

**INSTYTUT ROZWOJU WSI I ROLNICTWA
POLSKA AKADEMIA NAUK**

Autoreferat rozprawy doktorskiej

**Ekonomiczna efektywność inwestycji
w produkcję energii ze źródeł odnawialnych
na przykładzie instalacji fotowoltaicznych**

Anna Trocewicz

Promotor pracy:

dr hab. Piotr Gradziuk, prof. IRWiR PAN

WARSZAWA 2024

Spis treści

1.	Uzasadnienie wyboru tematu pracy	3
2.	Cele pracy i hipotezy badawcze	7
3.	Struktura rozprawy doktorskiej	8
4.	Zastosowane metody badawcze	10
5.	Wyniki badań i wnioski końcowe	16
6.	Spis treści rozprawy doktorskiej	25
7.	Cytowana literatura	27

1. Uzasadnienie wyboru tematu pracy

Od drugiej połowy XX w. zaczęły przybierać na sile zjawiska ograniczające rozwój gospodarczy, początkowo głównie związane z dostępnością do zasobów naturalnych. Przykładem są surowce energetyczne i „pierwszy szok naftowy”, który przez ekonomistów jest uznawany za przyczynę największego wstrząsu gospodarczego od czasów wielkiego kryzysu lat 30 XX wieku. Według oceny Henry Kissingera „nieodwołalnie zmienił świat, jaki zrodził się w okresie powojennym” (Yergin, 2021). Wywołany w 1973 r. wojną „Jom Kipur” szok przyniósł jednak nie tylko kryzys, ale również zapoczątkował szereg zmian zarówno w sferze gospodarczej, jak i geopolitycznej, także rewolucję energetyczną. Główne jej założenia sprowadzały się do zmniejszenia niezależnienia od importu surowców energetycznych oraz poprawy efektywności ich wykorzystania. We Francji efektem działań na rzecz niezależności energetycznej był program rozwoju energetyki jądrowej (Plan Messmera), przyjęty z pominięciem debaty parlamentarnej (na podstawie art. 49.3 konstytucji tego kraju), co uzasadniono stwierdzeniem „*nie mamy ropy, nie mamy gazu, nie mamy węgla, nie mamy wyboru*” (Sovacool & Valentine, 2012).

Zintensyfikowano także poszukiwania nowych złóż surowców węglowodorowych oraz eksploatację już znanych, ale dotychczas nie wydobywanych z uwagi na bardzo wysokie koszty (np. na szelfie Morza Północnego i Alasce). Równolegle podejmowano działania na rzecz poprawy efektywności energetycznej, czego dobitnym przykładem były procesy dostosowawcze w przemyśle motoryzacyjnym. Głównym powodem był wzrost popytu na samochody zużywające znacznie mniej paliwa od dotychczas produkowanych (Bresnahan & Ramey, 1993), rozpoczynając erę

hatchbacków takich jak między innymi Volkswagen Golf i Toyota Corolla, które stały się bestsellerami 1974 roku.

Mimo, że pierwszy szok naftowy tak jak i kolejne dwa kryzysy energetyczne wywołane Irańską Rewolucją Islamską (1978-1979) oraz wojną w Zatoce Perskiej (1990-1991) negatywnie oddziaływały na gospodarki państw importerów paliw węglowodorowych, to znacznie poważniejszym globalnym problemem stały się postępujące zmiany klimatyczne. Ich wynikiem są między innymi anomalie pogodowe, w wyniku których tylko w rolnictwie roczne straty szacowane są na około 150 mld USD rocznie (FAO, 2015). R. Newman i I. Noya (2023) średnioroczne globalne koszty wynikające z wystąpienia ekstremalnych warunków pogodowych, które przypisano zmianom klimatycznym w latach 2000-2019 ocenili na 143 mld USD. Istnieje też uzasadniona obawa, że w kolejnych dekadach zjawisko to może stanowić zagrożenie dla zdrowia i życia ludzi w większości regionów świata, czy wręcz całej cywilizacji (Stern, 2007).

Niezależnie od wątpliwości wyrażanych przez część środowiska naukowego, co do stopnia w jakim zmiany klimatu powodowane są emisjami pochodzenia antropogenicznego (Zimmewicz, 2011), społeczność międzynarodowa co najmniej od konferencji „Środowisko i Rozwój” (Rio de Janeiro – 1992), podejmuje aktywne działania na rzecz ograniczania emisji gazów cieplarnianych, przede wszystkim CO₂ (Hansen et al., 2006). Ich zwieńczeniem było uzgodnienie treści globalnej umowy klimatycznej podczas odbywającej się w grudniu 2015 r. w Paryżu XXI Konferencji Stron Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu. Jest to pierwsze w historii ludzkości globalne porozumienie gospodarcze o horyzoncie wykraczającym poza jedno pokolenie. Wynegocjowana umowa zakłada ograniczenie wzrostu temperatury powierzchni Ziemi poniżej 2°C,

co w praktyce ma doprowadzić do gospodarki emisyjnie neutralnej. Transformacja modeli gospodarczych w kierunku efektywnego wykorzystania zasobów i obniżenia emisji gazów cieplarnianych (*ang. greenhouse gases, GHG*) stała się jednym z podstawowych wyzwań cywilizacyjnych (ONZ, 2015). Z uwagi iż większość emisji GHG pochodzi z wykorzystywania paliw kopalnych próby konstruowania globalnych, regionalnych i krajowych polityk klimatycznych nieuchronnie koncentrują się wokół kwestii źródeł energii i polityk energetycznych. I chociaż zapisy paryskiej umowy klimatycznej pozostawiają krajom wybór ścieżki, jaką ten cel zostanie osiągnięty, to już we wstępie dokumentu zawarto rekomendacje o potrzebie propagowania zwiększania wykorzystania odnawialnych źródeł energii (Conference of the Parties, 2015). Podobna konstatacja ale odnosząca się do aktualnej sytuacji (po agresji Rosji na Ukrainę) została zawarta w raporcie *World Energy Outlook 2022* wydanym przez Międzynarodową Agencję Energetyczną (*ang. International Energy Agency, IEA*) „*kryzys energetyczny zapowiada się jako historyczny punkt zwrotny w kierunku czystego i bezpiecznego systemu energetycznego*” (IEA, 2022). Za jeden z przyszłościowych kierunków wykorzystania OZE uznaje się wytwarzanie energii elektrycznej w systemach fotowoltaicznych (Komisja Europejska, 2022). Wynika to stąd, iż wszystkie źródła energii (z wyjątkiem energii przyływów i odpływów mórz - 85 EJ/a, które powodowane są oddziaływaniem grawitacyjnym, głównie Księżyca oraz energii wnętrza ziemi - 672 EJ/a), biorą początek z pochłoniętego promieniowania słonecznego - $3,93 \cdot 10^6$ EJ/a (Odum, 1996). Dopływająca do geobiosfery energia słoneczna umożliwia przebieg procesów hydrologicznych, biologicznych, chemicznych i fizycznych, w wyniku których przetwarzana jest na energię cieplną, wodną, wiatrową oraz biomasę. Również kopalne

paliwa węglowodorowe (węgiel, ropa naftowa, gaz ziemny), z których zaczęto korzystać od około XIV wieku, są wynikiem oddziaływania słońca, ponieważ powstały z powolnej przemiany biomasy (Smil, 1994). Ilość tej energii docierająca do Ziemi w ciągu roku aż tysiącrotnie przewyższa światowe zapotrzebowanie energetyczne (Ney, 1994). Jednak mimo tak znaczącego potencjału jej udział w strukturze zużycia energii ogółem pozostaje na bardzo niskim poziomie. W 2022 r. wskaźnik ten dla świata, Unii Europejskiej i Polski odpowiednio wynosił: 1,05%; 1,64%; 0,78%, a w przypadku energii elektrycznej kształtował się następująco: 4,55%; 7,44%; 4,63% (Weiss & Spörk-Dür, 2023; Energy Institute, 2023; Eurostat, 2022; ARE, 2023). Wynika to stąd, że energia promieniowania słonecznego jest rozproszona, trudna do bezpośredniego, wydajnego zastosowania w praktyce, a tym samym w większości zastosowań droższa od konwencjonalnej „aczkolwiek czas pracuje na rzecz odnawialnych źródeł energii” (Woś & Zegar, 2002), a proces ten na razie powolny, zostanie przyspieszony przez rozwój nowych technologii (European Commission, 1998). Metody jej transformacji są wciąż udoskonalane, co w połączeniu z wprowadzaniem zachęt ekonomicznych do systemów wykorzystujących odnawialne źródła energii (OZE) wpływa na wzrost jej znaczenia (Gradziuk et al., 2018; Żylicz, 2012).

Badania zrealizowane w ramach rozprawy przyczynią się do rozwoju dziedziny nauk społecznych w dyscyplinie ekonomia i finanse poprzez uzupełnienie istniejącej luki badawczej związanej z analizą efektywności ekonomicznej wytwarzania energii ze źródeł odnawialnych, ze szczególnym uwzględnieniem wielkoskalowych instalacji fotowoltaicznych. Dotychczas brakuje kompleksowych opracowań naukowych, w których zawarto by odpowiedź na pytanie czy spełniła się już wizja R. Manteuffela

(1987), że „geniusz ludzki wynalazł już sposób korzystania bez ograniczeń z energii słonecznej”? Przy czym sformułowanie „bez ograniczeń” zostało zinterpretowane w prowadzonych badaniach jako „korzystanie w sposób efektywny ekonomicznie”.

2. Cele pracy i hipotezy badawcze

Głównym celem pracy jest rozpoznanie stanu, możliwości rozwoju oraz ocena ekonomicznej efektywności inwestycji w wielkoskalowe instalacje fotowoltaiczne zlokalizowane w woj. lubelskim.

Realizacji głównego celu badań służyło rozwiązanie następujących celów szczegółowych:

C1: Rozpoznanie potencjału promieniowania słonecznego i możliwości jego wykorzystania do produkcji energii elektrycznej w warunkach klimatycznych oraz przyrodniczych Południowo-Wschodniej Polski.

C2: Identyfikacja otoczenia prawnego oraz form, skali i znaczenia mechanizmów wsparcia sektora OZE, ze szczególnym uwzględnieniem wpływu na kształtowanie ekonomicznej efektywności produkcji energii elektrycznej w instalacjach fotowoltaicznych.

C3: Ustalenie stanu, dynamiki oraz potencjału Polski w zakresie wytwarzania energii elektrycznej z instalacji fotowoltaicznych.

C4: Ocena nakładów inwestycyjnych oraz efektów produkcyjno-ekonomicznych wytwarzania energii elektrycznej w wielkoskalowych instalacjach fotowoltaicznych.

C5: Symulacja efektywności ekonomicznej wytwarzania energii elektrycznej w wielkoskalowych instalacjach fotowoltaicznych we współpracy z turbinami wiatrowymi i magazynami energii.

Powyższe cele posłużyły weryfikacji następujących hipotez badawczych:

H1: Zachodzące zmiany klimatyczne przyczyniają się do wzrostu potencjału promieniowania słonecznego w Południowo-Wschodniej Polsce.

H2: Produkcja energii elektrycznej w instalacjach fotowoltaicznych pod względem ekonomicznym stanowi alternatywę dla jej wytwarzania z zastosowaniem źródeł konwencjonalnych.

H3: W kompleksowym rachunku uwzględniającym aspekty ekonomiczne i środowiskowe publiczne wsparcie rozwoju wielkoskalowej elektroenergetyki słonecznej znajduje uzasadnienie.

H4: Rozbudowa wielkoskalowej instalacji fotowoltaicznej o elektrownie wiatrowe i magazyny energii jest uzasadniona ekonomicznie.

3. Struktura rozprawy doktorskiej

Praca składa się ze wstępu, sześciu rozdziałów oraz podsumowania i wniosków. W pierwszym rozdziale przedstawiono cele, źródła materiałów oraz metody badawcze wykorzystane w dysertacji.

W rozdziale drugim dokonano przeglądu podstaw prawnych oraz mechanizmów wspierających rozwój energetyki odnawialnej. Scharakteryzowano politykę klimatyczno-energetyczną Unii Europejskiej, aspekty polityczno-prawne oraz system wsparcia odnawialnych źródeł energii (OZE) w Polsce, co w znaczącym stopniu determinuje rozwój tego sektora.

Rozdział trzeci ma charakter teoretyczny, w którym na podstawie literatury przedmiotu dokonano analizy znaczenia energii jako czynnika determinującego rozwój społeczno-gospodarczy i ewolucję struktury jej pozyskiwania w ujęciu historycznym. Omówiono istotę energii

uwzględniając rozwój badań nad definicją jej pojęcia i znaczenie w rozwoju cywilizacji. Przedstawiono podejście do energii w różnych teoriach ekonomii, a także rozwój energetyki wykorzystującej odnawialne źródła energii i jej znaczenie w bilansie energetycznym. W końcowej części rozdziału skupiono się na przedstawieniu stanu i prognoz wykorzystania odnawialnych źródeł energii w polskim sektorze energetycznym. Analiza literatury przedmiotu stanowi teoretyczną podstawę pracy.

W czwartym rozdziale przedstawiono techniczne aspekty wykorzystania energii słonecznej. Analizie poddano rodzaje oraz zasady działania kolektorów słonecznych i ogniw fotowoltaicznych. Nieodłącznym elementem przyczyniającym się do rozwoju sektora jest postęp technologiczny, którego skutkiem jest wyższa sprawność ogniw pv ale i niższe koszty ich produkcji. Rozpatrzono również kierunki rozwoju instalacji wykorzystujących energię słoneczną, w tym agrofotowoltaikę oraz instalacje hybrydowe OZE z panelami pv.

Rozdział piąty obejmuje analizę dokumentów strategicznych województwa lubelskiego, czyli obszaru, na którym zlokalizowane są badane farmy fotowoltaiczne. Po krótkiej charakterystyce regionu badań przedstawiono główne założenia Strategii Rozwoju Województwa Lubelskiego do 2030 roku i Programu Rozwoju Odnawialnych Źródeł Energii.

W rozdziale szóstym dokonano analizy ekonomicznej efektywności produkcji energii z instalacji fotowoltaicznych, poddano analizie czynniki zachęcające i zniechęcające do inwestowania w rozwój fotowoltaiki tworząc analizę force-field, a także opracowano symulację funkcjonowania instalacji hybrydowej. Dysertacja kończy się podsumowaniem i wnioskami nawiązującymi do postawionych celów i hipotez.

4. Zastosowane metody badawcze

Efektywność to jedna z podstawowych kategorii wykorzystywanych do opisu stanu, funkcjonowania i szans rozwojowych różnego typu organizacji, a gospodarczych w szczególności (Kulawik, 2008). Jest pojęciem niejednoznacznym posiadającym wiele synonimów, zarówno w literaturze polskiej oraz zagranicznej i znajduje zastosowanie w wielu obszarach związanych z działalnością gospodarczą (Kozuń-Cieślak, 2013).

P. Samuelson i W. Nordhaus (1999) zdefiniowali efektywność jako użytkowanie zasobów gospodarczych w sposób najbardziej skuteczny. Według J. Stonera, R. Freemana i D. Gilberta (1997) jest to miara sprawności i skuteczności stopnia osiągnięcia wyznaczonych celów, zaś T. Dudyca (2007) efektywność ekonomiczną określił jako relację wartości uzyskanych efektów do nakładu czynników użytych do ich uzyskania. W kategorii alokacji zasobów w sensie Pareto obszerną definicję efektywności przyjęli między innymi G. Debreu (1951), M. Farrell (1957), czy też D. Kamerschen, R. McKenzie i C. Nardinelli (1991), traktując tą wielkość jako maksymalizację produkcji wynikającą z właściwej alokacji zasobów przy danych ograniczeniach podaży, kosztów ponoszonych przez producentów i popytu, preferencji konsumentów (Kamerschen et al., 1991). J. Zieleniewski (1969) definiuje efektywność jako ilościową cechę działania odzwierciedloną w relacji efektów użytkowych uzyskanych w pewnym czasie i zmierzających do zaspokojenia potrzeb odbiorcy do nakładów koniecznych do osiągnięcia tego efektu, poniesionych w pewnym czasie.

W literaturze ekonomicznej wyróżnia się wiele metod i miar badania efektywności zarówno podmiotów gospodarczych, jak i inwestycji. Mikroekonomiczne ujęcie prezentowali między innymi tacy polscy ekonomiści jak J. Rajtar (1984), Z. Kowalski (1992), J. Penc (1997),

E. Nowak (1998), W. Józwiak (1998), M. Sierpińska i T Jachna (2004). E. Szymańska (2010), J. Gerlach i M. Gil (2018), którzy wiążą efektywność z indywidualnym przedsiębiorstwem i ogólnie definiują ją jako relację uzyskiwanych przez dany podmiot gospodarczy efektów do poniesionych nakładów.

Z uwagi na postępujące procesy globalizacyjne Organizacja Narodów Zjednoczonych do spraw Rozwoju Przemysłowego (United Nations Industrial Development Organization – UNIDO) wydała *Manual for the Preparation of Industrial Feasibility Studies* (1978), zawierający zestaw metod do ekonomicznej oceny projektów inwestycyjnych uwzględniających ówczesny stan wiedzy z tego zakresu. Opracowanie cieszyło się bardzo dużym zainteresowaniem zarówno różnego rodzaju agend rządowych, instytucji finansowych, firm doradczych, uczelni i instytutów naukowych oraz inwestorów. Zostało przetłumaczone na ponad 20 języków, w tym między innymi arabski, chiński, francuski, hiszpański, japoński, niemiecki, polski, portugalski, turecki i wietnamski. W 1991 r. ukazała się wersja poprawiona i poszerzona o zagadnienia oceny oddziaływania inwestycji na środowisko, transferu technologii, marketingu, zasobów ludzkich, ryzyk oraz mobilizacji funduszy (Behrens & Hawranek, 1991).

Zaproponowana przez UNIDO metodyka obliczania efektywności inwestycji sprowadza się w pierwszej kolejności do ustalenia:

- nakładów kapitałowych (faz przedrealizacyjnej i przedprodukcyjnej, aktywów trwałych oraz majątku obrotowego),
- wpływów z uruchomionej działalności,
- wydatków (kosztów działalności).

Wartości te stanowią podstawę do obliczania wartości przepływów pieniężnych netto (NCF- Net Cash Flow) w kolejnych latach okresu realizacji

i eksploatacji ocenianych przedsięwzięć inwestycyjnych, będących punktem wyjścia prowadzonego rachunku opłacalności. W ramach tego rachunku najczęściej wyodrębnia się dwie podstawowe grupy metod, wyróżniane według kryterium czynnika czasu i techniki: statyczne (proste) i dynamiczne (zdyskontowane):

- proste metody oceny (nie uwzględniają zmiany wartości pieniądza czasie): prosty okres zwrotu nakładów inwestycyjnych, prosta i księgową stopa zwrotu, analiza prognozy rentowności,
- metody dyskontowe: wartość bieżąca netto (Net Present Value – NPV), wewnętrzna stopa zwrotu (Internal Rate of Return – IRR).

Z prostych metod do oceny badanych projektów zastosowano:

- prostą stopę zwrotu nakładów inwestycyjnych (Return on Investment, ROI)

$$ROI = \frac{NP}{IC} \times 100\%$$

gdzie:

NP (Net Profit) - zysk netto,

IC (Investment Cost) - koszt inwestycji;

- prosty okres zwrotu nakładów inwestycyjnych (Simple Payback Period – SPP)

$$SPP = \frac{IC}{NP}$$

ROI służy do oceny rentowności inwestycji poprzez porównanie zysku netto uzyskanego z inwestycji do całkowitych kosztów poniesionych na jej realizację (zarówno z kapitału własnego, jak i obcego).

SPP określa czas, który jest niezbędny do odzyskania nakładów poniesionych na realizację inwestycji z osiągniętych nadwyżek finansowych. W skład nadwyżek finansowych wchodzi: zysk netto, amortyzacja i jeżeli

źródłem finansowania jest kredyt, to nadwyżka obejmuje również odsetki. Jeżeli nadwyżki finansowe w kolejnych latach są identyczne, to okres zwrotu oblicza się jako iloraz nakładów poniesionych na realizację przedsięwzięcia i rocznych nadwyżek, powiększony o czas realizacji przedsięwzięcia. Pełny zwrot poniesionych nakładów nastąpi w roku, w którym nakłady zostaną zrównoważone przez skumulowane nadwyżki finansowe.

Z uwagi na przedsięwzięcie długookresowe jakim jest inwestycja w elektrownię fotowoltaiczną, w pracy zastosowano również następujące metody dyskontowe, które są bardziej precyzyjnymi narzędziami oceny opłacalności:

- NPV,
- IRR,
- zdyskontowany okres zwrotu nakładów DPBT (Dynamic Pay Back Time),
- uśredniony koszt energii elektrycznej (Levelized Cost of Electricity, LCOE).

Pierwszą z zastosowanych metod dyskontowych jest wartość bieżąca netto (NPV) dzięki której możliwa jest ocena zaktualizowanych przepływów (wpływów i wydatków). Oblicza się ją jako sumę zdyskontowanych dla każdego roku (lub innego okresu) przepływów pieniężnych netto (NCF) zrealizowanych w całym analizowanym okresie, przy stałym poziomie stopy dyskontowej (procentowej).

$$NPV = \sum_{n=0}^N \frac{F_n}{(1+d)^n} = F_0 + \frac{F_1}{(1+d)^1} + \frac{F_2}{(1+d)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+d)^n}$$

gdzie:

NPV- wartość bieżąca netto,

F_n - przepływ środków pieniężnych netto w roku n ,

N - okres analizy,

d - roczna stopa dyskontowa.

Badane przedsięwzięcie inwestycyjne jest opłacalne, jeżeli $NPV \geq 0$.

Dodatnia wartość NPV oznacza bowiem, że stopa rentowności tego przedsięwzięcia jest wyższa od stopy granicznej, określonej przez przyjętą do rachunku stopę procentową (Sierpińska & Jachna, 2004).

Kolejną zastosowaną w rozprawie metodą określającą efektywność przedsięwzięcia jest wewnętrzna stopa zwrotu (IRR) będąca drugą najczęściej wykorzystywaną metodą dyskontową. Jest to taka stopa procentowa, przy której obecna wartość NPV dla całego okresu funkcjonowania jest równa zero ($NPV=0$), a więc wartość strumieni wydatków jest równa aktualnej wartości strumieni wpływów pieniężnych. IRR to stopa, dla której:

$$IRR \rightarrow NPV=0$$

Do oceny opłacalności inwestycji wykorzystano również zdyskontowany okres zwrotu nakładów $DPBT$ (Dynamic Pay Back Time):

$$DPBT = \frac{IC}{\frac{\sum_{n=0}^N \frac{F_n}{(1+d)^n}}{N}}$$

gdzie:

IC (Investment Cost) - koszt inwestycji,

F_n - przepływ środków pieniężnych netto w roku n ,

N - okres analizy,

d - roczna stopa dyskontowa.

Jest on ulepszoną wersją metody SPP, ponieważ uwzględnia zmianę wartości pieniądza w czasie (Gradziuk & Gradziuk, 2019).

Do oceny opłacalności inwestycji posłużono się również metodą uśrednionego jednostkowego kosztu wytworzenia energii elektrycznej (ang. Levelized Costs of Electricity – LCOE). Wyniki obliczeń tą metodą pozwalają na porównywanie kosztów produkcji energii z różnych źródeł, zarówno tych odnawialnych, jak i konwencjonalnych, w tym energii z sieci elektroenergetycznej (Mikołajuk et al., 2016; Sandvall et al., 2017). Korzystając z poniższej formuły ustalono uśrednione koszty wytworzenia 1 MWh energii elektrycznej dla całego okresu eksploatacji:

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n E_{et}}$$

gdzie:

I_t – nakłady inwestycyjne w roku t (amortyzacja i koszt kapitału) [zł],

M_t – pozostałe koszty w roku t [zł],

E_{et} – ilość energii elektrycznej wytworzona w roku t [MWh],

r – uśredniona stopa dyskonta [%],

n – planowany okres eksploatacji systemu fotowoltaicznego [lata].

Wyboru powyższych metod do oceny efektywności ekonomicznej badanych instalacji fotowoltaicznych, dokonano na podstawie dogłębnych studiów literaturowych oraz sugestii takich międzynarodowych organizacji z sektora energetyki odnawialnej jak: International Renewable Energy Agency czy też National Renewable Energy Laboratory U.S. Department of Energy.

W rozprawie zbudowano i poddano szczegółowej weryfikacji modele tendencji rozwojowej oraz przedstawiono prognozy do 2035 r.:

- emisji GHG w wybranych państwach oraz regionach świata,
- usłonecznienia i temperatury dla dwu skrajnie położonych stacji badawczych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej Państwowego Instytutu Badawczego (IMGW-PIB) zlokalizowanych na terenie województwa lubelskiego.

W pierwszej fazie budowania modeli trendu szacowano parametry modeli liniowych oraz nieliniowych (kwadratowych i sześciennych), a następnie wybierano model o najwyższym współczynniku determinacji, pod warunkiem, że wszystkie parametry modelu były istotne statystycznie. Następnie wybrany model poddawano dalszej weryfikacji, w celu określenia (i potwierdzenia) jego jakości. Dla zmiennych, dla których nie udało się zbudować zadowalających modeli trendu, wykonano dodatkowo testy weryfikując hipotezę o tym, czy zmienne te są realizacją procesu losowego.

W opracowaniu zastosowano również metody rachunku symulacyjnego (optymalizacyjnego) dla instalacji hybrydowej, w skład której oprócz farmy fotowoltaicznej wchodziłaby turbina wiatrowa oraz magazyn energii. Uzyskane dane przetwarzano przy użyciu arkusza kalkulacyjnego MS Excel z pakietu Microsoft 365. Wyniki analiz zaprezentowano w formie opisowej, graficznej i tabelarycznej.

5. Wyniki badań i wnioski końcowe

Globalny wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną pociąga za sobą zwiększenie emisji gazów cieplarnianych do atmosfery co negatywnie oddziałuje na środowisko naturalne. Współczesna cywilizacja zmaga się z tym problemem, który wiąże się również z ograniczonością

zasobów naturalnych, stąd też transformacja modeli gospodarczych w kierunku efektywnego wykorzystania zasobów i obniżenia emisji gazów cieplarnianych stała się jednym z podstawowych wyzwań cywilizacyjnych. Z uwagi iż większość emisji GHG pochodzi z wykorzystywania paliw kopalnych próby konstruowania globalnych, regionalnych i krajowych polityk klimatycznych nieuchronnie koncentrują się wokół kwestii źródeł energii i polityk energetycznych. W konstruowanych dokumentach zarówno na szczeblu globalnym, regionalnym jak i krajowym rekomendowana jest potrzeba propagowania zwiększania wykorzystania odnawialnych źródeł energii. Za jeden z przyszłościowych kierunków wykorzystania OZE uznaje się wytwarzanie energii elektrycznej w systemach fotowoltaicznych.

Przeprowadzone i zaprezentowane w dysertacji badania wpisują się w lukę badawczą, tworząc analizę efektywności ekonomicznej wytwarzania energii ze źródeł odnawialnych, ze szczególnym uwzględnieniem wielkoskalowych instalacji fotowoltaicznych.

Zrealizowane w ramach rozprawy badania miały na celu rozpoznanie stanu, możliwości rozwoju oraz ocenę ekonomiczną efektywności inwestycji w wielkoskalowe instalacje fotowoltaiczne zlokalizowane w województwie lubelskim. Realizacja celu głównego przebiegała etapowo i obejmowała kolejne zadania badawcze. Na początku scharakteryzowano regulacje prawne i mechanizmy wsparcia finansowego energetyki odnawialnej odwołując się do polityki klimatyczno-energetycznej Unii Europejskiej, a także systemów pomocy publicznej z tego zakresu w Polsce. Kolejno ugruntowano wiedzę na temat energii jako czynnika determinującego rozwój społeczno-gospodarczy i ewolucji struktury jej pozyskiwania w ujęciu historycznym. W kolejnej części rozprawy przedstawiono techniczne aspekty wykorzystania energii słonecznej oraz

scharakteryzowano województwo lubelskie jako obszar prowadzonych badań. Ważnym aspektem pracy było oprócz analizy ekonomicznej wielkoskalowych instalacji fotowoltaicznych, wykonanie symulacji instalacji hybrydowych składających się z istniejących farm fotowoltaicznych (w dwóch skrajnie położonych lokalizacjach – na północy w miejscowości Bordziłówka, pow. bialski oraz na południu, w miejscowości Jeziernia, pow. tomaszowski) i dobranych do nich elektrowni wiatrowych oraz magazynów energii. Opracowano również analizę force-field, która została poprzedzona analizą PESTEL. Na podstawie wyników badań przeprowadzonych w ramach rozprawy doktorskiej zweryfikowano postawione w dysertacji hipotezy badawcze oraz sformułowano wnioski końcowe.

Analiza przeprowadzona w rozdziale 5.5 stanowiła podstawę weryfikacji hipotezy pierwszej *„zachodzące zmiany klimatyczne przyczyniają się do wzrostu potencjału promieniowania słonecznego w Południowo-Wschodniej Polsce”*. Rozpoznane warunki solarne i temperaturowe w rejonie badań na podstawie danych miesięcznych z dwóch stacji badawczych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej Państwowego Instytutu Badawczego (IMGW-PIB) zlokalizowanych na terenie województwa lubelskiego – Terespolu oraz Włodawie za okres od stycznia 1966 do grudnia 2022 roku, pozwoliły na weryfikację postawionej hipotezy. Wykazano, że w badanym okresie występują dwa trendy: malejący w latach 1966-1981 i rosnący w latach 1982-2022. Dotyczy to zarówno usłonecznienia, jak i temperatury w obu badanych stacjach. Oszacowane, na podstawie uśrednionych danych rocznych usłonecznienia i temperatury, modele trendów liniowych dla obu wydzielonych okresów charakteryzowały się istotnymi parametrami, z tym że dla pierwszego okresu były ujemne a dla

drugiego dodatnie. W związku z przeprowadzonymi analizami hipoteza 1 została zweryfikowana pozytywnie.

W celu weryfikacji hipotezy drugiej: *„Produkcja energii elektrycznej w instalacjach fotowoltaicznych pod względem ekonomicznym stanowi alternatywę dla jej wytwarzania z zastosowaniem źródeł konwencjonalnych”* posłużono się metodyką stosowaną przez Agencję Rynku Energii S.A. do ustalania jednostkowych technicznych kosztów wytwarzania energii. Do analizy porównawczej wykorzystano informacje publikowane przez ARE S.A. oraz wyniki z badanych 31 instalacji fotowoltaicznych zlokalizowanych w woj. lubelskim, które uzyskały wsparcie finansowe na realizację tych inwestycji w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Lubelskiego 2007-2013. Z przeprowadzonych analiz wynika, że do 2021 r. jednostkowe koszty techniczne wytwarzania energii elektrycznej w badanych instalacjach fotowoltaicznych były znacznie wyższe od generowanych przez elektrownie i elektrociepłownie zasilane paliwami konwencjonalnymi (węglem brunatnym, kamiennym lub gazem), a także energetykę wodną o przepływie naturalnym oraz wiatrową. Udzielone wsparcie finansowe dysproporcje te zmniejszało lub tak jak w latach 2018-2019, sprawiło że instalacje fotowoltaiczne były konkurencyjne w stosunku do elektrowni zasilanych węglem kamiennym i gazem. W 2022 r. jednostkowe koszty techniczne wytwarzania energii elektrycznej w badanych instalacjach fotowoltaicznych powyżej 0,1 MW zainstalowanej mocy, nawet bez uwzględniania dotacji, były już niższe od obliczonych dla elektrowni zawodowych na węgiel kamienny oraz gaz. Na podstawie uzyskanych wyników Hipotezę 2 również została zweryfikowana pozytywnie.

W rozdziale 6.5 przeprowadzono analizę w celu weryfikacji hipotezy trzeciej: *„w kompleksowym rachunku uwzględniającym aspekty*

ekonomiczne i środowiskowe publiczne wsparcie rozwoju wielkoskalowej elektroenergetyki słonecznej znajduje uzasadnienie". Do oceny efektywności ekonomicznej badanych inwestycji przyjęto następujące wskaźniki: prostą stopę zwrotu nakładów inwestycyjnych (ROI), prosty okres zwrotu nakładów inwestycyjnych (SPP), wartość bieżącą inwestycji netto (NPV), wewnętrzną stopę zwrotu nakładów (IRR), zdyskontowany okres zwrotu nakładów (DPBT), a także uśredniony jednostkowy koszt wytworzenia energii elektrycznej (LCOE). Przeprowadzono je dla trzech scenariuszy: bazowego, konserwatywnego i optymistycznego, w dwóch wariantach – dla rzeczywiście poniesionych nakładów inwestycyjnych uwzględniających wykorzystane wsparcie finansowe oraz bez dotacji. Ustalono, że przewidywany okres eksploatacji badanych inwestycji będzie wynosił 25 lat. Okresem odniesienia były wyniki obejmujące nakłady inwestycyjne, wartość wsparcia finansowego, składniki przychodów i kosztów eksploatacyjnych w latach 2017-2022. Dla scenariusza bazowego przyjęto następujące założenia: roczny wzrost cen sprzedaży energii elektrycznej oraz praw majątkowych do świadectw pochodzenia – 2%, roczny wzrost kosztów - 3,03% i stopa dyskontowa – 3%. Obliczenia wykonano także dla pozostałych scenariuszy przy następujących założeniach: konserwatywnego (ceny energii i PMŚP jak w poziomach odniesienia, stopa dyskontowa i wzrost kosztów – 4%) oraz optymistycznego (wzrost cen energii i PMŚP o 4%, a stopa dyskonta i wzrost cen – 2,5%). Analiza uzyskanych rezultatów upoważnia do stwierdzenia, że niezależnie od zainstalowanej mocy poszczególnych elektrowni fotowoltaicznych, wszystkie zrealizowane inwestycje, po części dzięki finansowemu wsparciu były ekonomicznie uzasadnione ($NPV > 0$). Gdyby jednak realizować je bez dofinansowania, sześć z badanych obiektów byłoby nierentowna. Z przeprowadzonej analizy

wrażliwości wynika, że niezależnie od przyjętego scenariusza inwestycje w elektroenergetykę słoneczną przy takim poziomie wsparcia, jaki miał miejsce w ramach perspektywy finansowej 2007-2013, były rozsądną długoterminową inwestycją. W najmniej korzystnym scenariuszu (konserwatywnym) uwzględnionym w analizie zdyskontowany okres zwrotu nakładów zawierał się w przedziale od 8,1 roku do około 22 lat. W scenariuszu optymistycznym wartości DPBT wahały się od 5,6 roku do ponad 15 lat. Okres zwrotu nakładów (zarówno prosty, jak i zdyskontowany) w przypadku inwestycji z dotacją był średnio niemal dwukrotnie szybszy niż w przypadku inwestycji bez dotacji, natomiast uśredniony koszt jednostkowy wytwarzania energii elektrycznej przy uwzględnieniu dotacji był o ok. 30% niższy niż bez niej. Na podstawie przeprowadzonych analiz hipoteza 3 została zweryfikowana również pozytywnie.

Analiza przeprowadzona w rozdziale 6.7 była podstawą weryfikacji hipotezy czwartej z której wynika, że *„rozbudowa wielkoskalowej instalacji fotowoltaicznej o elektrownie wiatrowe i magazyny energii jest uzasadniona ekonomicznie”*. W opracowaniu zastosowano metody rachunku symulacyjnego (optymalizacyjnego) dla instalacji hybrydowej, w skład której oprócz farmy fotowoltaicznej wchodziłyby turbina wiatrowa oraz magazyn energii. Pod uwagę zostały wzięte dwie elektrownie fotowoltaiczne zlokalizowane w miejscowości Jeziernia, pow. tomaszowski (0,99 MW) oraz miejscowości Bordziłówka, pow. bialski (1,4 MW). Analizę ekonomiczną wykonano w perspektywie 20 lat i dotyczyła hybrydowej elektrowni w dwóch wariantach mocy: elektrowni wiatrowej o mocy 2,4 MW oraz elektrowni fotowoltaicznej o mocy 0,99 MW (wariant 1), elektrowni wiatrowej o mocy 2,4 MW oraz elektrowni fotowoltaicznej o mocy 1,4 MW (wariant 2). Do elektrowni fotowoltaicznej dobrano magazyn energii

(w technologii litowo-jonowej) o pojemności 0,8-1,3 mocy instalacji, czyli 1 MWh (wariant 1) oraz 1,4 MWh (wariant 2). Sumaryczny koszt inwestycji w wariantcie 1 oszacowano na 17,28 mln PLN, natomiast w wariantcie 2 na 19,2 mln PLN. Prosty okres zwrotu inwestycji w wariantcie 1 oraz 2 wyniósł powyżej 20 lat. Główną konkluzją niniejszej analizy jest brak opłacalności systemu hybrydowego złożonego z elektrowni wiatrowej, fotowoltaicznej oraz magazynu energii. Wysoki koszt generuje magazyn energii oraz elektrownia wiatrowa, a ceny sprzedaży energii elektrycznej do sieci elektroenergetycznej są na niskim poziomie. W związku z powyższym hipoteza 4 została zweryfikowana negatywnie.

Przeprowadzone badania pozwoliły sformułować również następujące wnioski:

1. Konsekwencją wzrostu gospodarczego przejawiającego się najczęściej wzrostem wartości PKB per capita jest degradacja środowiska naturalnego. W dysertacji przedstawiono trendy zużycia energii ze źródeł konwencjonalnych oraz emisji GHG w wybranych regionach i państwach, zauważono istotną zależność pomiędzy tymi dwoma parametrami. Współczynniki kierunkowe trendu w analizowanych regionach charakteryzowały się wartościami dodatnimi z wyjątkiem Stanów Zjednoczonych, Unii Europejskiej 27 i Europy bez UE27.
2. Ze względu na znaczący postęp technologiczny w branży OZE, którego skutkiem są coraz niższe koszty urządzeń i wyższa efektywność energetyczna, wzrasta zainteresowanie wykorzystaniem energii słonecznej. Z obserwacji tempa rozwoju tego sektora wynika, że jest ono znacznie szybsze niż założone w prognozach „Polityki energetycznej Polski do 2040 roku”.

Z szacunków sporządzonych na podstawie Raportu „Rynek Fotowoltaiki w Polsce 2023” i założeniu, że wydajność paneli fotowoltaicznych będzie na takim samym poziomie jak w latach 2018-2020, to w 2022 roku ilość wytworzonej energii elektrycznej przez ten sektor wyniesie tyle, ile zaprogramowano na 2025 rok.

3. Według stanu na 31 grudnia 2021 roku zainstalowana moc elektryczna w źródłach fotowoltaicznych wyniosła 7 637,70 MW, w tym u prosumentów 5 836,60 MW. Jeszcze w 2018 roku wartości te były wielokrotnie niższe i wynosiły odpowiednio: 565,56 MW i 275,54 MW. W tym samym okresie wzrosła liczba prosumentów, z 51 016 do 845 730. Tak znaczący rozwój fotowoltaiki w latach 2018-2021 przyczynił się do bezprecedensowego wzrostu udziału energii elektrycznej z tego źródła do jej produkcji ogółem z 0,18% do 2,19%.
4. Tak dynamiczny rozwój całego sektora OZE nie byłby jednak możliwy bez przeznaczania na ten cel publicznych środków finansowych. Środki te były przede wszystkim alokowane w ramach programu operacyjnego „Infrastruktura i Środowisko”, regionalnych programów operacyjnych, Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich, a także Narodowego oraz Wojewódzkich Funduszy Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.
5. Ważnym czynnikiem wpływającym na opłacalność inwestycji jest system praw majątkowych. Nie jest on jednak idealny, ponieważ producenci nie są w stanie przewidzieć wartości zmiany tych cen, co wiąże się z niepewnością i pewnym ryzykiem zarządzania inwestycją. Ceny te w ciągu ostatniej dekady wahały się osiągając wartość od 22,46 zł do 300,42 zł.

6. W Unii Europejskiej w latach 2000-2022 pozyskanie energii ze źródeł odnawialnych zwiększyło się ponad dwuipółkrotnie. W największym stopniu wytwarzano energię z instalacji fotowoltaicznych, kolektorów słonecznych, farm wiatrowych, pomp ciepła, biogazu oraz bioetanolu i biodiesla. Podstawowym czynnikiem tak znaczącego rozwoju sektora odnawialnych źródeł energii należy upatrywać w konsekwentnej realizacji ambitnej polityki klimatyczno-energetycznej UE.
7. W dysertacji zbudowano i poddano szczegółowej weryfikacji modele tendencji rozwojowej produkcji energii elektrycznej z odnawialnych źródeł a także przedstawiono prognozy na lata 2023–2030. Z opracowania wynika, że największy potencjał wzrostu produkcji energii elektrycznej z odnawialnych źródeł tkwi w energetyce wiatrowej i fotowoltaice. Głównym powodem było subsydiowanie rozwoju tych sektorów, jak również coraz niższe koszty i wyższa efektywność energetyczna takich instalacji.
8. Aspektami wpływającymi pozytywnie na efektywność ekonomiczną inwestycji jest wzrost wydajności paneli fotowoltaicznych oraz spadek ich ceny.
9. Ze wszystkich przeprowadzonych analiz wynika, że decydujący wpływ na efekty ekonomiczne badanych instalacji fotowoltaicznych miała wartość udzielonego wsparcia finansowego oraz skala przedsięwzięcia inwestycyjnego.
10. Na podstawie analizy force-field opracowano siły wspierające i siły hamujące proces inwestowania w fotowoltaikę. Stwierdzono, że czynniki napędzające inwestycje przeważają nad hamującymi. Zaproponowano działania zmierzające do pokonania przeszkód

utrudniających wprowadzenie zmiany m. in. edukację ekologiczną społeczeństwa, czy zwiększenie wsparcia finansowego na inwestycje w OZE.

Podsumowując wyniki przeprowadzonych badań oraz przytoczone wnioski opłacalność inwestycji w wielkoskalowe elektrownie fotowoltaiczne była uzasadniona ekonomicznie pod warunkiem ich wsparcia finansowego. Oprócz aspektów ekonomicznych ważnym elementem jest troska o środowisko naturalne i zmiany klimatu. Niewątpliwie inwestycje w energetykę odnawialną stanowią ważny element polityki klimatyczno-energetycznej.

Badania zrealizowane w ramach dysertacji uwzględniały jedynie projekty inwestycyjne funkcjonujące w ramach *Tradable Green Certificates system* – *TGCs*. Obecnie realizowane inwestycje fotowoltaiczne działają w nowych uwarunkowaniach prawnych, między innymi systemie aukcyjnym oraz dynamicznych taryf energii, stąd też w przyszłych badaniach należy te zagadnienia uwzględnić.

6. Spis treści rozprawy doktorskiej

Wykaz skrótów

Streszczenie

Abstract

Wstęp

1. Cel i metoda badań

- 1.1. Cel badań
- 1.2. Źródła materiałów i ich opracowanie
- 1.3. Metody zastosowane w pracy
- 1.4. Struktura pracy

2. Regulacje prawne i mechanizmy wsparcia finansowego energetyki odnawialnej

- 2.1. Globalne porozumienia klimatyczne
- 2.2. Polityka klimatyczno-energetyczna Unii Europejskiej
- 2.3. Polityczno-prawne aspekty uwarunkowania rozwoju wykorzystania odnawialnych źródeł energii w Polsce
- 2.4. Mechanizmy wsparcia produkcji energii ze źródeł odnawialnych
- 2.5. System wsparcia OZE w Polsce

3. Energia jako czynnik determinujący rozwój społeczno-gospodarczy i ewolucja struktury jej pozyskiwania w ujęciu historycznym

- 3.1. Istota energii
- 3.2. Energia w teorii ekonomii
- 3.3. Rozwój energetyki wykorzystującej źródła odnawialne i jej znaczenie w bilansie energetycznym
- 3.4. Stan i prognozy wykorzystania odnawialnych źródeł energii w polskim sektorze elektroenergetycznym

4. Techniczne aspekty wykorzystania energii słonecznej

- 4.1. Metody przetwarzania energii słonecznej
- 4.2. Kolektory słoneczne
- 4.3. Ogniwa fotowoltaiczne
- 4.4. Perspektywy rozwoju technologii fotowoltaicznych
- 4.5. Problemy i wyzwania związane z instalacjami fotowoltaicznymi
- 4.6. Agrofotowoltaika jako innowacyjne podejście do wykorzystania energii słonecznej w rolnictwie
- 4.7. Hybrydowe instalacje z wykorzystaniem instalacji fotowoltaicznych

5. Charakterystyka województwa lubelskiego

- 5.1. Położenie i uwarunkowania środowiskowe
- 5.2. Uwarunkowania społeczno-gospodarcze województwa lubelskiego
- 5.3. Potencjał OZE w województwie lubelskim i jego wykorzystanie
- 5.4. Odnawialne źródła energii w dokumentach strategicznych województwa lubelskiego

5.5. Trendy zmian słonecznienia i temperatury w rejonie badań

6. Ekonomiczna efektywność produkcji energii elektrycznej w wielkoskalowych instalacjach fotowoltaicznych

6.1. Charakterystyka analizowanych inwestycji

6.2. Nakłady inwestycyjne

6.3. Produkcja i przychody

6.4. Koszty eksploatacyjne

6.5. Ocena opłacalności badanych przedsięwzięć inwestycyjnych

6.6. Analiza force-field

6.7. Ekonomiczna ocena instalacji fotowoltaicznej funkcjonującej w ramach systemu hybrydowego

Podsumowanie i wnioski

Bibliografia

Spis tabel

Spis rysunków

7. Cytowana literatura

- Behrens, W., & Hawranek, P. M. (1991). *Manual for the Preparation of Industrial Feasibility Studies. Newly revised and expanded edition.* United Nations Industrial Development Organization.
- Bresnahan, T. F., & Ramey, V. A. (1993). Segment shifts and capacity utilization in the US automobile industry. *The American Economic Review*, 83(2), 213–218.
- Conference of the Parties. (2015). *Adoption of the Paris Agreement.*
- Debreu, G. (1951). The coefficient of resource utilization. *Econometrica*, 19(3).
- Dudycz, T. (2007). Efektywność – rozważania nad istotą i pomiarem. In T. Dudycz (Ed.), *Prace Naukowe AE we Wrocławiu.*
- Energy Institute. (2023). *Statistical Review of World Energy.*
- European Commission. (1998). *Communication from the Commission Energy for the future: Renewable sources of energy.*
- Eurostat. (2022). *Energy balances.*
[https://ec.europa.eu/eurostat/cache/infographs/energy_balances.](https://ec.europa.eu/eurostat/cache/infographs/energy_balances)

- FAO. (2015). *The impact of disasters on agriculture and food security*.
- Farrell, M. J. (1957). The Measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society, Seria A*.
- Gerlach, J., & Gil, M. (2018). Efektywność przedsiębiorstwa w teorii ekonomii – która z definicji najlepiej oddaje istotę zagadnienia? *Współczesne Problemy Ekonomiczne*, 2(18).
<https://doi.org/10.18276/wpe.2018.18-02>
- Gradziuk, P., & Gradziuk, B. (2019). Economic profitability of investment in a photovoltaic plant in south-east Poland. *Annals of the Polish Association of Agricultural and Agribusiness Economists*, XXI(3).
<https://doi.org/10.5604/01.3001.0013.3537>
- Gradziuk, P., Gradziuk, B., & Us, A. (2018). Tendencje kształtowania się kosztów inwestycyjnych w sektorze fotowoltaicznym. *Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu*, XX(1), 44–49. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0011.7227>
- Hansen, J., Sato, M., Ruedy, R., Lo, K., Lea, D. W., & Medina-Elizade, M. (2006). Global temperature change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(39), 14288–14293.
<https://doi.org/10.1073/pnas.0606291103>
- IEA. (2022). *World Energy Outlook 2022* .
- Józwiak, W. (1998). Efektywność gospodarowania w rolnictwie. In A. Woś (Ed.), *Encyklopedia agrobiznesu*. Fundacja Innowacja.
- Kamerschen, D. R., McKenzie, R. B., & Nardinelli, C. (1991). *Ekonomia*. Fundacja Gospodarcza NSZZ „Solidarność”.
- Komisja Europejska. (2022). *Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Strategia UE na rzecz energii słonecznej*.
- Kowalski, Z. (1992). Kategorie efektywności produkcji (w świetle teorii funkcji produkcji). *Zagadnienia Ekonomiki Rolnej*, 4.
- Kozuń-Cieślak, G. (2013). Efektywność – rozważania nad istotą i typologią. *Kwartalnik Kolegium Ekonomiczno-Społecznego, Studia i Prace*, 4.
- Kulawik, J. (2008). Efektywność finansowa w rolnictwie. Istota, pomiar i perspektywy. *Zagadnienia Ekonomiki Rolnej*, 2.
- Manteuffel, R. (1987). *Filozofia rolnictwa*. PWN.

- Mikołajuk, H., Duda, M., Radović, U., Skwierz, S., Lewarski, M., & Kowal, I. (2016). *Aktualizacja analizy porównawczej kosztów wytwarzania energii elektrycznej w elektrowniach jądrowych, węglowych i gazowych oraz odnawialnych źródłach energii*. Agencja Rynku Energii S.A.
- Ministerstwo Klimatu i Środowiska, & Agencja Rynku Energii S.A. (2023). *Statystyka Elektroenergetyki Polskiej 2022*.
- Newman, R., & Noy, I. (2023). The global costs of extreme weather that are attributable to climate change. *Nature Communications*, 14(1).
<https://doi.org/10.1038/s41467-023-41888-1>
- Ney, R. (1994). Energia odnawialna. *Nauka*, 3, 43–66.
- Nowak, E. (1998). *Ocena efektywności podmiotów gospodarczych*. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu.
- Odum, H. T. (1996). *Environmental accounting: emery and environmental decision making*. Wiley.
- ONZ. (2015). *Przekształcamy nasz świat: Agenda na rzecz zrównoważonego rozwoju 2030 (A/RES/70/1)*.
https://www.unic.un.org.pl/files/164/Agenda%202030_pl_2016_ostateczna.pdf
- Penc, J. (1997). *Leksykon biznesu*. Placet.
- Rajtar, J. (1984). Efektywność gospodarowania. In *Encyklopedia ekonomiczno-rolnicza*. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne.
- Samuelson, P. A., & Nordhaus, W. D. (1999). *Ekonomia*. Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Sandvall, A. F., Ahlgren, E. O., & Ekvall, T. (2017). Cost-efficiency of urban heating strategies – Modelling scale effects of low-energy building heat supply. *Energy Strategy Reviews*, 18.
<https://doi.org/10.1016/j.esr.2017.10.003>
- Sierpińska, M., & Jachna, T. (2004). *Ocena przedsiębiorstwa według standardów światowych*. Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Smil, V. (1994). *Energy in world history*. Westview Press.
- Sovacool, B. K., & Valentine, S. V. (2012). *The National Politics of Nuclear Power: Economics, Security, and Governance*. Routledge.
- Stern, N. H. (2007). *The economics of climate change: the Stern review*.
- Stoner, J. A. F., Freeman, R. E., & Gilbert, D. R. (1997). *Kierowanie*. PWE.

- Szymańska, E. (2010). Efektywność przedsiębiorstw – definiowanie i pomiar. *Roczniki Nauk Rolniczych, Seria G*, 97(2).
- United Nations Industrial Development Organization. (1978). *Manual for the Preparation of Industrial Feasibility Studies*.
- Weiss, W., & Spörk-Dür, M. (2023). *Solar Heat Worldwide*.
- Woś, A., & Zegar, J. (2002). *Rolnictwo społecznie zrównoważone*. IERiGŻ.
- Yergin, D. (2021). *Nowa mapa. Jak energetyka zmienia geopolitykę*. Sonia Draga.
- Zieleniewski, J. (1969). *Organizacja i zarządzanie*. PWN.
- Zimmewicz, K. (2011). Globalne ocieplenie. Wątpliwy sojusz nauki z polityką, ideologią i biznesem. *Ekonomia i Środowisko*, 1, 15.
- Żylicz, T. (2012). Ekonomia wobec wspierania odnawialnych źródeł energii. In J. ; Rączka, M. ; Swora, & W. Stawiany (Eds.), *Generacja rozproszona w nowoczesnej polityce energetycznej- wybrane problemy i wyzwania*. Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

