

Studia Bezpieczeństwa Narodowego  
Zeszyt 35 (2025)  
ISSN 2028-2677, s. 63-92  
DOI: 10.37055/sbn/195303

Instytut Bezpieczeństwa i Obronności  
Wydział Bezpieczeństwa, Logistyki i Zarządzania  
Wojskowa Akademia Techniczna  
w Warszawie

National Security Studies  
Volume 35 (2025)  
ISSN 2028-2677, pp. 63-92  
DOI: 10.37055/sbn/195303

Institute of Security and Defense  
Faculty of Security, Logistics and Management  
Military University of Technology  
in Warsaw

## RYZYKA TRANSFORMACJI ENERGETYCZNEJ – SYSTEMATYCZNY PRZEGLĄD LITERATURY

### RISKS OF ENERGY TRANSFORMATION – A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

Grzegorz KUNIKOWSKI

Politechnika Warszawska  
ORCID: 0000-0002-3660-7117

**Abstrakt.** Transformacja energetyczna polega na przekształcaniu systemów wytwarzania energii opartych na paliwach kopalnych w systemy niskoemisyjne, które ograniczają emisje gazów cieplarnianych i zmniejszają negatywny wpływ na środowisko naturalne. Celem artykułu jest zidentyfikowanie oraz analiza ryzyk związanych z transformacją energetyczną w anglojęzycznej literaturze naukowej z lat 2019-2024. Problem badawczy sformułowano został zadany w formie pytania: Jakie ryzyka związane z transformacją energetyczną są obecne w międzynarodowej literaturze? Hipoteza badawcza pracy została sformułowana w następujący sposób: Transformacja energetyczna wiąże się z wysokim ryzykiem społeczno-gospodarczym. Metoda badawcza w pracy obejmuje bibliometryczną analizę opartą na procedurze systematycznego przeglądu literatury PRISMA. W ramach analizy bibliometrycznej wykonano badania współcycowań oraz współwystępowania słów kluczowych podanych przez autorów. Próbkę badawczą pozyskano z bazy SCOPUS, z której wyselekcjonowano artykuły zawierające frazy kluczowe, odnoszące się do transformacji energetycznej oraz ryzyka. W analizowanych publikacjach ryzyka wiążą się zarówno ze zmianami klimatycznymi, jak i z ekonomicznymi oraz technologicznymi aspektami procesu transformacji energetycznej. Warto zauważyć, iż istotną część wysokocytowanych publikacji stanowią prace z zakresu finansów, które poruszają zarówno zagadnienia makroekonomiczne z perspektywy banków centralnych, jak i kwestie ryzyka związanego z inwestycjami, w tym metody ocen ekonomicznej opłacalności i efektów środowiskowych. Publikacje odzwierciedlają ekonomiczne dylematy i ryzyka związane z wdrażaniem niskoemisyjnych rozwiązań technologicznych, zwłaszcza w kontekście tempa i skali transformacji. Za perspektywiczne kierunki badań, zdaniem autora, należy uznać interdyscyplinarne analizy skupione na ekonomiczno-środowiskowych ocenach wdrażania technologii niskoemisyjnych, w tym technologii związanych z gospodarką wodorową, w różnych skalach. W kontekście wyzwań stojących przed Polską istotna jest odpowiednia polityka finansowania transformacji, by uniknąć wzrostu kosztów energii, co mogłoby prowadzić do nasilenia ubóstwa energetycznego oraz osłabienia konkurencyjności gospodarki.

**Abstract:** Energy transformation involves converting fossil fuel-based energy generation systems into low-emission systems that reduce greenhouse gas emissions and lessen the negative impact on the natural

environment. The aim of this article is to identify and analyze the risks associated with energy transformation in the English-language scientific literature from 2019 to 2024. The research problem is posed as a question: what risks related to energy transformation are present in the international literature? The research hypothesis is formulated as follows: Energy transformation is associated with high socio-economic risks. The research method employed is a bibliometric analysis based on the PRISMA systematic literature review procedure. As part of the bibliometric analysis, co-citation studies and co-occurrence of keywords provided by the authors were conducted. The research sample was obtained from the SCOPUS database, from which articles containing keywords related to energy transformation and risk were selected. The risks identified in the analyzed publications are associated with both climate change and the economic and technological aspects of the energy transformation process. It is noteworthy that a significant portion of the highly cited publications consists of works in the field of finance, addressing both macroeconomic issues from the perspective of central banks and investment-related risks, including methods for assessing economic feasibility and environmental impacts. The publications reflect the economic dilemmas and risks associated with implementing low-emission technological solutions, particularly regarding the pace and scale of transformation. According to the author, promising research directions include interdisciplinary analyses focused on economic and environmental assessments of low-emission technology implementation, including hydrogen economy technologies, at various scales. In the context of the challenges facing Poland, an appropriate policy for financing the energy transition is crucial to avoid increasing energy costs, which could lead to a rise in energy poverty and a weakening of the country's economic competitiveness.

**Słowa kluczowe:** transformacja energetyczna, analiza ryzyka, odporność, ryzyka transformacji energetycznej, PRISMA.

**Keywords:** energy transformation, risk analysis, resilience, energy transformation risks, PRISMA.

## Wprowadzenie

Punktem wyjścia dla badań nad ryzykiem w sektorze paliw i energii jest założenie, iż transformacja energetyczna, oprócz korzyści dla środowiska naturalnego, niesie ze sobą także zagrożenia społeczno-gospodarcze. Ryzyka wiążą się bezpośrednio z bezpieczeństwem energetycznym i zarządzaniem ciągłością dostaw (Kunikowski 2019, 2020). Celem artykułu jest zidentyfikowanie oraz analiza ryzyk związanych z transformacją energetyczną w anglojęzycznej literaturze naukowej z lat 2019-2024.

Transformacja polega na przekształcaniu systemów wytwarzania energii wykorzystujących paliwa kopalne na systemy niskoemisyjne, które ograniczają emisje gazów cieplarnianych i zmniejszają oddziaływanie na środowisko naturalne.

## Ocena stanu wiedzy

Polityka energetyczna Polski do roku 2040 (PEP 2040) definiuje trzy filary, które stanowią ramy rozwoju sektora paliw i energii: sprawiedliwa transformacja, zeroemisyjny system energetyczny oraz dobra jakość powietrza (MKiŚ 2021a). Transformacja energetyczna jest także integralną częścią Europejskiego Zielonego Ładu. Wskutek wydarzeń ostatnich lat, pandemii i wojny, wzrosły obawy o bezpieczeństwo energetyczne i ciągłość dostaw surowców. Wyzwaniom odpowiadają

założenia aktualizacji PEP 2040, gdzie wprowadza się termin „suwerenności energetycznej”, czyli niezależności która ma zwiększać odporność krajowego systemu paliwowo-energetycznego. Przygotowywana aktualizacja ma na celu „...zapewnienie szybkiego uniezależnienia krajowej gospodarki od importowanych paliw kopalnych (węgiel, ropa naftowa i gaz ziemny) oraz pochodnych (LPG, olej napędowy, benzyna, nafta) z Rosji oraz innych krajów objętych sankcjami gospodarczymi.” (gov.pl 2023). Istotą transformacji energetycznej są niskoemisyjne technologie. Wśród trendów technologicznych należy wymienić takie jak: rozwijanie technologii odnawialnych źródeł energii, magazynowanie energii elektrycznej, elektromobilność, wdrażanie do sektora rozwiązań gospodarki cyfrowej (Kunikowski 2018). Wdrożenie technologii wymaga pokonania szeregu barier technicznych, ale również organizacyjnych, prawnych i społeczno-ekonomicznych. Warto również zwrócić uwagę na gospodarkę wodorową, z dużym potencjałem obniżania emisyjności w sektorach. Kierunek ma dedykowaną krajową strategię (MKiŚ 2021b), która jest zbieżna z działaniami międzynarodowymi (European Commission. Directorate General for Energy. i in. 2020, FCHEA 2021). Należy podkreślić także decentralizację i jako jej przykład można podać mikrosieci, które wykorzystują wiele technologii i umożliwiają lokalne bilansowanie popytu i podaży energii (Tiwari i Singh 2023). Nowe rozwiązania oznaczają konieczność wdrożenia adekwatnych rozwiązań prawnych i regulacyjnych (Kurowska-Pysz i Kunikowski 2021). Wiążą się one także chociażby z powstawaniem modeli biznesowych dla nowych usług, takich jak: zarządzanie popytem, dostarczanie usług magazynowania energii elektrycznej, czy integrację usług. Zmiany niosą ryzyka dotyczące kosztów, np. narastanie zjawiska tzw. ubóstwa energetycznego (Kunikowski 2018). W Polsce newralgicznym obszarem są regiony, w których tradycyjnie rozwijane było górnictwo (Kowalik i in. 2024, Peplowska i in. 2024).

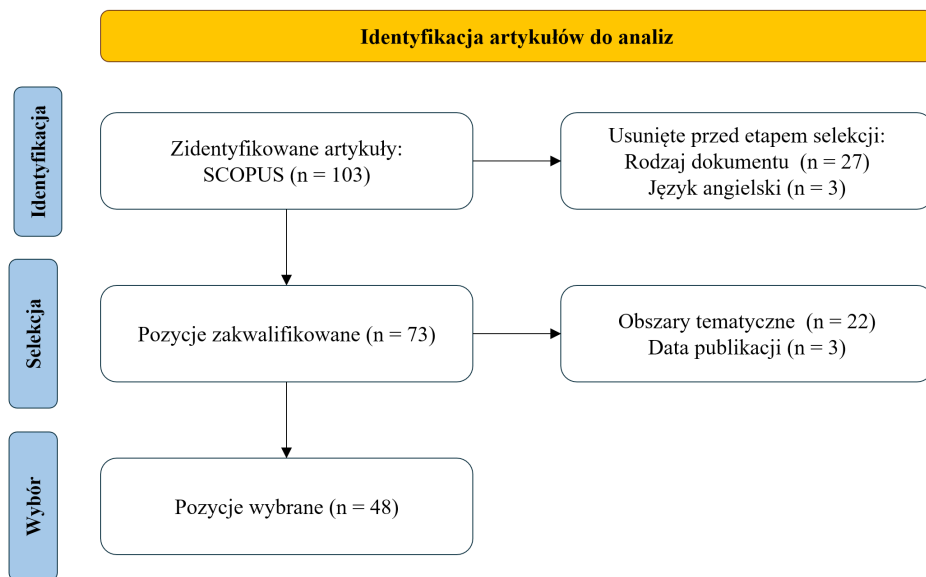
## Metoda i zakres analizy

Celem artykułu jest zidentyfikowanie oraz analiza ryzyk związanych z transformacją energetyczną w anglojęzycznej literaturze naukowej z lat 2019-2024. Problem badawczy został zadany w formie pytania: jakie ryzyka związane z transformacją energetyczną są obecne w międzynarodowej literaturze? Hipoteza badawcza pracy została sformułowana w następujący sposób: Transformacja energetyczna wiąże się z wysokim ryzykiem społeczno-gospodarczym. Aby odpowiedzieć na pytanie badawcze i sformułowaną hipotezę, w artykule zastosowano analizę bibliometryczną opartą na procedurze systematycznego przeglądu literatury PRISMA, przeprowadzoną na podstawie 48 artykułów o największej cytowalności pozyskanych z bazy danych SCOPUS. Metoda ta pozwoliła na analizę współcytowań oraz współwystępowania słów kluczowych, co umożliwiło zidentyfikowanie głównych obszarów ryzyka związanych z transformacją energetyczną.

Zastosowana metoda badawcza została opisana według rekomendacji procedury PRISMA (*ang. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses*) (Page, Moher, i in. 2021, Trifu et al. 2022). Analizy bibliometryczne przeprowadzono za pomocą programu VOSviewer. W ramach bibliometrycznej analizy sieci wykonano analizy współcytowań oraz współwystępowania słów kluczowych podanych przez autorów. „Przegląd bibliometryczny skupia się na analizie opublikowanych badań z użyciem narzędzi statystycznych (takich jak VoS – Visualization of Similarities). (...) Zaletą przeglądu bibliometrycznego jest wyraźne, poparte statystycznymi obliczeniami pokazanie, które z danych wątków wydają się obiecujące” (Stępień 2023, s. 17).

Do przygotowania próby badawczej wykorzystano bazę SCOPUS (dane pobrano w marcu 2024 roku), z której wyodrębniono artykuły zawierające frazy słów kluczowych. Wyszukiwane one były w tytułach, streszczeniach oraz słowach kluczowych podanych przez autorów. Wyszukiwano frazę „ryzyka transformacji energetycznej” wraz z wariantami, wynikającymi z tłumaczenia (w istocie użyto dodatkowego, tożsamego terminu dla transformacji energetycznej oraz liczby mnogiej - „energy transition risks” or „energy transformation risk” or „energy transition risk” or „energy transformation risks”). W pierwszym etapie zrealizowano to ze zidentyfikowanych w bazie SCOPUS 103 artykułów. Następnie wykluczone zostały pozycje niebędące artykułami (odrzucono 27 publikacje) oraz nienapisane w języku angielskim (odrzucono 3). Po etapie identyfikacji próby badawczej pozostawiono artykuły opublikowane w języku angielskim w recenzowanych czasopismach. Z pozostałych 73 artykułów wybrano pozycje z obszarów: energii (*ang. Energy*), nauk o środowisku (*ang. Environmental Science*), nauk społecznych (*ang. Social Sciences*), inżynierii (*ang. Engineering*), interdyscyplinarne (*ang. Interdisciplinary*), teorii decyzji (*ang. Decision Science*). W rezultacie odrzucono 22 artykuły. Kolejnym kryterium był czas publikacji, wybrano publikacje, które ukazały się po 2020 roku (odrzucono 3

pozycje). Do dalszych analiz zakwalifikowano 48 artykułów, stanowiących próbę badawczą. Schemat wyboru przedstawiono na rys. 1.



**Rysunek 1.** Schemat identyfikacji próby badawczej do analizy bibliometrycznej

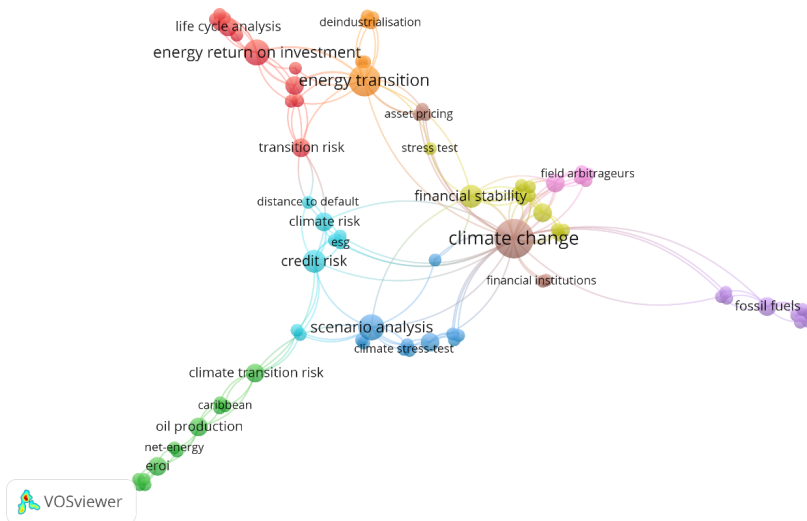
Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Page, McKenzie, *et al.* 2021)

Dla wybranych 48 artykułów przeprowadzono bibliometryczną analizę cytowań w ramach której wyróżniono najczęściej cytowanych autorów i najczęściej cytowane artykuły (tab. 1, rys. 3). Z wykorzystaniem programu VOSviewer przeprowadzono badania sprzężenia bibliograficznego (rys. 4). „Metoda ta opiera się na cytowanych dokumentach i jest miarą podobieństwa publikacji. Siła sprzężenia pomiędzy daną parą artykułów zależy od liczby wspólnych odniesień, zatem można powiedzieć, że sprzężenie bibliograficzne określa związek między dwoma artykułami na podstawie ich wspólnych odniesień” (Habib and Afzal 2019, Borkowski 2023, s. 127). Następnie przeprowadzono analizę powiązań terminów w klastry, które są przedstawione w postaci mapy współwystępowania.

## Wyniki

Próba badawcza obejmowała 48 artykułów, których autorami było 148 badaczy. Artykuły opublikowano w 36 czasopismach. Najwięcej artykułów opublikowano w czasopismach: *Ecological Economics* (6), *Energies* (4), *Energy Economics* (2), *Journal of Energy Markets* (2), *Vanderbilt Law Review* (2). W pozostałych czasopismach opublikowano po jednym artykule.

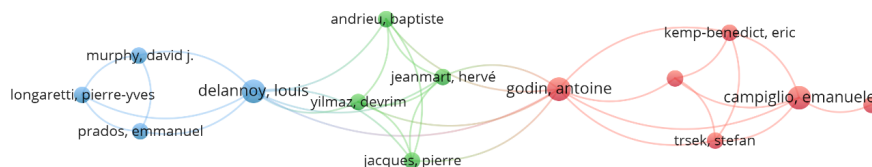
Całkowita liczba słów kluczowych podanych przez autorów wynosi 179. Słowa kluczowe tworzą 9 klastrow, które przedstawia rys. 2.



**Rysunek 2.** Mapa słów kluczowych podanych przez autorów

Źródło: Opracowanie własne w programie VOSviewer

Rysunek 3 przedstawia mapę sieci powiązań autorów, których naukowa aktywność jest potwierdzona cytowaniami.



**Rysunek 3.** Sieć aktywności wybranych autorów  
Źródło: Opracowanie własne w programie VOSviewer

Tabela 1 zawiera artykuły cytowane w więcej niż 10 innych publikacjach.

**Tabela 1.** Najczęściej cytowane artykuły

NR	TYTUŁ	AUTORZY	CYT.
1.	Finanse, zmiany klimatyczne i radykalna niepewność: w stronę ostrożnego podejścia do polityki finansowej	Chenet H.; Ryan-Collins J.; van Lerven F. (Chenet <i>et al.</i> 2021)	76
	Finance, climate-change and radical uncertainty: towards a precautionary approach to financial policy		
2.	Emisje gazów cieplarnianych w cyklu życia i ocena energii netto w przypadku produkcji wodoru na dużą skalę za pomocą elektrolizy i fotowoltaiki	Palmer G.; Roberts A.; Hoadley A.; Dargaville R.; Honnery D. (Palmer <i>et al.</i> 2021)	51
	Life-cycle greenhouse gas emissions and net energy assessment of large-scale hydrogen production via electrolysis and solar pv		

cd. tab. 1

	Banki centralne, stabilność finansowa i koordynacja polityki w dobie niepewności klimatycznej: trójwarstwowe ramy analityczne i operacyjne		
3.	Central banks, financial stability and policy coordination in the age of climate uncertainty: a three-layered analytical and operational framework	Svartzman R.; Bolton P.; Despres M.; Pereira Da Silva L.A.; Samama F. (Svartzman <i>et al.</i> 2021)	37



cd. tab. 1

4.	Krótkoterminowe zagrożenia związane z przemianami fizycznymi i długoterminowe zagrożenia klimatyczne związane ze ścieżkami emisji gazów cieplarnianych	Gambhir A.; George M.; McJeon H.; Arnell N.W.; Bernie D.; Mittal S.; Köberle A.C.; Lowe J.; Rogelj J.; Monteith S. (Gambhir <i>et al.</i> 2022)	23
	Near-term transition and longer-term physical climate risks of greenhouse gas emissions pathways		
5.	Kaskady osierocania kapitału: wpływ dekarbonizacji na wykorzystanie aktywów produkcyjnych	Cahen-Fourot L.; Campiglio E.; Godin A.; Kemp-Benedict E.; Trsek S. (Cahen-Fourot <i>et al.</i> 2021)	23
	Capital stranding cascades: the impact of decarbonisation on productive asset utilisation		
6.	Modelowanie ryzyka transformacji energetycznej: wpływ malejącego zwrotu energii z inwestycji (EROI)	Jackson A.; Jackson T. (Jackson and Jackson 2021) "plainCitation": "(Jackson and Jackson 2021)	19
	Modelling energy transition risk: the impact of declining energy return on investment (EROI)		

cd. tab. 1

	Analiza ryzyka i szans na potrzeby projektowania i oceny polityki transformacji		
7.	Risk-opportunity analysis for transformative policy design and appraisal	Mercure J.-F.; Sharpe S.; Vinuales J.E.; Ives M.; Grubb M.; Lam A.; Drummond P.; Pollitt H.; Knobloch F.; Nijssse F.J.M.M. (Mercure <i>et al.</i> 2021)	19

cd. tab. 1

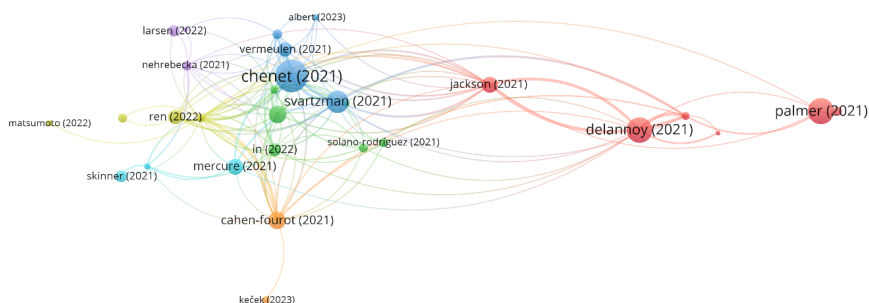
8.	Robi się gorąco: ramy pomiaru napięć finansowych w scenariuszach destrukcyjnej transformacji energetycznej	Vermeulen R.; Schets E.; Lohuis M.; Kölbl B.; Jansen D.-J.; Heeringa W. (Vermeulen <i>et al.</i> 2021)	15
	The heat is on: a framework for measuring financial stress under disruptive energy transition scenarios		
9.	Jak niepewność polityki klimatycznej wpływa na nadmierne zadłużenie przedsiębiorstw? Sprawa Chin	Ren X.; Qin J.; Dong K. (Ren <i>et al.</i> 2022)	15
	How Does Climate Policy Uncertainty Affect Excessive Corporate Debt? The Case of China		
10.	Ocena ryzyka finansowego związanego z klimatem dla inwestycji w infrastrukturę energetyczną	In S.Y.; Manav B.; Venereau C.M.A.; Cruz R. L.E.; Weyant J.P. (In <i>et al.</i> 2022)	12
	Climate-related financial risk assessment on energy infrastructure investments		

	Banki centralne i zmiany klimatyczne		
11.	Central Banks and Climate Change	Skinner C.P. (Skinner 2021)	10

Źródło: Opracowanie własne

Wyniki analizy sprzężenia przedstawiono na rys. 4.

cd. tab. 2



**Rysunek 4.** Analiza publikacji z wykorzystaniem sprzężenia bibliograficznego  
Źródło: Opracowanie własne w programie VOSviewer

Zastosowany algorytm wyodrębnił 7 tematycznych klastrów, grupujących artykuły (rys. 4 i tab. 2).

**Tabela 2.** Klastry z analizy sprzężenia bibliograficznego

NR	PUBLIKACJE	TYTUŁY ARTYKUŁÓW
1.	(Delannoy <i>et al.</i> 2021, Jackson and Jackson 2021, Palmer <i>et al.</i> 2021, Jacques <i>et al.</i> 2023, Karanfil and Omgba 2023, Ruggeri and Gómez-Camacho 2023)	<p>„Szczytowe wydobycie ropy i przejście na energię nisko-emisyjną: perspektywa energii netto”</p> <p>„Modelowanie ryzyka transformacji energetycznej: wpływ malejącego zwrotu energii z inwestycji (EROI)”</p> <p>„Ocena ekonomicznych konsekwencji transformacji energetycznej za pomocą spójnego modelu biofizycznego przepływu zasobów”</p> <p>„Transformacja energetyczna i dywersyfikacja eksportu w krajach zależnych od ropy naftowej: rola czynników strukturalnych”</p> <p>„Emisje gazów cieplarnianych w cyklu życia i ocena energii netto w przypadku produkcji wodoru na dużą skalę za pomocą elektrolizy i fotowoltaiki”</p> <p>„Model produkcyjny N. Georgescu-Roegeny do oceny EROI; studium przypadku: elektrolityczna produkcja H<sub>2</sub> z wykorzystaniem energii słonecznej”</p>

cd. tab. 2

2.	(Baldassarri Höger von Högersthal <i>et al.</i> 2020, Cormack <i>et al.</i> 2020, Riedl 2021, Solano-Rodríguez <i>et al.</i> 2021, Gambhir <i>et al.</i> 2022, In <i>et al.</i> 2022	<p>„Ścieżki ustalania cen emisji dwutlenku węgla do bardziej ekologicznej przyszłości i potencjalne przeszkody dla wiarygodności kredytowej spółek publicznych”</p> <p>„Szacowanie ryzyka finansowego wynikającego z transformacji energetyki: potencjalne skutki dekarbonizacji w europejskim sektorze energetycznym”</p> <p>„Krótkoterminowe zagrożenia związane z przemianami fizycznymi i długoterminowe zagrożenia klimatyczne związane ze ścieżkami emisji gazów cieplarnianych”</p> <p>„Ocena ryzyka finansowego związanego z klimatem dla inwestycji w infrastrukturę energetyczną”</p> <p>„Wielkość ryzyka transformacji energetycznej zawarta w wycenach spółek z branży paliw kopalnych”</p> <p>„Wpływ celów klimatycznych na produkcję ropy naftowej i dochody fiskalne w Ameryce Łacińskiej i na Karaibach”</p>
3.	(Chenet <i>et al.</i> 2021, Sareen 2021, Vermeulen <i>et al.</i> 2021, Albert 2023, Quorning 2024)	<p>„Ekosocjalizm dla realistów: przejścia, kompromisy i zagrożenia autorytarne”</p> <p>„Finanse, zmiany klimatyczne i radykalna niepewność: w stronę ostrożnego podejścia do polityki finansowej”</p> <p>„„Zmiana klimatyczna” w bankach centralnych: jak arbitrzy terenowi utworowali drogę do testów warunków skrajnych dla klimatu”</p> <p>„Cyfryzacja i włączenie społeczne w wieloskalowych inteligentnych transformacjach energetycznych”</p> <p>„Robi się gorąco: ramy pomiaru napięć finansowych w scenariuszach destrukcyjnej transformacji energetycznej”</p>
4.	(Bulai <i>et al.</i> 2021, Campiglio and van der Ploeg 2022, Moesner 2022, Ren <i>et al.</i> 2022)	<p>„Oparta na zmiennych metodologia oceny ryzyka cen emisji dwutlenku węgla w sektorach gospodarki Unii Europejskiej”</p> <p>„Zagrożenia makrofinansowe przejścia na gospodarkę niskoemisyjną”</p> <p>„Dowody na politykę klimatyczną, emisję dwutlenku węgla i inflację”</p> <p>„Jak niepewność polityki klimatycznej wpływa na nadmierne zadłużenie przedsiębiorstw; sprawa Chin”</p>

cd. tab. 2

5.	(Hayne <i>et al.</i> 2020, Nehrebecka 2021, Larsen 2022)	„Uwzględnienie ryzyka przejścia w regulacyjnych testach warunków skrajnych: argument za ujednoczonymi ramami testów warunków skrajnych dla klimatu i pomiaru tolerancji wpływu na nagłą, późną i nagłą dekarbonizację gospodarczą” „Promowanie globalnej konwergencji w zakresie ekologicznych polityk finansowych: Chiny jako pionier polityki i UE jako podmiot wyznaczający standardy” „Ryzyko klimatyczne ze szczególnym uwzględnieniem związku z oceną ryzyka kredytowego: czego uczymy się od Polski”
----	--	---

cd. tab. 2

6.	(Mercure et al. 2021, Skinner 2021, Moessner 2022)	„Analiza ryzyka i szans na potrzeby projektowania i oceny polityki transformacyjnej” „Dowody na politykę klimatyczną, emisję dwutlenku węgla i inflację” „Banki centralne i zmiany klimatyczne”
----	--	---

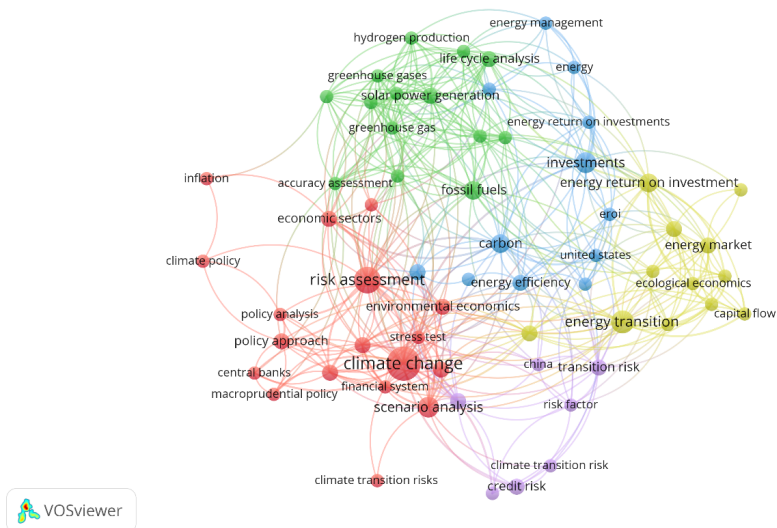


7.	(Cahen-Fourot <i>et al.</i> 2021, Keček 2023)	„Kaskady osierocania kapitału: wpływ dekarbonizacji na wykorzystanie aktywów produkcyjnych” „Wpływ rosnących cen energii na inflację w Chorwacji”
----	--	--

Źródło: Opracowanie własne

W ramach analizy współwystępowania zidentyfikowane 61 terminów, zgrupowane w 5 klastrach tematycznych (tab. 3). Klastry na mapie współwystępowania są tworzone przez węzły, których wielkość odpowiada częstości użycia danego terminu, a linie wskazują na współwystępowanie zidentyfikowanych słów kluczowych (rys. 5).

cd. tab. 3



Rysunek 5. Tematyczne klastry wg współwystępowania

Źródło: Opracowanie własne w programie VOSviewer

Tabela 3. Charakterystyka klastrów tematycznych

NR	LICZBA SŁÓW	SŁOWA KLUCZOWE	KEYWORDS
1.	18	banki centralne; zmiana klimatu; polityka klimatyczna; ryzyka zmian klimatycznych; sektory gospodarcze; ekonomia środowiskowa; polityka dotycząca środowiska naturalnego; Unia Europejska; stabilność finansowa; system finansowy; inflacja; polityka makroostrożnościowa; analiza polityki; podejście polityczne; ocena ryzyka; analiza scenariuszy; stres test; analiza niepewności;	central banks; climate change; climate policy; climate transition risks; economic sectors; environmental economics; environmental policy; European Union; financial stability; financial system; inflation; macroprudential policy; policy analysis; policy approach; risk assessment; scenario analysis; stress test; uncertainty analysis;

cd. tab. 3

2.	13	<p>ocena dokładności;  paliwa kopalne;  emisja gazu;  gaz cieplarniany;  emisja gazów cieplarnianych;  gazy cieplarniane;  produkcja wodoru;  cykl życia;  analiza cyklu życia;  energia netto;  analiza energii netto;  analiza wrażliwości;  generacja z fotowoltaiki;</p>	<p>accuracy assessment;  fossil fuels;  gas emissions;  greenhouse gas;  greenhouse gas emissions;  greenhouse gases;  hydrogen production;  life cycle;  life cycle analysis;  net energy;  net energy analysis;  sensitivity analysis;  solar power generation;</p>
3.	11	<p>węgiel;  podejmowanie decyzji;  energia;  efektywności energetycznej;  zarządzanie energią;  wskaźnik zwrotu energii z inwestycji;  inwestycje (EROI);  produkcja ropy naftowej;  postrzeganie ryzyka;  zrównoważony rozwój;  Stany Zjednoczone;</p>	<p>carbon;  decision making;  energy;  energy efficiency;  energy management;  energy return on investments (EROI);  investments;  oil production;  risk perception;  sustainable development;  United States;</p>

4.	12	przepływ kapitału; ekonomia ekologiczna; rynek energii; wskaźnik zwrotu energii z inwestycji (EROI); transformacja energetyczna; paliwa kopalne; Niemcy; inwestycje; makroekonomia; model numeryczny; energia odnawialna; modelowanie zgodne ze stanami przepływów (modele zgodne z przepływami zapasów (SFC) to rodzina modeli makroekonomicznych opartych na rygorystycznych ramach rachunkowości, których celem jest zagwarantowanie prawidłowej i kompleksowej integracji wszystkich przepływów i zasobów gospodarki);	capital flow; ecological economics; energy market; energy return on investment (EROI); energy transition; fossil fuel; Germany; investment; macroeconomics; numerical model; renewable energy; stock-flow consistent modelling;
5.	7	Chiny; ryzyko klimatyczne; ryzyko transformacji klimatycznej; ryzyko kredytowe; finanse; czynnik ryzyka; ryzyko transformacji.	China; climate risk; climate transition risk; credit risk; finance; risk factor; transition risk.

Źródło: Opracowanie własne

W ramach analizy współwystępowania zidentyfikowane 63 terminy, zgrupowane w 9 klastrach tematycznych (tab. 3).

## Dyskusja

Słowa kluczowe, które uzyskały najwyższą wagę (występowały najczęściej) to: zmiany klimatu (*climate change*), transformacja energetyczna (*energy transition*), analiza scenariuszy (*scenario analysis*), wskaźnik zwrotu energii z inwestycji (*energy return on investment*), stabilność finansowa (*financial stability*), banki centralne (*central banks*), polityka makroostrożnościowa (*macroprudential policy*), ryzyko kredytowe (*credit risk*), paliwa kopalne (*fossil fuels*). Najczęściej cytowanym artykułem

jest praca (Chenet *i in.* 2021), na którą powołano się w 76 innych publikacjach. Artykuł dotyczy finansowego ryzyka związanego z klimatem, ocenianego z perspektywy banków centralnych i nadzoru finansowego. Autorzy identyfikują trudności w dokładnej wycenie tego ryzyka, a konsekwencje oceniają jako radykalnie niepewne. Opisują powody ograniczonej dostępności informacji o ryzykach oraz rekomendują podejście prewencyjne, oparte na zasadzie ostrożności i polityce makroostrożnościowej. Na drugiej pozycji (51 cytowań) jest artykuł podejmujący problematykę oceny środowiskowej (metodą LCA, przy czym metoda LCA jest oceną wpływu produktu na środowisko w całym cyklu życia, począwszy od wytworzenia po utylizację) i kompleksowej oceny energetycznej (metodą NEA, która jest metodą służącą ocenie wykorzystania zasobów energetycznych w rozszerzonym zakresie łańcucha energetycznego, który obejmuje procesy pozyskania, surowców, ich transportu, przetwarzania i dystrybucji) technologii wytwarzania wodoru w procesie elektrolizy z udziałem energii elektrycznej wytwarzanej przez instalacje fotowoltaiczne (Palmer *i in.* 2021). Trzeci pod względem liczby cytowań artykuł (48 cytowań) podejmuje problem możliwości zastąpienia w ropy naftowej w skali globalnej, w perspektywie roku 2050. Autorzy kwestionują zakres transformacji, biorąc pod uwagę ryzyka negatywnych skutków, w szczególności deficytu podaży energii, wzrostu cen i recesji gospodarczej (Delannoy *i in.* 2021) petroleum has quickly become the dominant fuel of industrial society. The “Peak Oil” debate focused on whether or not there was an impending production crunch of cheap oil, and whilst there have been no shortages across the globe, a shift from conventional to unconventional oil liquids has occurred. One aspect of this shift was not fully explored in previous discussions—although of some importance in a low-carbon energy transition context: the extent to which the net-energy supply of oil products is affected by the use of lower quality energy sources. To fill this gap, this paper incorporates standard EROI (energy-return-on-investment. Analiza sprzężenia bibliograficznego pozwala na identyfikację siły tematycznych powiązań badanych. W pierwszym klastrze, w którym znalazło się 6 artykułów, obecna jest tematyka ropy naftowej, produkcji wodoru i fotowoltaiki. Poruszony jest problem efektywności energetycznej i ekonomicznych konsekwencji transformacji. W drugim klastrze (6 artykułów) występuje zagadnienie ryzyk i zagrożeń związanych z emisjami gazów cieplarnianych. W tym kontekście, w skali mikroekonomicznej i makroekonomicznej, poruszany jest aspekt ekonomiczny i finansowy. Poruszone jest również zagadnienie długoterminowych ryzyk wynikających ze zmian klimatycznych, co jest podstawowym argumentem uzasadniającym przechodzenie na niskoemisyjne technologie. W trzecim klastrze znalazło się 5 artykułów, z których jeden jest najczęściej cytowany (Chenet *i in.* 2021). Poruszane są wątki społecznego i politycznego wymiaru transformacji energetycznej. W kontekście ryzyka transformacji mowa o takich zagadnieniach jak eko-socjalizm, polityka finansowa, czy transformacji energetycznej o charakterze destrukcyjnym. W klastrze znalazły się 4 artykuły. Mowa o makro-finansowych

zagrożeniach, wpływie na inflację, ryzykach wynikających ze zmienności cen CO<sub>2</sub>. W klastrze piątym znalazły się 3 artykuły. Problematyka dotyczy metod oceny ryzyka dla systemów finansowych i regulacyjnych, w tym stres-testy. W szóstym klastrze (3 artykuły) omawiane są ryzyka i szanse transformacji w odniesieniu do gospodarek. Uwzględniana jest rola banków centralnych. Klaster siódmy, w którym znalazły się 2 artykuły, uwzględnia ekonomiczne skutki dekarbonizacji z naciskiem na rosnące ceny energii. Mowa jest o ekonomicznych skutkach zastoju branż paliw kopalnych. W ramach analizy współwystępowania zidentyfikowano 63 terminy, zgrupowane w 9 klastrach tematycznych. Klaster pierwszy koncentruje się na interakcji sektora finansowego z polityką klimatyczną. Drugi klaster dotyczy wpływu paliw kopalnych na środowisko oraz technologii niskoemisyjnych, np. fotowoltaiki, jak i wodoru. Klaster trzeci uwzględnia paliwa kopalne, w szczególności węgiel i ropę naftową, w kontekście podejmowania decyzji. Klaster czwarty dotyczy przepływów kapitałowych, inwestycji, modelowania procesów inwestycyjnych w sektorze energetycznym. Klaster piąty dotyczy ryzyka transformacji w Chinach.

Na podstawie przeprowadzonych analiz można zidentyfikować ryzyka związane z następującymi zagrożeniami:

- ryzykiem zmian klimatycznych: konieczność adaptacji do nasilających się ekstremalnych zjawisk pogodowych;
- ryzykiem wdrażania niskoemisyjnych technologii: tempo i skala wdrożenia, efektywność energetyczna, zaawansowanie i dostępność infrastruktury technicznej, stabilność pracy sieci energetycznych;
- ryzykiem związanym z paliwami kopalnianymi: rentowność sektorów opartych o paliwa kopalne; utrata miejsc pracy w tradycyjnych sektorach;
- ryzykiem gospodarczym i finansowym: niepewność modeli finansowania transformacji, wzrost cen energii, zmienność cen uprawnień do emisji CO<sub>2</sub>;
- ryzykiem społecznym: społeczna akceptacja wdrażania niskoemisyjnych technologii, problem ubóstwa energetycznego.

Przedmiot badań wpisuje się w globalny trend przechodzenia na technologie niskoemisyjne, co jest kluczowym elementem transformacji energetycznej. Ważnym aspektem, na który zwracają uwagę wyniki, jest konieczność ostrożnego podejścia do polityki makroekonomicznej, szczególnie w kontekście transformacji energetycznej. Wyniki analizy nie uwzględniają jednak w pełni specyficznych zagrożeń, które mogą dotyczyć poszczególnych krajów. W przypadku Polski, historycznie silnie uzależnionej od paliw kopalnych, ryzyka związane z transformacją energetyczną wiążą się z wyzwaniem społeczno-gospodarczymi.

Prezentowane wyniki wskazują na kluczowe ryzyka związane z transformacją energetyczną, które w dużej mierze są zbieżne z wyzwaniami, przed jakimi stoi Polska. Transformacja energetyczna w Polityce energetycznej Polski do 2040 roku (MKiŚ, 2021a) opiera się na trzech filarach: (1) sprawiedliwa transformacja energetyczna, (2) zeroemisyjny system energetyczny i (3) dobra jakość powietrza. Określenie

„sprawiedliwa” odzwierciedla obawy dotyczące utraty miejsc pracy w sektorach związanych z węglem, takich jak Śląsk (w literaturze używane jest pojęcie luki węglowej, czyli sytuacji, gdy z miksu energetycznego wyłączone zostaną elektrownie węglowe i nie ma ich substytutów (UN Global Compact Network Poland 2024)) oraz wpływu rosnących kosztów energii na gospodarkę i społeczeństwo. Oprócz wyzwań społeczno-gospodarczych, w tym braku akceptacji społecznej budowy elektrowni wiatrowych na lądzie, zidentyfikowane są ryzyka inwestycyjne, operacyjne ryzyka związane z zakłóceniami dostaw ropy naftowej i gazu ziemnego oraz ryzyka zakłóceń pracy systemu elektroenergetycznego. W projekcie aktualizacji Krajowego Planu w dziedzinie Energii i Klimatu do 2030 roku (MKiŚ, 2024) ryzyka są rozpatrywane w kontekście społecznym, gospodarczym, technologicznym i środowiskowym. W obszarze społecznym, podobnie jak w Polityce energetycznej, rozpatrywane są ryzyka związane z miejscami pracy, szczególnie w regionach węglowych, a także ryzyka wzrostu ubóstwa energetycznego, związanego z rosnącymi cenami energii. Ryzyka gospodarcze obejmują między innymi koszty związane z emisjami CO<sub>2</sub> oraz zakłócenia w dostawach gazu ziemnego. Ponadto dokument wskazuje na ryzyka technologiczne, takie jak wycofywanie mocy konwencjonalnych i wczesny etap rozwoju technologii wodorowych, co wymaga działań zmniejszających ich potencjalne skutki. Ważny głos środowisk branżowych artykułowany jest poprzez stowarzyszenia, np. Polskie Towarzystwo Energetyki Ciepłej (Gruźlewska *i in.* 2024). O ryzykach wprost mowa jest w kontekście technicznym (ryzyko niedoborów mocy w krajowym systemie elektroenergetycznym) czy niedobór dostaw paliw, takich jak biomasa (w opracowaniu oszacowano nakłady inwestycyjne na transformację sektora ciepłownictwa systemowego na poziomie od 299 mld zł do 466 mld zł do 2050 roku; prognozowana kwota odzwierciedla skalę wyzwań stojących przed przedsiębiorstwami i ryzyka dla odbiorców energii).

Wybór próby badawczej, obejmującej artykuły o charakterze międzynarodowym, sprawił, że wyniki mają szeroki i uniwersalny kontekst. Dalsze badania mogą być pogłębione poprzez uwzględnienie dodatkowych baz artykułów naukowych oraz poszerzenie zakresu słów kluczowych. Możliwe jest również rozważenie starszych publikacji (w badaniu uwzględniono artykuły z bazy SCOPUS opublikowane w latach 2019–2024) oraz dokładniejsze uwzględnienie krajowych uwarunkowań energetycznych.

## Wnioski

W artykule przedstawiono wyniki bibliometrycznych badań ryzyka transformacji energetycznej, mających na celu rozpoznanie stanu wiedzy i kierunków prac badawczych. Badanie, przeprowadzone wg wytycznych PRISMA, obejmowało próbę badawczą zidentyfikowanych 48 artykułów indeksowanych w bazie SCOPUS.

Przedstawiona analiza bibliometryczna pozwoliła wskazać istotne obszary poruszone w anglojęzycznej literaturze przedmiotowej oraz zidentyfikować ważne artykuły i kluczowych autorów zajmujących się problematyką ryzyka transformacji energetycznej. W próbie badawczej przedmiotowe ryzyka odnoszą się zarówno do zjawisk będących efektem zmian klimatycznych, jak i transformacji energetycznej. Na uwagę zwraca znaczący udział wysokocytowanych publikacji z zakresu finansów. Publikacje te poruszają zarówno zagadnienia makroekonomiczne w perspektywie banków centralnych, jak i ryzyka w kontekście inwestycji, wraz z metodami ekonomicznych i środowiskowych ocen opłacalności. Świadczą o ekonomicznych dylematach operacjonalizacji przyjmowanych założeń co do zakresu i tempa przechodzenia na rozwiązania niskoemisyjne. W badanej próbie nie odnoszono się szczególnie do technologii, zwrócono natomiast uwagę na technologie elektrolizy wodoru. Za perspektywiczne kierunki, w ocenie autora, należy uznać prowadzenie badań interdyscyplinarnych, ukierunkowanych na ekonomiczno-środowiskowe oceny wdrażania niskoemisyjnych rozwiązań technologicznych w zróżnicowanej skali, w tym technologii z obszaru gospodarki wodorowej. W kontekście wyzwań stojących przed Polską, przeprowadzona analiza wskazuje na podobne obszary ryzyka, które są uwzględnione w krajowej polityce energetycznej. Biorąc pod uwagę specyfikę kraju, kluczowym wyzwaniem staje się stabilność systemu elektroenergetycznego w obliczu wycofywania mocy konwencjonalnych, zmian technologicznych, decentralizacji oraz modernizacji infrastruktury. Niezwykle istotna jest odpowiednia polityka finansowania transformacji, aby uniknąć wzrostu kosztów energii, co mogłoby prowadzić do nasilenia ubóstwa energetycznego oraz osłabienia konkurencyjności gospodarki.

## Bibliografia

1. Albert, M.J., 2023. Ecosocialism for Realists: Transitions, Trade-Offs, and Authoritarian Dangers. *Capitalism, Nature, Socialism*, 34 (1), 11–30.
2. Baldassarri Höger von Högersthal, G., Lui, A., Tomičić, H., Vidovic, L., 2020. Carbon pricing paths to a greener future, and potential roadblocks to public companies' creditworthiness. *Journal of Energy Markets*, 13 (2), 1–24.
3. Borkowski, J., 2023. Typy sieci neuronowych w prognozowaniu cen walut – analiza bibliometryczna [w:] Stępień, Beata, (red.) *Systematyczny przegląd literatury w naukach ekonomicznych: metodyka, przykłady*. Poznań: Wydawnictwo UEP. Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu, 123–146.
4. Bulai, V.C., Horobet, A., Popovici, O.C., Belascu, L. and Dumitrescu, S.A., 2021. A var-based methodology for assessing carbon price risk across european union economic sectors. *Energies*, 14 (24).



5. Cahen-Fourot, L., Campiglio, E., Godin, A., Kemp-Benedict, E., Trsek, S., 2021. Capital stranding cascades: The impact of decarbonisation on productive asset utilisation. *Energy Economics*, 103.
6. Campiglio, E. and van der Ploeg, F., 2022. Macrofinancial Risks of the Transition to a Low-Carbon Economy. *Review of Environmental Economics and Policy*.
7. Chenet, H., Ryan-Collins, J., van Lerven, F., 2021. Finance, climate-change and radical uncertainty: Towards a precautionary approach to financial policy. *Ecological Economics*, 183.
8. Cormack, C., Donovan, C., Köberle, A., Ostrovnaya, A., 2020. Estimating financial risks from the energy transition: Potential impacts from decarbonization in the european power sector. *Journal of Energy Markets*, 13 (4), 1–49.
9. Delannoy, L., Longaretti, P.-Y., Murphy, D.J., Prados, E., 2021. Peak oil and the low-carbon energy transition: A net-energy perspective. *Applied Energy*, 304.
10. European Commission. Directorate General for Energy, Guidehouse., and Tractebel Impact., 2020. Hydrogen generation in Europe: overview of costs and key benefits. LU: Publications Office.
11. FCHEA, 2021. Road map to a US hydrogen economy: reducing emissions and driving growth across the nation. Fuel Cell and Hydrogen Energy Association.
12. Gambhir, A., George, M., McJeon, H., Arnell, N.W., Bernie, D., Mittal, S., Köberle, A.C., Lowe, J., Rogelj, J., Monteith, S., 2022. Near-term transition and longer-term physical climate risks of greenhouse gas emissions pathways. *Nature Climate Change*, 12 (1), 88–96.
13. gov.pl, 2023. Założenia do aktualizacji Polityki Energetycznej Polski do 2040 roku (PEP2040) – wzmocnienie bezpieczeństwa i niezależności energetycznej [online]. - Kancelaria Prezesa Rady Ministrów - Portal Gov.pl. Available from: <https://www.gov.pl/web/premier/zalozenia-do-aktualizacji-polityki-energetycznej-polski-do-2040-r-pep2040-wzmocnienie-bezpieczenstwa-i-niezaleznosci-energetycznej> [accessed 28 Dec 2023].
14. Gružlewska, M., Andrzejewicz, J., Cieślak, K., Jankowski, P., Jeziorowska, D., Kajfasz, A., Kaliński, P., Koczor, M., Kołdej-Nowicka, U., Leśniak, A., Makowski, K., Naworska, M., Pilarz, P., Radziszewski, M., Rutka, T., Soćko, M., Sojko-Gil, A., Stępień, P., Szymański, A., Wężyk, R., Wojtasiak, T., Zielinko, P., Zawada, A., 2024. Wpływ regulacji UE na transformację sektora ciepłownictwa systemowego w Polsce: ocena skutków i rekomendacje w zakresie regulacji krajowych. *Polskie Towarzystwo Elektrociepłowni Zawodowych (PTEC)*.
15. Habib, R., Afzal, M.T., 2019. Sections-based bibliographic coupling for research paper recommendation. *Scientometrics*, 119 (2), 643–656.
16. Hayne, M., Ralite, S., Thomä, J., Koopman, D., 2020. Factoring transition risks into regulatory stress-tests: The case for a standardized framework for climate stress testing and measuring impact tolerance to abrupt late and sudden economic decarbonization. *ACRN Journal of Finance and Risk Perspectives*, 8 (1), 206–222.

17. In, S.Y., Manav, B., Venereau, C.M.A., Cruz R., L.E., Weyant, J.P., 2022. Climate-related financial risk assessment on energy infrastructure investments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 167.
18. Jackson, A. and Jackson, T., 2021. Modelling energy transition risk: The impact of declining energy return on investment (EROI). *Ecological Economics*, 185.
19. Jacques, P., Delannoy, L., Andrieu, B., Yilmaz, D., Jeanmart, H., Godin, A., 2023. Assessing the economic consequences of an energy transition through a biophysical stock-flow consistent model. *Ecological Economics*, 209.
20. Karanfil, F., Omgba, L.D., 2023. The energy transition and export diversification in oil-dependent countries: The role of structural factors. *Ecological Economics*, 204.
21. Keček, D., 2023. The Effects of Rising Energy Prices on Inflation in Croatia. *Energies*, 16 (4).
22. Kowalik, W., Hubert, W., Peplowska, M., Kryzia, D., Gawlik, L., and Komorowska, A., 2024. Wpływ wyzwań społeczno-kulturowych regionów węglowych na ich zdolności transformacyjne na przykładzie Śląska. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi - Mineral Resources Management*, 167–186.
23. Kunikowski, G., 2018. Bezpieczeństwo energetyczne - ocena, trendy i potrzeba uwiadomienia wymiaru społecznego [w:] J. Kunikowski, A. Araucz-Boruc, G. Wierzbicki, (red.). *Współczesne potrzeby i wymagania edukacji dla bezpieczeństwa*. Siedlce: Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny, 427–442.
24. Kunikowski, G., 2019. Przegląd ilościowych metod ocen stanu bezpieczeństwa energetycznego. *Roczniki Kolegium Analiz Ekonomicznych*, (54), 171–182.
25. Kunikowski, G., 2020. From the taxonomy of threats to the definition of energy security. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*, 106, 73–84.
26. Kurowska-Pysz, J., Kunikowski, G., 2021. The ESCO Formula as Support for Public and Commercial Energy Projects in Poland. *Energies*, 14 (23), 8098.
27. Larsen, M.L., 2022. Driving Global Convergence in Green Financial Policies: China as Policy Pioneer and the EU as Standard Setter. *Global Policy*, 13 (3), 358–370.
28. Mercure, J.-F., Sharpe, S., Vinuales, J.E., Ives, M., Grubb, M., Lam, A., Drummond, P., Pollitt, H., Knobloch, F., and Nijssse, F.J.M.M., 2021. Risk-opportunity analysis for transformative policy design and appraisal. *Global Environmental Change*, 70.
29. MKiŚ, 2021a. *Polityka energetyczna Polski do 2040 roku - Załącznik do uchwały nr 22/2021 Rady Ministrów z dnia 2 lutego 2021 roku* Ministerstwo Klimatu i Środowiska.
30. MKiŚ, 2021b. *Polska Strategia Wodorowa do roku 2030 z perspektywą do roku 2040 roku* Warszawa, Załącznik do uchwały nr 149 Rady Ministrów z dnia 2 listopada 2021 roku (poz. 1138).
31. MKiŚ, 2024. *Krajowy Plan w dziedzinie Energii i Klimatu do 2030 roku (aktualizacja KPEiK z 2019 roku)*. Ministerstwo Klimatu i Środowiska.
32. Moessner, R., 2022. Evidence on climate policy, carbon dioxide emissions and inflation. *International Journal of Global Warming*, 28 (2), 136–151.

33. Nehrebecka, N., 2021. Climate risk with particular emphasis on the relationship with credit-risk assessment: What we learn from Poland. *Energies*, 14 (23).
34. Page, M.J., McKenzie, J.E., Bossuyt, P.M., Boutron, I., Hoffmann, T.C., Mulrow, C.D., Shamseer, L., Tetzlaff, J.M., Akl, E.A., Brennan, S.E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J.M., Hróbjartsson, A., Lalu, M.M., Li, T., Loder, E.W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., McGuinness, L.A., Stewart, L.A., Thomas, J., Tricco, A.C., Welch, V.A., Whiting, P., Moher, D., 2021. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71.
35. Page, M.J., Moher, D., Bossuyt, P.M., Boutron, I., Hoffmann, T.C., Mulrow, C.D., Shamseer, L., Tetzlaff, J.M., Akl, E.A., Brennan, S.E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J.M., Hróbjartsson, A., Lalu, M.M., Li, T., Loder, E.W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., McGuinness, L.A., Stewart, L.A., Thomas, J., Tricco, A.C., Welch, V.A., Whiting, P., McKenzie, J.E., 2021. PRISMA 2020 explanation and elaboration: updated guidance and exemplars for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n160.
36. Palmer, G., Roberts, A., Hoadley, A., Dargaville, R., Honnery, D., 2021. Life-cycle greenhouse gas emissions and net energy assessment of large-scale hydrogen production via electrolysis and solar PV. *Energy and Environmental Science*, 14 (10), 5113–5131.
37. Peplowska, M., Kowalik, W., Gawlik, L., Hubert, W., Kryzia, D., 2024. Transformacja energetyczna regionu węglowego Śląska – wyzwania i strategie radzenia sobie z nimi. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi - Mineral Resources Management*, 169–183.
38. Quorning, S., 2024. The ‘climate shift’ in central banks: how field arbitrageurs paved the way for climate stress testing. *Review of International Political Economy*, 31 (1), 74–96.
39. Ren, X., Qin, J., Dong, K., 2022. How Does Climate Policy Uncertainty Affect Excessive Corporate Debt? The Case of China. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, 24 (2).
40. Riedl, D., 2021. The magnitude of energy transition risk embedded in fossil fuel company valuations. *Heliyon*, 7 (11).
41. Ruggeri, B., Gómez-Camacho, C.E., 2023. N.Georgescu-Roegen’s production model for EROI evaluation. Case study: Electrolytic H<sub>2</sub> production using solar energy. *Energy Conversion and Management*, 283.
42. Sareen, S., 2021. Digitalisation and social inclusion in multi-scalar smart energy transitions. *Energy Research and Social Science*, 81.
43. Skinner, C.P., 2021. Central Banks and Climate Change. *Vanderbilt Law Review*, 74 (5), 1301–1364.
44. Solano-Rodríguez, B., Pye, S., Li, P.-H., Ekins, P., Manzano, O., Vogt-Schilb, A., 2021. Implications of climate targets on oil production and fiscal revenues in Latin America and the Caribbean. *Energy and Climate Change*, 2.
45. Stępień, B., ed., 2023. *Systematyczny przegląd literatury w naukach ekonomicznych: metodyka, przykłady*. Poznań: Wydawnictwo UEP. Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu.

46. Svartzman, R., Bolton, P., Despres, M., Pereira Da Silva, L.A., Samama, F., 2021. Central banks, financial stability and policy coordination in the age of climate uncertainty: a three-layered analytical and operational framework. *Climate Policy*, 21 (4), 563–580.
47. Tiwari, S., Singh, J.G., 2023. Tri-level stochastic transactive energy management and improved profit distribution scheme for multi-vectored networked microgrids: A multi-objective framework. *Sustainable Cities and Society*, 95, 104569.
48. Trifu, A., Smîdu, E., Badea, D.O., Bulboacă, E., Haralambie, V., 2022. Applying the PRISMA method for obtaining systematic reviews of occupational safety issues in literature search. *MATEC Web of Conferences*, 354, 00052.
49. UN Global Compact Network Poland, 2024. Transformacja energetyczna w Polsce. UN Global Compact Network Poland.
50. Vermeulen, R., Schets, E., Lohuis, M., Kölbl, B., Jansen, D.-J., Heeringa, W., 2021. The heat is on: A framework for measuring financial stress under disruptive energy transition scenarios. *Ecological Economics*, 190.