 5,57%. Gospodarstwa typu 211 charakteryzowały się także najniższym udziałem zużycia energii elektrycznej w strukturze zużycia energii w badanym okresie – było to 5,80%, przy średnim udziale w pozostałych typach na poziomie 17%. Największym udziałem zużycia energii elektrycznej w strukturze cechowały się gospodarstwa typu 51 (22,25%).



Rysunek 67. Struktura zużycia energii (%) – Grupa A

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Największe ilości energii w grupie B w latach 2016-2020 zużywały gospodarstwa typu 211. Średnie zużycie energii w tych gospodarstwach w badanym okresie wyniosło 1589,1 GJ. Gospodarstwa typu 36 cechowały się natomiast najmniejszym średnim zużyciem energii w badanym okresie (189 GJ).

Podobnie jak w przypadku grupa A, nośnikami energii, używanymi w największych ilościach, były olej napędowy, węgiel oraz energia elektryczna. Średnie roczne zużycie oleju napędowego w latach 2016-2020 w grupie B wyniosło 207,3 GJ (było zatem blisko 4-krotnie wyższe niż w grupie A). Największym zużyciem oleju napędowego cechowały się gospodarstwa typu 211 (354,8 GJ), natomiast najmniejszym gospodarstwa typu 51 (133,1 GJ). Średnie zużycie węgla, drugiego co do wielkości zużywanego nośnika energii, wyniosło w badanym okresie 156,4 GJ (ponad 4-krotnie więcej niż w grupie A), do czego przyczyniło się duże zużycie tego nośnika

energii w trzech typach gospodarstw, w szczególności wśród gospodarstw typu 211 (średnie zużycie na poziomie 1081,2 GJ). Średnie zużycie energii elektrycznej w badanych gospodarstwach wyniosło 45,4 GJ, zaś gospodarstwa typu 211 były ponownie tymi, w których zużycie było największe (134,5 GJ).

Gospodarstwa typu 211 były odpowiedzialne w badanym okresie za 98,8% całkowitego zużycia węgla, 71,8% całkowitego zużycia benzyny, 42,3% całkowitego zużycia energii elektrycznej oraz 24,4% całkowitego zużycia oleju napędowego w grupie B. Gospodarstwa typu 151 dominowały natomiast w zużyciu gazu opałowego (100% całkowitego zużycia – jedyny typ gospodarstw który korzystał z tego nośnika energii w badanym okresie) oraz zużyciu oleju opałowego (77% całkowitego zużycia).

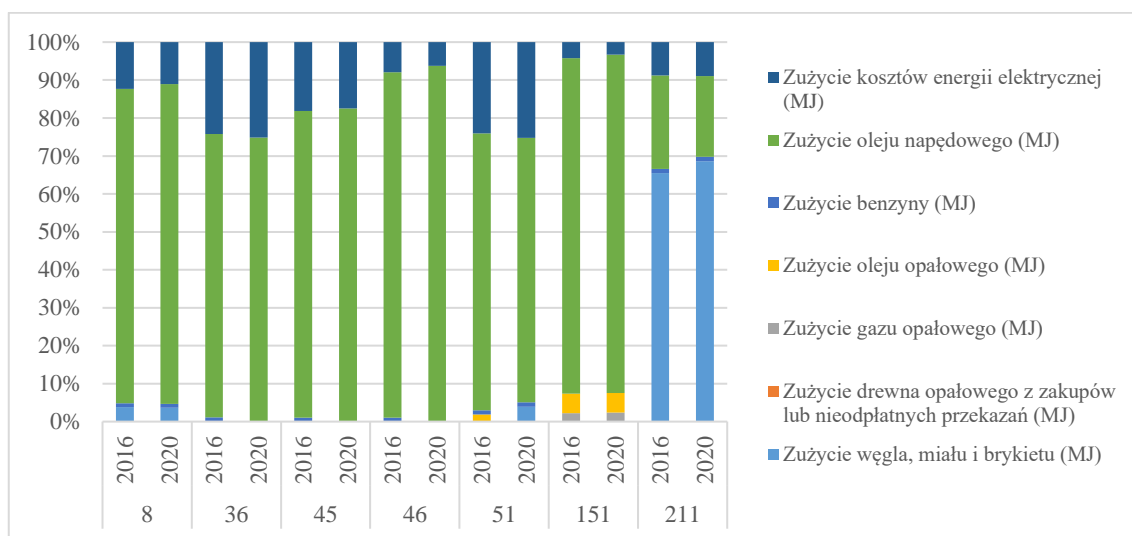
W przypadku większości poszczególnych nośników w grupie B, ilość zużywanej energii w 2020 roku w porównaniu z 2016 rokiem była wyższa. Zużycie węgla wzrosło o 30%, energii elektrycznej o 9%, gazu opałowego o 8%, zaś oleju napędowego 5%. Spadek zużycia odnotowano w przypadku oleju opałowego (spadek o 12%) oraz benzyny (spadek o 5%).

Struktura zużycia energii w grupie B w badanym okresie kształtowała się następująco (%):

- olej napędowy – 49,86,
- węgiel, miął i brykiet – 37,33,
- energia elektryczna – 10,93,
- benzyna – 0,76,
- olej opałowy – 0,70,
- gaz opałowy – 0,29,
- drewno opałowe – 0,12.

Podobnie jak w przypadku grupy A, struktury zużycia dla poszczególnych typów produkcji były zróżnicowane (rysunek 68). W strukturze zużycia energii przez gospodarstwa typu 211 dominował węgiel (68,04%), na drugim miejscu znalazł się olej napędowy (22,32%), na trzecim zaś energia elektryczna (8,47%). Struktura ta różniła się od struktury w pozostałych typach gospodarstw, dla których głównym nośnikiem energii był olej napędowy. Udział zużycia oleju napędowego w strukturze zużycia energii dla pozostałych gospodarstw wyniósł między 70,20% (typ 51) a 89,58% (typ 46). Drugim najczęściej zużywanym nośnikiem energii w tych gospodarstwach była energia

elektryczna. Najwyższym udziałem tego nośnika energii w strukturze zużycia energii charakteryzowały się gospodarstwa typu 36 (24,86%), najmniejszym z kolei gospodarstwa typu 151 (3,87%).



Rysunek 68. Struktura zużycia energii (%) – Grupa B

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Dynamika zużycia nośników energii w grupie A w badanym okresie była bardzo zróżnicowana (tabela 44). W przypadku nośników energii o największym udziale w strukturze (węgiel, olej napędowy oraz energia elektryczna) zużycie, za wyjątkiem 2018 roku, corocznie spadało. Największy ilościowy roczny spadek odnotowano w przypadku węgla, mialu i brykietu w 2019 roku i wyniósł on ponad 36%. Był to także rok, w którym w większości nośników energii odnotowano znaczne spadki zużycia (największy, na poziomie 41%, dotyczył drewna opałowego). Wyjątkiem był jedynie gaz opałowy, którego zużycie od 2018 roku stopniowo rosło. Najmniej stabilnym nośnikiem energii pod względem zużycia był olej opałowy, z kolei o największej stabilności można mówić w przypadku energii elektrycznej.

Tabela 44. Dynamika zużycia nośników energii w latach 2016-2020 – Grupa A (rok poprzedni=100)

Nośnik energii	2016	2017	2018	2019	2020
Węgiel, mial i brykiet	100	81	103	64	86
Drewno opałowe z zakupów lub nieodpłatnych przekazania	100	183	66	59	214
Gaz opałowy	100	83	147	108	112
Olej opałowy	100	302	27	74	109
Benzyna	100	82	119	89	86
Olej napędowy	100	93	103	98	105
Energia elektryczna	100	93	103	97	96

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Zróznicowana dynamika zużycia nośników energii wystąpiła także w przypadku grupy B, jednak różnice te były mniejsze (tabela 45). Podobnie jak w przypadku grupy mniejszych gospodarstw, spadki zużycia dla większości nośników energii wystąpiły w 2019 roku. W tym wypadku wyjątkiem była benzyna, której zużycie rok do roku wzrosło o 43% (co było częściowo spowodowane dużym, bo wynoszącym 53% spadkiem zużycia w roku poprzednim). Rozróżnienie między grupą B a grupą A wystąpiło także w przypadku zużycia nośników o największym udziale. Trend dla gospodarstw w grupie B był rosnący, zaś największe roczne wzrosty zużycia wystąpiły w 2017 i 2020 roku (dotyczyły one w szczególności węgla, którego zużycie wzrosło w tych latach odpowiednio o 41% i 31% w stosunku do lat poprzedzających). Energia elektryczna była ponownie najbardziej stabilnym nośnikiem pod względem zużycia, zaś największe wahania wystąpiły w przypadku benzyny.

Tabela 45. Dynamika zużycia nośników energii w latach 2016-2020 – Grupa B (rok poprzedni=100)

Nośnik energii	2016	2017	2018	2019	2020
Węgiel, miał i brykiet	100	141	87	81	131
Gaz opałowy	100	108	106	95	99
Olej opałowy	100	98	132	53	128
Benzyna	100	107	47	143	133
Olej napędowy	100	106	95	96	108
Energia elektryczna	100	101	104	99	105

Zródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

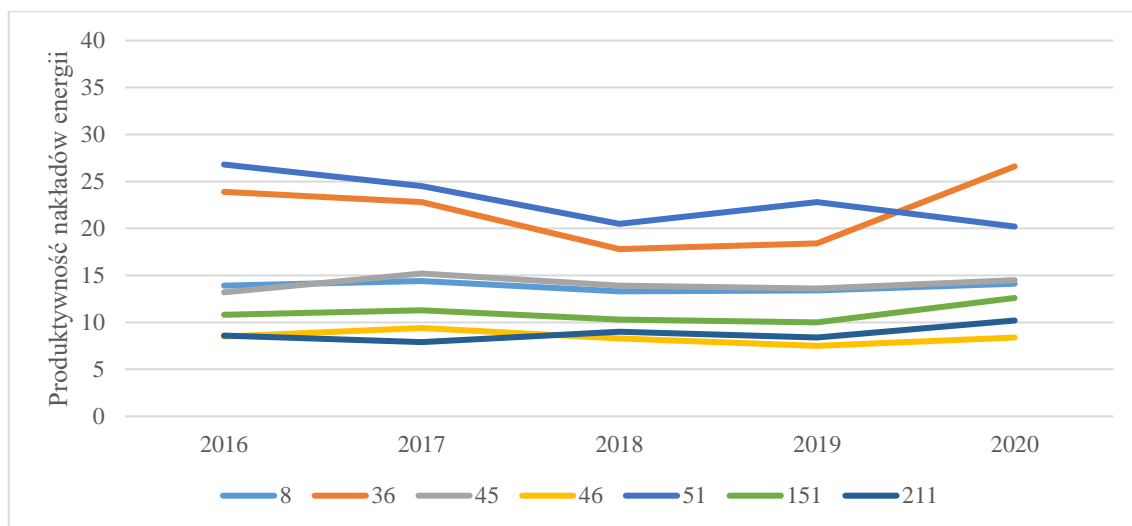
5.3. Produktywność nakładów energii w gospodarstwach o zróżnicowanym kierunku produkcji i jej współzmiennność z wynikami ekonomicznymi badanych gospodarstw rolnych

Produktywność nakładów energii w badanych gospodarstwach mierzona była jako stosunek wartości produkcji ogółem (liczonej w złotych) do kosztów energii (liczonych w złotych). Średnia produktywność nakładów energii w grupie A wyniosła 14,43 (rysunek 69). Oznacza to, że z 1 złotówki przeznaczonej na energię wytworzono 14,43 złotych produkcji w badanych gospodarstwach. Wśród tej grupy gospodarstw pod względem produktywności nakładów energii wyróżniały gospodarstwa typów 51 oraz 36, dla których wskaźnik ten wyniósł odpowiednio 22,96 oraz 21,9. Gospodarstwa charakteryzujące się najwyższą i najniższą produktywnością nakładów energii były tymi, które jako jedyne odnotowały spadek produktywności w badanym okresie. Spadek ten

wyniósł 24,6% dla gospodarstw typu 51 oraz 1,2% dla gospodarstw typu 46. Największy wzrost wskaźnika odnotowano dla gospodarstw typu 211 (18,6%).

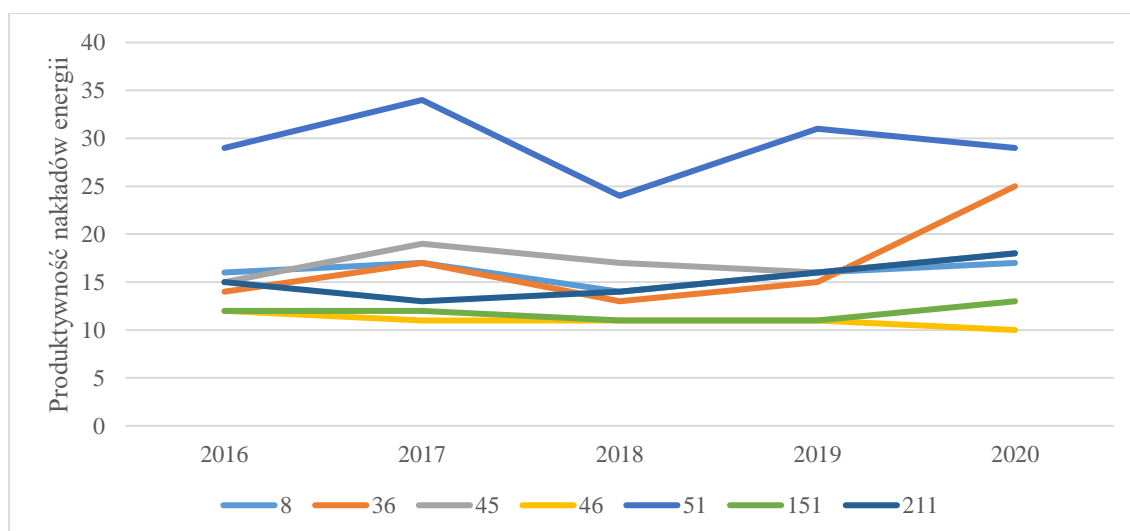
Średnia produktywność nakładów energii w grupie B wyniosła w badanym okresie 16,74, była zatem wyższa o 16% w porównaniu z grupą A (rysunek 70). Liderem pod względem produktywności nakładów energii w tej grupie gospodarstw były gospodarstwa typu 51, których wskaźnik wyniósł w badanym okresie średnio 29,4. Był on ponad 2-krotnie wyższy niż w przypadku średniej dla pozostałych typów gospodarstw, która wyniosła 14,63. Najniższą produktywnością cechowały się gospodarstwa typu 46 (wskaźnik wynoszący 11), które jako jedyne odnotowały spadek produktywności (spadek o 16,7%). Najwyższym wzrostem (o 78,6%) charakteryzowały się gospodarstwa typu 36.

Gospodarstwa typu 36 były jedynymi, dla których produktywność nakładów energii w grupie A była wyższa niż w grupie B. Różnica ta wyniosła 23,3%. Ogółem, średnia różnica na korzyść grupy B wyniosła w badanym okresie 21,6%. Największe dysproporcje, wynoszące 72,3%, odnotowano w gospodarstwach typu 211.



Rysunek 69. Produktywność nakładów energii – Grupa A

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN



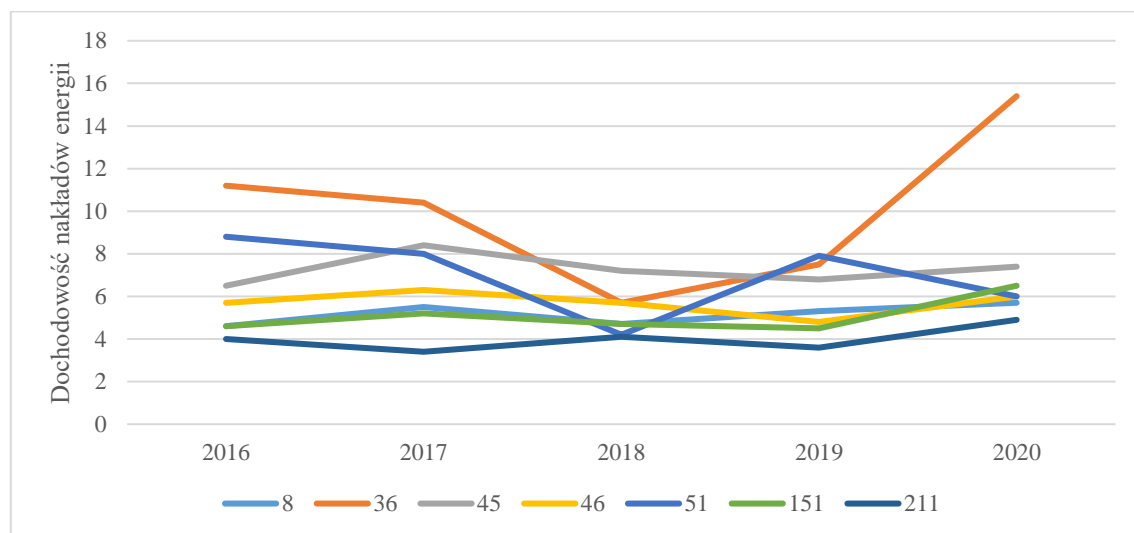
Rysunek 70. Produktywność nakładów energii – Grupa B

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Uzupełnieniem badań nad produktywnością nakładów energii była analiza dochodowości nakładów energii. Średnia dochodowość nakładów energii w grupie A, mierzona stosunkiem dochodów z rodzinnego gospodarstwa rolnego w złotych do kosztów energii w złotych wyniosła w badanym okresie 6,32 (rysunek 71). Oznacza to, że badane gospodarstwa z 1 złotówki przeznaczonej na energię były w stanie uzyskać 6,32 złote dochodu. Najwyższą dochodowością nakładów energii w tej grupie gospodarstw charakteryzowały się gospodarstwa typu 36 – wskaźnik ten wyniósł 10,04. Było to wynikiem przede wszystkim skokowego wzrostu dochodowości, do poziomu 15,4, w 2020 roku. Najniższą dochodowością cechowały się natomiast gospodarstwa typu 211 (wskaźnik wynoszący 4). Jedynym typem gospodarstw, dla których dochodowość nakładów energii w badanym okresie spadła, były gospodarstwa typu 51. W ich przypadku wskaźnik zmniejszył się o 31,8% (czyli o 2,8).

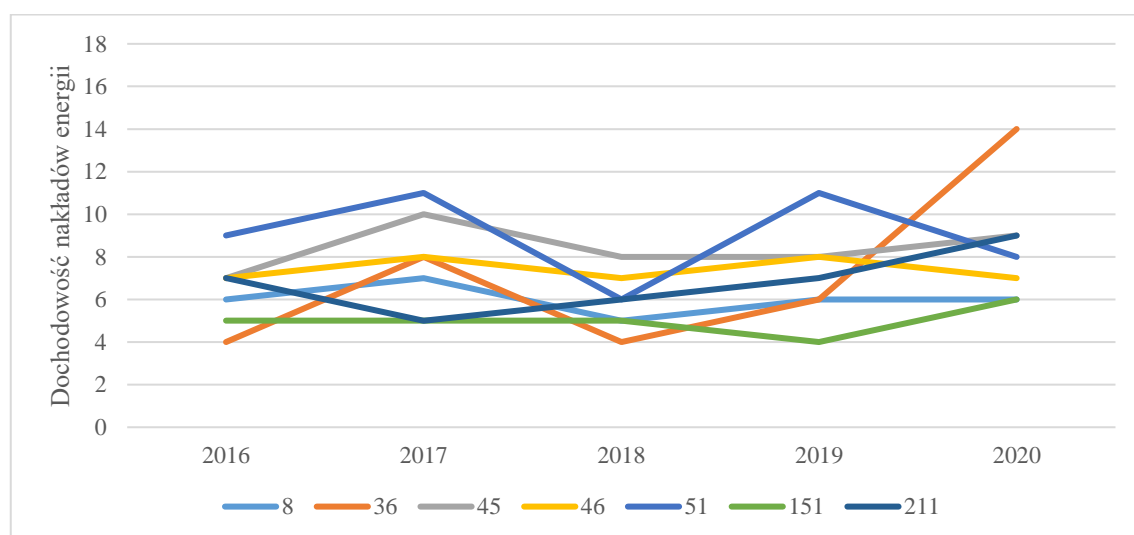
Dla grupy B średnia dochodowość nakładów energii wyniosła w badanym okresie 7,11 (rysunek 72). Była zatem wyższa o 12,5% niż w przypadku grupy A. Gospodarstwa typu 51 miały najwyższą, wynoszącą 9, średnią dochodowość nakładów energii. Był to także jedyny typ gospodarstw w tej grupie, który zanotował spadek dochodowości w badanym okresie. Liderem pod względem dochodowości w 2020 roku, podobnie jak w przypadku grupy A, były gospodarstwa typu 36 (wskaźnik na poziomie 14). Ponadto, były to gospodarstwa, które zaliczyły największy, bo 2,5-krotny wzrost wspomnianego wskaźnika w badanym okresie.

Za wyjątkiem dwóch typów gospodarstw, dochodowość nakładów energii była wyższa w grupie B niż w grupie A. Największa dysproporcja na korzyść grupy B wystąpiła w gospodarstwach typu 211 (70%). Średnia różnica na korzyść grupy B wyniosła w badanym okresie 18,6%. Wspomnianymi wcześniej wyjątkami były gospodarstwa typów 36 oraz 151. Różnica w dochodowości nakładów energii w tych gospodarstwach na korzyść grupy A wyniosła odpowiednio 28,3% oraz 2%.



Rysunek 71. Dochodowość nakładów energii – Grupa A

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN



Rysunek 72. Dochodowość nakładów energii – Grupa B

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Charakteryzując produktywność nakładów energii warto zwrócić uwagę na ich relacje z dochodem z rodzinnego gospodarstwa rolnego (tabela 46). Współczynnik korelacji dla wszystkich analizowanych gospodarstw rolnych $r_{ogółem}=0,151186$

potwierdził dodatnią zależność między zmiennymi, zatem można stwierdzić, że im wyższa produktywność nakładów energii, tym wyższy dochód z rodzinnego gospodarstwa rolnego. Najsilniejsze dodatnie zależności wystąpiły wśród gospodarstw typów 45 ($r_{45}=0,405537$) oraz 46 ($r_{46}=0,275196$). Ujemna korelacja wystąpiła w przypadku typu 211 ($r_{211}=-0,01879$).

Tabela 46. Korelacje między produktywnością nakładów energii a dochodem z rodzinnego gospodarstwa rolnego dla wszystkich analizowanych gospodarstw rolnych oraz dla poszczególnych typów rolniczych

Ogółem	151	211	36	45	46	51	8
0,151186	0,114781	-0,01879	0,12896	0,405537	0,275196	0,166082	0,181411

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Dodatnią korelacją cechowały się zależności między produktywnością nakładów energii a dochodem z rodzinnego gospodarstwa rolnego w przeliczeniu na hektar użytków rolnych (tabela 47). Korelacja obliczona dla wszystkich badanych gospodarstw była słabsza niż we wcześniejszym przypadku ($r_{ogółem}=0,04465$), jednak zależności w poszczególnych typach gospodarstw były silniejsze. Najsilniejszymi dodatnimi zależnościami cechowały się ponownie gospodarstwa typów 45 ($r_{45}=0,538529$) oraz 46 ($r_{46}=0,625429$), ale także gospodarstwa typu 8 ($r_8=0,467067$). Analizując przedstawione zależności można stwierdzić, że produktywność nakładów energii jest dodatnio skorelowana z efektywnością ekonomiczną gospodarstw rolnych, przedstawiającą się w dochodzie z rodzinnego gospodarstwa rolnego.

Tabela 47. Korelacje między produktywnością nakładów energii a dochodem z rodzinnego gospodarstwa rolnego na hektar użytków rolnych dla wszystkich analizowanych gospodarstw rolnych oraz dla poszczególnych typów rolniczych

Ogółem	151	211	36	45	46	51	8
0,04465	0,204416	-0,2594	0,183267	0,538529	0,625429	0,306116	0,467067

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Współczynnik korelacji między produktywnością nakładów energii a technicznym uzbrojeniem ziemi dla wszystkich typów gospodarstw wyniósł $r_{ogółem}=0,038533$ (tabela 48). Można zatem stwierdzić, że wraz z poprawą technicznego uzbrojenia ziemi, produktywność nakładów energii w gospodarstwach rolnych zwiększa się. Najsilniejszymi dodatnimi zależnościami między przedstawionymi dwoma zmiennymi charakteryzowały się gospodarstwa typów 45 ($r_{45}=0,16898$) oraz

46 ($r_{46}=0,159217$). Ujemna korelacja wystąpiła w przypadku gospodarstw typu 211 ($r_{211}=-0,14489$) oraz typu 36 ($r_{36}=-0,07705$).

Tabela 48. Korelacje między produktywnością nakładów energii a technicznym uzbrojeniem ziemi dla wszystkich analizowanych gospodarstw rolnych oraz dla poszczególnych typów rolniczych

Ogółem	151	211	36	45	46	51	8
0,038533	0,013998	-0,14489	-0,07705	0,16898	0,159217	0,079463	0,060207

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

W odróżnieniu od przedstawionych wcześniej zależności, korelacje między produktywnością nakładów energii a powierzchnią użytków rolnych były zależnościami ujemnymi (tabela 49). Współczynnik korelacji dla wszystkich gospodarstw wyniósł $r_{ogółem}=-0,03581$, nie można zatem stwierdzić, że koncentracja produkcji, wyrażana wzrostem powierzchni użytków rolnych, umożliwia zwiększenie produktywności nakładów energii. Wśród badanych typów gospodarstw największą ujemną zależnością charakteryzowały się gospodarstwa typu 46 ($r_{46}=-0,15077$), z kolei największą dodatnią zależnością gospodarstwa typu 211 ($r_{211}=0,170073$).

Tabela 49. Korelacje między produktywnością nakładów energii a powierzchnią użytków rolnych dla wszystkich analizowanych gospodarstw rolnych oraz dla poszczególnych typów rolniczych

Ogółem	151	211	36	45	46	51	8
-0,03581	0,044528	0,170073	-0,00313	0,063708	-0,15077	-0,11467	0,011882

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

5.4. Wrażliwość dochodów badanych gospodarstw rolnych na zmiany cen bezpośrednich i pośrednich nośników energii – ujęcie symulacyjne

Głównym celem tej części badań było określenie wpływu wzrostu kosztów energii oraz związanych z nimi wzrostów kosztów nawozów sztucznych na dochody badanych gospodarstw rolnych. Za rok bazowy przyjęto 2020 rok, dla którego były dostępne najnowsze wyniki rachunkowości FADN. Przyjęto, że koszty energii w kosztach nawozów stanowiły 75%, jako że zużycie energii stanowi między 60% a 80% kosztów produkcji nawozów (SEA Energy, 2021; Fertilizers Europe, 2019; Hebebrand i Laborde, 2022). Wszystkie pozostałe czynniki ekonomiczno-produkcyjne pozostawały na niezmiennym poziomie. Reakcję gospodarstw na zmianę cen bezpośrednich i pośrednich nośników energii mierzono spadkiem dochodu

z rodzinnego gospodarstwa rolnego. Analizę przeprowadzono w oparciu o cztery warianty.

Wariant I

W wariantcie I oszacowano średni dochód z rodzinnego gospodarstwa rolnego w złotych, który został ukształtowany po wzroście cen energii o 10%.

Tabela 50. Koszty energii w badanych gospodarstwach – Wariant I

Typ gospodarstw	Grupa A			Grupa B		
	2020	Wariant I	Zmiana (%)	2020	Wariant I	Zmiana (%)
151	10 601,70 zł	11 564,60 zł	9,08	44 058,00 zł	48 240,00 zł	9,49
211	18 251,90 zł	19 911,70 zł	9,09	118 818,00 zł	129 479,00 zł	8,97
36	8 980,00 zł	9 556,50 zł	6,42	24 862,00 zł	26 407,00 zł	6,21
45	9 426,00 zł	10 149,00 zł	7,67	29 090,00 zł	31 352,00 zł	7,78
46	7 970,50 zł	8 626,80 zł	8,23	25 520,00 zł	27 924,00 zł	9,42
51	7 144,90 zł	7 669,60 zł	7,34	26 583,00 zł	28 267,00 zł	6,33
8	7 864,80 zł	8 503,70 zł	8,12	25 884,00 zł	28 093,00 zł	8,53

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Średni wzrost kosztów energii grupie A wyniósł 8,00%, z kolei w przypadku grupy B zmiana ta wyniosła 8,11% (tabela 50). W obu badanych grupach najmniejszą zmianą charakteryzowały się gospodarstwa typu 36 (odpowiednio 6,42% i 6,21%). Największe wzrosty kosztów energii wystąpiły w gospodarstwach typu 211 z grupy A (9,09%) oraz gospodarstwach typu 151 z grupy B (9,49%).

Tabela 51. Obciążenie dochodów kosztami energii – Wariant I

Typ gospodarstw	Grupa A			Grupa B		
	2020	Wariant I	Zmiana (pp.)	2020	Wariant I	Zmiana (pp.)
151	18,64%	20,68%	2,04	17,89%	19,92%	2,03
211	47,87%	54,60%	6,73	83,29%	98,10%	14,81
36	12,67%	13,60%	0,92	9,98%	10,66%	0,69
45	15,84%	17,26%	1,42	13,23%	14,40%	1,18
46	21,05%	23,19%	2,14	18,78%	20,92%	2,14
51	16,61%	18,05%	1,44	15,71%	16,88%	1,16
8	21,77%	23,92%	2,15	17,99%	19,82%	1,84

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Obciążenie dochodów kosztami energii wzrosło średnio o 2,41 pp. w grupie A oraz o 3,41 pp. w grupie B (tabela 51). Największy wpływ energii na dochody w wariantcie I wystąpił w gospodarstwach typu 211 (obciążenie wynoszące odpowiednio 54,6% i 98,1%). Gospodarstwa te odnotowały także największe zmiany obciążenia, wynoszące 6,73 pp. w grupie A oraz 14,81 pp. grupie B. Odwrotna sytuacja charakteryzowała gospodarstwa typu 36, dla których średnie obciążenie dochodów

kosztami energii wyniosło 13,6% w przypadku grupy A oraz 10,66% w przypadku grupy B, zaś zmiana obciążenia, w stosunku do roku bazowego, wyniosła odpowiednio 0,92 pp. i 0,69 pp.

Tabela 52. Dochody z rodzinnego gospodarstwa rolnego – Wariant I

Typ gospodarstw	Grupa A			Grupa B		
	2020	Wariant I	Zmiana (%)	2020	Wariant I	Zmiana (%)
151	56 879,80 zł	55 916,90 zł	-1,69	246 216,00 zł	242 116,00 zł	-1,67
211	38 126,50 zł	36 466,70 zł	-4,35	142 649,00 zł	131 988,00 zł	-7,47
36	70 861,00 zł	70 284,50 zł	-0,81	249 172,00 zł	247 627,00 zł	-0,62
45	59 511,30 zł	58 788,20 zł	-1,22	219 911,00 zł	217 659,00 zł	-1,02
46	37 856,30 zł	37 200,00 zł	-1,73	135 876,00 zł	133 472,00 zł	-1,77
51	43 018,00 zł	42 493,30 zł	-1,22	169 164,00 zł	167 480,00 zł	-1,00
8	36 128,50 zł	35 550,20 zł	-1,60	143 913,00 zł	141 705,00 zł	-1,53

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Średni dochód z rodzinnego gospodarstwa rolnego w grupie A wyniósł w wariantcie I 48 100 złotych i był mniejszy w porównaniu z rokiem bazowym o 1,66%. Dla grupy B średnia ta wyniosła 183 150 złotych i była mniejsza o 1,9% w porównaniu z 2020 rokiem (tabela 52). Pomimo wyższej średniej dla wszystkich typów gospodarstw, aż w pięciu z siedmiu typów zmiany dochodów były większe w grupie A. Wyjątkami były gospodarstwa typów 46 oraz 211. Obciążenie kosztami energii przełożyło się bezpośrednio na wysokość dochodów z rodzinnego gospodarstwa rolnego. Gospodarstwa, których obciążenie dochodów kosztami energii było najniższe odnotowały także najmniejsze zmiany dochodów w obu grupach gospodarstw (spadek odpowiednio o 0,81% i 0,62%). Z kolei dochody gospodarstw, których obciążenie dochodów kosztami energii było największe, zmniejszyły się w największym stopniu (odpowiednio o 4,35% i 7,47%).

Wariant II

W wariantcie II przyjęto, że ceny energii wzrosły o 30%.

Tabela 53. Koszty energii w badanych gospodarstwach – Wariant II

Typ gospodarstw	Grupa A			Grupa B		
	2020	Wariant II	Zmiana (%)	2020	Wariant II	Zmiana (%)
151	10 601,70 zł	13 490,20 zł	27,25	44 058,00 zł	56 605,00 zł	28,48
211	18 251,90 zł	23 231,40 zł	27,28	118 818,00 zł	150 802,00 zł	26,92
36	8 980,00 zł	10 709,50 zł	19,26	24 862,00 zł	29 498,00 zł	18,65
45	9 426,00 zł	11 595,10 zł	23,01	29 090,00 zł	35 877,00 zł	23,33
46	7 970,50 zł	9 939,40 zł	24,70	25 520,00 zł	32 734,00 zł	28,27
51	7 144,90 zł	8 719,10 zł	22,03	26 583,00 zł	31 635,00 zł	19,00
8	7 864,80 zł	9 781,40 zł	24,37	25 884,00 zł	32 509,00 zł	25,59

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Średni wzrost kosztów energii w grupie A wyniósł 23,99%, z kolei w grupie B zmiana ta wyniosła 24,32% (tabela 53). W obu badanych grupach najmniejszą zmianą charakteryzowały się gospodarstwa typu 36 (odpowiednio 19,26% i 18,65%). Największe wzrosty kosztów energii wystąpiły w gospodarstwach typu 211 w grupie A (27,28%) oraz w gospodarstwach typu 151 w grupie B (28,48%).

Tabela 54. Obciążenie dochodów kosztami energii – Wariant II

Typ gospodarstw	Grupa A			Grupa B		
	2020	Wariant II	Zmiana (pp.)	2020	Wariant II	Zmiana (pp.)
151	18,64%	24,99%	6,35	17,89%	24,22%	6,32
211	47,87%	70,09%	22,21	83,29%	136,27%	52,97
36	12,67%	15,49%	2,82	9,98%	12,06%	2,08
45	15,84%	20,22%	4,38	13,23%	16,83%	3,60
46	21,05%	27,70%	6,64	18,78%	25,44%	6,66
51	16,61%	21,04%	4,43	15,71%	19,28%	3,56
8	21,77%	28,54%	6,77	17,99%	23,68%	5,69

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Obciążenie dochodów kosztami energii wzrosło średnio o 7,66 pp. w grupie A oraz o 11,56 pp. w grupie B (tabela 54). Największe obciążenie dochodów kosztami energii w wariantcie II wystąpiło dla gospodarstw typu 211. Wyniosło ono 70,09% w grupie A oraz 136,27% w grupie B. Zatem wzrost kosztów energii w ostatniej wymienionej grupie gospodarstw spowodowałby znaczny deficyt. Podobnie jak w przypadku wariantu I, gospodarstwa typu 211 charakteryzowały się największymi zmianami obciążenia w stosunku do roku bazowego. Zmiany te wyniosły 22,21 pp. w grupie A oraz 52,97 pp. w grupie B. Gospodarstwa typu 36 cechowały się najniższym obciążeniem dochodów kosztami energii oraz najmniejszymi zmianami tego

wskaźnika. W grupie A wyniósł on w wariantcie II 15,49% (zmiana o 2,82 pp. względem roku bazowego), zaś w grupie B 12,06% (zmiana o 2,08 pp.). Niemal we wszystkich typach rolniczych badanych gospodarstw większym obciążeniem dochodów kosztami energii charakteryzowały się gospodarstwa z grupy A. Wyjątkiem były gospodarstwa typu 211. Dla tych gospodarstw obciążenie dochodów w grupie B było o 66,18 pp. większe niż w przypadku grupy A. W pozostałych sześciu typach produkcyjnych średnia dysproporcja na korzyść mniejszych gospodarstw wyniosła 2,74 pp.

Tabela 55. Dochody z rodzinnego gospodarstwa rolnego – Wariant II

Typ gospodarstw	Grupa A			Grupa B		
	2020	Wariant II	Zmiana (%)	2020	Wariant II	Zmiana (%)
151	56 879,80 zł	53 991,30 zł	-5,08	246 216,00 zł	233 751,00 zł	-5,06
211	38 126,50 zł	33 147,00 zł	-13,06	142 649,00 zł	110 666,00 zł	-22,42
36	70 861,00 zł	69 131,40 zł	-2,44	249 172,00 zł	244 536,00 zł	-1,86
45	59 511,30 zł	57 342,10 zł	-3,65	219 911,00 zł	213 134,00 zł	-3,08
46	37 856,30 zł	35 887,40 zł	-5,20	135 876,00 zł	128 662,00 zł	-5,31
51	43 018,00 zł	41 443,80 zł	-3,66	169 164,00 zł	164 112,00 zł	-2,99
8	36 128,50 zł	34 272,40 zł	-5,14	143 913,00 zł	137 288,00 zł	-4,60

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

W wariantcie II średni dochód w grupie A wyniósł 46 459 złotych i był mniejszy o 5,01% w porównaniu z rokiem bazowym. Średnia dla grupy B wyniosła 176 021 złotych i była mniejsza o 5,72% (tabela 55). Największy spadek dochodów odnotowano w gospodarstwach typu 211. Wyniósł on odpowiednio 13,06% w grupie A oraz 22,42% w grupie B. Najmniejsze spadki dochodów zanotowały gospodarstwa, których dochody były zarazem największe i były to gospodarstwa typu 36. Spadek dochodów w tym typie gospodarstw, w zależności od wielkości gospodarstw, wyniósł odpowiednio 2,44% oraz 1,86%.

Podobnie jak w wariantcie I, te same dwa typy gospodarstw charakteryzowały się w wariantcie II wyższymi spadkami dochodów w grupie B niż w grupie A. Dla gospodarstw typu 211 różnica ta wyniosła 9,36 pp., natomiast dla gospodarstw typu 46 było to 0,11 pp.. W pozostałych typach gospodarstw, dla których spadki dochodów były większe w grupie A niż w grupie B, największą różnicę odnotowano dla gospodarstw typu 51 (0,67 pp.).

Wariant III

W wariantcie III przyjęto, że ceny energii wzrosły o 10%, natomiast koszty nawozów wzrosły o 7,5%. Koszty energii w badanych gospodarstwach w wariantcie III kształtują się tak, jak zostało to przedstawione w tabeli 50.

Tabela 56. Koszty nawozów w badanych gospodarstwach – Wariant III

Typ gospodarstw	Grupa A			Grupa B		
	2020	Wariant III	Zmiana (%)	2020	Wariant III	Zmiana (%)
151	22 007,40 zł	23 564,00 zł	7,07	103 369,00 zł	110 674,00 zł	7,07
211	5 504,30 zł	5 881,90 zł	6,86	30 612,00 zł	32 741,00 zł	6,95
36	6 370,90 zł	6 772,70 zł	6,31	25 418,00 zł	26 801,00 zł	5,44
45	8 682,90 zł	9 295,90 zł	7,06	28 785,00 zł	30 813,00 zł	7,05
46	5 162,60 zł	5 511,20 zł	6,75	9 533,00 zł	10 207,00 zł	7,07
51	6 501,90 zł	6 976,00 zł	7,29	26 201,00 zł	27 998,00 zł	6,86
8	9 516,70 zł	10 190,70 zł	7,08	40 955,00 zł	43 866,00 zł	7,11

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Średni koszt nawozów w grupie A wyniósł w wariantcie III 9 741,77 złotych. W grupie B średnia ta wyniosła 40 442,86 złotych (tabela 56). Wielkości te były większe odpowiednio o 6,92% i 6,79% w porównaniu z rokiem bazowym. Największymi kosztami nawozów charakteryzowały się w obu grupach gospodarstwa typu 151 (odpowiednio 23 564 złote i 110 674 złote), jednak gospodarstwa tego typu nie odnotowały największego wzrostu kosztów nawozów w wariantcie III w badanych typach gospodarstw. Większym wzrostem kosztów nawozów cechowały się gospodarstwa typów 8 (7,08%) i 51 (7,29%) w grupie A oraz gospodarstwa typu 8 (7,11%) w grupie B.

Tabela 57. Obciążenie dochodów kosztami energii – Wariant III

Typ gospodarstw	Grupa A			Grupa B		
	2020	Wariant III	Zmiana (pp.)	2020	Wariant III	Zmiana (pp.)
151	18,64%	21,27%	2,64	17,89%	20,54%	2,65
211	47,87%	55,17%	7,30	83,29%	99,71%	16,41
36	12,67%	13,68%	1,00	9,98%	10,72%	0,75
45	15,84%	17,45%	1,61	13,23%	14,54%	1,31
46	21,05%	23,41%	2,36	18,78%	21,03%	2,25
51	16,61%	18,25%	1,64	15,71%	17,06%	1,35
8	21,77%	24,38%	2,61	17,99%	20,24%	2,25

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

W związku ze zmniejszeniem dochodów, które wynikało ze wzrostu kosztów nawozów, zmieniło się także obciążenie dochodów kosztami energii (tabela 57). Średnie obciążenie dochodów kosztami energii w grupie A wyniosło w wariantcie III 24,8%. W grupie B średnia ta wyniosła 29,12%. Podobnie jak w przypadku I i II wariantu, największe obciążenie dochodów kosztami energii w wariantcie III wystąpiło dla gospodarstw typu 211. Wyniosło ono 55,17% w grupie A oraz 99,71% w grupie B. Gospodarstwa te charakteryzowały się także największymi zmianami obciążenia w stosunku do roku bazowego. W grupie A zmiana wyniosła 7,3 pp., natomiast

w grupie B 16,41 pp. Gospodarstwa typu 36 cechowały się najniższym obciążeniem dochodów kosztami energii oraz najmniejszymi zmianami tego wskaźnika. Dla tego typu wyniósł on w wariantcie III w grupie A 13,68% (zmiana o 1,0 pp. względem roku bazowego), zaś w grupie B 10,72% (zmiana o 0,75 pp.). Gospodarstwa typu 211 jako jedyne charakteryzowały się większym obciążeniem dochodów kosztami energii w grupie B w porównaniu z grupą A. Różnica ta w wariantcie III wyniosła 44,53 pp. W pozostałych typach gospodarstw, dla których obciążenie dochodów było większe w grupie A, średnia różnica wyniosła 2,38 pp.

Ponadto, wystąpiły niewielkie, związane ze wzrostem kosztów nawozów, różnice w obciążeniu dochodów kosztami energii między wariantem I a wariantem III. Obciążenie to w grupie A wzrosło średnio w wariantcie III o 0,33 pp. Największy wzrost odnotowano w przypadku gospodarstw typu 151 (0,59 pp.), natomiast najmniejszy w przypadku gospodarstw typu 36 (0,08 pp.). W grupie B średni wzrost obciążenia dochodów w wariantcie III wyniósł 0,45 pp, największy w przypadku gospodarstw typu 211 (1,61 pp.), najmniejszy w przypadku gospodarstw typu 36 (0,06 pp.).

Tabela 58. Dochody z rodzinnego gospodarstwa rolnego – Wariant III

Typ gospodarstw	Grupa A			Grupa B		
	2020	Wariant III	Zmiana (%)	2020	Wariant III	Zmiana (%)
151	56 879,80 zł	54 360,30 zł	-4,43	246 216,00 zł	234 811,00 zł	-4,63
211	38 126,50 zł	36 089,10 zł	-5,34	142 649,00 zł	129 859,00 zł	-8,97
36	70 861,00 zł	69 882,70 zł	-1,38	249 172,00 zł	246 244,00 zł	-1,18
45	59 511,30 zł	58 175,20 zł	-2,25	219 911,00 zł	215 630,00 zł	-1,95
46	37 856,30 zł	36 851,30 zł	-2,65	135 876,00 zł	132 797,00 zł	-2,27
51	43 018,00 zł	42 019,20 zł	-2,32	169 164,00 zł	165 683,00 zł	-2,06
8	36 128,50 zł	34 876,20 zł	-3,47	143 913,00 zł	138 794,00 zł	-3,56

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

W wariantcie III średni dochód w grupie A wyniósł 47 465 złotych i był mniejszy o 2,96% w porównaniu z rokiem bazowym. Średnia dla grupy B wyniosła 180 545 złotych i była mniejsza o 3,3% (tabela 58). Najbardziej wrażliwe w wariantcie III na zmiany kosztów energii i nawozów były gospodarstwa typu 211, które odnotowały spadek dochodów na poziomie 5,34% w grupie A oraz 8,97% w grupie B. Najmniej wrażliwe były z kolei gospodarstwa typu 36, dla których spadki dochodów wyniosły odpowiednio 1,38% i 1,18%. W trzech z siedmiu typach gospodarstw spadki dochodów były większe w grupie B niż w grupie A. Były to gospodarstwa, za wyjątkiem gospodarstw typu 46, których obciążenie dochodów kosztami energii było najwyższe, a więc gospodarstwa typów 211 (różnica wynosząca 3,62 pp.), 151 (0,2 pp.) oraz

8 (0,09 pp.). W pozostałych typach gospodarstw, dla których spadki dochodów były większe w grupie B, wyróżniały się gospodarstwa typu 51 (różnica wynosząca 0,3 pp.).

Spadki dochodów dla poszczególnych typów produkcji rolnej w grupie A w wariantcie III były wyższe średnio o 1,32 pp. Największą różnicę odnotowano dla gospodarstw typu 151 (2,74 pp.), najmniejszą dla gospodarstw typu 36 (0,57 pp.). W wariantcie III spadki w grupie B były wyższe średnio o 1,36 pp. Gospodarstwa typu 151 charakteryzowały się największą różnicą (2,97 pp.), najmniejsza różnica dotyczyła natomiast gospodarstw typu 46 (0,5 pp.).

Wariant IV

W wariantcie IV przyjęto, że ceny energii wzrosły o 30%, natomiast koszty nawozów wzrosły o 22,5%. Koszty energii w badanych gospodarstwach w wariantcie IV kształtują się tak, jak zostało to przedstawione w tabeli 53.

Tabela 59. Koszty nawozów w badanych gospodarstwach – Wariant IV

Typ gospodarstw	Grupa A			Grupa B		
	2020	Wariant IV	Zmiana (%)	2020	Wariant IV	Zmiana (%)
151	22 007,40 zł	26 677,20 zł	21,22	103 369,00 zł	125 283,00 zł	21,20
211	5 504,30 zł	6 637,00 zł	20,58	30 612,00 zł	36 999,00 zł	20,86
36	6 370,90 zł	7 576,20 zł	18,92	25 418,00 zł	29 567,00 zł	16,32
45	8 682,90 zł	10 522,10 zł	21,18	28 785,00 zł	34 870,00 zł	21,14
46	5 162,60 zł	6 208,60 zł	20,26	9 533,00 zł	11 556,00 zł	21,22
51	6 501,90 zł	7 924,20 zł	21,88	26 201,00 zł	31 591,00 zł	20,57
8	9 516,70 zł	11 538,60 zł	21,25	40 955,00 zł	49 687,00 zł	21,32

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

W wariantcie IV średni koszt nawozów w grupie A wyniósł 11 011,99 złotych. Średnia ta w grupie B wyniosła 45 650,43 złotych (tabela 59). W porównaniu z rokiem bazowym wielkości te były większe odpowiednio o 20,75% i 20,38%. Zarówno w grupie A, jak i w grupie B największymi kosztami nawozów charakteryzowały się gospodarstwa typu 151 (odpowiednio 26 677 złotych i 125 283 złote), jednak, podobnie jak w wariantcie III, nie były to gospodarstwa, których koszty nawozów w wariantcie IV wzrosły w największym stopniu. W wariantcie IV większym wzrostem kosztów nawozów w grupie A cechowały się gospodarstwa typów 8 (21,25%) oraz 51 (21,88%), natomiast w grupie B były to gospodarstwa typów 8 (21,32%) oraz 46 (21,22%).

Tabela 60. Obciążenie dochodów kosztami energii – Wariant IV

Typ gospodarstw	Grupa A			Grupa B		
	2020	Wariant VI	Zmiana (pp.)	2020	Wariant IV	Zmiana (pp.)
151	18,64%	27,35%	8,71	17,89%	26,72%	8,83
211	47,87%	72,57%	24,69	83,29%	144,62%	61,32
36	12,67%	15,77%	3,09	9,98%	12,27%	2,29
45	15,84%	20,89%	5,05	13,23%	17,33%	4,10
46	21,05%	28,53%	7,47	18,78%	25,85%	7,07
51	16,61%	21,79%	5,18	15,71%	19,93%	4,22
8	21,77%	30,33%	8,56	17,99%	25,29%	7,30

Zródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

W wariacie IV w grupie A średnie obciążenie dochodów kosztami energii wyniosło 31,03%, natomiast w grupie B było to 38,86% (tabela 60). Największe obciążenie dochodów kosztami energii w wariacie IV, podobnie jak we wcześniejszych wariantach, wystąpiło dla gospodarstw typu 211. W przypadku grupy A wyniosło ono 72,57%, zaś w przypadku grupy B 144,62%. Zmiany obciążenia dochodów w stosunku do roku bazowego w tym typie gospodarstw również były największe. Zmiana wyniosła 24,69 pp. w grupie A, z kolei 61,32 pp. w grupie B. Najniższym obciążeniem dochodów kosztami energii oraz najmniejszymi zmianami tego wskaźnika charakteryzowały się gospodarstwa typu 36. W wariacie IV obciążenie dochodów kosztami energii w tym typie gospodarstw wyniosło 15,77% w grupie A (zmiana o 3,09 pp. względem roku bazowego) oraz 12,27% w grupie B (zmiana o 2,29 pp.). Gospodarstwa typu 211, jako jedyne, charakteryzowały się większym obciążeniem dochodów kosztami energii w grupie B w porównaniu z grupą A. Różnica ta w wariacie IV wyniosła 44,53 pp. W pozostałych typach gospodarstw, dla których obciążenie dochodów było większe w grupie A, średnia różnica wyniosła 2,38 pp.

Wystąpiły także różnice w obciążeniu dochodów kosztami energii między wariantem II a wariantem IV. W grupie A w wariacie IV obciążenie dochodów wzrosło średnio o 1,31 pp. Największy wzrost odnotowano w przypadku gospodarstw typu 211 (2,48 pp.), natomiast najmniejszy w przypadku gospodarstw typu 36 (0,27 pp.). W przypadku grupy B średni wzrost obciążenia dochodów w wariacie IV wyniósł 2,03 pp. Gospodarstwa typu 211 cechowały się największym wzrostem (8,35 pp.), najmniejszym natomiast gospodarstwa typu 36 (0,21 pp.).

Tabela 61. Dochody z rodzinnego gospodarstwa rolnego – Wariant IV

Typ gospodarstw	Grupa A			Grupa B		
	2020	Wariant IV	Zmiana (%)	2020	Wariant IV	Zmiana (%)
151	56 879,80 zł	49 321,40 zł	-13,29	246 216,00 zł	211 838,00 zł	-13,96
211	38 126,50 zł	32 014,30 zł	-16,03	142 649,00 zł	104 278,00 zł	-26,90
36	70 861,00 zł	67 926,10 zł	-4,14	249 172,00 zł	240 387,00 zł	-3,53
45	59 511,30 zł	55 502,90 zł	-6,74	219 911,00 zł	207 048,00 zł	-5,85
46	37 856,30 zł	34 841,40 zł	-7,96	135 876,00 zł	126 639,00 zł	-6,80
51	43 018,00 zł	40 021,40 zł	-6,97	169 164,00 zł	158 722,00 zł	-6,17
8	36 128,50 zł	32 250,50 zł	-10,73	143 913,00 zł	128 556,00 zł	-10,67

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Średni dochód w wariantcie IV w grupie A wyniósł 44 554 złote i był mniejszy o 8,91% w porównaniu z rokiem bazowym. Średnia w grupie B wyniosła 168 210 złotych i była mniejsza o 9,9% (tabela 61). Gospodarstwa typu 211 były najbardziej wrażliwe na zmiany cen kosztów energii i nawozów. Najmniej wrażliwe były z kolei gospodarstwa typu 36. Dla pierwszego wspomnianego typu gospodarstw spadek dochodów w wariantcie IV w stosunku do roku bazowego wyniósł 16,03% w grupie A oraz 26,9% w grupie B. Dla gospodarstw typu 36 było to odpowiednio 4,14% i 3,53%.

Dwa typy gospodarstw charakteryzowały się wyższymi spadkami dochodów w grupie B niż w grupie A. W przypadku gospodarstw typu 211 różnica ta wyniosła 10,87 pp., natomiast w przypadku gospodarstw typu 151 było to 0,67 pp. Były to typy gospodarstw, które cechowały się najwyższym obciążeniem dochodów kosztami energii w badanych gospodarstwach. W typach gospodarstw, dla których spadki dochodów były większe w grupie A, największą różnicę odnotowano w przypadku gospodarstw typu 46 (1,16 pp.).

W porównaniu z wariantem II, spadki dochodów dla poszczególnych typów produkcji rolnej w wariantcie IV były wyższe średnio o 3,95 pp. w grupie A oraz o 4,08 pp. w grupie B. W grupie A największą różnicę zanotowano dla gospodarstw typu 151 (8,21 pp.), z kolei najmniejszą dla gospodarstw typu 36 (1,7 pp.). Także w grupie B to gospodarstwa typu 151 charakteryzowały się największą różnicą spadku dochodów (8,9 pp.) między wariantami. Najmniejsza różnica dotyczyła gospodarstw typu 46 (1,49 pp.).

Podsumowując powyższe analizy związane z wrażliwością dochodów badanych gospodarstw na zmiany cen bezpośrednich i pośrednich nośników energii można stwierdzić, że wzrost skali produkcji zmniejsza wrażliwość poziomu dochodów gospodarstw rolnych na wahania cen nośników energii. Wyjątkiem były te gospodarstwa,

które charakteryzowały się największymi obciążeniami dochodów kosztami energii we wszystkich czterech wariantach, czyli gospodarstwa typu 211.

5.5. Czynniki różnicujące produktywność nakładów energii

W pierwszym modelu wykorzystano dane odnoszące się do grupy gospodarstw prowadzących produkcję mieszaną. Wykorzystano dane z 1158 gospodarstw rolnych. Ostateczna wersja modelu zawiera oprócz stałej dziesięć zmiennych objaśniających, których wartości współczynników zaprezentowano w tabeli 62.

Tabela 62. Model objaśniający produktywność nakładów energii (Y_1) dla grupy gospodarstw o produkcji mieszanej

	Wartość współczynnika	Błąd standardowy	t-Studenta	Wartość p
stała	11,8269	0,4677	25,2895	0,0000
x ₁	0,0719	0,0239	3,0082	0,0027
x ₂	-0,0664	0,0210	-3,1641	0,0016
x ₃	0,1062	0,0167	6,3467	0,0000
x ₄	0,1461	0,0105	13,9170	0,0000
x ₅	-0,8641	0,1273	-6,7878	0,0000
x ₆	0,3065	0,0201	15,2580	0,0000
x ₇	0,2183	0,0276	7,8985	0,0000
x ₈	-0,7473	0,0352	-21,2178	0,0000
x ₉	-0,1586	0,0267	-5,9466	0,0000
x ₁₀	0,2343	0,0264	8,8882	0,0000
Statystyki				
Średn.aryt.zm.zależnej	7,2050	Odch.stand.zm.zależnej	0,4696	
Suma kwadratów reszt	65,4490	Błąd standardowy reszt	0,2389	
Wsp. determ. R-kwadrat	0,7435	Skorygowany R-kwadrat	0,7413	
F(10, 1147)	286,2356	Wartość p dla testu F	0,0000	
Logarytm wiarygodności	20,4398	Kryt. inform. Akaike'a	-18,8796	
Kryt. bayes. Schwarz	36,7193	Kryt. Hannana-Quinna	2,1008	
Norm. rozkł. reszt (wart)	2,6581	Norm. rozkł. reszt (p)	0,2647	

Źródło: Obliczenia własne.

W modelu wyjaśniającym poziom produktywności nakładów energii wśród gospodarstw rolnych prowadzących produkcję mieszaną znajdują się następujące zmienne objaśniające:

- x₁ – techniczne uzbrojenie ziemi,
- x₂ – techniczne uzbrojenie pracy,
- x₃ – zużycie nawozów na ha UR,
- x₄ – zużycie środków ochrony roślin na ha UR,
- x₅ – udział aktywów trwałych w aktywach ogółem,

- x_6 – zwierzęta ogółem w przeliczeniu na ha UR,
- x_7 – udział wartości produkcji zwierzęcej w wartości produkcji ogółem,
- x_8 – koszty energii na ha UR,
- x_9 – koszty materiałów pędnych,
- x_{10} – wartość aktywów trwałych.

Spośród dziesięciu zmiennych objaśniających, współczynniki przy sześciu z nich przyjmują wartości dodatnie. Najwyższe wartości współczynników dotyczą zmiennych: Zwierzęta ogółem w przeliczeniu na ha UR (0,31), Wartość aktywów trwałych (0,23) oraz Udział wartości produkcji zwierzęcej w wartości produkcji ogółem (0,22). Wzrost zwierząt ogółem na hektar użytków rolnych odpowiada wzrostowi produktywności nakładów energii o 0,31% jednostek. Zauważyć również należy, że na wzrost zmiennej objaśnianej wpływa istotnie wzrost zużycia nawozów oraz środków ochrony roślin. Stosunkowo najslabiej na wzrost produktywności nakładów energii wpływa zwiększenie technicznego uzbrojenia ziemi.

Na podstawie wyników estymacji modelu można stwierdzić, że niski poziom zmiennej objaśnianej jest silnie powiązany z wysokim udziałem aktywów trwałych w aktywach ogółem. Istotne znaczenie ma również poziom kosztów energii na ha powierzchni użytków rolnych. Dalece słabsze jest powiązanie między zmienną zależną a kosztem materiałów pędnych. Warto również zauważyć, że im wyższy poziom technicznego uzbrojenia pracy tym niższa wartość produktywności nakładów energii.

Kolejny model został skonstruowany w oparciu o dane pochodzące z populacji gospodarstw specjalizujących się w chowie trzody chlewnej. Ta grupa gospodarstw rolnych jest dalece mniej liczna niż poprzednio omawiana grupa gospodarstw prowadzących produkcję mieszaną. Do estymacji tego modelu wykorzystano dane ze 193 gospodarstw rolnych. Wyniki estymacji zaprezentowano w tabeli 63.

Tabela 63. Model objaśniający produktywność nakładów energii (Y_2) dla grupy gospodarstw specjalizujących się w chowie trzody chlewnej

	Wartość współczynnika	Błąd standardowy	t-Studenta	Wartość p
stała	9,4254	0,5728	16,4553	0,0000
x_1	0,3803	0,0497	7,6582	0,0000
x_2	-0,2921	0,0405	-7,2060	0,0000
x_7	0,6097	0,0358	17,0168	0,0000
x_8	-0,8676	0,0424	-20,4608	0,0000
x_{11}	0,1249	0,0550	2,2699	0,0244
x_{12}	-0,2425	0,0476	-5,0972	0,0000
Statystyki				
Średn.aryt.zm.zależnej	7,7902	Odch.stand.zm.zależnej	0,4588	
Suma kwadratów reszt	8,8037	Błąd standardowy reszt	0,2176	
Wsp. determ. R-kwadrat	0,7822	Skorygowany R-kwadrat	0,7752	
F(6, 190)	81,2474	Wartość p dla testu F	0,0000	
Logarytm wiarygodności	24,0909	Kryt. inform. Akaike'a	-34,1817	
Kryt. bayes. Schwarza	-11,3429	Kryt. Hannana-Quinna	-24,9327	
Norm. rozkł. reszt (wart)	3,6787	Norm. rozkł. reszt (p)	0,1589	

Zródło: Obliczenia własne.

W modelu, w którym zmienną zależną jest produktywność nakładów energii wśród gospodarstw rolnych specjalizujących się w chowie trzody chlewnej mamy do czynienia

z następującymi zmiennymi objaśniającymi:

- x_1 – techniczne uzbrojenie ziemi,
- x_2 – techniczne uzbrojenie pracy,
- x_7 – udział wartości produkcji zwierzęcej w wartości produkcji ogółem,
- x_8 – koszty energii na ha UR,
- x_{11} – liczba ciągników na ha UR,
- x_{12} – wartość aktywów ogółem.

Jak przedstawiono to w tabeli 63 wzrostowi wartości produktywności nakładów energii odpowiada przede wszystkim wzrost udziału wartości produkcji zwierzęcej w wartości produkcji ogółem. Produktywność ta jest również silnie związana z technicznym uzbrojeniem ziemi. Wzrost tego uzbrojenia, które rozumiane jest jako stosunek wartości budynków maszyn i urządzeń przypadających na hektar UR o 1% odpowiada wzrostowi zmiennej objaśnianej o blisko 0,4%. Produktywność nakładów energii rośnie również wraz ze wzrostem liczby ciągników przypadających na ha UR.

Zidentyfikowano również trzy zmienne, których wzrost odpowiada spadkowi produktywności nakładów energii. Najsilniejszy jest tutaj wpływ zmiennej Koszty energii na ha UR. Spadek produktywności nakładów energii jest również powiązany ze wzrostem technicznego uzbrojenia pracy, czyli wartości budynków maszyn i urządzeń przypadających na liczbę osób pełnozatrudnionych. Ponadto zauważa się, że wzrost wartości aktywów ogółem o 1% odpowiada spadkowi wartości zmiennej objaśnianej o 0,24%.

Do estymacji modelu dla grupy gospodarstw rolnych specjalizujących się w chowie bydła mlecznego wykorzystano dane pochodzące z 1381 podmiotów. Gospodarstwa tego rodzaju są bowiem dość licznie reprezentowane w populacji gospodarstw rolnych prowadzących rachunkowość FADN. Wyniki estymacji zaprezentowano w tabeli 64.

Tabela 64. Model objaśniający produktywność nakładów energii (Y_3) dla grupy gospodarstw specjalizujących się w chowie bydła mlecznego

	Wartość współczynnika	Błąd standardowy	t-Studenta	Wartość p
stała	8,6568	0,2094	41,3410	0,0000
X ₈	-0,4975	0,0199	-25,0470	0,0000
X ₁₃	-0,0246	0,0093	-2,6417	0,0083
X ₁₄	-0,5941	0,0449	-13,2210	0,0000
X ₁₅	-0,0815	0,0279	-2,9225	0,0035
X ₁₆	0,3853	0,0122	31,5518	0,0000
Średn. aryt. zm. zależnej	7,3108	Odch. stand. zm. zależnej	0,4427	
Suma kwadratów reszt	115,7764	Błąd standardowy reszt	0,2902	
Wsp. determ. R-kwadrat	0,5720	Skorygowany R-kwadrat	0,5704	
F(5, 1375)	377,6558	Wartość p dla testu F	0,0000	
Logarytm wiarygodności	-247,8722	Kryt. inform. Akaike'a	507,7445	
Kryt. bayes. Schwarz	539,1279	Kryt. Hannana-Quinna	519,4843	
Norm. rozkł. reszt (wart)	2,5652	Norm. rozkł. reszt (p)	0,2773	

Źródło: Obliczenia własne.

Jak można wywnioskować ze stosunkowo niskich wartości współczynników determinacji R^2 , model stworzony na bazie danych pochodzących z populacji gospodarstw specjalizujących się w chowie bydła mlecznego nie wyjaśnia bardzo dużej części zmian w produktywności nakładów energii. Zachowuje jednak szereg pożądanych cech i wciąż pozwala zrozumieć w pewnym stopniu zróżnicowanie zmiennej objaśnianej. Zmiennymi objaśnianymi w tym modelu są:

- x_8 – koszty energii na ha UR,

- x_{13} – wartość budynków,
- x_{14} – udział kosztów materiałów pędnych w kosztach energii,
- x_{15} – liczba osób pełnozatrudnionych,
- x_{16} – wartość produkcji zwierzęcej.

Poza zmienną odnoszącą się do produkcji zwierzęcej, wartości współczynników przy pozostałych zmiennych przyjmują wartości ujemne. Oznacza to, że wzrost wartości tych zmiennych odpowiada spadkowi produktywności nakładów energii. Najwyższa wartość bezwzględna odnosi się do zmiennej Udział kosztów materiałów pędnych w kosztach energii. Wzrost wartości tego stosunku o 1% odpowiada spadkowi produktywności nakładów energii o blisko 0,6%. Podobnie jak miało to miejsce w przypadku pozostałych modeli spadek zmiennej objaśnianej powiązany jest ze wzrostem zmiennej odnoszącej się do poziomu kosztów energii na hektar UR. W przypadku modelu dla grupy gospodarstw specjalizujących się w chowie bydła mlecznego zauważa się również, że spadek produktywności nakładów energii jest powiązany z liczbą osób pełnozatrudnionych oraz – w jeszcze mniejszej skali – ze wzrostem wartości budynków.

Interesujące wyniki przyniosła również estymacja modelu dla grupy gospodarstw specjalizujących się w uprawie zbóż, roślin oleistych i wysokobiałkowych nasiona. Wykorzystano tu dane pochodzące z 944 gospodarstw rolnych. W modelu znalazło się sześć zmiennych objaśniających. Wyniki estymacji przedstawiono w tabeli 65.

Tabela 65. Model objaśniający produktywność nakładów energii (Y_4) dla grupy gospodarstw specjalizujących się w uprawie zbóż, roślin oleistych i wysokobiałkowych na nasiona

	Wartość współczynnika	Błąd standardowy	t-Studenta	Wartość p
stała	10,5302	0,3169	33,2271	0,0000
x_4	0,1943	0,0128	15,1668	0,0000
x_8	-0,7852	0,0233	-33,7424	0,0000
x_{11}	0,0972	0,0168	5,7751	0,0000
x_{14}	-0,2905	0,0498	-5,8355	0,0000
x_{17}	0,1352	0,0168	8,0297	0,0000
x_{18}	-0,0391	0,0099	-3,9657	0,0001
Średn. arytm. zm. zależnej	7,0489	Odch. stand. zm. zależnej	0,4027	
Suma kwadratów reszt	53,0130	Błąd standardowy reszt	0,2398	
Wsp. determ. R-kwadrat	0,6477	Skorygowany R-kwadrat	0,6455	
F(6, 922)	242,9092	Wartość p dla testu F	0,0000	
Logarytm wiarygodności	11,9349	Kryt. inform. Akaike'a	-9,8698	
Kryt. bayes. Schwarza	23,9689	Kryt. Hannana-Quinna	3,0371	
Norm. rozkł. reszt (wart)	5,2748	Norm. rozkł. reszt (p)	0,0715	

Źródło: Obliczenia własne.

Cechą wyróżniającą ten model jest wysoka wartość statystyki χ^2 dla testu na Jarque'a–Bera. Nie zmienia to jednak faktu, że hipoteza mówiąca o tym, że składniki losowe modelu mają rozkład normalny nie może być odrzucona na poziomie istotności $\alpha=0,05$. Zmiennymi objaśnianymi w tym modelu są:

- x_4 – zużycie środków ochrony roślin na ha UR,
- x_8 – koszty energii na ha UR,
- x_{11} – liczba ciągników na ha UR,
- x_{14} – udział kosztów materiałów pędnych w kosztach energii,
- x_{17} – wielkość ekonomiczna,
- x_{18} – udział kosztów energii elektrycznej w kosztach energii.

Za szczególnie interesujące wnioski wynikające z wyestymowanych wartości współczynników uznać należy, że poziom produktywności nakładów energii wzrasta wraz ze wzrostem zużycia środków ochrony roślin oraz ze wzrostem liczby ciągników przypadających na hektar użytków rolnych. Ponadto odnotować należy, że poziom produktywności nakładów jest wyższy wśród gospodarstw o większej skali produkcji.

Obserwuje się również, że wraz ze wzrostem udziału kosztów energii elektrycznej w kosztach energii maleje wartość zmiennej objaśnianej. Podobnie rzecz się ma

w przypadku wzrostu udziału kosztów materiałów pędnych w kosztach energii. Wzrost tego stosunku o 1% odpowiada spadkowi poziom produktywności nakładów energii o blisko 0,3%.

Do estymacji modelu dla gospodarstw specjalizujących się w uprawie warzyw i truskawek pod wysokimi osłonami wykorzystano dane z 86 podmiotów. Mamy więc tu do czynienia z próbą o stosunkowo małej liczebności. Wyniki estymacji zaprezentowano w tabeli 66.

Tabela 66. Model objaśniający produktywność nakładów energii (Y_5) dla grupy gospodarstw specjalizujących się w uprawie warzyw i truskawek pod wysokimi osłonami

	Wartość współczynnika	Błąd standardowy	t-Studenta	Wartość p
stała	3,0488	0,3651	8,3505	0,0000
x_{13}	0,0771	0,0166	4,6427	0,0000
x_{14}	0,4795	0,0531	9,0300	0,0000
x_{19}	0,0526	0,0183	2,8663	0,0053
x_{20}	0,3404	0,0750	4,5408	0,0000
x_{21}	0,0771	0,0166	4,6427	0,0000
Statystyki				
Średn.aryt.zm.zależnej	7,0340	Odch.stand.zm.zależnej	0,8658	
Suma kwadratów reszt	18,1797	Błąd standardowy reszt	0,4738	
Wsp. determ. R-kwadrat	0,7147	Skorygowany R-kwadrat	0,7006	
F(4, 81)	58,4519	Wartość p dla testu F	0,0000	
Logarytm wiarygodności	-55,2049	Kryt. inform. Akaike'a	120,4099	
Kryt. bayes. Schwarz	132,6816	Kryt. Hannana-Quinna	125,3487	
Norm. rozkł. reszt (wart)	2,8680	Norm. rozkł. reszt (p)	0,2384	

Zródło: Obliczenia własne.

W modelu dla gospodarstw o tym typie produkcyjnym zmiany produktywności nakładów energii wśród poszczególnych gospodarstw tłumaczone są następującymi czterema zmiennymi objaśniającymi:

- x_{13} – wartość budynków,
- x_{14} – udział kosztów materiałów pędnych w kosztach energii,
- x_{19} – wartość maszyn i urządzeń,
- x_{20} – udział kosztów energii elektrycznej w kosztach energii.

Inaczej niż było to w przypadku pozostałych modeli, współczynnik przy każdej ze zmiennych objaśniających ma wartość dodatnią. Ze kształtu modelu wynika, że produktywność nakładów energii rośnie wraz ze wzrostem udziału kosztów materiałów pędnych w kosztach energii. Jednoprocentowy wzrost tego udziału przekłada się na

blisko półprocentowy wzrost wartości zmiennej objaśnianej. Wyższą produktywność nakładów energii zauważa się również w tych gospodarstwach rolnych, które są lepiej wyposażone w maszyny i urządzenia, a także w tych, w których wartość budynków gospodarczych jest wyższa.

Za niezwykle ciekawą uznać również trzeba zależność między produktywnością nakładów energii a udziałem kosztów energii elektrycznej w kosztach energii. Te gospodarstwa rolne, w których udział ten jest wyższy cechują się większą produktywnością nakładów.

Zależności występujące między produktywnością nakładów energii a pozostałymi badanymi cechami gospodarstw rolnych w populacji podmiotów zajmujących się produkcją owoców okazały się trudniejsze do wychwycenia. Stworzony dla tej populacji model wykazuje się niższą wartością współczynnika determinacji R², niemniej analizę wartości współczynników można uznać za wartościową. Dane pochodzące ze 190 gospodarstw rolnych pozwoliły na stworzenie modelu, którego podstawowe charakterystyki przedstawiono w tabeli 67.

Tabela 67. Model objaśniający produktywność nakładów energii (Y₆) dla grupy gospodarstw specjalizujących się w uprawie drzew i krzewów owocowych (bez winorośli i oliwek)

	Wartość współczynnika	Błąd standardowy	t-Studenta	Wartość p
stała	13,6791	0,6320	21,6453	0,0000
X ₄	0,0977	0,0376	2,5987	0,0101
X ₅	-0,0235	0,0039	-5,9473	0,0000
X ₉	-0,7581	0,0621	-12,2029	0,0000
X ₁₉	0,0750	0,0308	2,4384	0,0157
X ₂₀	-0,1836	0,0320	-5,7405	0,0000
X ₂₁	0,4767	0,0812	5,8668	0,0000
X ₂₂	0,4208	0,0827	5,0879	0,0000
Statystyki podsumujące				
Średn. aryt. zm. zależnej	7,4770	Odch. stand. zm. zależnej	0,6121	
Suma kwadratów reszt	32,8921	Błąd standardowy reszt	0,4251	
Wsp. determ. R-kwadrat	0,5355	Skorygowany R-kwadrat	0,5176	
F(7, 182)	28,3107	Wartość p dla testu F	0,0000	
Logarytm wiarygodności	-102,9881	Kryt. inform. Akaike'a	221,9762	
Kryt. bayes. Schwarz	247,9524	Kryt. Hannana-Quinna	232,4988	
Norm. rozkł. reszt (wart)	3,0934	Norm. rozkł. reszt (p)	0,2129	

Źródło: Obliczenia własne.

Analizowany model wskazuje na uzależnienie produktywności nakładów energii wśród gospodarstw zajmujących się głównie uprawą drzew i krzewów owocowych od następujących siedmiu zmiennych objaśniających:

- x_4 – zużycie środków ochrony roślin na ha UR,
- x_5 – udział aktywów trwałych w aktywach ogółem,
- x_9 – koszty materiałów pędnych,
- x_{19} – wartość maszyn i urządzeń,
- x_{20} – udział kosztów energii elektrycznej w kosztach energii,
- x_{21} – wielkość użytków rolnych,
- x_{22} – nakłady pracy liczone w AWU.

Spośród przedstawionych zmiennych, w przypadku trzech wartość współczynnika jest ujemna. Niekorzystnie na poziom produktywności nakładów energii wpływa wzrost udziału kosztów energii elektrycznej w kosztach energii, zwiększanie zużycia materiałów pędnych, a także wysoki udział aktywów trwałych w aktywach ogółem.

Z kolei pozytywny wpływ na produktywność nakładów energii ma zwiększanie zasobu ziemi a także pracy. Wzrost zużycia nakładów pracy o 1% odpowiada wzrostowi poziomu zmiennej objaśnianej o 0,42%. Należy również odnotować, że produktywność nakładów energii rośnie wraz ze wzrostem zużycia środków ochrony roślin na hektar UR, aczkolwiek wpływ w ujęciu procentowym jest tu znacząco niższy. Warto również odnotować korzystny wpływ wzrostu wartości wykorzystywanych w gospodarstwie rolnym maszyn i narzędzi.

WNIOSKI

Energia jak nigdy wcześniej stała się głównym czynnikiem trwania i rozwoju cywilizacji. Technologiczny charakter egzystencji człowieka w XXI wieku wymusza popyt na energię, który ciągle zwiększa się, wywierając coraz większą presję na środowisko i klimat. Człowiek zatem znalazł się w sytuacji bardzo trudnej, gdyż z jednej strony nie potrafi już żyć bez energii, a z drugiej strony nie będzie mógł żyć dalej, jeżeli ta energia będzie nadal pochodziła z paliw kopalnych, zanieczyszczając środowisko i degradując klimat. Konieczna jest pilna transformacja energetyczna w kierunku źródeł odnawialnych oraz poprawa efektywności energetycznej. Dotyczy to wszystkich branż, także rolnictwa. Przeprowadzone badania dają podstawę do sformułowania kilku wniosków.

1. Produktywność nakładów energii w gospodarstwach o większej skali produkcji była o 16% wyższa aniżeli mniejszych. Można stwierdzić, iż wraz ze wzrostem skali produkcji zwiększa się produktywność nakładów energii, zarówno ogółem, jak i w poszczególnych typach produkcji, z wyjątkiem gospodarstw specjalizujących się z uprawie drzew i krzewów owocowych. Najwyższą produktywność osiągały gospodarstwa wyspecjalizowane w chowie trzody chlewnej.
2. Dochodowość nakładów energii bez podziału na typy produkcji była także wyższa o 12,5 % w gospodarstwach o większej skali produkcji. Można zatem stwierdzić, iż większe gospodarstwa wypracowują znacznie więcej dochodu z 1 zł kosztów przeznaczanych na energię. Najwyższą dochodowość nakładów energii w obu grupach osiągały gospodarstwa specjalizujące się w uprawie drzew i krzewów owocowych.
3. Stwierdzono dodatnią zależność między produktywnością nakładów energii a dochodem z rodzinnego gospodarstwa rolnego, z wyjątkiem gospodarstw specjalizujących się w uprawie warzyw i truskawek pod wysokimi osłonami. Potwierdzona została zatem hipoteza 1., że w większości typów gospodarstw produktywność nakładów energii jest dodatnio skorelowana z efektywnością ekonomiczną gospodarstw rolnych. Największy pozytywny wpływ produktywności energii na wyniki ekonomiczne stwierdzono w gospodarstwach specjalizujących się w chowie bydła mlecznego.
4. Potwierdzona została hipoteza 2., że wraz z poprawą technicznego uzbrojenia ziemi produktywność nakładów energii w gospodarstwach rolnych zwiększa się.

Współczynnik korelacji między produktywnością nakładów energii oraz technicznym uzbrojeniem ziemi był dodatni.

5. Między powierzchnią użytków rolnych oraz produktywnością nakładów energii stwierdzono zależność ujemną. Nie została więc potwierdzona hipoteza 3., że koncentracja produkcji mierzona powierzchnią UR umożliwia zwiększenie produktywności nakładów energii.
6. Wraz ze wzrostem skali produkcji zwiększa się wrażliwość dochodów gospodarstw rolnych na wahania cen nośników energii. W gospodarstwach specjalizujących się w uprawie warzyw i truskawek pod wysokimi osłonami oraz chowie bydła rzeźnego stwierdzono identyczny trend jak dla całej badanej populacji. W pozostałych typach sytuacja była odwrotna, tzn. gospodarstwa o mniejszej skali produkcji były bardziej wrażliwe na zmiany cen nośników energii, co było zgodne z przyjętą hipotezą. Stwierdzono, iż najmniej odporne na zmiany cen nośników energii ze wszystkich badanych były gospodarstwa specjalizujące się w uprawie warzyw i truskawek pod wysokimi osłonami.
7. Zestaw czynników warunkujących produktywność nakładów energii w badanych gospodarstwach rolnych był inny dla każdego z analizowanych typów. Można zatem stwierdzić, że każdy typ rolniczy charakteryzuje się własną wrażliwością na wpływ poszczególnych czynników.

BIBLIOGRAFIA

- Abbott, M. M., Van Ness, H. (1983). *Theory and Problems of Thermodynamics*. Nowy Jork: McGraw-Hill Book Co.
- Aghion, P., Howitt, P. W. (2009). *The Economics of Growth*. Cambridge: MIT Press.
- agrEE Project Group. (2012). *State of the Art on Energy Efficiency in Agriculture*. Athens: agrEE.
- Ali, R., Ishaq, R., Bakhsh, K., Yasin, M. A. (2022). Do Agriculture Technologies Influence Carbon Emissions in Pakistan? Evidence based on ARDL technique. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 43361-43370.
- Alig, M., Mieleitner, J., Baumgartner, D. U. (2011). Umweltwirkung der Milchproduktion. W: J.-L. Hersener, D. U. Baumgartner, D. Dux (red.). *Zentrale Auswertung von Ökobilanzen landwirtschaftlicher Betriebe (ZA-ÖB)* (strony 64-74). Zürich: Agroscope.
- Allen, R. C. (2009). *The British Industrial Revolution in Global Perspective*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Ament, J. (2019). Toward an Ecological Monetary Theory. *Sustainability*, 11(3), 923.
- Apanowicz, J. (2002). *Metodologia ogólna*. Gdynia: Wydawnictwo Bernardinum.
- Arystoteles. (2007). *Etyka nikomachejska*. Warszawa: PWN.
- Ascher, W. (1999). *Why Governments Waste Natural Resources. Policy Failures in Developing Countries*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press.
- Atalla, T., Bean, P. (2017). Determinants of energy productivity in 39 countries: an empirical investigation. *Energy Economics*, 62, 217-229.
- Audytel. (2019). *Analiza zmian hurtowych cen energii elektrycznej w 2018 r. dla Krajowej Izby Gospodarczej Elektroniki i Telekomunikacji*. Warszawa: Audytel.
- Avval, S. H., Rafiee, S., Jafari, A., Mohammadi, A. (2011). Improving energy productivity of sunflower production using data envelopment analysis (DEA) approach. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91, 1885–1892.
- Ayres, R. U., Kneese, A. V. (1969). Production, Consumption, and Externalities. *The American Economic Review*, 59(3), 282-297.
- Ayres, R. U., Warr, B. (2005). Accounting for growth: the role of physical work. *Structural Change and Economic Dynamics*, 16(2), 181-209.

- Aziz, N., Sharif, A., Raza, A., Rong, K. (2020). Revisiting the role of forestry, agriculture, and renewable energy in testing environment Kuznets curve in Pakistan: evidence from Quantile ARDL approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 10115-10128.
- Ball, V., Färe, R., Grosskopf, S., Margaritis, D. (2015). The role of energy productivity in U.S. agriculture. *Energy Economics*, 49, 460-471.
- Banaeian, N., Zangeneh, M. (2011). Study on energy efficiency in corn production of Iran. *Energy*, 36(8), 5394-5402.
- Barber, W. J. (1967). *A History of Economic Thought*. Harmondsworth: Penguin Books.
- Barbier, E. B. (1997). Introduction to the environmental Kuznets curve special issue. *Environment and Development Economics*, 2(4), 369-381.
- Barbier, E. B. (2003). The role of natural resources in economic development. *Australian Economic Papers*, 42(2), 253–272.
- Barbier, E. B. (2014). The challenges for environment and development economics. *Environment and Development Economics*, 19(3), 287-290.
- Barker, G. F. (2015). *Physics: Advanced Course*. Nowy Jork: Arkose Press.
- Barnett, H. J., Morse, C. (1968). *Ekonomika zasobów naturalnych*. Warszawa: Książka i Wiedza.
- Barsch, H., Bürger, K. (1996). *Naturressourcen der Erde und ihre Nutzung*. Gotha: Klett.
- Bartová, L., Fandel, P., Matejková, E. (2018). Eco-Efficiency in Agriculture of European Union Member States. *Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu*, 20(4), 15-21.
- Bartzas, G., Komnitsas, K. (2018). Energy flow analysis in agriculture; the case of irrigated pistachio production in Greece. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 28, 73-80.
- Bator, F. M. (1958). The Anatomy of Market Failure. *The Quarterly Journal of Economics*, 72(3), 351-379.
- Baumgärtner, S. (2004). Thermodynamic Models. W: J. Proops, P. Safonov (red.). *Modelling in Ecological Economics* (strongy 102-129). Cheltenham: Edward Elgar.
- Baumol, W. J. (1972). On Taxation and the Control of Externalities. *The American Economic Review*, 62(3), 307-322.

- Benchimol, J. (2015). Money in the Production Function: A New Keynesian DSGE Perspective. *Southern Economic Journal*, 82(1), 152-184.
- Bergmann, L., Schaefer, C. (1998). *Lehrbuch der Experimentalphysik*. Berlin: dr Gruyter.
- Bhattarai, M., Hammig, M. (2004). Governance, economic policy, and the environmental Kuznets curve for natural tropical forests. *Environment and Development Economics*, 9(3), 367-382.
- Bieroza, M., Bol, R., Glendell, M. (2021). What is the deal with the Green Deal: Will the new strategy help to improve European freshwater quality beyond the Water Framework Directive? *Science of The Total Environment*, 791, 148080.
- Blanke, M., Burdick, B. (2005). Food (Miles) for Thought-Energy Balance for Locally-Grown versus Imported Apple Fruit. *Environmental Science and Pollution Research*, 12(3), 125-127.
- Boserup, E. (1965). *The Conditions of Agricultural Growth: The Economics of Agrarian*. Chicago: Aldine.
- Boserup, E. (1976). Environment, population, and technology in primitive societies. *Population and Development Review*, 2(1), 21-36.
- Boulding, K. E. (1966). The Economics of the Coming Spaceship Earth. W: H. Jarett (red.). *Environmental Quality in a Growing Economy*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Bradshaw, D. (2004). *Aristotle East and West: Metaphysics and the Division of Christendom*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Brisson, N., Gate, P., Gouache, D., Charmet, G., Oury, F.-X., Huard, F. (2010). Why are wheat yields stagnating in Europe? A comprehensive data analysis for France. *Field Crops Research*, 119(1), 201-212.
- Britannica. (2023). *Chemical energy*.
 Pobrano z : <https://www.britannica.com/science/chemical-energy>
- British Petroleum (BP). (2016). *Statistical Review of World Energy 2016*. Londyn: British Petroleum (BP). Pobrano z: <https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2015/bp-statistical-review-of-world-energy-2015-full-report.pdf>.
- British Petroleum (BP). (2021). *Statistical Review of World Energy 2021*. Londyn: British Petroleum (BP).

- Brooks, D. R., Wiley, E. (1986). *Evolution as Entropy*. Chicago: University of Chicago Press.
- Buchanan, J. M. (1969). External Diseconomies, Corrective Taxes, and Market Structure. *The American Economic Review*, 59(1), 174-177.
- Burke, P. J. (2011). Climbing the electricity ladder generates carbon Kuznets curve downturns. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 56, 260–279.
- Burnewicz, J. (2007). *Metodologia badań ekonomicznych. Konspekt wykładu dla doktorantów Wydziału Ekonomicznego i Wydziału Zarządzania*. Gdańsk: Uniwersytet Gdański.
- Canakci, M., Topakci, M., Akinci, I., Ozmerzi, A. (2005). Energy use pattern of some field crops and vegetable production: Case study for Antalya Region, Turkey. *Energy Conversion and Management*, 46(4), 655-666.
- Chauhan, N. S., Mohapatra, P. K., Pandey, K. P. (2006). Improving energy productivity in paddy production through benchmarking—An application of data envelopment analysis. *Energy Conversion and Management*, 49(9-10), 1063-1085.
- Chen, X. (1994). Substitution of information for energy: conceptual background, realities and limits. *Energy Policy*, 22(1), 15-27.
- Choudhary, M., Rana, K., Bana, R., Ghasal, P., Choudhary, G., Jakhar, P., Verma, R. (2017). Energy budgeting and carbon footprint of pearl millet – mustard cropping system under conventional and conservation agriculture in rainfed semi-arid agro-ecosystem. *Energy*, 141, 1052-1058.
- Clausius, R. (1854). Ueber eine veränderte form des zweiten Hauptsatzes der mechanischen Wärmetheoriein. *Annalen der Physik und Chemie*, 169(93), 481-506.
- Cleveland, C. J. (1995). Resource degradation, technical change, and the productivity of energy use in U.S. agriculture. *Ecological Economics*, 13(3), 185-201.
- Cleveland, C. J., Costanza, R., Hall, C. S., Kaufmann, R. K. (1984). Energy and the U.S. economy: A biophysical perspective. *Science*, 225(4665), 890-897.
- Clover Global Solutions. (2012). *Ten Factors that Affect the Price of Oil*. Pobrano z: <https://clovergs.wordpress.com/2012/04/30/factors-affect-price-of-oil/>
- Coase, R. H. (1960). The Problem of Social Cost. *The Journal of Law & Economics*, 3, 1-44.

- Cockburn, J., Henseler, M., Maisonnave, H., Tiberti, L. (2018). Vulnerability and policy responses in the face of natural resource discoveries and climate change. *Environment and Development Economics*, 23(5), 517-526.
- Coelho, R. (2009). On the concept of energy: History and philosophy for science teaching. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 1(1), 2648-2656.
- Cole, M. A. (2003). Development, trade, and the environment: how robust is the Environmental Kuznets Curve? *Environment and Development Economics*, 8(4), 557-580.
- Cole, M. A., Rayner, A. J., Bates, J. (1997). The environmental Kuznets curve: an empirical analysis. *Environment and Development Economics*, 2(4), 401-416.
- Coria, J., Sterner, T. (2011). Natural Resource Management: Challenges and Policy Options. *Annual Review of Resource Economics*, 3(1), 203-230.
- Costanza, R. (1980). Embodied energy and economic valuation. *Science*, 210(4475), 1219-1224.
- Council of the European Union. (2023). *European Green Deal*. Pobrano z: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/>
- Czaja, S., Jakubczyk, Z., Piotrowicz, H. (1989). Pojęcie zasobów naturalnych i środowiska przyrodniczego (naturalnego) w teorii wzrostu gospodarczego. Próba przeglądu i klasyfikacji. *Prace Naukowe AE we Wrocławiu*.
- Czyżewski, A., Staniszewski, J. (2018). Dylematy operacjonalizacji paradygmatu zrównoważonego rozwoju rolnictwa z wykorzystaniem pojęcia ekoefektywności. *Problemy Rolnictwa Światowego*, 18(2), 44-56.
- Czyżewski, A., Stępień, S. (2013). Ekonomiczno-społeczne uwarunkowania zmian paradygmatu rozwoju rolnictwa drobnotowarowego w świetle ewolucji Wspólnej Polityki Rolnej. *Problemy Drobnych Gospodarstw Rolnych*, 2, 25-39.
- Dabkienė, V., Baležentis, T., Štreimikienė, D. (2022). Reconciling the micro- and macro-perspective in agricultural energy efficiency analysis for sustainable development. *Sustainable Development*, 30(1), 149–164.
- Dahlman, C. J. (1979). The Problem of Externality. *The Journal of Law & Economics*, 22(1), 141-162.
- Daly, H., Farley, J. (2011). *Ecological Economics: Principles and Applications*. Waszyngton: Island.

- Dauvin, M., Guerreiro, D. (2017). The Paradox of Plenty: A Meta-Analysis. *World Development*, 94, 212-231.
- Davidson, R., MacKinnon, J. G. (2021). *Econometric Theory and Methods*. Nowy Jork: Oxford University Press.
- Dieterle, D. A. (2017). *Economics: The Definitive Encyclopedia from Theory to Practice*. Santa Barbara: Greenwood.
- Du, X., Yan, X. (2009). Empirical study on the relationship between regional technological innovation capacity and regional energy consumption intensity. *Journal of Innovation Management and Industrial Engineering*, 26(27), 42-45.
- Dyer, J., Desjardins, R. L. (2003). Simulated Farm Fieldwork, Energy Consumption and Related Greenhouse Gas Emissions in Canada. *Biosystems Engineering*, 85(4), 503-513.
- Dz.U. 2005, nr 203, poz. 1684. (2005). *Protokół z Kioto do Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu z dnia 11.12.1997*.
- Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 243/1. (2021). *Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2021/1119 z dnia 30 czerwca 2021 r. w sprawie ustanowienia ram na potrzeby osiągnięcia neutralności klimatycznej i zmiany rozporządzeń (WE) nr 401/2009 i (UE) 2018/1999 (Europejskie prawo o klimacie)*.
- Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 315/1. (2012). *Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/27/UE z dnia 25 października 2012 r. w sprawie efektywności energetycznej, zmiany dyrektyw 2009/125/WE i 2010/30/UE oraz uchylecia dyrektyw 2004/8/WE i 2006/32/WE*.
- Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 328/1. (2018). *Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/1999 z dnia 11 grudnia 2018 roku w sprawie zarządzania unią energetyczną i działaniami w dziedzinie klimatu*.
- Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 328/210. (2018). *Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/2002 z dnia 11 grudnia 2018 r. zmieniająca dyrektywę 2012/27/UE w sprawie efektywności energetycznej*.
- Eatwell, J., Milgate, M., Newman, P. (1989). *Allocation, Information and Markets*. Londyn: Macmillan.
- Ellerbeck, S. (2022). *Explainer: What is OPEC?* Pobrano z: <https://www.weforum.org/agenda/2022/11/oil-opec-energy-price/>

- e-petrol.pl. (2023). *Współczynniki przeliczeniowe*. Pobrano z: <https://www.e-petrol.pl/wiedza-i-porady/lpg/nosnik-energii>
- Erdal, G., Esengün, K., Erdal, H., Gündüz, O. (2007). Energy use and economical analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey. *Energy*, 32(1), 35-41.
- Erdal, H., Esengun, K., Erdal, G. (2009). The Functional Relationship between Energy Inputs and Fruit Yield: A Case Study of Stake Tomato in Turkey. *Journal of Sustainable Agriculture*, 33(8), 835-847.
- Esengun, K., Erdal, G., Gündüz, O., Erdal, H. (2007). An economic analysis and energy use in stake-tomato production in Tokat province of Turkey. *Renewable Energy*, 32(11), 1873-1881.
- Esengun, K., Gündüz, O., Erdal, G. (2007). Input–output energy analysis in dry apricot production of Turkey. *Energy Conversion and Management*, 48(2), 592-598.
- European Commission. (2019). *The European Green Deal sets out how to make Europe the first climate-neutral continent by 2050, boosting the economy, improving people's health and quality of life, caring for nature, and leaving no one behind*. Pobrano z: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_19_6691
- Eurostat. (2023aa). *Agricultural labour input statistics: absolute figures (1 000 annual work units)*. Pobrano z: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/AACT_ALI01/default/table?lang=en
- Eurostat. (2023ab). *All Weekly Oil Bulletins since January 2009*. Pobrano z: <https://ec.europa.eu/energy/observatory/reports/List-of-WOB.pdf>
- Eurostat. (2023ac). *Calculation methodologies for the share of renewables in energy consumption. Gross available energy*. Pobrano z: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Calculation_methodologies_for_the_share_of_renewables_in_energy_consumption&oldid=477822#Gross_available_energy
- Eurostat. (2023ad). *Complete energy balances*. Pobrano z: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_BAL_C/default/table?lang=en
- Eurostat. (2023ae). *Complete energy balances*. Pobrano z: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_BAL_C__custom_2548469/default/table

Eurostat. (2023af). *Electricity prices for household consumers - bi-annual data (from 2007 onwards)*.

Pobrano z: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_PC_204__custom_4698448/default/table

Eurostat. (2023ag). *Electricity prices for household consumers - bi-annual data (from 2007 onwards)*.

Pobrano z:
https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_PC_204/default/table

Eurostat. (2023ah). *Energy imports dependency*. Pobrano z:
https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_IND_ID__custom_2513180/default/table

Eurostat. (2023ai). *Energy imports dependency*. Pobrano z:
https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_IND_ID__custom_2400556/default/table

Eurostat. (2023aj). *Exports of natural gas by partner country*. Pobrano z:
https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_TE_GAS__custom_2406749/default/table

Eurostat. (2023ak). *Exports of natural gas by partner country*. Pobrano z:
https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_TE_GAS__custom_2407608/default/table

Eurostat. (2023al). *Exports of oil and petroleum products by partner country*. Pobrano z:
https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_TE_OIL__custom_2407590/default/table

Eurostat. (2023am). *Exports of oil and petroleum products by partner country*.
Pobrano z:
https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_TE_OIL__custom_2406742/default/table

Eurostat. (2023an). *Exports of solid fossil fuels by partner country*. Pobrano z:
https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_TE_SFF__custom_2406735/default/table

Eurostat. (2023ao). *Exports of solid fossil fuels by partner country*. Pobrano z:
https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_TE_SFF__custom_2407506/default/table

Eurostat. (2023ap). *Final energy consumption*. Pobrano z:
https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Final_energy_consumption

Eurostat. (2023aq). *Final energy consumption*.
Pobrano z: <https://data.europa.eu/data/datasets/97ilnrrfofyslunrcgklzq?locale=en>

Eurostat. (2023ar). *Final energy consumption*.
Pobrano z:
https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/sdg_07_11/default/table

Eurostat. (2023as). *Final energy consumption by agriculture/forestry per hectare of utilised agricultural area*.
Pobrano z: <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/TAI04/default/table>

Eurostat. (2023at). *Final energy consumption by product*.
Pobrano z:
<https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/TEN00123/default/table>

Eurostat. (2023au). *Final energy consumption by sector*.
Pobrano z:
<https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/TEN00124/default/table>

Eurostat. (2023av). *Final energy consumption in households by type of fuel*. Pobrano z:
https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/TEN00125/default/table?lang=en&category=nrg.nrg_quant.nrg_quanta.nrg_bal

Eurostat. (2023aw). *Final energy consumption in households per capita*.
Pobrano z:
https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/sdg_07_20/default/table

Eurostat. (2023ax). *Gas prices for household consumers - bi-annual data (from 2007 onwards)*. Pobrano z:
https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_PC_202__custom_4694558/default/table

Eurostat. (2023ay). *Gas prices for household consumers - bi-annual data (from 2007 onwards)*. Pobrano z:
https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_PC_202/default/table

Eurostat. (2023az). *Gross available energy by product*.
Pobrano z:
<https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/TEN00121/default/table>

- Eurostat. (2023ba). *Imports of natural gas by partner country*. Pobrano z:
https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_TI_GAS__custom_2396637/default/table
- Eurostat. (2023bb). *Imports of natural gas by partner country*. Pobrano z:
https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_TI_GAS__custom_2399415/default/table
- Eurostat. (2023bc). *Imports of oil and petroleum products by partner country*. Pobrano z:
https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_TI_OIL__custom_2396639/default/table
- Eurostat. (2023bd). *Imports of oil and petroleum products by partner country*.
Pobrano z:
https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_TI_OIL__custom_2399399/default/table
- Eurostat. (2023be). *Imports of solid fossil fuels by partner country*. Pobrano z:
https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_TI_SFF__custom_2396481/default/table
- Eurostat. (2023bf). *Imports of solid fossil fuels by partner country*. Pobrano z:
https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_TI_SFF__custom_2399410/default/table
- Eurostat. (2023bg). *Primary energy consumption*. Pobrano z:
https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Glossary:Primary_energy_consumption
- Eurostat. (2023bh). *Primary energy consumption*. Pobrano z:
https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/sdg_07_10/default/table?lang=en
- Eurostat. (2023bi). *Simplified energy balances*. Pobrano z:
https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_BAL_S__custom_2549512/default/table
- Faires, V. M., Simmang, C. M. (1978). *Thermodynamics*. Nowy Jork: MacMillan Publishing.
- Fertilizers Europe. (2019). *Energy cost*.
Pobrano z: <https://www.fertilizerseurope.com/industry-competitiveness/energy-cost/>

- Feynman, R. (1970). *The Feynman Lectures on Physics*. Boston: Addison Wesley.
Pobrano z: <https://www.feynmanlectures.caltech.edu>
- Fiedor, B. (2002). *Podstawy ekonomii środowiska i zasobów naturalnych*. Warszawa: 2002.
- Fisher-Vanden, K., Jefferson, G. H., Jingkui, M., Jianyi, X. (2006). Technology development and energy productivity in China. *Energy Economics*, 28(5-6), 690-705.
- Flammini, A., Pan, X., Tubiello, F. N., Qiu, S. Y., Souza, L. R., Quadrelli, R., . . . Sims, R. (2022). Emissions of greenhouse gases from energy use in agriculture, forestry and fisheries: 1970–2019. *Earth System Science Data*, 14(2), 811-821.
- Fluck, R. C., Dirlle Baird, C. (1980). *Agricultural Energetics*. Westport: AVI Publications.
- Folmer, H., Gabel, L., Opschoor, H. (1996). *Ekonomia środowiska i zasobów naturalnych*. Warszawa: Wydawnictwo Krupski i S-ka.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2011). *Energy-smart Food for People and Climate*. Rzym: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2017). *The future of food and agriculture*. Rzym: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023). *Sustainable Food and Agriculture*. Pobrano z: <https://www.fao.org/sustainability/en/>
- Fouquet, R. (2008). *Heat, Power and Light: Revolutions in Energy Services*. Londyn: Edward Elgar.
- Fouquet, R., Slade, R., Karakoussis, V., Gross, R., Bauen, A., Anderson, D. (2001). *External Cost and Environmental Policy in the United Kingdom and the European Union*. Londyn: Centre for Energy Policy and Technology, Imperial College.
- Frank, A. F. (2005). *Oil Empire: Visions of Prosperity in Austrian Galicia (Harvard Historical Studies)*. Cambridge: Harvard University Press.
- Friedman, M. (2007). *Price Theory*. Londyn: Routledge.
- Friedrich, R., Voss, A. (1993). External costs of electricity generation. *Energy Policy*, 21(2), 114-122.
- Gellings, C. W., Parmenter, K. E. (2004). Energy efficiency in fertilizer production and use.

- W: C. W. Gellings, K. Blok (red.). *Efficient Use and Conservation of Energy*. Oxford: Eolss Publishers.
- Georgescu-Roegen, N. (1971). *The Entropy Law and the Economic Process*. Cambridge: Harvard University Press.
- Gever, J., Kaufmann, R. K., Skoale, D. V. (1986). *Beyond Oil: The Threat to Food and Fuel in the Coming Decades*. Cambridge: Ballinger.
- Ghali, M., Latruffe, L., Daniel, K. (2016). Efficient Use of Energy Resources on French Farms: An Analysis through Technical Efficiency. *Energies*, 9(8), 601.
- Ghorbani, R., Mondani, F., Amirmoradi, S., Feizi, H., Khorramdel, S., Teimouri, M., . . . Aghel, H. (2011). A case study of energy use and economical analysis of irrigated and dryland wheat production systems. *Applied Energy*, 88(1), 283-288.
- Gilbert, N. (2012). *One-third of our greenhouse gas emissions come from agriculture*. Pobrano z: Nature: <https://www.nature.com/articles/nature.2012.11708>
- Girish, G., Vijayalakshmi, S. (2013). Determinants of Electricity Price in Competitive Power Market. *International Journal of Business and Management*, 8(21), 70-75.
- Giziene, V., Zalgiryte, L. (2015). The assessment of natural gas pricing. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 213, 111-116.
- Główny Urząd Statystyczny. (2011). *Gospodarka paliwowo-energetyczna w latach 2009, 2010*. Warszawa: Główny Urząd Statystyczny.
- Główny Urząd Statystyczny. (2013a). *Gospodarka paliwowo-energetyczna w latach 2011, 2012*. Warszawa: Główny Urząd Statystyczny.
- Główny Urząd Statystyczny. (2013b). *Rocznik Statystyczny Rolnictwa 2013*. Warszawa: Główny Urząd Statystyczny.
- Główny Urząd Statystyczny. (2014). *Gospodarka paliwowo-energetyczna w latach 2012 i 2013*. Warszawa: Główny Urząd Statystyczny.
- Główny Urząd Statystyczny. (2015a). *Gospodarka paliwowo-energetyczna w latach 2013 i 2014*. Warszawa: Główny Urząd Statystyczny.
- Główny Urząd Statystyczny. (2015b). *Rocznik Statystyczny Rolnictwa 2015*. Warszawa: Główny Urząd Statystyczny.
- Główny Urząd Statystyczny. (2016). *Gospodarka paliwowo-energetyczna w latach 2014 i 2015*. Warszawa: Główny Urząd Statystyczny.
- Główny Urząd Statystyczny. (2017a). *Gospodarka paliwowo-energetyczna w latach 2015 i 2016*. Warszawa: Główny Urząd Statystyczny.

- Główny Urząd Statystyczny. (2017b). *Komunikat w sprawie przeciętnej średniorocznej ceny detalicznej 1000 kg węgla kamiennego w 2016 roku*. Pobrano z: <https://stat.gov.pl/sygnalne/komunikaty-i-obwieszczenia/lista-komunikatow-i-obwieszczen/komunikat-w-sprawie-przecietnej-sredniorocznej-ceny-detalicznej-1000-kg-wegla-kamiennego-w-2016-roku,53,4.html>
- Główny Urząd Statystyczny. (2018a). *Gospodarka paliwowo-energetyczna w latach 2016 i 2017*. Warszawa: Główny Urząd Statystyczny.
- Główny Urząd Statystyczny. (2018b). *Komunikat w sprawie przeciętnej średniorocznej ceny detalicznej 1000 kg węgla kamiennego w 2017 roku*. Pobrano z: <https://stat.gov.pl/sygnalne/komunikaty-i-obwieszczenia/lista-komunikatow-i-obwieszczen/komunikat-w-sprawie-przecietnej-sredniorocznej-ceny-detalicznej-1000-kg-wegla-kamiennego-w-2017-roku,53,5.html>
- Główny Urząd Statystyczny. (2019a). *Gospodarka paliwowo-energetyczna w latach 2017 i 2018*. Warszawa: Główny Urząd Statystyczny.
- Główny Urząd Statystyczny. (2019b). *Komunikat w sprawie przeciętnej średniorocznej ceny detalicznej 1000 kg węgla kamiennego w 2018 roku*. Pobrano z: <https://stat.gov.pl/sygnalne/komunikaty-i-obwieszczenia/lista-komunikatow-i-obwieszczen/komunikat-w-sprawie-przecietnej-sredniorocznej-ceny-detalicznej-1000-kg-wegla-kamiennego-w-2018-roku,53,6.html>
- Główny Urząd Statystyczny. (2019c). *Rocznik Statystyczny Rolnictwa 2019*. Warszawa: Główny Urząd Statystyczny.
- Główny Urząd Statystyczny. (2020a). *Gospodarka paliwowo-energetyczna w latach 2018 i 2019*. Warszawa: Główny Urząd Statystyczny.
- Główny Urząd Statystyczny. (2020b). *Komunikat w sprawie przeciętnej średniorocznej ceny detalicznej 1000 kg węgla kamiennego w 2019 roku*. Pobrano z: <https://stat.gov.pl/sygnalne/komunikaty-i-obwieszczenia/lista-komunikatow-i-obwieszczen/komunikat-w-sprawie-przecietnej-sredniorocznej-ceny-detalicznej-1000-kg-wegla-kamiennego-w-2019-roku,53,7.html>
- Główny Urząd Statystyczny. (2020c). *Mały Rocznik Statystyczny Polski*. Warszawa: Główny Urząd Statystyczny.
- Główny Urząd Statystyczny. (2021a). *Gospodarka paliwowo-energetyczna w latach 2019 i 2020*. Warszawa: Główny Urząd Statystyczny.

- Główny Urząd Statystyczny. (2021b). *Komunikat w sprawie przeciętnej średniorocznej ceny detalicznej 1000 kg węgla kamiennego w 2020 roku*. Pobrano z: <https://stat.gov.pl/sygnalne/komunikaty-i-obwieszczenia/lista-komunikatow-i-obwieszczen/komunikat-w-sprawie-przecietnej-sredniorocznej-ceny-detalicznej-1000-kg-węgla-kamiennego-w-2020-roku,53,8.html>
- Główny Urząd Statystyczny. (2021c). *Rocznik Statystyczny Rolnictwa 2021*. Warszawa: Główny Urząd Statystyczny.
- Główny Urząd Statystyczny. (2021d). *Zużycie paliw i nośników energii w 2020 roku*. Warszawa: Główny Urząd Statystyczny.
- Główny Urząd Statystyczny. (2022). *Powszechny Spis Rolny 2020. Charakterystyka gospodarstw rolnych w 2020 r.* Warszawa: Główny Urząd Statystyczny.
- Godfray, H. C., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., . . . Toulmin, C. (2010). Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. *Science*, 327(5967), 812-818.
- Goel, V. (2007). *Fundamentals of Physics Xi*. Nowe Delhi: Tata McGraw-Hill Education.
- Gołębiowska, U. E. (2011). *Teoretyczne aspekty wyczerpywania się naturalnych surowców energetycznych*. Koszalin: Politechnika Koszalińska.
- Gómez-Baggethun, E., de Groot, R., Lomas, P. L., Montes, C. (2009). The history of ecosystem services in economic theory and practice: From early notions to markets and payment schemes. *Ecological Economics*, 69(6), 1209-1218.
- Gradziuk, P. (2015). *Gospodarcze znaczenie i możliwości wykorzystania słomy na cele energetyczne w Polsce*. Puławy: IUNG-BIP.
- Griffiths, D. J. (2006). *Podstawy elektrodynamiki*. Warszawa: PWN.
- Halkos, G. (2011). The evolution of environmental thinking in economics. *Munich Personal RePEc Archive*.
- Hall, C. A., Murphy, D. J. (2010). Year in review – EROI or energy return on (energy) invested. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1185(1), 102-118.
- Hall, C. A., Cleveland, C. J., Kaufmann, R. K. (1986). *Energy and Resource Quality: The Ecology of the Economic Process*. Nowy Jork: Wiley Interscience.
- Hall, C. A., Tharakan, P., Hallock, J., Cleveland, C. J., Jefferson, M. (2003). Hydrocarbons and the evolution of human culture. *Nature*, 426, 318-322.
- Halliday, D., Resnick, R., Walker, J. (2015). *Podstawy fizyki T.1*. Warszawa: PWN.

- Hamedani, S. R., Shabani, Z., Rafiee, S. (2011). Energy inputs and crop yield relationship in potato production in Hamadan province of Iran. *Energy*, 36(5), 2367-2371.
- Hamilton, J. D. (2009). Causes and Consequences of the Oil Shock of 2007–08. *Brookings Papers on Economic Activity*, 1, 215-261.
- Haponen, J. (2009). *A Review of Factors Determining Crude Oil Prices*. Helsinki School of Economics: Niepublikowana praca magisterska.
- Hatirli, S. A., Ozkan, B., Fert, C. (2006). Energy inputs and crop yield relationship in greenhouse tomato production. *Renewable Energy*, 31(4), 427-438.
- He, J. (2009). China's industrial SO₂ emissions and its economic determinants: EKC's reduced vs. Structural. *Environment and Development Economics*, 14(2), 227-262.
- Hebebrand, C., Laborde, D. (2022). *High fertilizer prices contribute to rising global food security concerns*. Pobrano z: <https://www.ifpri.org/blog/high-fertilizer-prices-contribute-rising-global-food-security-concerns>
- Heller, M., Pabjan, T. (2014). *Elementy filozofii przyrody*. Kraków: Copernicus Center Press.
- Hellerstein, D., Vilorio, D., Ribaud, M. (2019). *Agricultural Resources and Environmental Indicators*. Waszyngton: United States Department of Agriculture.
- Henderson, J. P., Davis, J. B. (1997). *The Life and Economics of David Ricardo*. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Hercher-Pasteur, J., Loiseau, E., Sinfort, C., Hélias, A. (2020). Energetic assessment of the agricultural production system. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 40, 29.
- Hetz, E. (1998). Energy utilization in fruit production in Chile. *Energy utilization in fruit production in Chile*, 29(2), 17-20.
- Hohmeyer, O. (1996). Social Costs of Climate Change - Strong Sustainability and Social Costs. W: O. Hohmeyer, K. Renning, R. L. Ottinger (red.). *Social Costs and Sustainability. Valuation and Implementation in the Energy and Transport Sector* (strony 61-83). Berlin: Springer-Verlag.
- Holcombe, R. G., Sobel, R. S. (2001). Public Policy Toward Pecuniary Externalities. *Public Finance Review*, 29(4), 304-325.
- Hotelling, H. (1931). The Economics of Exhaustible Resources. *Journal of Political Economy*, 39(2), 137-175.

- Hubacek, K., van den Bergh, J. C. (2006). Changing concepts of 'land' in economic theory: From single to multi-disciplinary approaches. *Ecological Economics*, 56(1), 5-27.
- Ilahi, S., Wu, Y., Raza, M. A., Wei, W., Imran, M., Bayasgalankhuu, L. (2019). Optimization Approach for Improving Energy Efficiency and Evaluation of Greenhouse Gas Emission of Wheat Crop using Data Envelopment Analysis. *Sustainability*, 11(12), 3409.
- instalacjebudowlane.pl. (2023). *Wartość energetyczna drewna opałowego*. Pobrano z: <https://www.instalacjebudowlane.pl/152-33-68-wartosc-energetyczna-drewna-opalowego--tabela.html>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2019). *Climate Change and Land: An IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems*. Geneva: IPCC.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2015). *Climate Change 2014 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Part A: Global and Sectoral Aspects. Working Group II Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report*. Cambridge: Cambridge University Press.
- International Atomic Energy Agency. (2023). *Reactors In Operation & Suspended Operation*.
Pobrano z:
<https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsByCountry.aspx>
- International Energy Agency. (2021). *Key World Energy Statistics 2021*. Paryż: IEA Publications.
- Iršová, Z., Havránek, T. (2013). Determinants of Horizontal Spillovers from FDI: Evidence from a Large Meta-Analysis. *World Development*, 42, 1–15.
- Jain, M. C. (2009). *Textbook of Engineering Physics (Part I)*. Nowe Delhi: PHI.
- Januszajtis, A. (1987). *Ilustrowana encyklopedia dla wszystkich, Fizyka*. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.
- Jekayinfa, S., Ola, F., Afolaan, S., Ogunwale, R. (2012). On-farm energy analysis of plantain production in Nigeria. *Energy for Sustainable Development*, 16(3), 339-343.

- Jeżowski, P. (2004). Rozwój zrównoważony we współczesnych koncepcjach ekonomicznych. *Uwarunkowania i mechanizmy zrównoważonego rozwoju*. Białystok–Supraśl.
- Jin, W., Zhang, Z. (2014). Quo Vadis? Energy Consumption and Technological Innovation. *Crawford School of Public Policy, The Australian National University, CCEP Working Paper, 1412*.
- Juszczak, S. (2016). The importance of costs of product innovations and environmental protection in Polish dairy cooperatives. *Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu, 18(4)*, 124-130.
- Kancelaria Senatu. Biuro Analiz, Dokumentacji i Korespondencji. (2018). *Ceny energii elektrycznej w wybranych państwach Europy*. Warszawa: Kancelaria Senatu.
- Key, N. (2019). Farm size and productivity growth in the United States Corn Belt. *Food Policy, 84*, 186-195.
- Khan, D., Nouman, M., Ullah, A. (2023). Assessing the impact of technological innovation on technically derived energy efficiency: a multivariate co-integration analysis of the agricultural sector in South Asia. *Environment, Development and Sustainability, 25*, 3723–3745.
- Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., Mousazadeh, H. (2013). Applying data envelopment analysis approach to improve energy efficiency and reduce GHG (greenhouse gas) emission of wheat production. *Energy, 58*, 588-593.
- King, K., Deng, A., Metz, D. (2012). *An Economic Analysis of Oil Price Movements: The Role of Political Events and Economic News, Financial Trading, and Market Fundamentals*. Waszyngton: Bates White Economic Consulting.
- Kizilaslan, H. (2009). Input–output energy analysis of cherries production in Tokat Province of Turkey. *Applied Energy, 86((7-8))*, 1354-1358.
- Komisja Europejska - DG Environment. (2002). *Analysis of Selected Concepts on Resource Management. A Study to Support the Development of a Thematic Community Strategy on the Sustainable Use of Resources*. Luksemburg: Komisja Europejska.
- Komisja Europejska. (1995a). *Externalities of Energy. Volume 1, Summary*. Luksemburg: Office for Official Publications of the European Communities.
- Komisja Europejska. (1995b). *Externalities of Energy. Volume 3, Coal & lignite*. Luksemburg: Office for Official Publications of the European Communities.

- Komisja Europejska. (1995c). *Externalities of Energy. Volume 4, Oil & gas*. Luksemburg: Office for Official Publications of the European Communities.
- Komisja Europejska. (1995d). *Externalities of Energy. Volume 6, Wind & hydro*. Luksemburg: Office for Official Publications of the European Communities.
- Komisja Europejska. (2004). *Externalities of Energy Methodology 2005 Update*. Luksemburg: Office for Official Publications of the European Communities.
- Komisja Europejska. (2018). *Czysta planeta dla wszystkich. Europejska długoterminowa wizja strategiczna dobrze prosperującej, nowoczesnej, konkurencyjnej i neutralnej dla klimatu gospodarki*. Bruksela: Komisja Europejska.
- Komisja Europejska. (2019). *Czysta energia dla wszystkich Europejczyków*. Luksemburg: Urząd Publikacji Unii Europejskiej.
- Koolman, G. (1971). Say's Conception of the Role of the Entrepreneur. *Economica*, 38(151), 269-286.
- Kosakowski, P. (2022). *What Determines Oil Prices?* Pobrano z: <https://www.investopedia.com/articles/economics/08/determining-oil-prices.asp>
- Kowalik, S., Herczakowska, J. (2010). Analiza i prognoza cen ropy naftowej na rynkach międzynarodowych. *Polityka Energetyczna*, 13(2), 253-262.
- Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami. (2012). *Krajowy raport inwentaryzacyjny 2012. Inwentaryzacja gazów cieplarnianych w Polsce dla lat 1988-2010*. Warszawa: Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami.
- Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami. (2020). *Ocena wpływu polityki klimatycznej na sektor polskich gospodarstw rolnych*. Warszawa: Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami.
- Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami. (2021). *Wartości opałowe (WO) i wskaźniki emisji CO2 (WE) w roku 2019 do raportowania w ramach Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji za rok 2022*. Warszawa: Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami.
- Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami. (2022). *Ósmy Raport rządowy dla Konferencji Stron Ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu i Piąty Raport dwuletni dla Konferencji Stron Ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu*. Warszawa: Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami.

- Krasowicz, S. (2005). Cechy rolnictwa zrównoważonego. W: J. S. Zegar (red.). *Koncepcja badań nad rolnictwem społecznie zrównoważonym* (strony 23-39). Warszawa: Instytut Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej – Państwowy Instytut Badawczy.
- Królikowski, W., Rubinowicz, W. (2012). *Mechanika teoretyczna*. Warszawa: PWN.
- Kuesters, J., Lammel, J. (1999). Investigations of the energy efficiency of the production of winter wheat and sugar beet in Europe. *European Journal of Agronomy*, 11(1), 35-43.
- Kumari, A., Suna, T., Kumar, M., Murthy, G., Krishnan, P., Srinivasa Rao, C. (2019). Research and Technology Status-Emerging Opportunities in Land and Water Management. W: C. Srinivasa Rao, S. Senthil Vinayagam, P. Meena (red.). *Challenges and Emerging Opportunities in Indian Agriculture* (strony 153-176). Hyderabad: ICAR – National Academy of Agricultural Research Management.
- Laczko, F., Aghazarm, C. (2009). *Migration, Environment and Climate Change: Assessing the Evidence*. Genewa: International Organization for Migration.
- Lal, R. (2004). Carbon emission from farm operations. *Environment International*, 30(7), 981-990.
- Landau, L. D., Lifshitz, M. E. (1986). *Theory of Elasticity*. Oxford: Butterworth Heinemann.
- Lange, G.-M., Wright, M. (2004). Sustainable development in mineral economies: the example of Botswana. *Environment and Development Economics*, 9(4), 485-505.
- Lasy Państwowe. (2017). *Sprawozdanie finansowo-gospodarcze za 2016 rok*. Warszawa: Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych.
- Lasy Państwowe. (2018). *Sprawozdanie finansowo-gospodarcze za 2017 rok*. Warszawa: Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych.
- Lasy Państwowe. (2019). *Sprawozdanie finansowo-gospodarcze za 2018 rok*. Warszawa: Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych.
- Lasy Państwowe. (2020). *Sprawozdanie finansowo-gospodarcze za 2019 rok*. Warszawa: Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych.
- Lasy Państwowe. (2021). *Sprawozdanie finansowo-gospodarcze za 2020 rok*. Warszawa: Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych.

- Leclère, D., Jayet, P.-A., de Noblet-Ducoudré, N. (2013). Farm-level Autonomous Adaptation of European Agricultural Supply to Climate Change. *Ecological Economics*, 87, 1-14.
- Li, T., Baležentis, T., Makutėnienė, D., Streimikiene, D., Kriščiukaitienė, I. (2016). Energy-related CO₂ emission in European Union agriculture: Driving forces and possibilities for reduction. *Applied Energy*, 180, 682-694.
- LibreTexts Chemistry. (2023). *Ionization Energy*. Pobrano z: [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Physical_and_Theoretical_Chemistry_Textbook_Maps/Supplemental_Modules_\(Physical_and_Theoretical_Chemistry\)/Physical_Properties_of_Matter/Atomic_and_Molecular_Properties/Ionization_Energy](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Physical_and_Theoretical_Chemistry_Textbook_Maps/Supplemental_Modules_(Physical_and_Theoretical_Chemistry)/Physical_Properties_of_Matter/Atomic_and_Molecular_Properties/Ionization_Energy)
- Liebowitz, S., Margolis, S. E. (1994). Network Externality: An Uncommon Tragedy. *Journal of Economic Perspectives*, 8(2), 133-150.
- Linares, P., Sáez, R. M., Leal, J. (1996). *Assessment of the externalities of biomass energy for electricity production*. Madryt: Centro de Investigaciones Energeticas Medioambientales y Tecnologicas (CIEMAT).
- Lioudis, N. (2021). *What Causes Oil Prices to Fluctuate?* Pobrano z: <https://www.investopedia.com/ask/answers/012715/what-causes-oil-prices-fluctuate.asp>
- Lipford, J. W., Yandle, B. (2010). Environmental Kuznets curves, carbon emissions, and public choice. *Environment and Development Economics*, 15(4), 417-438.
- List, F. (1841). *The National System of Political Economy*. Londyn: Longmans, Green, and Company.
- Lobell, D. B., Schlenker, W., Justin, C.-R. (2011). Climate Trends and Global Crop Production Since 1980. *Science*, 333(6042), 616-620.
- Łuczka-Bakuła, W. (2006). W kierunku rolnictwa zrównoważonego – od programów rolnośrodowiskowych do cross-compliance. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu*, 540.
- Łuszczuk, M. (2010). Spowolnienie wykorzystania zasobów naturalnych wyzwaniem współczesnej gospodarki. *Nierówności Społeczne a Wzrost Gospodarczy*, 16, 423-434.
- Malthus, T. R. (1798). *An essay on the Principle of Population*. Londyn: W.W. Norton and Company.

- Malthus, T. R. (1820). *Principles of Political Economy: Considered with a view to their practical application*. Londyn: John Murray.
- Mandal, K., Saha, K., Ghosh, P., Hati, P., Bandyopadhyay, K. (2002). Bioenergy and economic analysis of soybean-based crop production systems in central India. *Biomass and Bioenergy*, 23(5), 337-345.
- Mani, I., Kumar, P., Panwar, J., Kant, K. (2007). Variation in energy consumption in production of wheat–maize with varying altitudes in hilly regions of Himachal Pradesh, India. *Energy*, 32(12), 2336-2339.
- Marciniak, S. (2013). *Makro- i mikroekonomia: podstawowe problemy współczesności*. Warszawa: PWN.
- Marks, K. (1951). *Kapitał. Tom I*. Warszawa: Książka i Wiedza.
- Marks, K., Engels, F. (1987). *Marx & Engels Collected Works Vol 29: Marx:1857-1861*. Londyn: Lawrence & Wishart.
- Marshall, A. (1961). *Principles of Economics*. Londyn: Macmillan.
- Martinho, V. J. (2016). Energy consumption across European Union farms: Efficiency in terms of farming output and utilized agricultural area. *Energy*, 103, 543-556.
- Masuhr, K. P., Ott, W. (1994). *Coûts externes et surcoûts inventories du prix de l'énergie dans le domaine de l'électricité et de la chaleur*. Berno: Office federal des questions conjoncturelles.
- Meade, J. E. (1952). External Economies and Diseconomies in a Competitive Situation. *The Economic Journal*, 62(245), 54-67.
- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J., Behrens III, W. W. (1972). *The Limits to growth; a report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind*. Nowy Jork: Universe Books.
- Melosi, M. V. (1982). Energy transition in the nineteenth-century economy. W: G.H. Daniels, M.H. Rose (red.). *Energy and transport* (strony 55-67). Beverly Hills: Sage Publications.
- Milà i Canals, L., Cowell, S. J., Sim, S., Basson, L. (2007). Comparing domestic versus imported apples: A focus on energy use. *Environmental Science and Pollution Research - International*, 14, 338-344.
- Mill, J. S. (1965-1966). *Zasady ekonomii politycznej (tom I i II)*. Warszawa: PWN.

- Ministerstwo Aktywów Państwowych. (2019). *Krajowy plan na rzecz energii i klimatu na lata 2021-2030. Założenia i cele oraz polityki i działania*. Warszawa: Ministerstwo Aktywów Państwowych.
- Ministerstwo Klimatu i Środowiska. (2021). *Polityka energetyczna Polski do 2040 r.* Warszawa: Ministerstwo Klimatu i Środowiska.
- Ministerstwo Klimatu i Środowiska, Agencja Rynku Energii S.A. (2021). *Statystyka elektroenergetyki polskiej 2020*. Warszawa: Agencja Rynku Energii S.A.
- Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi. (2023). *Plan Strategiczny dla Wspólnej Polityki Rolnej na lata 2023-2027*. Warszawa: Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi.
- Mitchell, B. (2002). *Resource and Environmental Management*. Londyn: Routledge.
- Mohammadi, A., Rafiee, S., Mohtasebi, S. S., Rafiee, H. (2010). Energy inputs – yield relationship and cost analysis of kiwifruit production in Iran. *Renewable Energy*, 35(5), 1071-1075.
- Mohammadi, A., Tabatabaeefar, A., Shahin, S., Rafiee, S., Keyhani, A. (2008). Energy use and economical analysis of potato production in Iran a case study: Ardabil province. *Energy Conversion and Management*, 49(12), 3566-3570.
- 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.
- Nassiri, S. M., Singh, S. (2009). Study on energy use efficiency for paddy crop using data envelopment analysis (DEA) technique. *Applied Energy*, 86(7-8), 1320-1325.
- Needham, J. (1954). *Science and Civilisation in China*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Nef, J. U. (1932). *The Rise of the British Coal Industry*. Londyn: Routledge.
- Nordhaus, W. D. (1973). The Allocation of Energy Reserves. *Brookings Papers on Economic Activity*, 3, 529-576.
- Nowak-Brzezińska, A. (2016). *Zależności w danych. Korelacja i regresja. Wykłady dla studentów Uniwersytetu Śląskiego*. Katowice: Uniwersytet Śląski.
- Nunez, C. (2023). *What is nuclear energy and is it a viable resource?* Pobrano z: <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/nuclear-energy>
- Olimb, M., Ødegård, T. M. (2010). *Understanding the Factors Behind Crude Oil Price Changes. A Time-varying Model Approach*. Norwegian University of Science and Technology: Niepublikowana praca magisterska.

- Oluyemisi Oyebanji, M., Kirikkaleli, D. (2022). Energy productivity and environmental deregulation: the case of Greece. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 82772–82784.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2008). *Natural Resources and Pro-Poor Growth: The Economics and Politics*. Paryż: OECD Publishing.
- Organisation of the Petroleum Exporting Countries (OPEC). (2023). *Our Mission*. Pobrano z: https://www.opec.org/opec_web/en/about_us/23.htm
- Organizacja Narodów Zjednoczonych do spraw Wyżywienia i Rolnictwa. (2000). *The Energy and Agriculture Nexus. Environment and Natural Resources Working Paper No. 4*. Rzym: Organizacja Narodów Zjednoczonych do spraw Wyżywienia i Rolnictwa.
- ORLEN. (2019). Czynniki wpływające na ceny gazu ziemnego. Międzyzdroje: ORLEN Meeting Gas.
- Ott, W. (1996). External Costs and External Price Addings in the Swiss Energy Sector. W: O. Hohmeyer, K. Renning, R. L. Ottinger (red.) *Social Costs and Sustainability. Valuation and Implementation in the Energy and Transport Sector* (strony 176-183). Berlin: Springer-Verlag.
- Ottinger, R., Wooley, D., Robinson, N., Hodas, D., Babb, S. (1990). *Environmental Costs of Electricity*. Nowy Jork: Oceana Publications.
- Our World in Data. (2023). *Coal prices*. Pobrano z: <https://ourworldindata.org/grapher/coal-prices>
- Our World in Data. (2023). *Renewable Energy*. Pobrano z: <https://ourworldindata.org/renewable-energy>
- Ozkan, B., Akcaoz, H., Fert, C. (2004). Energy input–output analysis in Turkish agriculture. *Renewable Energy*, 29(1), 39-51.
- Ozkan, B., Akcaoz, H., Karadeniz, F. (2004). Energy requirement and economic analysis of citrus production in Turkey. *Energy Conversion and Management*, 45 (11-12), 1821-1830.
- Ozkan, B., Fert, C., Karadeniz, F. (2007). Energy and cost analysis for greenhouse and open-field grape production. *Energy*, 32(8), 1500-1504.
- Özilgen, M., Sorgüven, E. (2011). Energy and exergy utilization, and carbon dioxide emission in vegetable oil production. *Energy*, 36(10), 5954-5967.

- Pach-Gurgul, A. (2016). Główne determinanty wahań cen ropy naftowej na świecie na przełomie lat 2014/2015. *Prace Komisji Geografii Przemysłu Polskiego Towarzystwa Geograficznego*, 30(3), 195-198.
- Panchasara, H., Samrat, N. H., Islam, N. (2021). Greenhouse Gas Emissions Trends and Mitigation Measures in Australian Agriculture Sector-A Review. *Agriculture*, 11(2), 85.
- Peety, W. (1958). Traktat o podatkach i daninach. W: E. Lipiński (red.) *Merkantylizm i początki szkoły klasycznej. Wybór pism ekonomicznych XVI i XVII wieku* (strony 445-555). Warszawa: PWN.
- 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.
- Pew Commission on Industrial Farm Animal Production. (2008). *Putting Meat on The Table: Industrial Farm Animal Production in America*. Baltimore: Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health.
- Pfeiffer, D. A. (2006). *Eating Fossil Fuels: Oil, Food, and the Coming Crisis in Agriculture*. Gabriola Island: New Society Publishers.
- Pigou, A. C. (2013). *The Economics of Welfare*. Londyn: Palgrave Macmillan.
- Pimentel, D., Herdendorf, M., Eisenfeld, S., Olander, L., Carroquino, M., Corson, C., ..., Gregg, J. (1994). Achieving a secure energy future: environmental and economic issues. *Ecological Economics*, 9(3), 201-219.
- Pinchot, G. (1998). *Breaking New Ground*. Waszyngton: Island Press.
- Pishgar-Komleh, S. H., Sefeedpari, P., Rafiee, S. (2011). Energy and economic analysis of rice production under different farm levels in Guilan province of Iran. *Energy*, 36(10), 5824-5831.
- Polski FADN. (2022). *Wyniki Standardowe 2021 uzyskane przez gospodarstwa rolne uczestniczące w Polskim FADN*. Warszawa: Instytut Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej - Państwowy Instytut Badawczy.
- Quickonomics. (2023). *Positive Externalities vs Negative Externalities*. Pobrano z: <https://quickonomics.com/positive-externalities-vs-negative-externalities/>
- Rada, N. E., Fuglie, K.O. (2019). New perspectives on farm size and productivity. *Food Policy*, 84, 147-152.

- Rahman, S., Kamrul Hasan, M. (2014). Energy productivity and efficiency of wheat farming in Bangladesh. *Energy*, 66, 107-114.
- Rahman, S., Rahman, M. S. (2013). Energy productivity and efficiency of maize accounting for the choice of growing season and environmental factors: An empirical analysis from Bangladesh. *Energy*, 49, 329-336.
- Ramedani, Z., Rafiee, S., Heidari, M. D. (2011). An investigation on energy consumption and sensitivity analysis of soybean production farms. *Energy*, 36(11), 6340-6344.
- Rammel, C., Stagl, S., Wilfing, H. (2007). Managing complex adaptive systems – a co-evolutionary perspective on natural resource management. *Ecological Economics*, 63(1), 9-21.
- Rankine, W. J. (1852). On the reconcentration of the mechanical energy of the universe. *Philosophical Magazine*, 4(26), 358-360.
- Rankine, W. J. (1853). On the general law of the transformation of energy. *Philosophical Magazine*, 5(30), 106-117.
- Rankine, W. J. (1867). On the Phrase "Potential Energy," and on the Definitions of Physical Quantities. Proceedings of the Philosophical Society of Glasgow.
- Raser, G., Silecchia, M. (2020). *Energy Use in U.S. Agriculture: An Overview*.
 Pobrano z: Farm and Energy Initiative: <https://farmandenergyinitiative.org/wp-content/uploads/2020/08/Energy-Use-in-Agriculture.pdf>
- Rechul, H. (2004). Zasoby naturalne-jak bliska jest bariera dostępności? *Wokół Energetyki*, 7(2).
- Rehman, A., Ma, H., Khan, M. K., Khan, S. U., Murshed, M., Fayyaz, A., Mahmood, H. (2022). The asymmetric effects of crops productivity, agricultural land utilization, and fertilizer consumption on carbon emissions: revisiting the carbonization-agricultural activity nexus in Nepal. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 39827-39837.
- Reif, F. (1973). *Fizyka statystyczna*. Warszawa: PWN.
- Ricardo, D. (1957). *Zasady ekonomii politycznej i opodatkowania*. Warszawa: PWN.
- Rogelj, J., den Elzen, M., Höhne, N., Fransen, T., Fekete, H., Winkler, H., ... Meinshausen, M. (2016). Paris Agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2 °C. *Nature*, 534, 631-639.
- Romero, A. M. (2004). The Positive Externalities of Historic District Designation. *The Park Place Economist*, 12(1), 71-74.

- Ross, M. L. (2013). *The Oil Curse: How Petroleum Wealth Shapes the Development of Nations*. Princeton: Princeton University Press.
- Roszkowska-Mądra, B. (2010). *Obszary wiejskie o niekorzystnych warunkach gospodarowania w aspekcie ich zrównoważonego rozwoju*. Białystok: Wydawnictwo Uniwersytetu w Białymstoku.
- Runowski, H. (2004). Kierunki rozwoju przedsiębiorstw rolnych w Polsce. *Postępy Nauk Rolniczych*, 3, 145-165.
- Ryszewska, E. (2017). Paradygmat industrialnego rozwoju rolnictwa w Unii Europejskiej: mechanizmy i skutki. *Roczniki Ekonomiczne Kujawsko-Pomorskiej Szkoły Wyższej w Bydgoszczy*, 10, 355-376.
- Saldukaitė, L., Šarauskis, E., Lekavičienė, K., Savickas, D. (2020). Predicting energy efficiency and greenhouse gases reduction potential under different tillage management and farm size scenarios for winter wheat production. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 42, 100841.
- Samuelson, P. A., Nordhaus, W. D. (2012). *Ekonomia*. Poznań: Dom Wydawniczy Rebis.
- Samwick, A. (2007). *What Pecuniary Externalities?* Pobrano z: https://economistsview.typepad.com/economistsview/2007/01/what_pecuniary_.html
- San Joaquin Valley Geology. (2023). *The History of the Oil Industry*. Pobrano z: <http://www.sjvgeology.org/history/>
- Santopietro, G. D. (1998). Alternative methods for estimating resource rent and depletion cost: the case of Argentina's YPF. *Resources Policy*, 24(1), 39-48.
- Sawieliew, I. W. (2013). *Wykłady z fizyki, tom 2. Elektryczność i magnetyzm, fale, optyka*. Warszawa: PWN.
- Say, J.-B. (2001). *A Treatise on Political Economy; or the Production, Distribution, and Consumption of Wealth*. Kitchener: Batoche Books.
- Schlich, E., Fleissner, U. (2005). The Ecology of Scale: Assessment of Regional Energy Turnover and Comparison with Global Food. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 10, 219-223.
- Schumpeter, J. A. (1934). *The Theory of Economic Development. An Inquiry into Profits, Capital, Credit, Interest, and the Business Cycle*. Cambridge: Harvard Economic Studies.

- Scitovsky, T. (1954). Two Concepts of External Economies. *Journal of Political Economy*, 62(2), 143-151.
- SEA Energy. (2021). *Technologies and Measures for Energy Efficiency Improvement in Fertilizer Industries*. Pobrano z: <https://www.seaenergy.in/post/energy-efficiency-in-fertilizer-industry-technologies-for-energy-efficiency-improvement>
- Sefeedpari, P., Ghahderijani, M., Pishgar-Komleh, S. H. (2013). Assessment the effect of wheat farm sizes on energy consumption and CO₂ emission. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 5, 023131.
- Sefeedpari, P., Rafiee, S., Akram, A., Pishgar-Komleh, S. H. (2014). Modeling output energy based on fossil fuels and electricity energy consumption on dairy farms of Iran: Application of adaptive neural-fuzzy inference system technique. *Computers and Electronics in Agriculture*, 109, 80-85.
- Siakwah, P. (2017). Are natural resource windfalls a blessing or a curse in democratic settings? Globalised assemblages and the problematic impacts of oil on Ghana's development. *Resources Policy*, 52, 122-133.
- Sidgwick, H. (2011). *The Principles of Political Economy*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Silvis, H., van der Heide, C. (2013). *Economic viewpoints on ecosystem services*. Wageningen: Statutory Research Tasks Unit for Nature and the Environment (WOT Natuur & Milieu).
- Singh, G., Singh, S., Singh, J. (2004). Optimization of energy inputs for wheat crop in Punjab. *Energy Conversion and Management*, 45(3), 453-465.
- Singh, S., Singh, S., Mittal, J., Pannu, C. (1998). Frontier energy use for the cultivation of wheat crop in Punjab. *Energy Conversion and Management*, 49(5-6), 485-491.
- Sinton, J. E., Levine, M. D. (1994). Changing energy intensity in Chinese industry: The relatively importance of structural shift and intensity change. *Energy Policy*, 22(3), 239-255.
- Small, K. A., Gomez-Ibanez, J. A. (1998). *Road Pricing for Congestion Management: The Transition from Theory to Policy*. Oakland: University of California Transportation Center.
- Smedley, T. (2015). *TTIP: what does the transatlantic trade deal mean for renewable energy?* Pobrano z: <https://www.theguardian.com/public-leaders->

network/2015/aug/05/ttip-free-trade-deal-renewable-energy-transatlantic-partnership-eu-us

- Smil, V. (1991). *General Energetics*. Nowy Jork: Wiley.
- Smil, V. (1994). *Energy In World History*. Boulder: Westview Press.
- Smil, V. (2000). *Energies. An Illustrated Guide to the Biosphere and Civilization*. Cambridge: MIT Press.
- Smil, V. (2008). *Energy in nature and society: General energetics of complex systems*. Cambridge: MIT Press.
- Smil, V. (2010). *Energy transitions: History, requirements, prospects*. Santa Barbara: Praeger.
- Smil, V. (2017). *Energy and Civilization: A History*. Cambridge: MIT Press.
- Smith, A. (2007). *Badania nad naturą i przyczynami bogactwa narodów*. Warszawa: PWN.
- Smith, C. (1998). *The Science of Energy - a Cultural History of Energy Physics in Victorian Britain*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Smith, G. E. (2006). The vis viva dispute: A controversy at the dawn of dynamics. *Physics Today*, 59(10), 31-36.
- Smith, T. (2021). *Do Oil and Natural Gas Prices Rise and Fall Together?* Pobrano z: <https://www.investopedia.com/articles/active-trading/032515/do-oil-and-natural-gas-prices-rise-and-fall-together.asp>
- Soiński, M. (2001). *Materiały magnetyczne w technice*. Warszawa: Biblioteka Centralnego Ośrodka Szkolenia i Wydawnictw SEP.
- Soni, P., Sinha, R., Perret, S. R. (2018). Energy use and efficiency in selected rice-based cropping systems of the Middle-Indo Gangetic Plains in India. *Energy Reports*, 4, 554-564.
- Spreng, D. (1993). Possibilities for substitution between energy, time and information. *Energy Policy*, 21(1), 13-23.
- 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.
- Stern, D. I. (1999). Is energy cost an accurate indicator of natural resource quality? *Ecological Economics*, 31(3), 381-394.

- Stern, N. (2006). *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Stöcker, H. (2010). *Nowoczesne kompendium fizyki*. Warszawa: PWN.
- Strapatsa, A. V., Nanos, G. D., Tsatsarelis, C. A. (2006). Energy flow for integrated apple production in Greece. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 116(3-4), 176-180.
- Streimikiene, D., Klevas, V. i Bubeliene, J. (2007). Use of EU structural funds for sustainable energy development in new EU member states. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(6), 1167-1187.
- Syp, A., Faber, A., Borzęcka-Walker, M., Osuch, D. (2015). Assessment of Greenhouse Gas Emissions in Winter Wheat Farms Using Data Envelopment Analysis Approach. *Polish Journal of Environmental Studies*, 24, 2197-2203.
- Szarucki, M. (2010). Metodyka analizy porównawczej w badaniach międzynarodowych. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie*, 827, 51-66.
- Szymańska, M. (2016). Zasada zrównoważonego rozwoju rolnictwa w świetle uregulowań gałęzi prawa i polityki rolnej. *Studia Iuridica Lublinensia*, 25(1), 121-136.
- Tabatabaeefar, A., Emamzadeh, H., Ghasemi Varnamkhasti, M., Rahimizadeh, R., Karimi, M. (2009). Comparison of energy of tillage systems in wheat production. *Energy*, 34(1), 41-45.
- Tang, C. F., Tan, E. C. (2013). Exploring the nexus of electricity consumption, economic growth, energy prices and technology innovation in Malaysia. *Applied Energy*, 104, 297-305.
- Tatarkiewicz, W. (1981). *Historia filozofii*. Warszawa: PWN.
- The World Bank. (2015). *Global Economic Prospects. Having Fiscal Space and Using It*. Waszyngton: International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank.
- Thompson, W. (1854). On the mechanical energies of the solar system. *Philosophical Magazine*, 4, 409-430.
- Timmons, D., Harris, J. M., Roach, B. (2014). *The Economics of Renewable Energy*. Medford: Global Development And Environment Institute, Tufts University.

- Todde, G., Murgia, L., Caria, M., Pazzona, A. (2018). A Comprehensive Energy Analysis and Related Carbon Footprint of Dairy Farms, Part 2: Investigation and Modeling of Indirect Energy Requirements. *Energies*, 11(2), 463.
- Toffler, A. (1986). *Trzecia Fala*. Warszawa: Państwowy Instytut Wydawniczy.
- Tubiello, F. N., Rosenzweig, C., Conchedda, G., Karl, K., Gütschow, J., Xueyao, P., . . . Sandalow, D. (2021). Greenhouse gas emissions from food systems: Building the evidence base. *Environmental Research Letters*, 16, 065007.
- U.S. Energy Information Administration. (2021). *Natural gas explained. Factors affecting natural gas prices*. Pobrano z: <https://www.eia.gov/energyexplained/natural-gas/factors-affecting-natural-gas-prices.php>
- U.S. Energy Information Administration. (2023). *What is energy? Forms of energy*. Pobrano z: <https://www.eia.gov/energyexplained/what-is-energy/forms-of-energy.php>
- Ulla, A. (2009). *A Comparative Analysis Of Energy Use Patterns In Small And Large Scale Irrigated Rice Farming Systems: A Case Study In Ayutthaya Province In The Central Region Of Thailand*. Bangkok: Asian Institute of Technology .
- Unakitan, G., Hurma, H., Yilmaz, F. (2010). An analysis of energy use efficiency of canola production in Turkey. *Energy*, 35(9), 3623-3627.
- United Nations Climate Change. (2020). *Update of the NDC of the European Union and its Member States*. Pobrano z: https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/EU_NDC_Submission_December%202020.pdf
- United States Bureau of Mines; United States Geological Survey. (1976). Principles of the Mineral Resource Classification System of the U.S. Bureau of Mines and U.S. Geological Survey. *Geological Survey Bulletin 1450-A*.
- Veysset, P., Lherm, M., Bébin, D., Roulenc, M., Benoit, M. (2014). Variability in greenhouse gas emissions, fossil energy consumption and farm economics in suckler beef production in 59 French farms. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 188, 180-191.
- Viksnina, V., Leibus, I. (2022). Implementation of Agricultural Innovation to Confirm Climate Neutrality and Related Issues. *Proceedings of the 2022 International Conference "ECONOMIC SCIENCE FOR RURAL DEVELOPMENT"*, 56, 60-67.

- Viner, J. (1931). Cost Curves and Supply Curves. *Journal of Economics*, 3(1), 23-46.
- Vittuari, M., De Menna, F., Pagani, M. (2016). The Hidden Burden of Food Waste: The Double Energy Waste in Italy. *Energies*, 9(8), 660.
- von Mayer, J. R. (1862). Remarks on the Forces of Inorganic Nature. *Philosophical Magazine*, 24(162), 371-377.
- Wallace, J. (2021). *Energy Prices in Europe Hit Records After Wind Stops Blowing*. Pobrano z: https://www.wsj.com/articles/energy-prices-in-europe-hit-records-after-wind-stops-blowing-11631528258?mod=hp_trending_now_article_pos3
- Wang, Y., Zheng, Y. (2021). Spatial effects of carbon emission intensity and regional development in China. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 14131-14143.
- Warde, P. (2007). *Energy Consumption in England and Wales, 1560–2004*. Neapol: Consiglio Nazionale della Ricerche.
- Watson, D. (2023). *What is the Definition of Energy?* Pobrano z: <https://www.ftexploring.com/energy/definition.html>
- Wątroba, J. (2002). *Wprowadzenie do analizy korelacji i regresji*. Kraków: StatSoft Polska Sp. z o.o.
- Weber, S. (2006). *The Success of Open Source*. Cambridge: Harvard University Press.
- Weil, D. (2009). *Economic Growth*. Londyn: Pearson Addition Wesley.
- Weiss, R. (2008). Report Targets Costs Of Factory Farming. *Washington Post*.
- White, L. J., McKenzie, J., Cole, R. A. (2008). Deregulation Gone Awry: Moral Hazard in the Savings and Loan Industry. *SSRN*.
- Wicki, L. (2018). The Role of Productivity Growth in Agricultural Production Development in the Central and Eastern Europe Countries After 1991. *Proceedings of the 2018 International Conference "ECONOMIC SCIENCE FOR RURAL DEVELOPMENT"*, 47, 514-523.
- Wilkin, J. (2004). Dlaczego potrzebujemy długookresowej strategii zintegrowanego rozwoju wsi i rolnictwa w Polsce. *Wiś i Rolnictwo*, 2, 157-170.
- Woś, A. (1995). *Ekonomika odnawialnych zasobów naturalnych*. Warszawa: PWN.
- Wójcicki, Z. (2015). Energochłonność produkcji rolniczej na podstawie badań. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 4, 31-41.
- Wrigley, E. A. (1988). *Continuity, Chance, and Change: The Character of the Industrial Revolution in England*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Wu, Y., Xi, X., Tang, X., Luo, D., Gu, B., Lam, S. K., . . . Chen, D. (2018). Policy distortions, farm size, and the overuse of agricultural chemicals in China. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *115*, 7010-7015.
- Wydawnictwo Naukowe PWN. (1997). *Nowa Encyklopedia Powszechna PWN*. Warszawa: PWN.
- Yan, Q., Yin, J., Baležentis, T., Makutėnienė, D., Štreimikienė, D. (2017). Energy-related GHG emission in agriculture of the European countries: An application of the Generalized Divisia Index. *Journal of Cleaner Production*, *164*, 686-694.
- Yang, X., Jia, Z., Yang, Z., Yuan, X. (2021). The effects of technological factors on carbon emissions from various sectors in China—A spatial perspective. *Journal of Cleaner Production*, *301*, 126949.
- Yergin, D. (1991). *The Prize: The Epic Quest for Oil, Money & Power*. Nowy Jork: Simon & Schuster.
- Yilmaz, I., Akcaoz, H., Ozkan, B. (2005). An analysis of energy use and input costs for cotton production in Turkey. *Renewable Energy*, *30*(2), 145-155.
- Young, T. (1807). *A Course of Lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts*. Londyn.
- Zegar, J. S. (2007). Przesłanki nowej ekonomiki rolnictwa. *Zagadnienia Ekonomiki Rolnej*(4), 6-7.
- Zegar, J. S. (2012). *Współczesne wyzwania rolnictwa*. Warszawa: PWN.
- Zencey, E. (2012). *The Other Road to Serfdom and the Path to Sustainable Democracy*. Lebanon: University Press of New England.
- Zhang, W., Qian, C., Carlson, K. M., Ge, X., Wang, X., Chen, X. (2021). Increasing farm size to improve energy use efficiency and sustainability in maize production. *Food and Energy Security*, *10*(1).
- Zhu, Y., Waqas, M. A., Li, Y., Zou, X., Jiang, D., Wilkes, A., . . . Hasbagan, G. (2018). Large-scale farming operations are win-win for grain production, soil carbon storage and mitigation of greenhouse gases. *Journal of Cleaner Production*, *172*, 2143-2152.
- Ziesemer, J. (2007). *Energy Use in Organic Food Systems*. Rzym: Natural Resources Management and Environment Department, Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Zimmermann, E. (1933). Resources of the South. *The South Atlantic Quarterly*, 216.

Zimmermann, E. (1951). *World Resources and Industries*. Nowy Jork: Harper & Brothers.

SPIS TABEL

Tabela 1. Formy energii.....	37
Tabela 2. Przykłady kategorii wpływów prowadzących do potencjalnych efektów zewnętrznych	88
Tabela 3. Współczynnik R/P dla ropy naftowej w wybranych krajach świata w 2020 roku	97
Tabela 4. Współczynnik R/P dla węgla w wybranych krajach świata w 2020 roku	99
Tabela 5. Współczynnik R/P dla gazu ziemnego w wybranych krajach świata w 2020 roku	100
Tabela 6. Rezerwy surowców w poszczególnych regionach świata	101
Tabela 7. Struktura zużycia energii według źródeł w 2020 roku w krajach o największym udziale energii odnawialnej w całkowitym zużyciu	103
Tabela 8. Rezerwy ropy naftowej, gazu ziemnego i węgla w krajach europejskich w 2020 roku	104
Tabela 9. Import nieodnawialnych źródeł energii w Unii Europejskiej w latach 2010-2020	116
Tabela 10. Najwięksi eksporterzy paliw stałych kopalnych do krajów Unii Europejskiej w latach 2010-2020.....	117
Tabela 11. Najwięksi eksporterzy ropy i produktów ropopochodnych do krajów Unii Europejskiej w latach 2010-2020	118
Tabela 12. Najwięksi eksporterzy gazu ziemnego do krajów Unii Europejskiej w latach 2010-2020.....	119
Tabela 13. Eksport nieodnawialnych źródeł energii w Unii Europejskiej w latach 2010-2020	121
Tabela 14. Najwięksi importerzy paliw stałych kopalnych z krajów Unii Europejskiej w latach 2010-2020.....	122
Tabela 15. Najwięksi importerzy ropy i produktów ropopochodnych z krajów Unii Europejskiej w latach 2010-2020	123
Tabela 16. Najwięksi importerzy gazu ziemnego z krajów Unii Europejskiej w latach 2010-2020	123
Tabela 17. Produkcja energii elektrycznej w Polsce według nośników energii.....	137
Tabela 18. Bilans węgla kamiennego	140
Tabela 19. Bilans gazu ziemnego w Polsce	141

Tabela 20. Bilans ropy naftowej w Polsce	141
Tabela 21. Bilans energii elektrycznej w Polsce.....	142
Tabela 22. Udział rolnictwa w całkowitym zużyciu energii finalnej w latach 2010-2020.....	150
Tabela 23. Liczba badanych gospodarstw.....	167
Tabela 24. Produktywność ziemi (tys. zł/ha UR) – Grupa A.....	170
Tabela 25. Produktywność ziemi (tys. zł/ha UR) – Grupa B.....	170
Tabela 26. Techniczne uzbrojenie ziemi (tys. zł/ha UR) – Grupa A	171
Tabela 27. Techniczne uzbrojenie ziemi (tys. zł/ha UR) – Grupa B	171
Tabela 28. Nakłady pracy na 100 ha UR (AWU/100 ha UR) – Grupa A.....	173
Tabela 29. Nakłady pracy na 100 ha UR (AWU/100 ha UR) – Grupa B	174
Tabela 30. Liczba ciągników (szt./100 ha UR) – Grupa A	177
Tabela 31. Liczba ciągników (szt./100 ha UR) – Grupa B	177
Tabela 32. Koszty ogółem na 1 ha UR (zł/ha) – Grupa A	181
Tabela 33. Koszty ogółem na 1 ha UR (zł/ha) – Grupa B	181
Tabela 34. Koszty energii (zł) – Grupa A	188
Tabela 35. Koszty energii (zł) – Grupa B	188
Tabela 36. Koszty energii na 1 ha UR (zł) – Grupa A	189
Tabela 37. Koszty energii na 1 ha UR (zł) – Grupa B	189
Tabela 38. Udział kosztów materiałów opałowych w kosztach energii (%) – Grupa A.....	190
Tabela 39. Udział kosztów materiałów opałowych w kosztach energii (%) – Grupa B	190
Tabela 40. Koszty materiałów pędnych na 1 ha UR (zł/ha) – Grupa A.....	191
Tabela 41. Koszty materiałów pędnych na 1 ha UR (zł/ha) – Grupa B.....	191
Tabela 42. Udział kosztów materiałów pędnych w kosztach energii (%) – Grupa A...	192
Tabela 43. Udział kosztów materiałów pędnych w kosztach energii (%) – Grupa B...	192
Tabela 44. Dynamika zużycia nośników energii w latach 2016-2020 – Grupa A (rok poprzedni=100).....	199
Tabela 45. Dynamika zużycia nośników energii w latach 2016-2020 – Grupa B (rok poprzedni=100).....	200

Tabela 46. Korelacje między produktywnością nakładów energii a dochodem z rodzinnego gospodarstwa rolnego dla wszystkich analizowanych gospodarstw rolnych oraz dla poszczególnych typów rolniczych	204
Tabela 47. Korelacje między produktywnością nakładów energii a dochodem z rodzinnego gospodarstwa rolnego na hektar użytków rolnych dla wszystkich analizowanych gospodarstw rolnych oraz dla poszczególnych typów rolniczych.....	204
Tabela 48. Korelacje między produktywnością nakładów energii a technicznym uzbrojeniem ziemi dla wszystkich analizowanych gospodarstw rolnych oraz dla poszczególnych typów rolniczych	205
Tabela 49. Korelacje między produktywnością nakładów energii a powierzchnią użytków rolnych dla wszystkich analizowanych gospodarstw rolnych oraz dla poszczególnych typów rolniczych.....	205
Tabela 50. Koszty energii w badanych gospodarstwach – Wariant I.....	206
Tabela 51. Obciążenie dochodów kosztami energii – Wariant I	206
Tabela 52. Dochody z rodzinnego gospodarstwa rolnego – Wariant I.....	207
Tabela 53. Koszty energii w badanych gospodarstwach – Wariant II.....	208
Tabela 54. Obciążenie dochodów kosztami energii – Wariant II.....	208
Tabela 55. Dochody z rodzinnego gospodarstwa rolnego – Wariant II	209
Tabela 56. Koszty nawozów w badanych gospodarstwach – Wariant III	210
Tabela 57. Obciążenie dochodów kosztami energii – Wariant III	210
Tabela 58. Dochody z rodzinnego gospodarstwa rolnego – Wariant III	211
Tabela 59. Koszty nawozów w badanych gospodarstwach – Wariant IV	212
Tabela 60. Obciążenie dochodów kosztami energii – Wariant IV	213
Tabela 61. Dochody z rodzinnego gospodarstwa rolnego – Wariant IV	214
Tabela 62. Model objaśniający produktywność nakładów energii (Y_1) dla grupy gospodarstw o produkcji mieszanej	215
Tabela 63. Model objaśniający produktywność nakładów energii (Y_2) dla grupy gospodarstw specjalizujących się w chowie trzody chlewnej	217
Tabela 64. Model objaśniający produktywność nakładów energii (Y_3) dla grupy gospodarstw specjalizujących się w chowie bydła mlecznego.....	218
Tabela 65. Model objaśniający produktywność nakładów energii (Y_4) dla grupy gospodarstw specjalizujących się w uprawie zbóż, roślin oleistych i wysokobiałkowych na nasiona	220

Tabela 66. Model objaśniający produktywność nakładów energii (Y_5) dla grupy gospodarstw specjalizujących się w uprawie warzyw i truskawek pod wysokimi osłonami	221
Tabela 67. Model objaśniający produktywność nakładów energii (Y_6) dla grupy gospodarstw specjalizujących się w uprawie drzew i krzewów owocowych (bez winorośli i oliwek).....	222

SPIS RYSUNKÓW

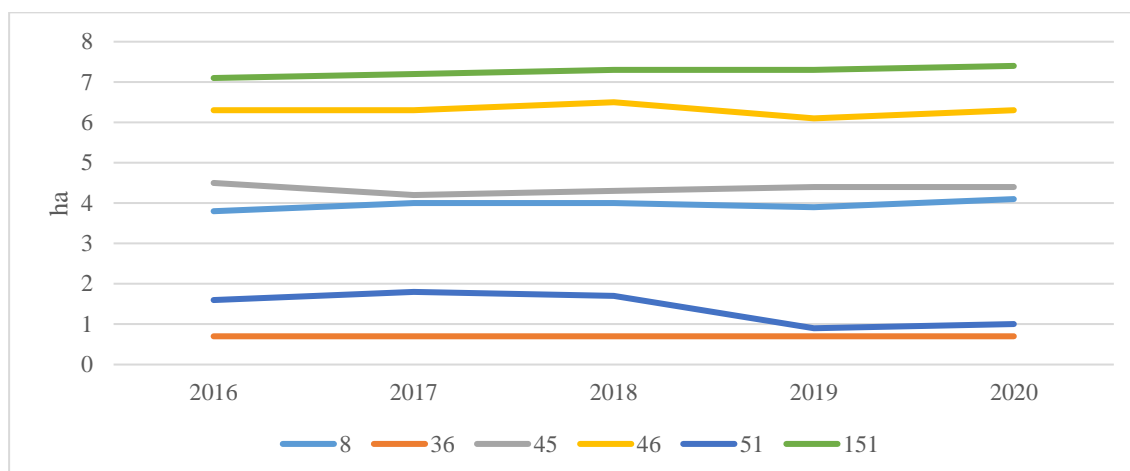
Rysunek 1. Struktura podstawowych napędów w wybranych okresach historycznych (%).....	47
Rysunek 2. Udział dostaw energii pierwotnej w latach 1800-2000 (%)	48
Rysunek 3. Klasyfikacja zasobów naturalnych	53
Rysunek 4. Struktura światowej podaży energii według źródeł w 2019 roku (%).....	96
Rysunek 5. Liczba reaktorów jądrowych i ich całkowita moc netto w krajach świata w 2020 roku	101
Rysunek 6. Struktura pozyskiwania energii pierwotnej ze źródeł odnawialnych na świecie w latach 1965-2020 (%).....	102
Rysunek 7. Energia dostępna brutto w krajach Unii Europejskiej w latach 1990-2020 (Mtoe).....	105
Rysunek 8. Energia dostępna brutto w podziale na nośniki energii (%).....	106
Rysunek 9. Zużycie energii pierwotnej w krajach Unii Europejskiej w latach 2010-2020 (%).....	107
Rysunek 10. Zużycie energii pierwotnej w krajach Unii Europejskiej per capita w latach 2010-2020 (toe).....	108
Rysunek 11. Finalne zużycie energii w krajach Unii Europejskiej w latach 2010-2020 (%).....	109
Rysunek 12. Finalne zużycie energii w krajach Unii Europejskiej per capita w latach 2010-2020 (toe).....	110
Rysunek 13. Finalne zużycie energii w Unii Europejskiej oraz w Polsce w podziale na nośniki energii w latach 2010-2020 (%).....	111
Rysunek 14. Finalne zużycie energii w Unii Europejskiej oraz w Polsce w podziale na sektory w latach 2010-2020 (%).....	112
Rysunek 15. Finalne zużycie energii w gospodarstwach domowych w Unii Europejskiej oraz w Polsce w podziale na nośniki energii w latach 2010-2020 (%)	113
Rysunek 16. Finalne zużycie energii w gospodarstwach domowych per capita w latach 2010-2020 (kgoe).....	114
Rysunek 17. Wskaźnik zależności energetycznej w krajach Unii Europejskiej w latach 2010-2020 (%).....	120
Rysunek 18. Ceny ropy naftowej w latach 1861-2020 (USD/baryłka)	125
Rysunek 19. Ceny gazu ziemnego w latach 1984-2020 (USD/mln Btu)	126

Rysunek 20. Ceny węgla w latach 2001-2020 (USD/tona)	127
Rysunek 21. Ceny energii elektrycznej w gospodarstwach domowych w UE w latach 2010-2020 (EUR/kWh)	128
Rysunek 22. Ceny gazu ziemnego w gospodarstwach domowych w UE w latach 2010-2020 (EUR/kWh)	129
Rysunek 23. Import energii w Polsce według nośników (PJ).....	138
Rysunek 24. Eksport energii w Polsce według nośników (PJ)	139
Rysunek 25. Uzależnienie od importu energii w Polsce (%).....	140
Rysunek 26. Zużycie węgla w Polsce w 2020 roku (%).....	143
Rysunek 27. Zużycie gazu ziemnego w Polsce w 2020 roku (%)	143
Rysunek 28. Zużycie lekkiego oleju opałowego w Polsce w 2020 roku (%)	144
Rysunek 29. Zużycie ciężkiego oleju opałowego w Polsce w 2020 roku (%).....	145
Rysunek 30. Zużycie ciepła w Polsce w 2020 roku (%).....	146
Rysunek 31. Zużycie energii elektrycznej w Polsce w 2020 roku (%).....	147
Rysunek 32. Zużycie energii finalnej w rolnictwie w Polsce, krajach strefy euro oraz w UE-27 w latach 2010-2020 (Mtoe)	148
Rysunek 33. Struktura zużycia energii finalnej według nośników w rolnictwie w UE-27 w 2020 roku (%).....	149
Rysunek 34. Finalne zużycie energii w rolnictwie i leśnictwie na jednego zatrudnionego (toe/AWU).....	151
Rysunek 35. Finalne zużycie energii w rolnictwie i leśnictwie na hektar użytków rolnych (toe/ha UR).....	152
Rysunek 36. Zużycie nośników energii w polskim rolnictwie w latach 2010-2020 (PJ).....	153
Rysunek 37. Zużycie paliw stałych w polskim rolnictwie w latach 2010-2020 (PJ)....	154
Rysunek 38. Zużycie paliw ciekłych w polskim rolnictwie w latach 2010-2020 (PJ) .	155
Rysunek 39. Zużycie paliw gazowych w polskim rolnictwie w latach 2010-2020 (PJ)	155
Rysunek 40. Produkcja globalna rolnictwa w przeliczeniu na 1 GJ w latach 2010-2020 (zł/GJ)	156
Rysunek 41. Powierzchnia użytków rolnych (ha) – Grupa A.....	169
Rysunek 42. Powierzchnia użytków rolnych (ha) – Grupa B	169
Rysunek 43. Zużycie nawozów mineralnych na ha UR (zł/ha UR) – Grupa A.....	172

Rysunek 44. Zużycie nawozów mineralnych na ha UR (zł/ha UR) – Grupa B	172
Rysunek 45. Ekonomiczna wydajność pracy (zł/h) – Grupa A	175
Rysunek 46. Ekonomiczna wydajność pracy (zł/h) – Grupa B	175
Rysunek 47. Techniczne uzbrojenie pracy (tys. zł/AWU) – Grupa A	176
Rysunek 48. Techniczne uzbrojenie pracy (tys. zł/AWU) – Grupa B.....	176
Rysunek 49. Produkcja ogółem (zł) – Grupa A.....	178
Rysunek 50. Produkcja ogółem (zł) – Grupa B	178
Rysunek 51. Produkcja roślinna (zł) – Grupa A.....	179
Rysunek 52. Produkcja roślinna (zł) – Grupa B	179
Rysunek 53. Produkcja zwierzęca (zł) – Grupa A.....	180
Rysunek 54. Produkcja zwierzęca (zł) – Grupa B	180
Rysunek 55. Udział kosztów bezpośrednich w kosztach ogółem (%) – Grupa A.....	182
Rysunek 56. Udział kosztów bezpośrednich w kosztach ogółem (%) – Grupa B.....	182
Rysunek 57. Udział kosztów nawozów w kosztach bezpośrednich (%) – Grupa A	183
Rysunek 58. Udział kosztów nawozów w kosztach bezpośrednich (%) – Grupa B	183
Rysunek 59. Dochód z rodzinnego gospodarstwa rolnego (zł) – Grupa A	184
Rysunek 60. Dochód z rodzinnego gospodarstwa rolnego (zł) – Grupa B.....	184
Rysunek 61. Dochód z rodzinnego gospodarstwa rolnego na osobę pełnozatrudnioną rodziny (zł/FWU) – Grupa A.....	185
Rysunek 62. Dochód z rodzinnego gospodarstwa rolnego na osobę pełnozatrudnioną rodziny (zł/FWU) – Grupa B	186
Rysunek 63. Udział kosztów poszczególnych materiałów opałowych, materiałów pędnych oraz energii elektrycznej w kosztach energii (%) – Grupa A	193
Rysunek 64. Udział kosztów poszczególnych materiałów opałowych, materiałów pędnych oraz energii elektrycznej w kosztach energii (%) – Grupa B.....	194
Rysunek 65. Średnie zużycie energii w grupie A w latach 2016-2020 (GJ)	194
Rysunek 66. Średnie zużycie energii w grupie B w latach 2016-2020 (GJ)	195
Rysunek 67. Struktura zużycia energii (%) – Grupa A	197
Rysunek 68. Struktura zużycia energii (%) – Grupa B.....	199
Rysunek 69. Produktywność nakładów energii – Grupa A	201
Rysunek 70. Produktywność nakładów energii – Grupa B	202
Rysunek 71. Dochodowość nakładów energii – Grupa A	203
Rysunek 72. Dochodowość nakładów energii – Grupa B	203

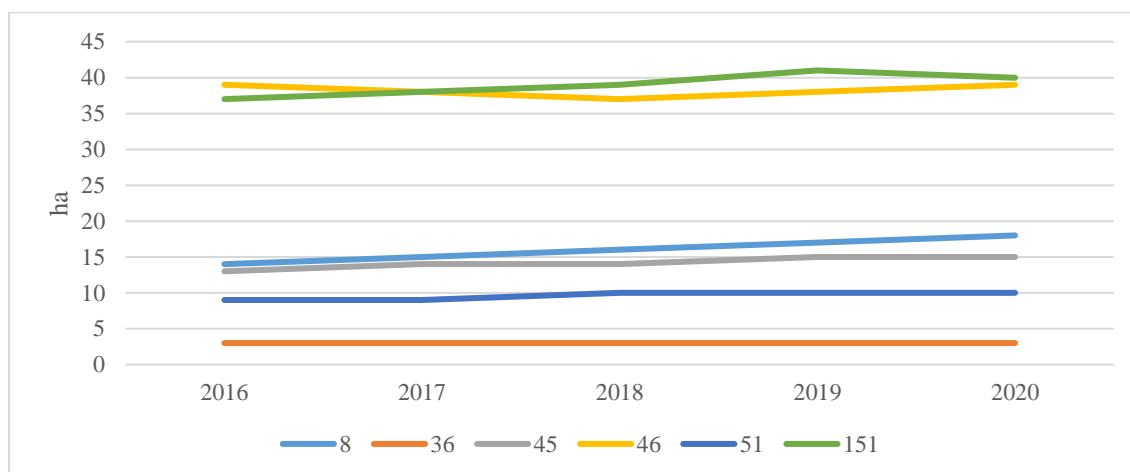
ANEKS

Załącznik 1. Powierzchnia dodzierżawionych użytków rolnych (ha) – Grupa A



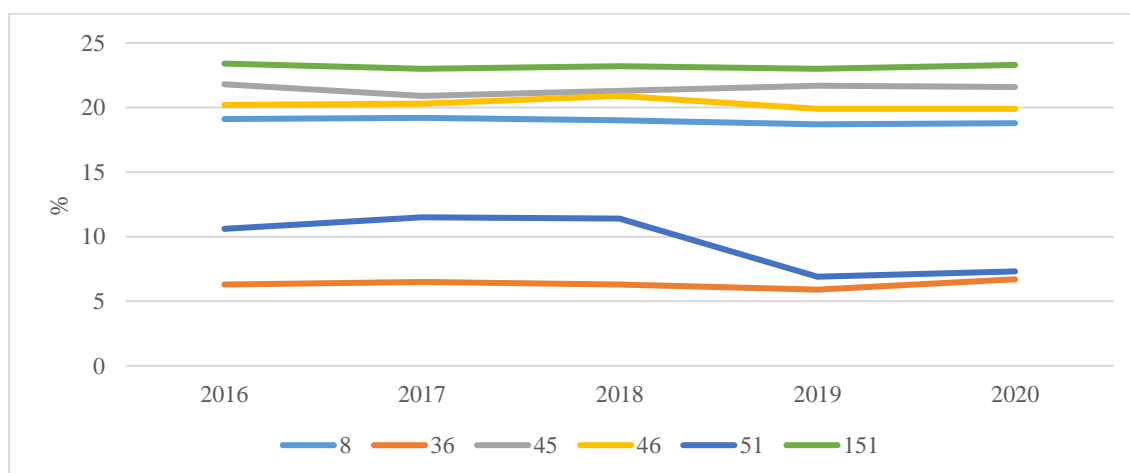
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Załącznik 2. Powierzchnia dodzierżawionych użytków rolnych (ha) – Grupa B



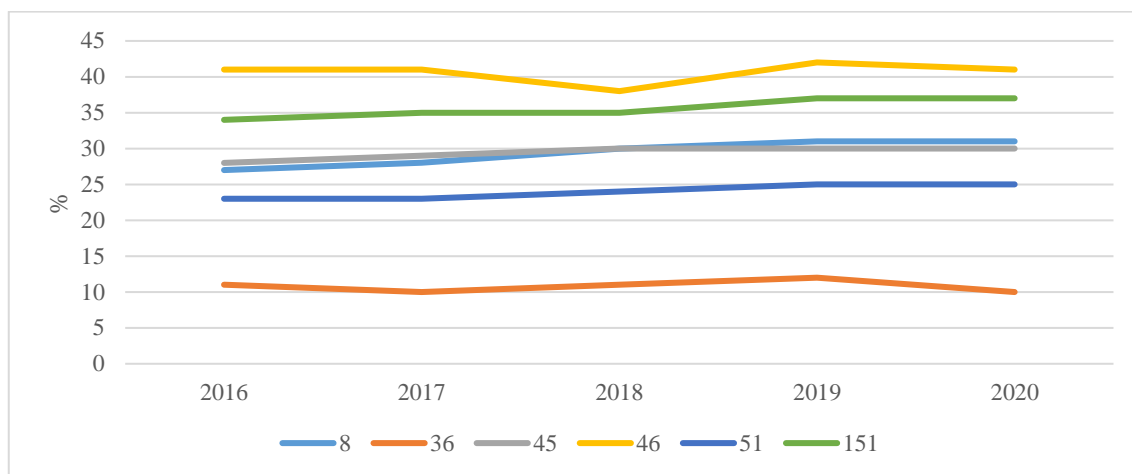
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Załącznik 3. Udział powierzchni dodzierżawionej w powierzchni całkowitej UR (%) – Grupa A



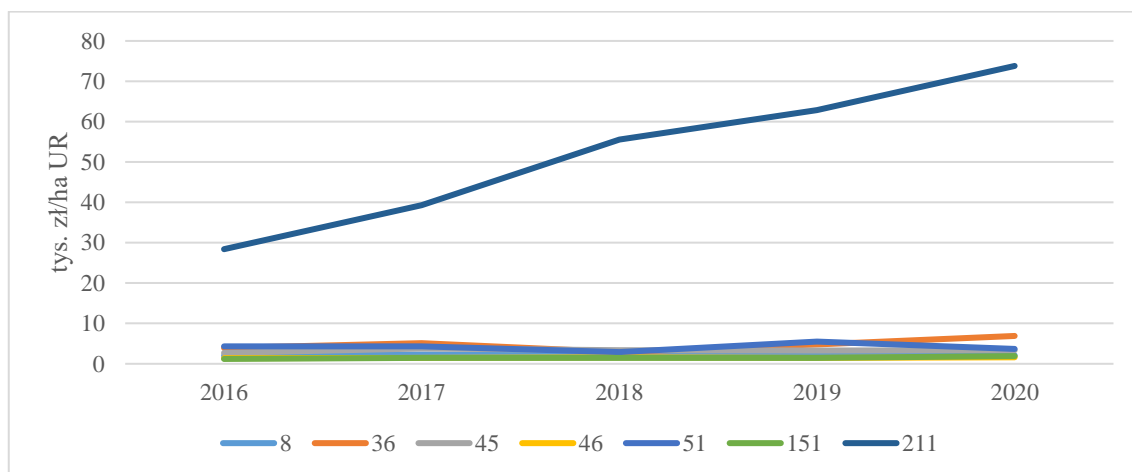
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Załącznik 4. Udział powierzchni dodzierżawionej w powierzchni całkowitej UR (%) – Grupa B



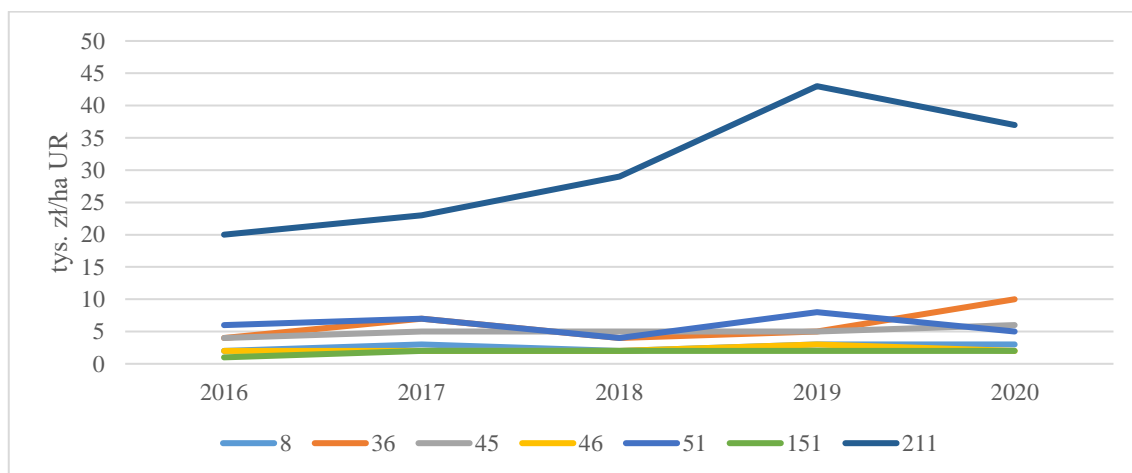
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Załącznik 5. Wskaźnik dochodowości ziemi (tys. zł/ha UR) – Grupa A



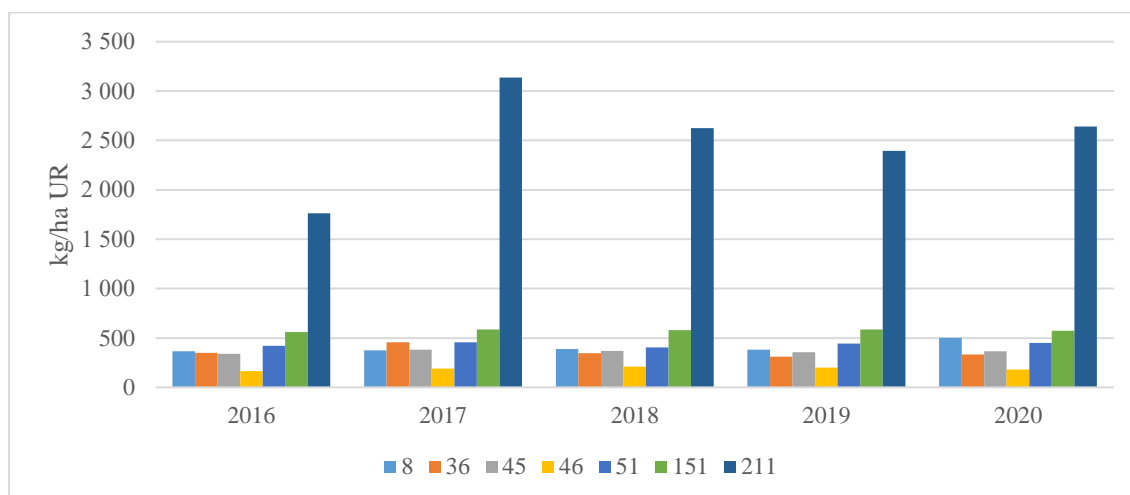
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Załącznik 6. Wskaźnik dochodowości ziemi (tys. zł/ha UR) – Grupa B



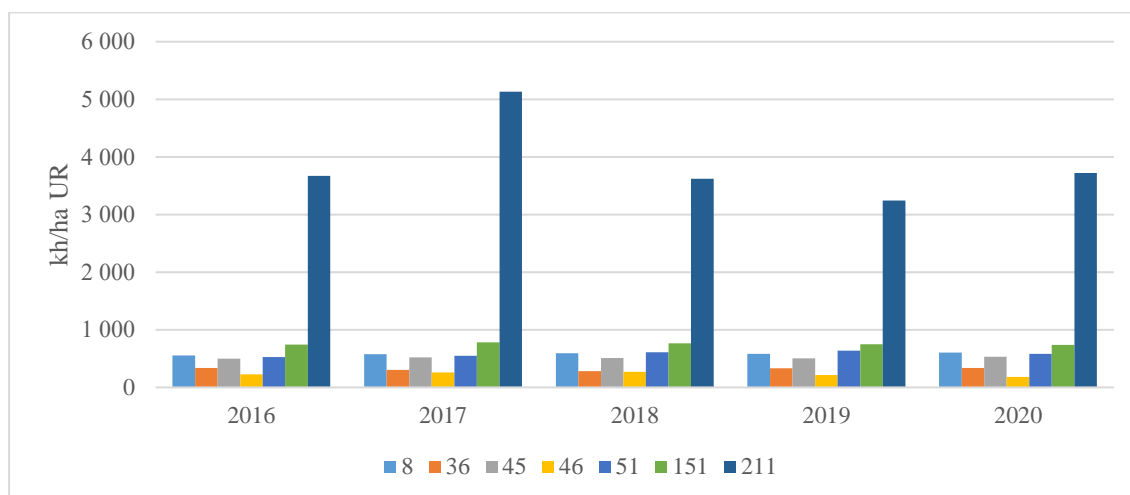
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Załącznik 7. Zużycie nawozów mineralnych na ha UR (kg/ha UR) – Grupa A



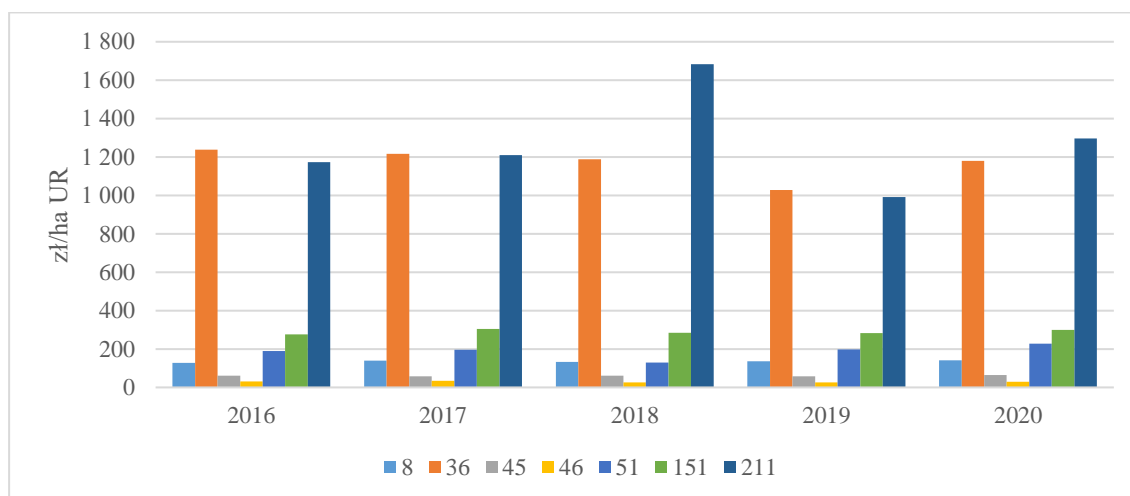
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Załącznik 8. Zużycie nawozów mineralnych na ha UR (kg/ha UR) – Grupa B



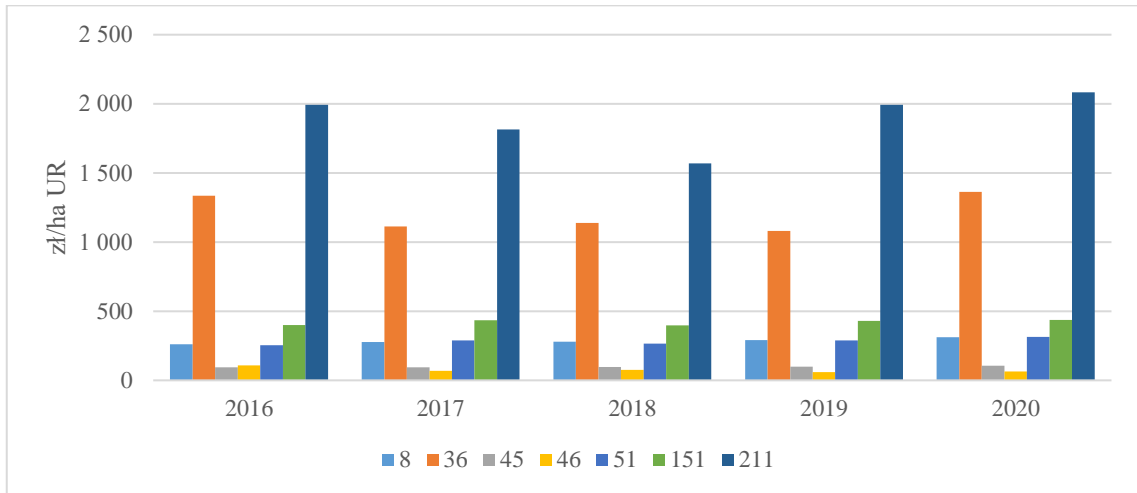
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Załącznik 9. Zużycie środków ochrony roślin na ha UR (zł/ha UR) – Grupa A



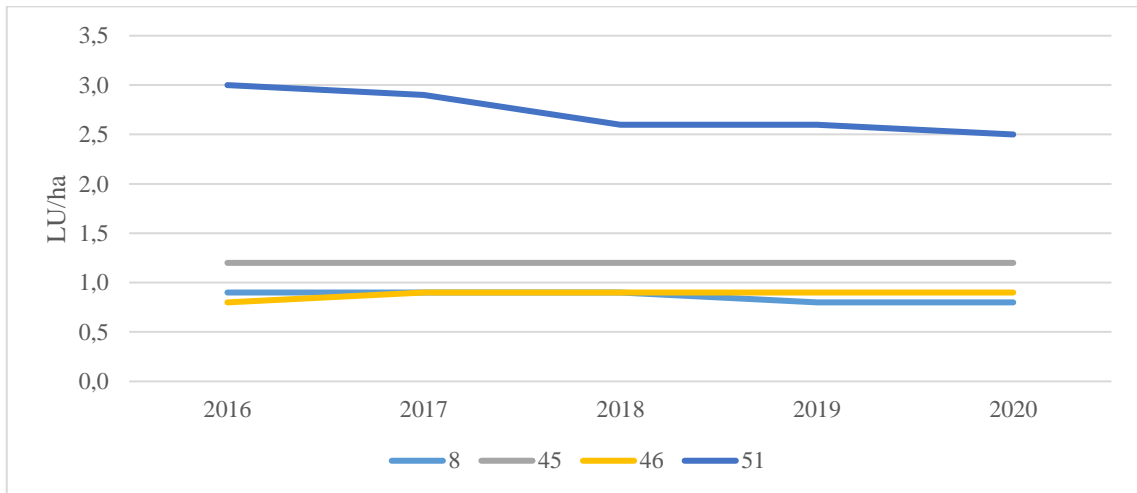
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Załącznik 10. Zużycie środków ochrony roślin na ha UR (zł/ha UR) – Grupa B



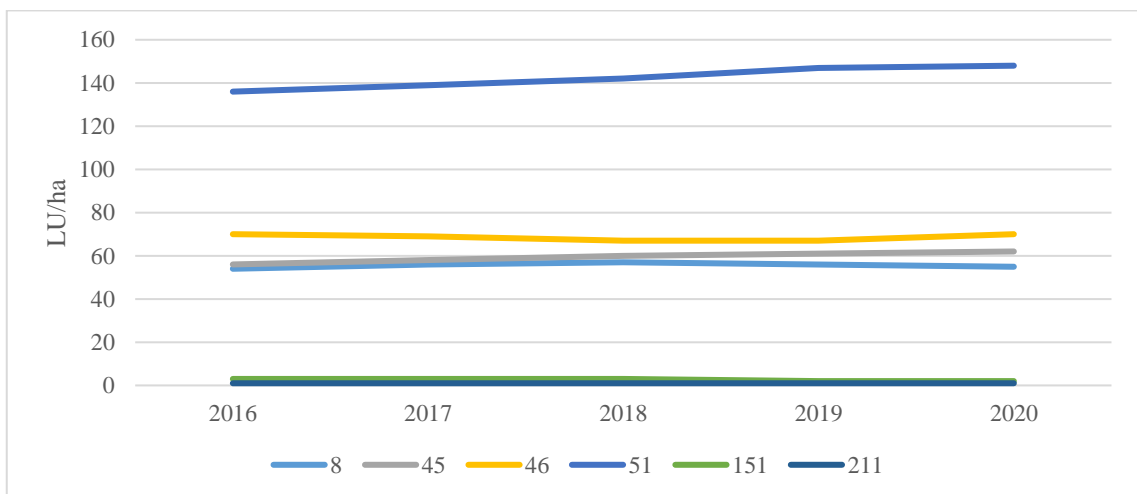
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Załącznik 11. Zwierzęta ogółem w przeliczeniu na ha UR (LU/ha) – Grupa A



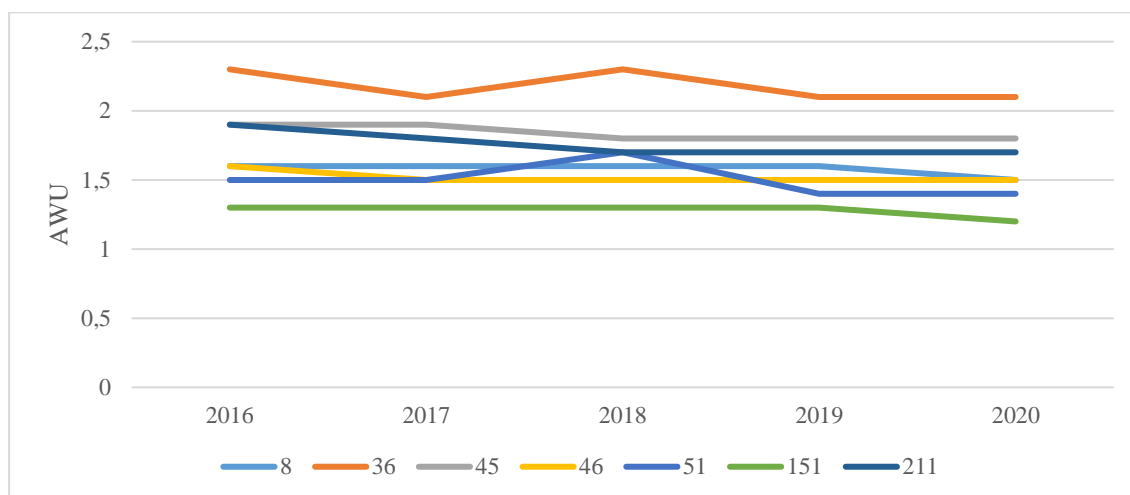
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Załącznik 12. Zwierzęta ogółem w przeliczeniu na ha UR (LU/ha) – Grupa B



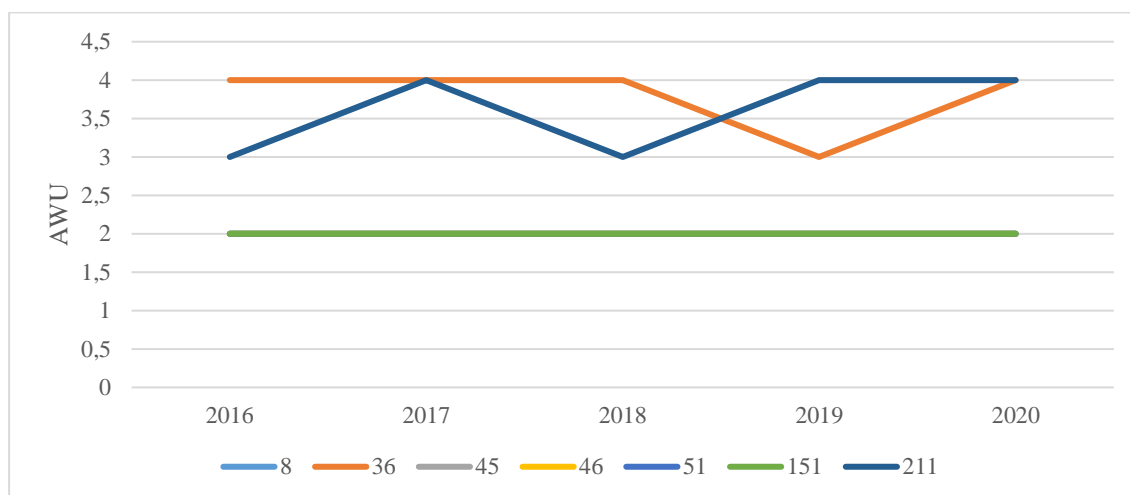
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Załącznik 13. Nakład pracy ogółem (AWU) – Grupa A



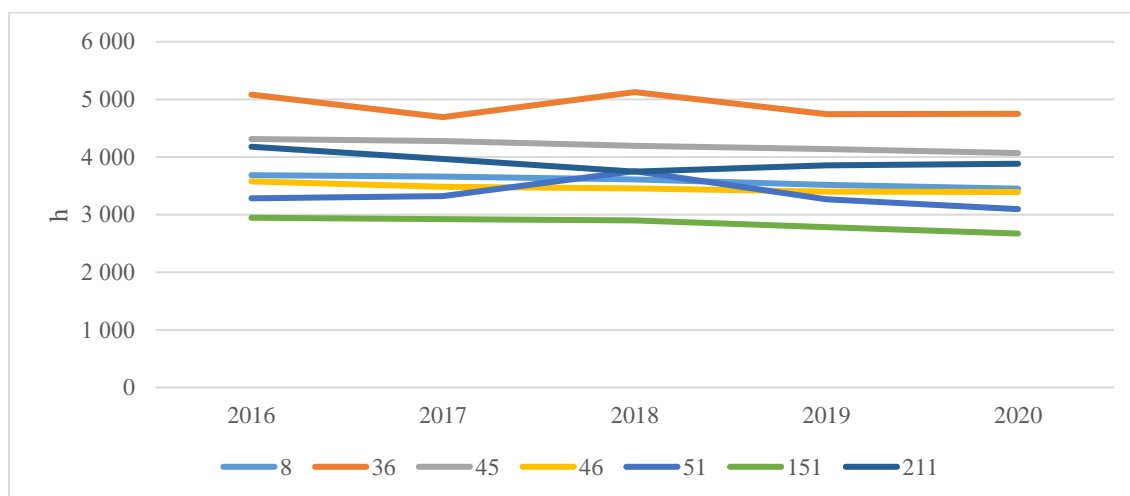
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Załącznik 14. Nakład pracy ogółem (AWU) – Grupa B



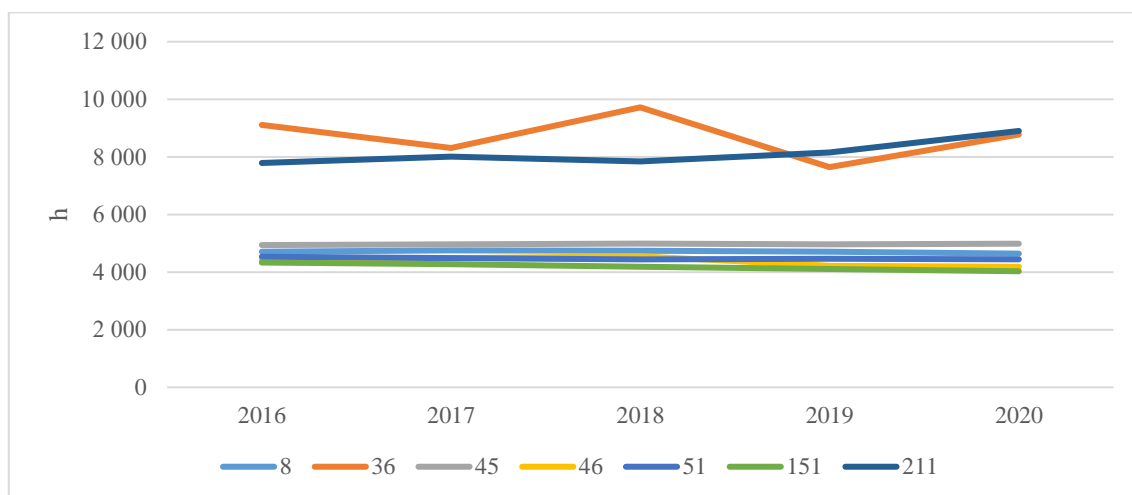
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Załącznik 15. Czas pracy ogółem (h) – Grupa A



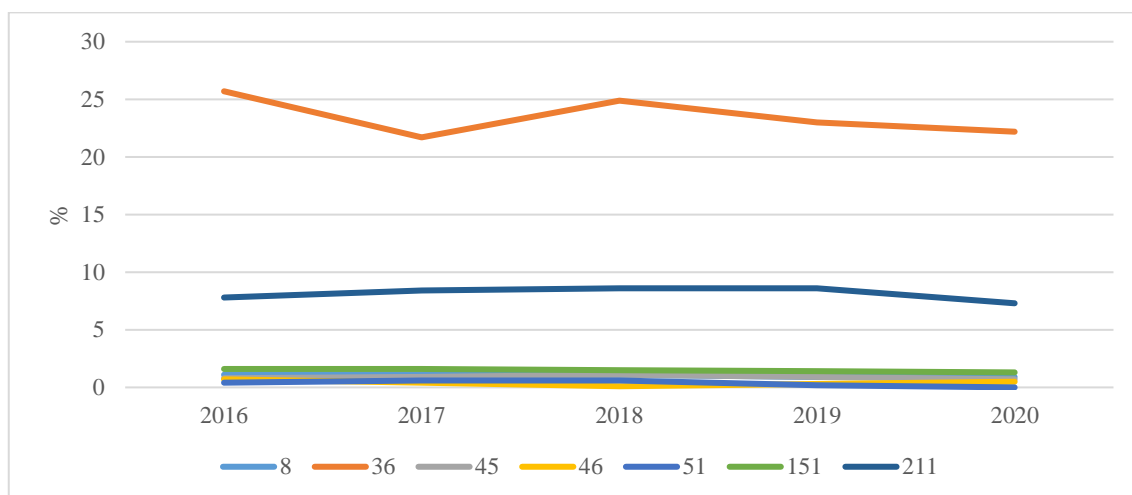
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Załącznik 16. Czas pracy ogółem (h) – Grupa B



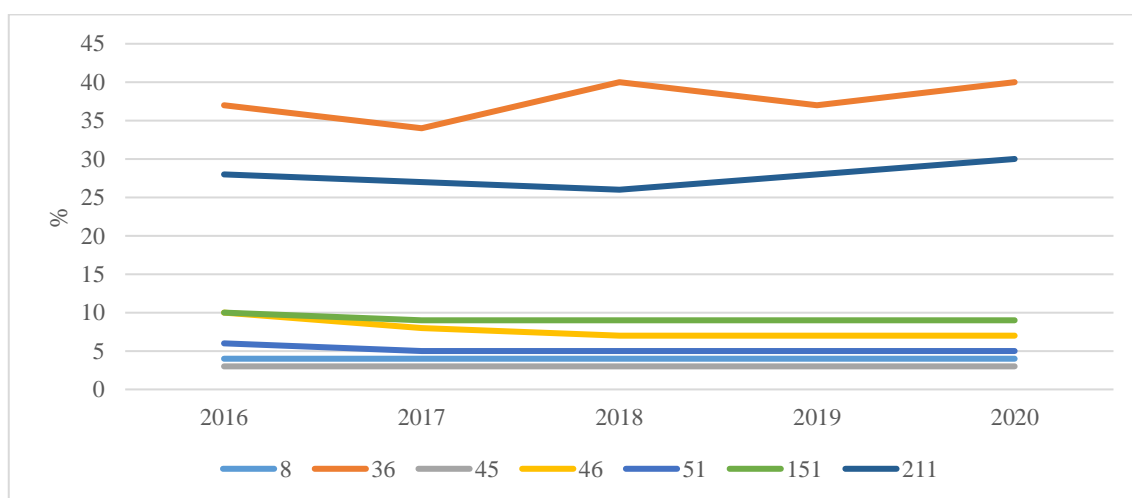
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Załącznik 17. Udział czasu pracy najemnej w czasie pracy ogółem (%) – Grupa A



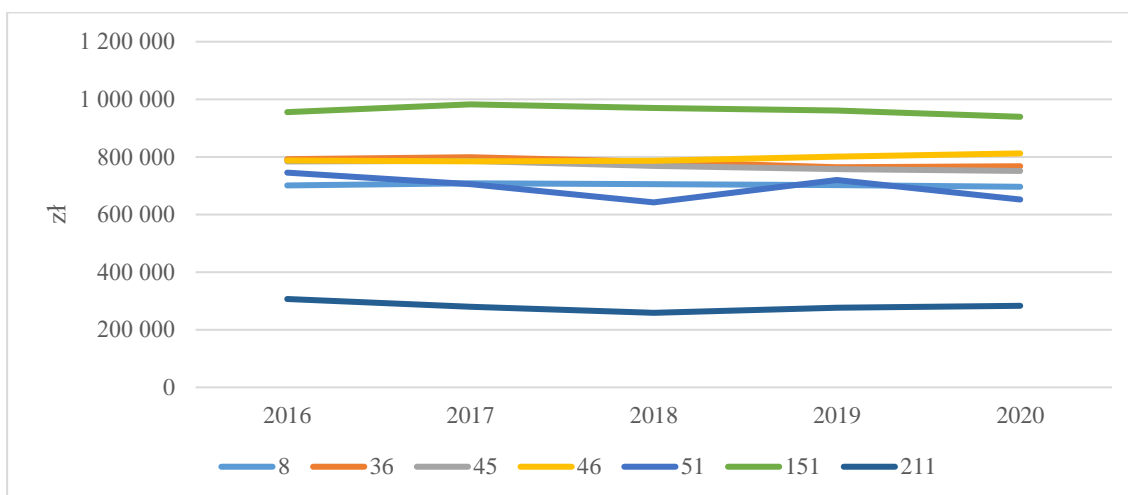
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Załącznik 18. Udział czasu pracy najemnej w czasie pracy ogółem (%) – Grupa B



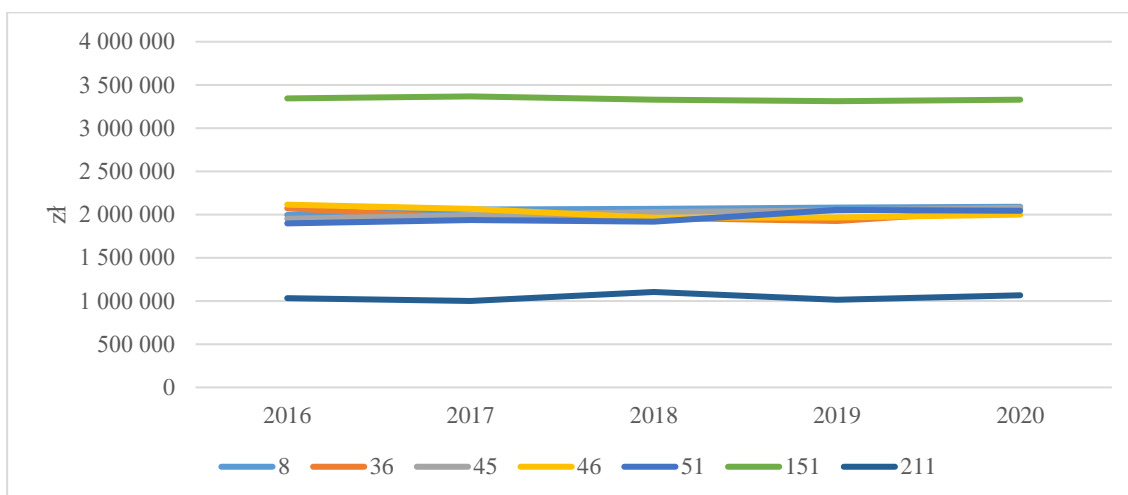
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Załącznik 19. Aktywa ogółem (SK) w zł – Grupa A



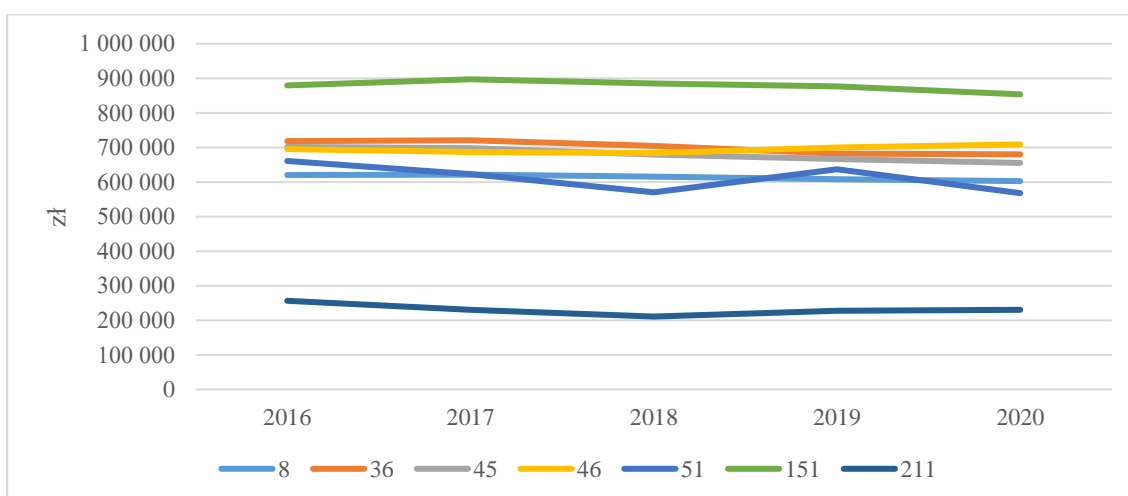
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Załącznik 20. Aktywa ogółem (SK) w zł – Grupa B



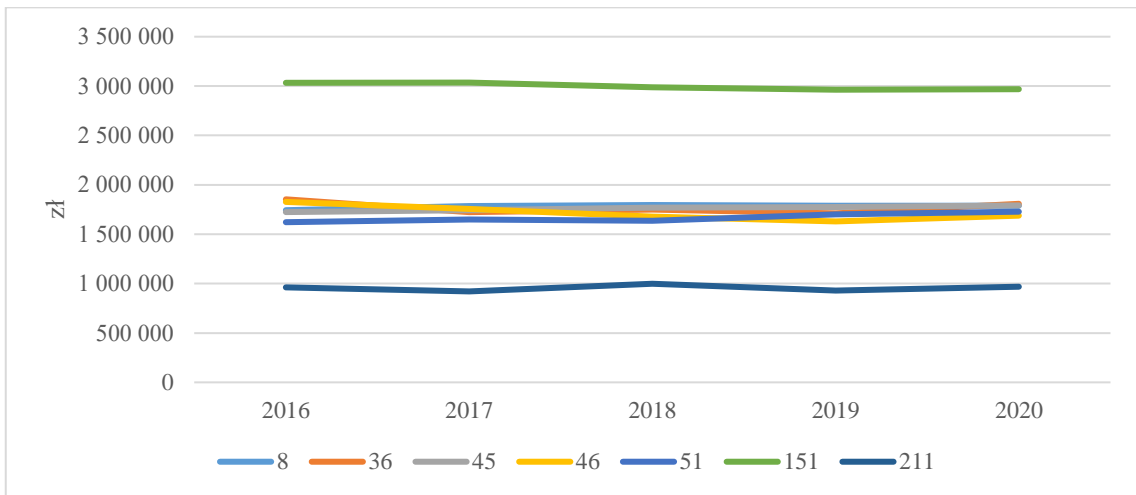
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Załącznik 21. Aktywa trwale (SK) w zł – Grupa A



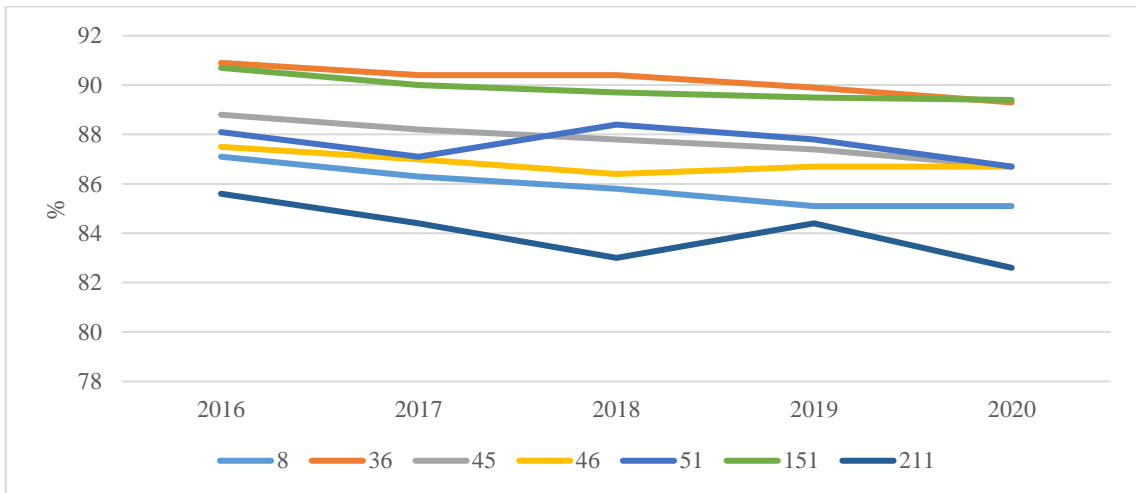
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Załącznik 22. Aktywa trwałe (SK) w zł – Grupa B



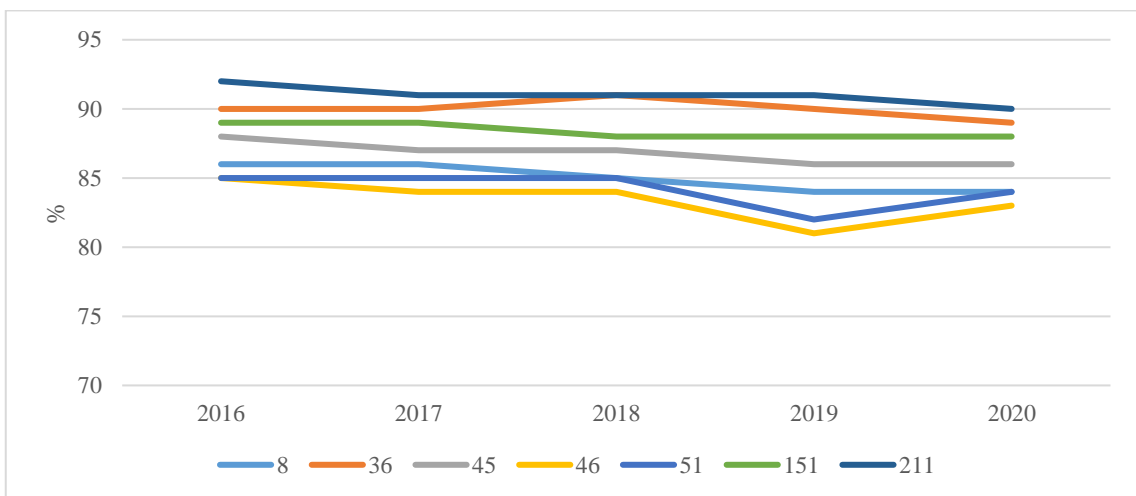
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Załącznik 23. Udział aktywów trwałych w aktywach ogółem (%) – Grupa A



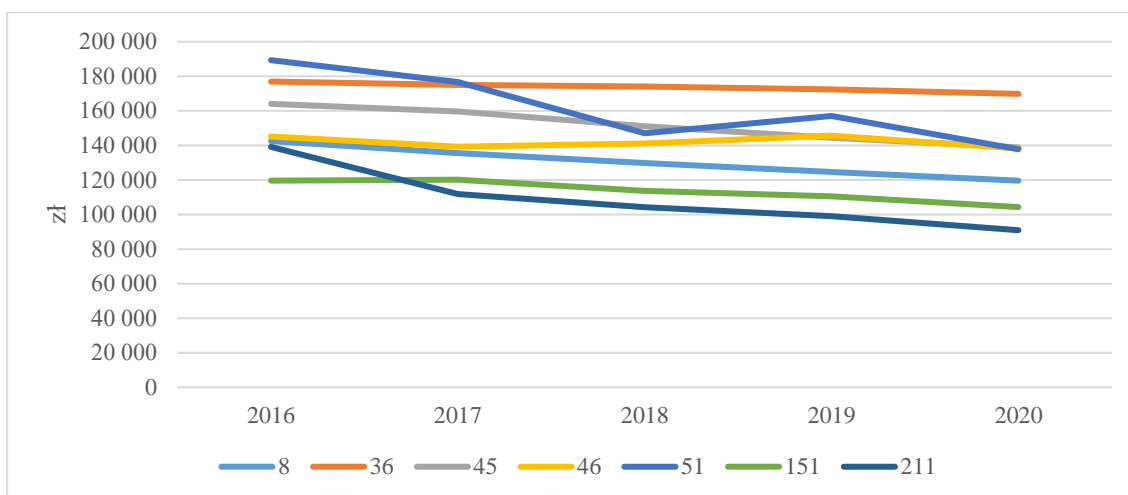
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Załącznik 24. Udział aktywów trwałych w aktywach ogółem (%) – Grupa B



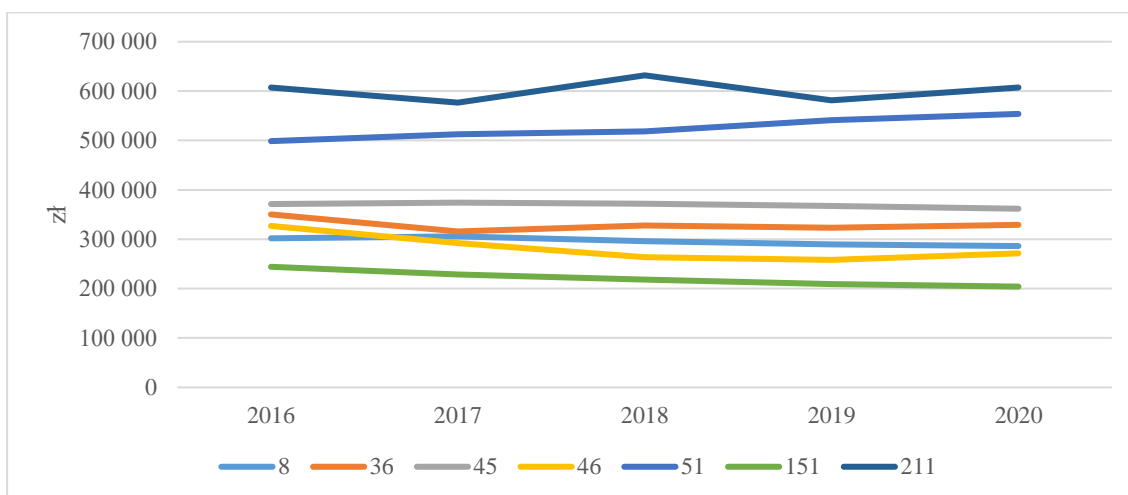
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Załącznik 25. Wartość budynków (zł) – Grupa A



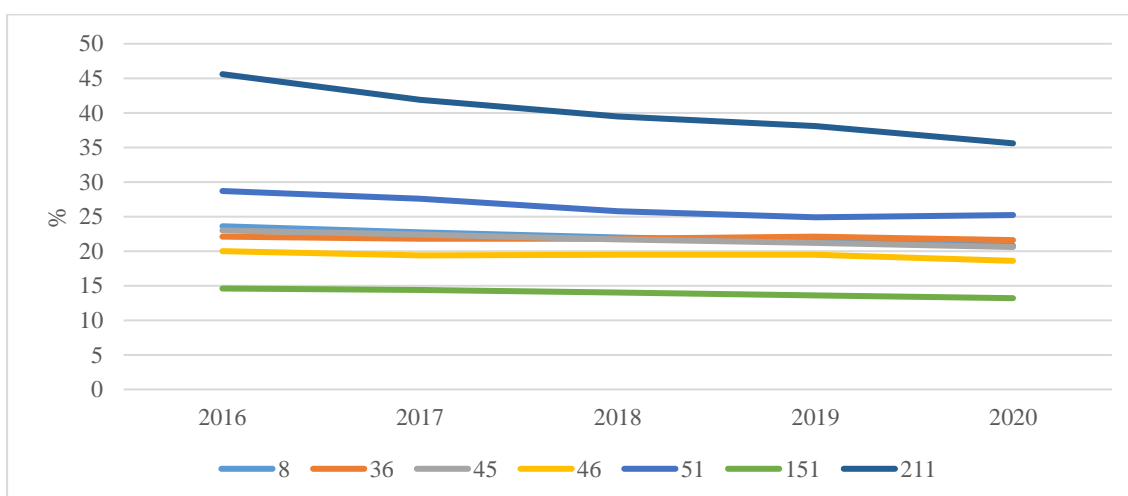
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Załącznik 26. Wartość budynków (zł) – Grupa B



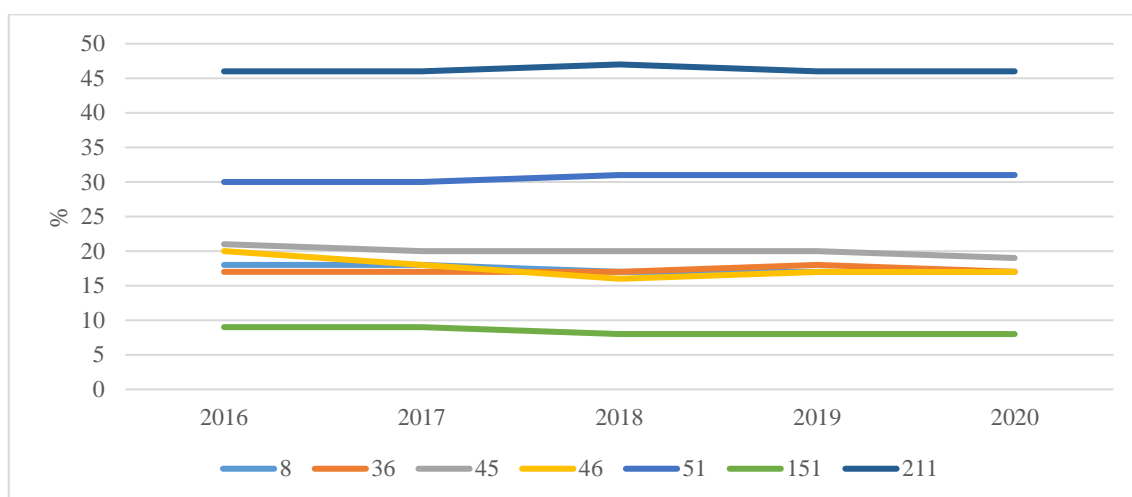
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Załącznik 27. Udział budynków w aktywach trwałych (%) – Grupa A



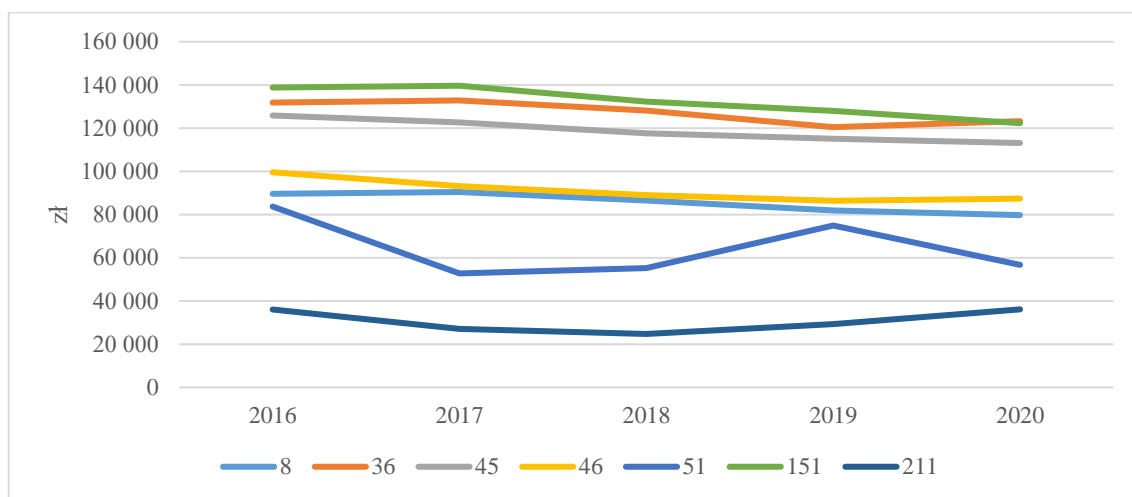
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Załącznik 28. Udział budynków w aktywach trwałych (%) – Grupa B



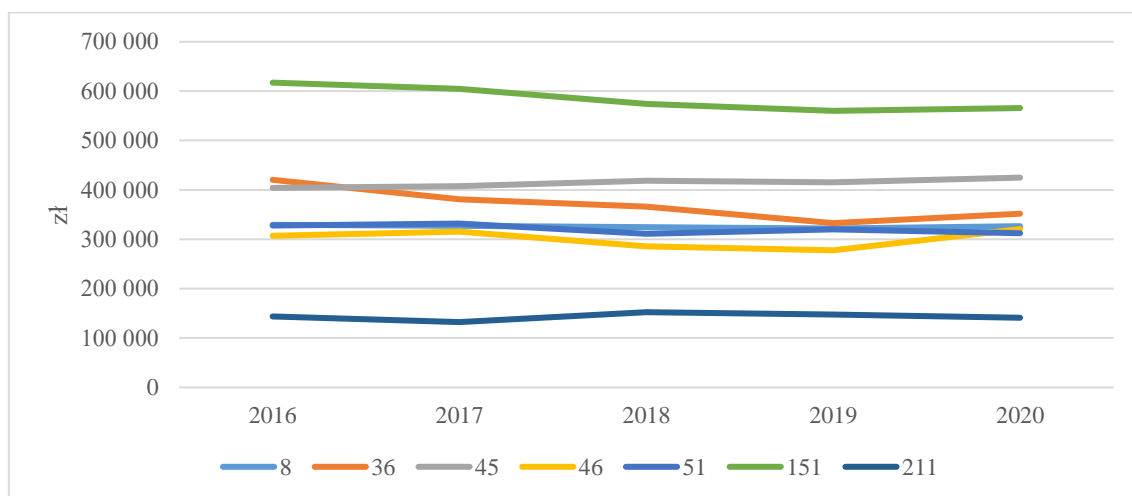
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Załącznik 29. Wartość maszyn i urządzeń (zł) – Grupa A



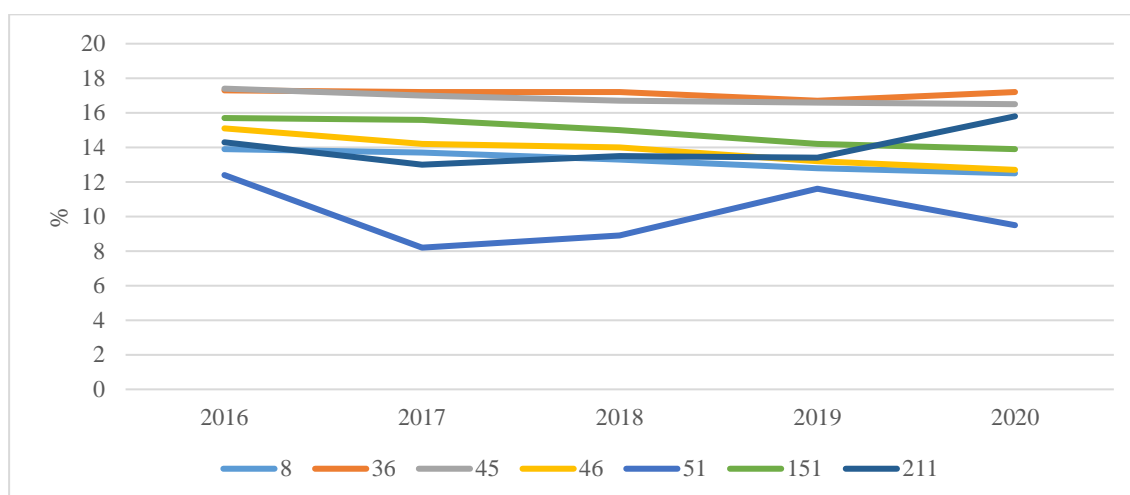
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Załącznik 30. Wartość maszyn i urządzeń (zł) – Grupa B



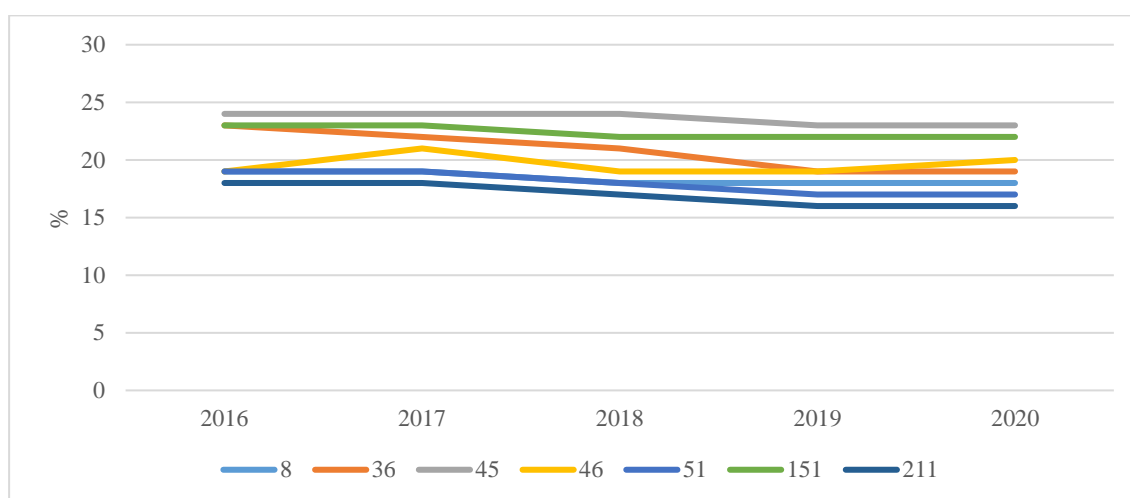
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Załącznik 31. Udział maszyn i urządzeń w aktywach trwałych (%) – Grupa A



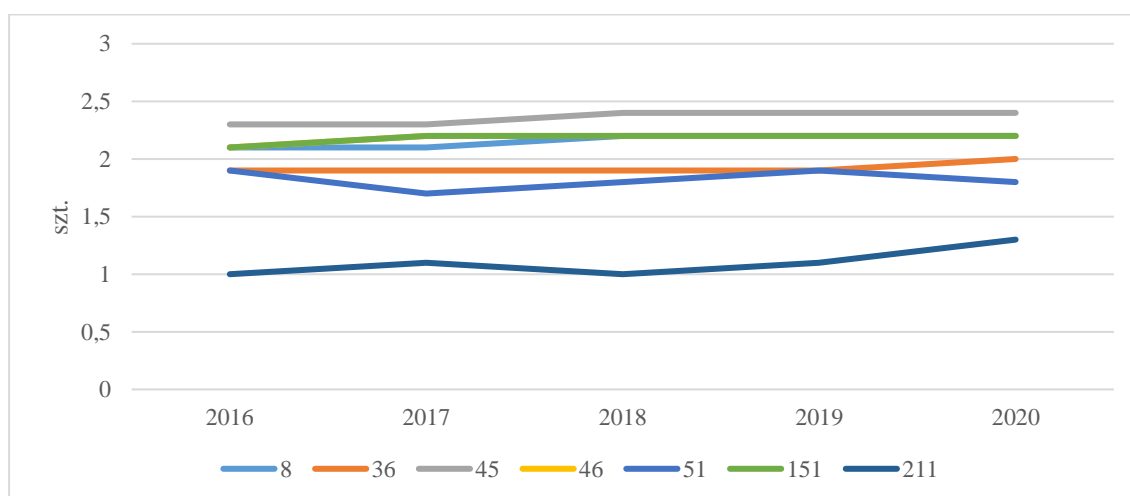
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Załącznik 32. Udział maszyn i urządzeń w aktywach trwałych (%) – Grupa B



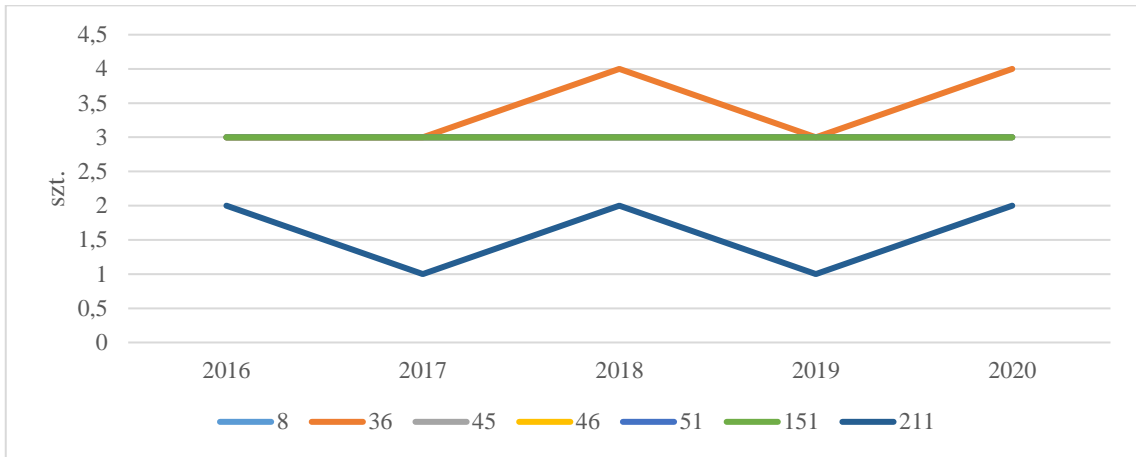
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Załącznik 33. Liczba ciągników (szt.) – Grupa A



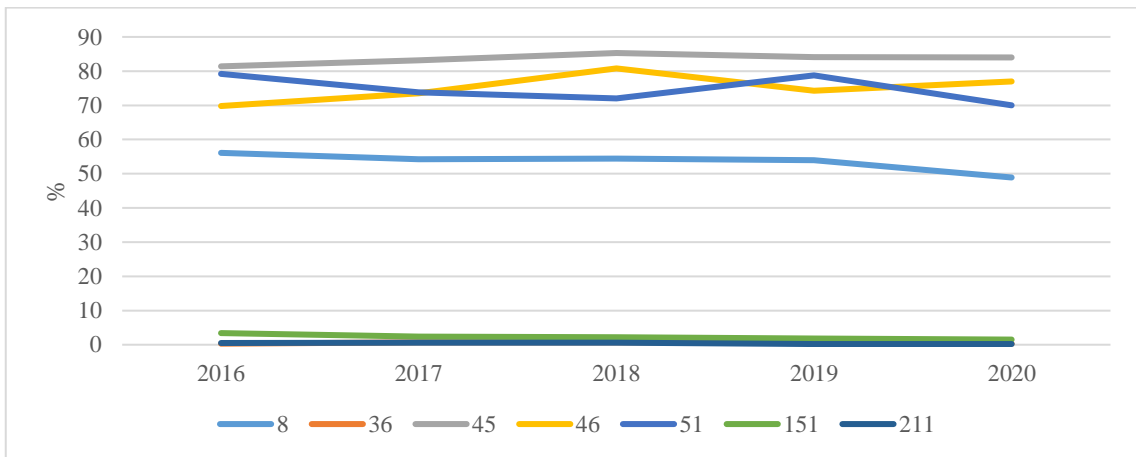
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Załącznik 34. Liczba ciągników (szt.) – Grupa B



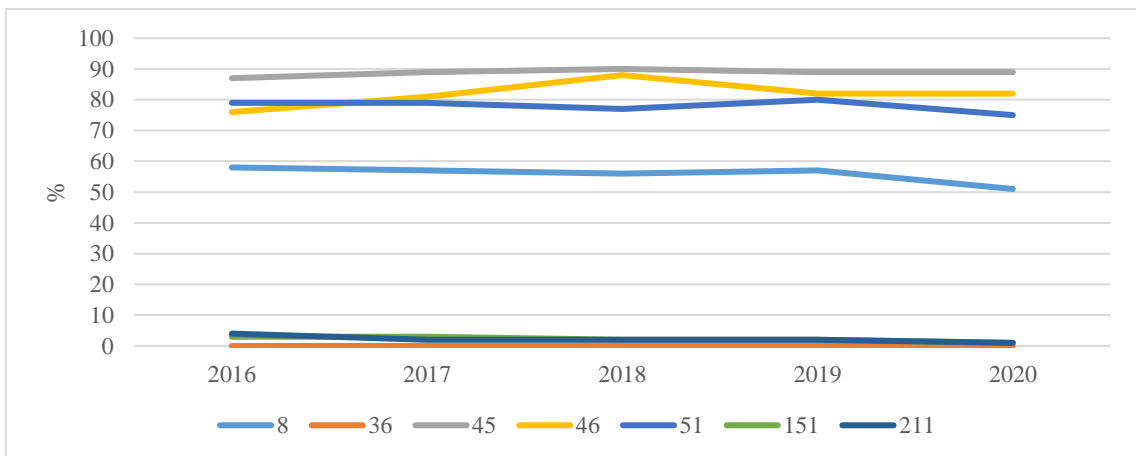
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Załącznik 35. Udział wartości produkcji zwierzęcej w wartości produkcji ogółem (%) – Grupa A



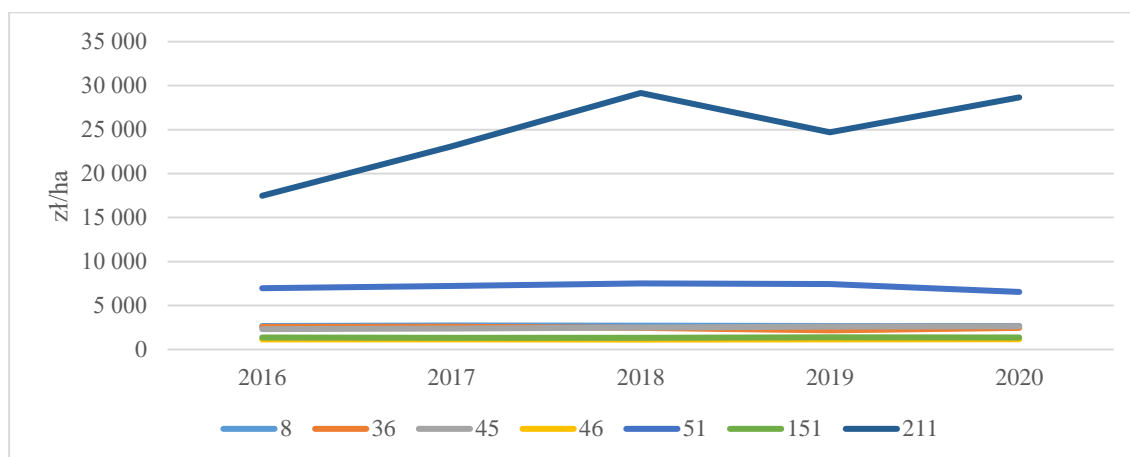
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Załącznik 36. Udział wartości produkcji zwierzęcej w wartości produkcji ogółem (%) – Grupa B



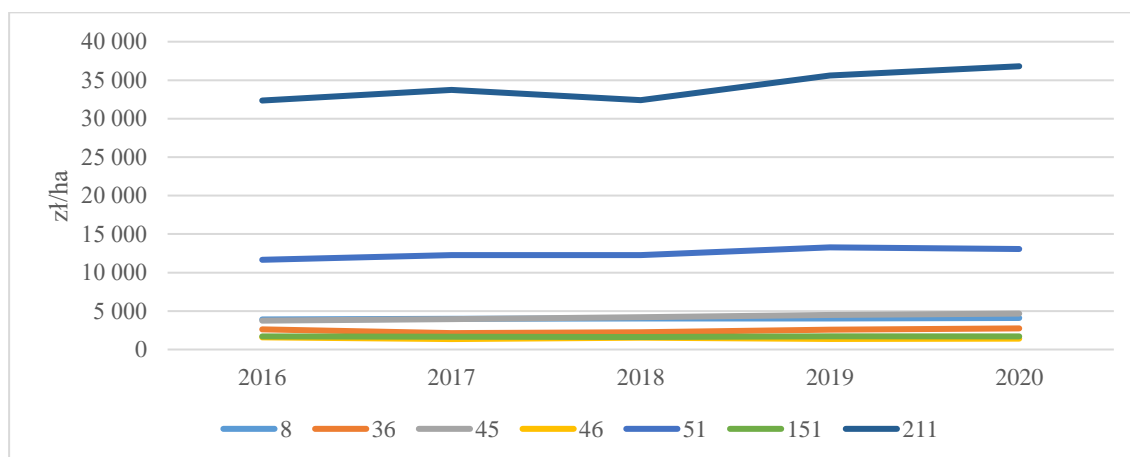
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Załącznik 37. Koszty bezpośrednie na 1 ha UR (zł/ha) – Grupa A



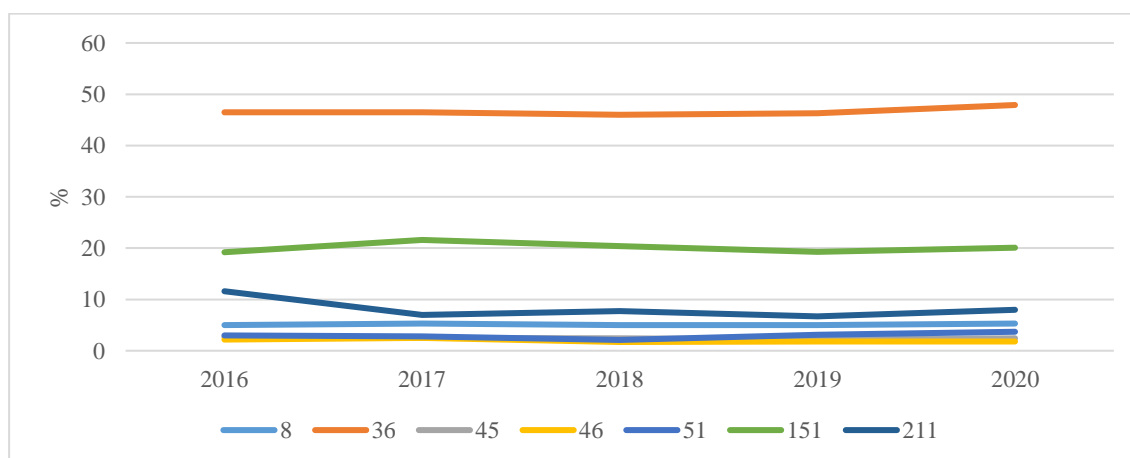
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Załącznik 38. Koszty bezpośrednie na 1 ha UR (zł/ha) – Grupa B



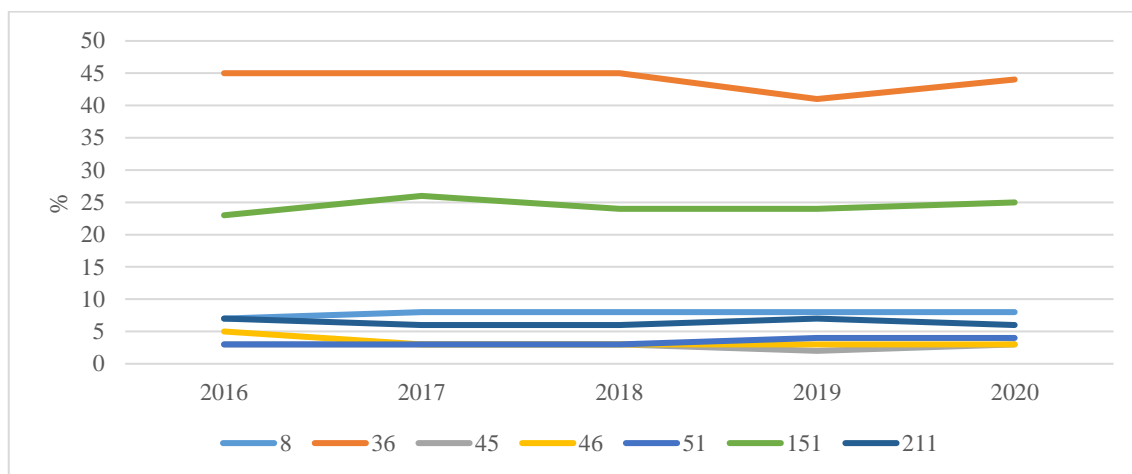
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Załącznik 39. Udział kosztów środków ochrony roślin w kosztach bezpośrednich (%) – Grupa A



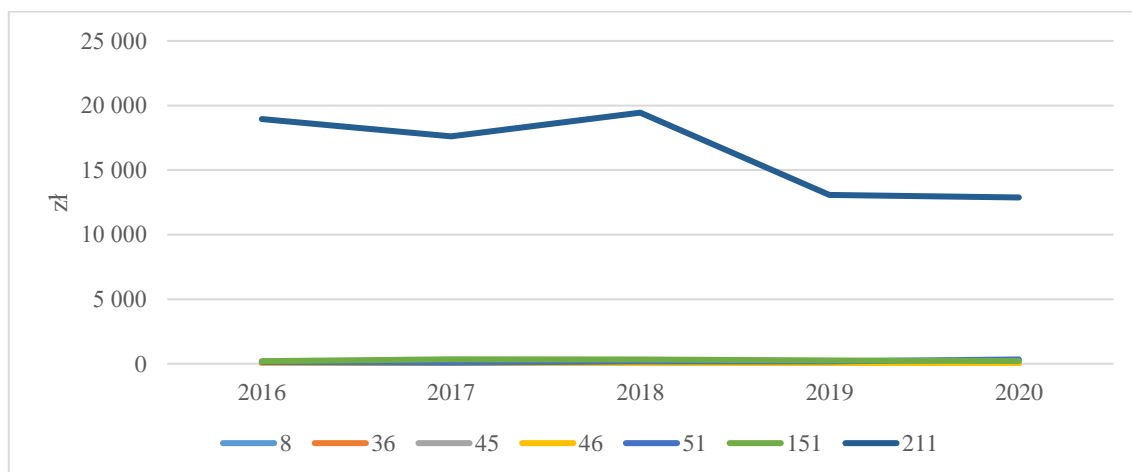
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Załącznik 40. Udział kosztów środków ochrony roślin w kosztach bezpośrednich (%) – Grupa B



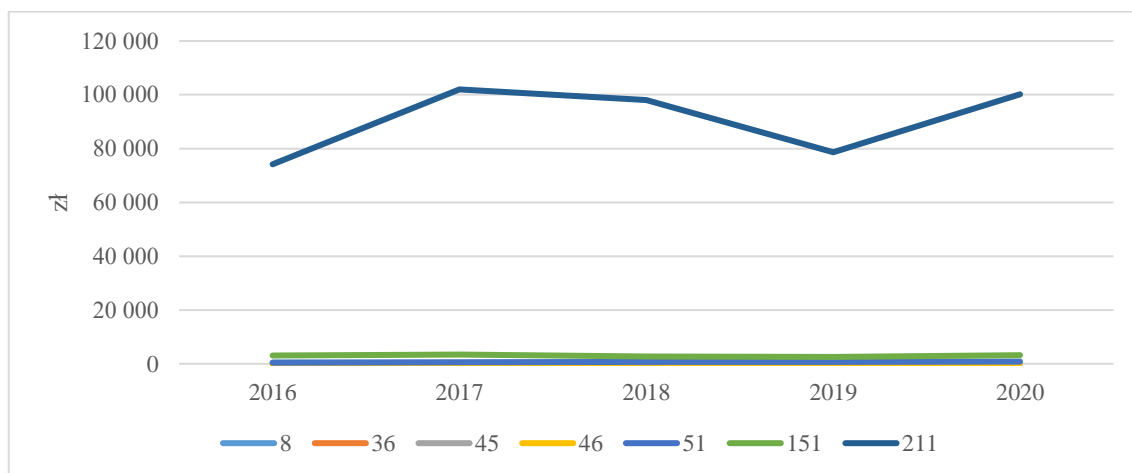
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Załącznik 41. Koszty materiałów opalowych (zł) – Grupa A



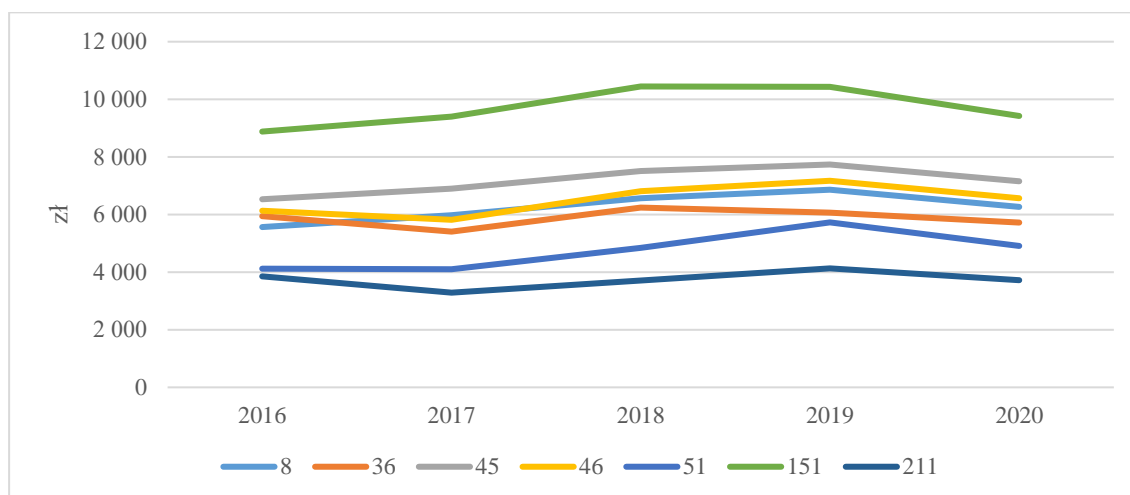
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Załącznik 42. Koszty materiałów opalowych (zł) – Grupa B



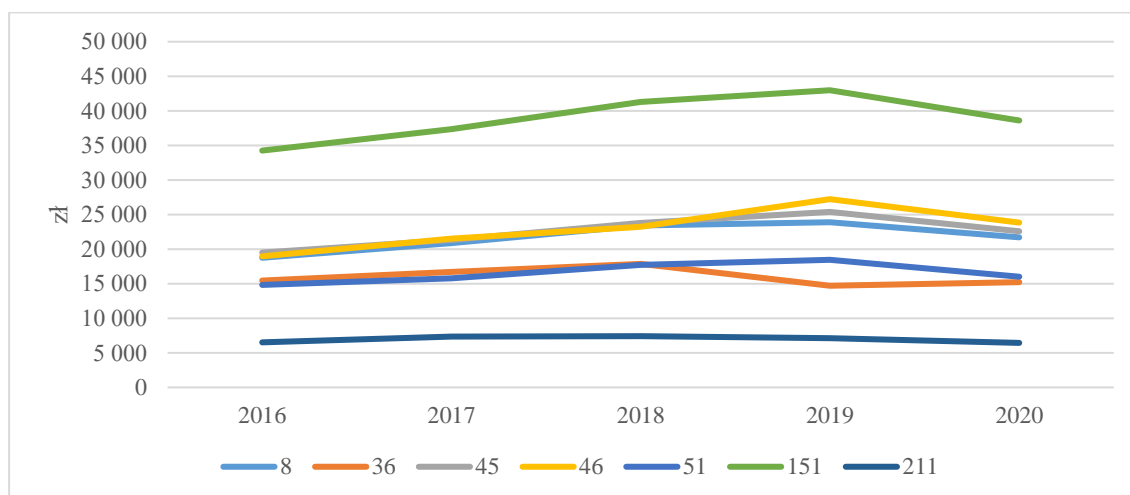
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Załącznik 43. Koszty materiałów pędnych (zł) – Grupa A



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Załącznik 44. Koszty materiałów pędnych (zł) – Grupa B



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN

Załącznik 45. Cena detaliczna 1000 kg węgla kamiennego w Polsce w latach 2016-2020

Rok	Cena detaliczna 1000 kg węgla kamiennego
2016	780,38 zł
2017	823,59 zł
2018	887,30 zł
2019	885,40 zł
2020	887,95 zł

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Główny Urząd Statystyczny, 2017b; 2018b; 2019b; 2020b; 2021b)

Załącznik 46. Cena 1 m³ drewna opałowego w Polsce w latach 2016-2020

Rok	Cena 1 m³ drewna opałowego
2016	115,31 zł
2017	114,46 zł
2018	112,32 zł
2019	113,80 zł
2020	112,38 zł

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Lasy Państwowe, 2017; 2018; 2019; 2020; 2021)

Załącznik 47. Cena 1 kWh gazu opałowego w Polsce w latach 2016-2020

Półrocze	Cena 1 kWh gazu opałowego (bez podatków)	Cena 1 kWh gazu opałowego (z podatkami)
I półrocze 2016	0,1391 zł	0,1711 zł
II półrocze 2016	0,1563 zł	0,1924 zł
I półrocze 2017	0,1444 zł	0,1778 zł
II półrocze 2017	0,1523 zł	0,1875 zł
I półrocze 2018	0,1450 zł	0,1787 zł
II półrocze 2018	0,1566 zł	0,1935 zł
I półrocze 2019	0,1629 zł	0,2029 zł
II półrocze 2019	0,1611 zł	0,1999 zł
I półrocze 2020	0,1504 zł	0,1876 zł
II półrocze 2020	0,1503 zł	0,1875 zł

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Eurostat, 2023ax)

Załącznik 48. Cena 1 litra oleju opałowego w Polsce w latach 2016-2020

Rok	Cena 1 litra oleju opałowego
2016	2,61 zł
2017	2,89 zł
2018	3,36 zł
2019	3,30 zł
2020	2,77 zł

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Eurostat, 2023ab)

Załącznik 49. Cena 1 litra benzyny w Polsce w latach 2016-2020

Rok	Cena 1 litra benzyny
2016	4,34 zł
2017	4,59 zł
2018	4,94 zł
2019	5,00 zł
2020	4,44 zł

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Eurostat, 2023ab)

Załącznik 50. Cena 1 litra oleju napędowego w Polsce w latach 2016-2020

Rok	Cena 1 litra oleju napędowego
2016	4,12 zł
2017	4,43 zł
2018	4,91 zł
2019	5,04 zł
2020	4,46 zł

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Eurostat, 2023ab)

Załącznik 51. Cena 1 kWh energii elektrycznej w Polsce w latach 2016-2020

Półrocze	Cena 1 kWh energii elektrycznej (bez podatków)	Cena 1 kWh energii elektrycznej (z podatkami)
I półrocze 2016	0,4531 zł	0,5819 zł
II półrocze 2016	0,4590 zł	0,5892 zł
I półrocze 2017	0,4098 zł	0,6170 zł
II półrocze 2017	0,4032 zł	0,6159 zł
I półrocze 2018	0,3825 zł	0,5950 zł
II półrocze 2018	0,3824 zł	0,6006 zł
I półrocze 2019	0,3855 zł	0,5764 zł
II półrocze 2019	0,3729 zł	0,5920 zł
I półrocze 2020	0,4088 zł	0,6510 zł
II półrocze 2020	0,4263 zł	0,6754 zł

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Eurostat, 2023af)