

Małgorzata BURCHARD-DZIUBIŃSKA 

ORCID: 0000-0001-5546-2032

Uniwersytet Łódzki
prez. Gabriela Narutowicza 68
90-136 Łódź

Rola wybranych zasobów naturalnych w ewolucji energetycznego zasilania procesów gospodarczych

Abstrakt: W opracowaniu omawiane są zagadnienia związane z zasilaniem procesów gospodarczych z wykorzystaniem energii atomowej, OZE i magazynowaniem energii. Zapewnienie odpowiedniej podaży energii i jej sprawiedliwej dystrybucji na poziomie krajów i świata przy jednoczesnym zmniejszeniu emisji gazów cieplarnianych stało się problemem pilnie potrzebującym rozwiązania. Wiąże się z odchodzeniem od spalania paliw kopalnych i przechodzeniem na czyste, zielone technologie. Procesy te nie są jednak wolne od zagrożeń środowiskowych i od ryzyka natury społecznej i politycznej. Wynikają z geograficznego rozmieszczenia zasobów naturalnych kluczowych dla rozwoju technologii OZE, z różnic w poziomie rozwoju poszczególnych krajów, a także z różnic politycznych i instytucjonalnych. Walka o zasoby surowców nieenergetycznych, istotnych dla elektryfikacji właśnie wchodzi w nowy etap, w którym kwestie środowiskowe splatają się z polityką i eskalacją napięć międzynarodowych i wojen. W opracowaniu wzięto pod uwagę: uran, miedź, grafit, kadm, kobalt, lit, nikiel, pierwiastki ziem rzadkich.

Słowa kluczowe: zasoby naturalne, transformacja energetyczna, elektryfikacja, zielone technologie, zagrożenia ekologiczne

The Role of Selected Natural Resources in the Evolution of Energy Supply for Economic Processes

Abstract: This chapter, from the perspective of natural resources, discusses issues related to powering economic processes using nuclear energy, renewable energy sources, and energy storage. Ensuring an adequate energy supply and its equitable distribution at national and global levels while simultaneously reducing greenhouse gas emissions has become a problem in urgent need of resolution. This is associated with a shift away from the combustion of fossil fuels and toward clean, “reen” technologies. However, these processes are not free from environmental, social, and political threats. These stem from the geographic distribution of the natural resources crucial for the development of renewable energy technologies, as well as from differences in the development levels of individual countries and political and institutional differences. The fight for non-energy resources crucial for electrification is entering a new phase, where environmental issues intertwine with politics and the escalation of international tensions and wars. The chapter considers uranium, copper, graphite, cadmium, cobalt, lithium, nickel, and rare earth elements.

Keywords: natural resources, energy transition, electrification, green technologies, ecological threats

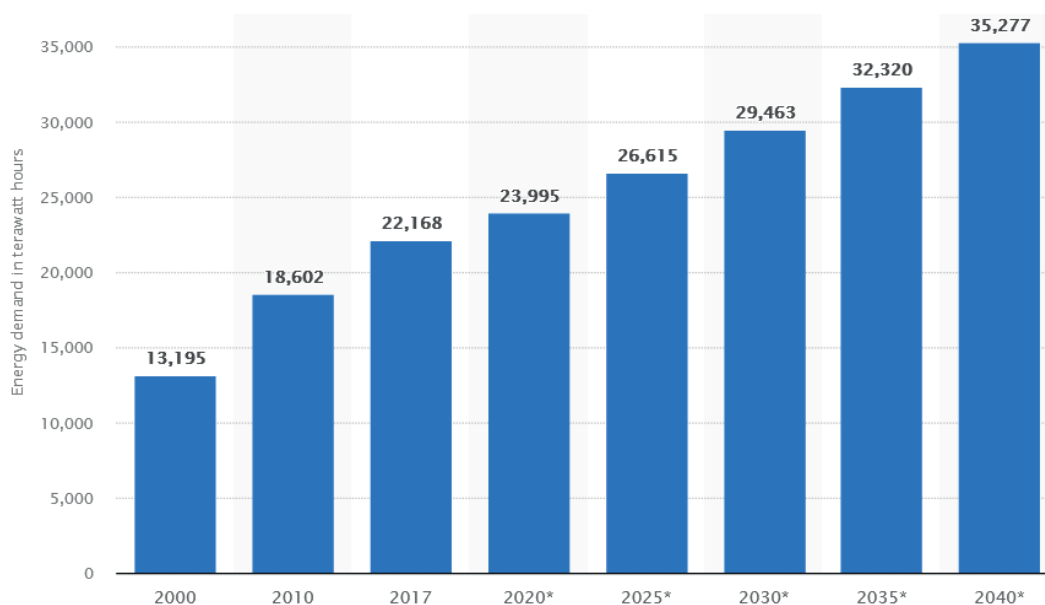
Wprowadzenie

Dostęp do źródeł energii jest warunkiem rozwoju systemów społeczno-gospodarczych. Rozrastanie się światowej gospodarki generuje rosnący popyt na energię, której wytwarzanie staje się coraz poważniejszym wyzwaniem z wielu powodów, wśród których wyczerpywanie się surowców kopalnych wcale nie jest najważniejsze. Dzięki nowym odkryciom geologicznym i rozwojowi technologii wciąż daleko w przyszłość przesuwają się moment, kiedy zostaną wyeksploatowane ostatnie pokłady ropy naftowej, gazu ziemnego czy węgla. Znacznie bardziej istotne są kwestie związane z zapewnieniem trwałego dostępu do taniej i bezpiecznej energii dla wszystkich, skuteczna ochrona środowiska przyrodniczego, a zwłaszcza klimatu, którego zmiana stała się źródłem poważnego i narastającego kryzysu globalnego, oraz napięcia polityczne wpływające na ceny i dostępność surowców. Kryzys klimatyczny powiązany jest z rosnącą koncentracją gazów cieplarnianych w atmosferze. Ich antropogeniczne źródła to przede wszystkim emisje pochodzące ze spalania paliw kopalnych oraz zmiany w użytkowaniu ziemi i w leśnictwie. Szansy na zahamowanie tego niekorzystnego trendu upatruje się w elektryfikacji gospodarek z możliwie szerokim wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii (OZE), wspomaganym przez energetykę jądrową. W opracowaniu są omawiane zagadnienia związane z zasilaniem procesów gospodarczych z wykorzystaniem energii atomowej, OZE i magazynowaniem energii. Choć praktyki te mają za zadanie zapewnienie odpowiedniej podaży energii i jej sprawiedliwej dystrybucji przy jednoczesnym zmniejszeniu emisji gazów cieplarnianych, nie są rozwiązaniem idealnym, wolnym od zagrożeń środowiskowych i od ryzyka natury społecznej i politycznej. Z jednej strony wynikają z geograficznego rozmieszczenia zasobów naturalnych kluczowych dla rozwoju technologii OZE, z drugiej zaś – z różnic w poziomie rozwoju poszczególnych krajów i z różnic o charakterze instytucjonalnym. Walka o zasoby surowców nieenergetycznych istotnych dla elektryfikacji właśnie wchodzi w nowy etap, w którym kwestie środowiskowe splatają się z polityką i eskalacją napięć międzynarodowych i wojen. W opracowaniu wzięto pod uwagę: uran, miedź, grafit, kadm, kobalt, lit, nikiel i pierwiastki ziem rzadkich (World Energy Outlook, 2024).

Popyt na energię elektryczną w ujęciu globalnym

Podobnie jak to miało miejsce w przeszłości, od początku XXI wieku obserwuje się stały wzrost popytu na energię elektryczną. Prognozy do 2040 roku przewidują kontynuację tego trendu (STATISTA, 2024) (Rysunek 1).

Motorem wzrostu globalnego zapotrzebowania na energię elektryczną są gospodarki wschodzące i rozwijające się. Zgodnie z szacunkami IEA około 85% dodatkowego zapotrzebowania na energię elektryczną do 2026 roku ma pochodzić spoza gospodarek rozwiniętych, ze znaczącym wkładem ze strony Chin. W 2023 roku zapotrzebowanie na energię elektryczną w Chinach wzrosło o 6,4% w stosunku do 2022 roku, podczas gdy na świecie wzrost ten wyniósł 2,2%. Oczekuje się, że spowolnienie wzrostu gospodarczego i mniejsze uzależnienie od przemysłu ciężkiego w tym kraju wpłynę na spadek tempa wzrostu



Rysunek 1. Popyt na energię elektryczną na świecie od 2000 roku wraz z prognozą do 2040 roku

ŹRÓDŁO: STATISTA, 2024 [HTTPS://WWW.STATISTA.COM/STATISTICS/1118777/ELECTRICITY-DEMAND-WORLDWIDE/](https://www.statista.com/statistics/1118777/electricity-demand-worldwide/) (DOSTĘP: 10.10.2024)

popytu na energię elektryczną do 4,9% w 2025 roku i 4,7% w 2026 roku. Jak podkreślają specjaliści z IEA, mimo tego całkowity wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną w Chinach do 2026 roku o około 1 400 TWh będzie stanowił ponad połowę obecnego rocznego zużycia energii elektrycznej w UE. Zużycie energii elektrycznej na mieszkańca w tym kraju już pod koniec 2022 roku przekroczyło zużycie w UE i ma dalej rosnąć (IEA, 2024a). Wytwarzając 77,8% światowej produkcji paneli słonecznych i posiadając 80% światowych zdolności produkcyjnych, Chiny są światowym liderem w tej dziedzinie. W 2023 roku dostarczyły na rynek więcej paneli słonecznych niż cały świat w 2022 roku. Zajmują również pierwsze miejsce na świecie w produkcji pojazdów elektrycznych, co wraz z przetwarzaniem związanych z tym materiałów wspiera stały wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną. W 2020 roku jeden na 25 sprzedanych samochodów na świecie był elektryczny, a w 2023 roku był to co piąty pojazd (IEA, 2024b). Na rynkach zarówno paneli słonecznych, jak i samochodów elektrycznych znaczącymi graczami są też Stany Zjednoczone, Niemcy i Japonia. Wśród dużych gospodarek najszybsze tempo wzrostu popytu na energię elektryczną wynoszące, jak się prognozuje, powyżej 6% średniorocznie do 2026 roku będzie miało miejsce w Indiach. Jest to stymulowane przez silną aktywność gospodarczą i rosnącą liczbę posiadanych klimatyzatorów.

Rosnące zapotrzebowanie na energię elektryczną wynika też z cyfryzacji wielu procesów. Zużycie energii elektrycznej przez centra danych, sztuczną inteligencję i sektor kryptowalut może się podwoić do 2026 roku. Centra danych są znaczącymi czynnikami

wzrostu zapotrzebowania na energię elektryczną w wielu regionach. Globalne całkowite zużycie energii elektrycznej przez te centra szacowane w 2022 roku na 460 terawatogodzin (TWh) może osiągnąć ponad 1000 TWh w 2026 roku. Zaktualizowane przepisy i ulepszenia technologiczne, w tym dotyczące wydajności, będą miały kluczowe znaczenie dla złagodzenia wzrostu zużycia energii na skutek cyfryzacji gospodarek.

Biorąc pod uwagę światowe cele dekarbonizacyjne – aby je osiągnąć, elektryfikacja musi znacząco przyspieszyć. W scenariuszu International Energy Agency (IEA) Net Zero Emissions by 2050, który zakłada ograniczenie globalnego ocieplenia do 1,5°C przed końcem bieżącego stulecia, udział energii elektrycznej w końcowym zużyciu energii zbliży się do 30% w 2030 roku (IEA, 2024 a). Zgodnie z prognozą IEA produkcja energii elektrycznej ze źródeł niskoemisyjnych, w tym energii jądrowej i OZE, ma pokryć cały globalny wzrost popytu do 2026 roku. Źródła niskoemisyjne, które zmniejszą rolę paliw kopalnych w globalnej produkcji energii elektrycznej, mają stanowić prawie połowę światowej produkcji energii elektrycznej do 2026 roku w porównaniu z 39% w 2023 roku (IEA, 2024 a).

Paliwa kopalne a transformacja energetyczna

Paliwa kopalne, takie jak węgiel, ropa naftowa i gaz ziemny, zaspokajają obecnie około 80% potrzeb energetycznych ludzkości. Wbrew dość powszechnie wyrażanym obawom ich dostępność w sensie fizycznym nie będzie zagrożona przez wiele kolejnych dekad. Z ich dalszym wydobyciem i spalaniem wiążą się jednak dwie istotne kwestie. Po pierwsze, duża część złóż znajduje się na terytoriach państw, z którymi współpraca obciążona jest ryzykiem braku stabilności cen i dostaw wynikającym z niestabilności politycznej, konfliktów i wojen zarówno o charakterze lokalnym, jak na międzynarodowych szlakach transportowych. Po drugie, ochrona ziemskiego klimatu nie będzie skuteczna bez radykalnego odejścia od spalania paliw kopalnych. Ponieważ popyt na energię stale rośnie, jego zaspokojenie wiąże się z koniecznością stosowania niskoemisyjnych jej źródeł na niespotykaną dotąd skalę. Dekarbonizacja gospodarek przekierowuje zatem popyt na surowce takie jak uran i inne nieenergetyczne, ale niezbędne do budowy instalacji OZE i magazynów energii. W tej grupie surowców szczególne znaczenie mają: miedź, grafit, kadm, kobalt, lit, nikiel i pierwiastki ziem rzadkich.

Uran

Energia jądrowa uważana jest za ważne niskoemisyjne źródło energii elektrycznej, zapewniające około 10% światowej produkcji energii elektrycznej. W krajach, w których jest akceptowana, może uzupełniać odnawialne źródła energii w redukcji emisji z sektora energetycznego. Jest również opcją produkcji niskoemisyjnego ciepła i wodoru. Do jej wytwarzania stosuje się uran, który pozyskuje się w trzech rodzajach procesów. W 2024 roku poprzez ługowanie *in situ* (ang. *in situ leaching* – ISL) uzyskano 52% produkcji, metodami górnictwymi 44% i jako produkt uboczny przy produkcji miedzi lub fosfatów (4%). Ponad

połowa produkcji kopalni uranu pochodzi z państwowych spółek górniczych, z których niektóre stawiają bezpieczeństwo dostaw ponad względy rynkowe. W 2022 roku 10 spółek największych pod względem produkcji odpowiadało za ponad 90% światowej produkcji uranu.

Tabela 1. Uran – występowanie, zasoby i produkcja

Zasoby wg krajów 2023 roku (tU) *		Produkcja światowa w 2024 roku (tU)	Produkcja metodami górniczymi w 2024 roku wg krajów (tU)	
Australia	1 671 200	60 213	Kazachstan	23 270
Kazachstan	813 900		Kanada	14 309
Kanada	582 000		Namibia	7 333
Namibia	497 900		Australia	4 598
Rosja	476 600		Uzbekistan (szac.)	4 000
Niger	336 000		Rosja	2 700

* Zasoby uranu, które osiągną poziom 130 USD/kg U w poszczególnych krajach w 2023 roku (zasoby racjonalnie pewne plus zasoby szacowane)

ŹRÓDŁO: [HTTPS://WORLD-NUCLEAR.ORG/INFORMATION-LIBRARY/NUCLEAR-FUEL-CYCLE/MINING-OF-URANIUM/WORLD-URANIUM-MINING-PRODUCTION](https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/mining-of-uranium/world-uranium-mining-production) (DOSTĘP: 01.10.2025)

W 2024 roku Kazachstan wydobywał największą część uranu pochodzącego z kopalń (39% światowej podaży), na kolejnych miejscach były Kanada (24%) i Namibia (12%) (<https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/mining-of-uranium/world-uranium-mining-production>; OECD-NEA & IAEA, 2024, World Nuclear Association, 2024).

Wsparcie dla innowacji w energetyce jądrowej, w tym małych reaktorów modułowych, pomoże również rozszerzyć zakres opcji niskoemisyjnych (IEA 2024d). Co istotne z punktu widzenia niskoemisyjności, przeprowadzona w 2014 roku przez Międzypaństwowy Zespół ds. Zmian Klimatu (IPCC) analiza literatury naukowej badającej emisje gazów cieplarnianych wykazała, że medianowa wartość emisji energetyki jądrowej wynosi 12 g CO₂eq/kWh, co jest wartością porównywalną z wartościami dla energetyki wiatrowej (11–12 g CO₂eq/kWh) oraz niższą od wartości dla fotowoltaiki (41–48 g CO₂eq/kWh). Dla porównania mediana emisyjności węgla to 820, a gazu ziemnego 490 g CO₂eq/kWh (Schlömer i in., 2014; Krey i in., 2014).

Surowce nieenergetyczne ważne z punktu widzenia wytwarzania energii

Aby osiągnąć sukces w dekarbonizacji światowej gospodarki opartej na energii elektrycznej z niskoemisyjnych i bezemisyjnych źródeł, konieczny jest rozwój i upowszechnienie technologii bazujących przede wszystkim na energii Słońca i wiatru oraz technologiach magazynowania energii. Ważna jest też zdolność elastycznego reagowania na okresowe spadki produkcji energii odnawialnej związane z niestabilnością jej źródeł i z sezonowymi

wahaniami ich dostępności (na przykład poprzez wykorzystywanie energii wodnej, energii jądrowej, paliw kopalnych z wychwytywaniem, wykorzystaniem i składowaniem dwutlenku węgla, bioenergii, wodoru i amoniaku).

Od 2020 roku inwestycje w czystą energię wzrosły o 40%. Stało się tak zarówno z powodu dążenia do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych, jak i poprawy efektywności i ekonomicznej opłacalności stosowania dojrzałych technologii czystej energii, na które wyraźnie rośnie zapotrzebowanie, głównie ze strony krajów importujących paliwa kopalne. Kluczowe stało się zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego w warunkach braku stabilności w niektórych regionach świata, będących tradycyjnie dostarczycielami ropy i gazu. Stawia się też na tworzenie nowych zielonych miejsc pracy związanych z czystą energią. Wszystko to powoduje, że wzmożone zainteresowanie surowcami zostało przekierowane na zasoby, takie jak miedź, grafit, kadm, kobalt, lit, nikiel i pierwiastki ziem rzadkich. Uznano je za krytyczne z punktu widzenia przyszłego rozwoju i bezpieczeństwa energetycznego (Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE 2024/1252, 2024). Podaż tych kluczowych minerałów jest podatna na zagrożenia z różnych powodów. Zwraca uwagę fakt, że produkcja i przetwarzanie niektórych z nich odbywa się w niewielkiej liczbie krajów, w tym o niestabilnym środowisku politycznym, mających problemy z przestrzeganiem praw człowieka i z dbałością o środowisko przyrodnicze.

Miedź

W pomyślnym przebiegu transformacji energetycznej polegającej na elektryfikacji szczególnie ważna jest miedź. Jest najszerzej stosowanym minerałem nie tylko w technologiach czystej energii, lecz także w tradycyjnych gałęziach przemysłu. Ze względu na to, że znakomicie przewodzi prąd, jej znaczenie będzie kluczowe. Miedź dość powszechnie występuje w przyrodzie, a jej światowe rezerwy szacuje się na 1 mld ton.

Tabela 2. Miedź – występowanie, zasoby i produkcja w 2024 roku (w mln ton)

Występowanie i oszacowania wielkości złóż	Produkcja światowa w 2024 roku	Produkcja w 2024 roku wg krajów
Chile 190 Australia 100 Peru (120) Rosja (80) Meksyk (53) Stany Zjednoczone (50)	26,71 (miedź rafinowana)	Chile 5,3 (28% światowej produkcji) Demokratyczna Republika Konga (DRK) 2,8 Peru 2,7 Chiny 1,8 Stany Zjednoczone 1,1 Rosja 0,9 Indonezja 0,9 Australia 0,8 Zambia 0,76 Meksyk 0,75

ŹRÓDŁO: OPRACOWANIE WŁASNE NA PODSTAWIE WBMS, 2024 I ICA 2024.

Według raportów opublikowanych przez World Bureau of Metal Statistics (WBMS, 2024), i International Cooper Assotiation (ICA, 2024) na światowym rynku miedzi rafinowanej od kilku lat utrzymuje się niedobór podaży (w 2023 roku brakowało 87 tys. ton, w porównaniu z niedoborem podaży w 2022 roku wynoszącym 434 tys. ton). Oprócz bycia jednym z czołowych producentów Chiny zużywają 54% światowej produkcji miedzi rafinowanej. Technologie kluczowe dla transformacji energetycznej, takie jak pojazdy elektryczne, baterie, panele słoneczne i turbiny wiatrowe, wymagają znacznie więcej miedzi niż konwencjonalne odpowiedniki oparte na paliwach kopalnych. Na przykład zużycie miedzi w pojazdach elektrycznych jest czterokrotnie większe niż w konwencjonalnych samochodach. Systemy energii odnawialnej mogą wymagać nawet 12 razy więcej miedzi w porównaniu z tradycyjnymi systemami energetycznymi. Dzięki szybkiemu i szeroko zakrojonemu wdrażaniu tych technologii zapotrzebowanie na miedź w ramach transformacji energetycznej ma wzrosnąć do 2030 roku o prawie 600%. Wraz z przyspieszeniem transformacji na energię odnawialną i elektryfikację wzrośnie również presja na uruchomienie większej liczby kopalń miedzi (World Economic Forum, 2022). Rynek jest dobrze ugruntowany i niezbyt skoncentrowany.

Grafit

Grafit jest odmianą alotropową węgla, składa się z warstw atomów tego pierwiastka. Warstwy te mogą się łatwo przesuwac jedna po drugiej, co czyni ten minerał bardzo miękkim. Ze względu na wysoką przewodność grafit stał się kluczowym materiałem w produkcji elektrod, baterii i paneli słonecznych.

Tabela 3. Grafit – występowanie, zasoby i produkcja

Występowanie i oszacowania wielkości złóż w 2022 roku (mln ton metrycznych)	Produkcja światowa (mln ton metrycznych)	Produkcja wg krajów w 2023 roku (tys. ton metrycznych)
Turcja 90 Chiny 78 Brazylia 74 Madagaskar 26 Mozambik 25 Tanzania 18 Indie 8 Uzbekistan 7 Meksyk 3,1	1,6	Chiny 1230 (77% światowej produkcji) Madagaskar 100 Mozambik 96 Brazylia 73 Korea Południowa 27 Kanada 16,2 Rosja 14,5 Indie 11,5 Norwegia 7.2

ŹRÓDŁO: OPRACOWANIE WŁASNE NA PODSTAWIE [HTTPS://WWW.BHCARBONS.COM/GLOBAL-GRAPHITE-PRODUCTION-TOP-10-NATIONS-2022-2024-DATA/](https://www.bhcarbons.com/global-graphite-production-top-10-nations-2022-2024-data/)

W światowej produkcji grafitu bezsporna jest dominacja Chin, gdzie wydobycie tego surowca jest udokumentowane od XIV wieku (czasy dynastii Ming). Chiny kontrolują 65–90% łańcuchów dostaw. W 2023 roku wprowadziły zakaz eksportu grafitu

powlekanego węglikiem krzemu. W latach 2019–2022 Chiny odpowiadały za największą część importu grafitu do Stanów Zjednoczonych, około 42% całkowitych dostaw. Aby przełamać to uzależnienie, Stany Zjednoczone zaangażowały 150 mln dolarów w rozwój wydobywania kopalni Balama w Mozambiku (<https://www.statista.com/statistics/267366/world-graphite-production/>). Na rynku grafitu zachodzi zmiana technologiczna polegająca na zwiększaniu syntetycznej produkcji tego surowca. Udział grafitu syntetycznego wzrósł w 2024 roku do 55% wobec 40% udziału w 2020 roku. Wiodącym producentem są Chiny, skąd pochodzi 50% produkcji syntetycznej (USGS Mineral Commodity Summaries 2024).

Kadm

Ilościowe szacunki rezerw kadmu nie są dostępne. Średnia zawartość kadmu w typowych rudach cynku, takich jak sfaleryt, wynosi około 0,03%. Światowa produkcja wtórnego kadmu stanowiła w 2023 roku 20% całkowitej produkcji tego metalu. Większość jest produkowana w zakładach recyklingu baterii niklowo-kadmowych w Azji, Europie i Stanach Zjednoczonych.

Tabela 4. Kadm – występowanie, zasoby i produkcja

Występowanie i oszacowania wielkości złóż (mln ton)	Produkcja światowa 2023 roku (tony metryczne)	Produkcja wg krajów 2024 roku (tony metryczne)
Brak danych	23 000	Chiny 9300 (42% światowej produkcji) Korea Południowa 4500 Japonia 1700 Kanada 1700 Meksyk 1200 Kazachstan 1000 Australia 900 Rosja 800 Peru 620 Królestwo Niderlandów 400

ŹRÓDŁO: OPRACOWANIE WŁASNE NA PODSTAWIE [HTTPS://WWW.STATISTA.COM/STATISTICS/1023116/REFINERY-PRODUCTION-CADMIUM-WORLDWIDE-BY-COUNTRY/](https://www.statista.com/statistics/1023116/refinery-production-cadmium-worldwide-by-country/); [HTTPS://PUBS.USGS.GOV/PERIODICALS/MCS2024/MCS2024-CADMIUM.PDF](https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2024/mcs2024-cadmium.pdf)

Kadm znajduje liczne zastosowania przemysłowe w metalurgii, procesach galwanicznych, do produkcji akumulatorów kadmowo-niklowych i ogniw. Wzrosło wykorzystanie kadmu w półprzewodnikach, zwłaszcza kadmowo-tellurowych (CdTe) w cienkowarstwowych panelach słonecznych. Według Narodowego Laboratorium Energii Odnawialnej (NREL) Departamentu Energii USA pod koniec 2022 roku 34% fotowoltaiki na skalę przemysłową i 21% wszystkich systemów fotowoltaicznych było opartych na CdTe. Chiny, Belgia i Japonia są obecnie największymi konsumentami kadmu na świecie. Baterie o innych właściwościach chemicznych, szczególnie litowo-jonowe, mogą zastąpić baterie

niklowo-kadmowe (NiCd) w wielu zastosowaniach. Nadal bada się technologie cienkowarstwowe oparte na materiałach miedziowo-indowo-galowo-selenkowych i perowskitowych (U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2024, Cadmium, 2024).

Kobalt

Kobalt jest pozyskiwany ze źródeł pierwotnych albo jako produkt uboczny produkcji niklu i miedzi. Zdecydowana większość światowych zasobów znajduje się w osadowych pokładach miedzi w Kongo (w Kinszasie) i Zambii, w złożach laterytów zawierających nikiel w Australii i pobliskich krajach wyspiarskich oraz na Kubie. Liczące się zasoby mają również Kanada, Rosja i Stany Zjednoczone.

Tabela 5. Kobalt – występowanie, zasoby i produkcja

Występowanie i oszacowania wielkości złóż (mln ton)	Produkcja światowa w 2024 roku (tony metryczne)	Produkcja w 2024 roku wg krajów (tony metryczne)
Zidentyfikowane zasoby lądowe ok. 25. Polimetaliczne koncentracje na dnie oceanów 120, zwłaszcza pole koncentracyjne Clarion-Clipperton, znajdujące się na Pacyfiku 78 Demokratyczna Republika Konga 6 (49% światowych zasobów) Australia 1,7 Indonezja 0,5 Kuba 0,5 Filipiny 0,26 Rosja 0,25	268 000–290 000	Demokratyczna Republika Konga (DRK) 220 000 (84% produkcji światowej) Indonezja 28 000 Rosja 8700 Kanada 4500 Filipiny 3800 Australia 3600 Kuba 3500 Papua Nowa Gwinea 2800 Turcja 2700 Madagaskar 2600

ŹRÓDŁO: OPRACOWANIE WŁASNE NA PODSTAWIE UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, [HTTPS://PUBS.USGS.GOV/PERIODICALS/MCS2025/MCS2025-COBALT.PDF](https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2025/mcs2025-cobalt.pdf)

Kobalt jest kluczowy dla kilku technologii akumulatorowych, w tym akumulatorów niklowo-kadmowych, niklowo-wodorkowych i litowo-jonowych ze względu na zwiększanie bezpieczeństwa, gęstości energii i żywotności tychże akumulatorów. Około 50% kobaltu produkowanego na świecie jest wykorzystywane do akumulatorów wielokrotnego ładowania. Kobalt jest najdroższym z materiałów akumulatorowych, jego cena jest zmienna i podatna na ograniczenia podaży, obawy etyczne i działania niektórych producentów samochodów mające na celu znalezienie sposobów na zmniejszenie zależności od kobaltu w akumulatorach. Światowa produkcja kobaltu od 1995 roku wzrosła o 853% (<https://www.lme.com/Metals/EV>). Jednym z głównych katalizatorów wzrostu zainteresowania kobaltem jest dynamiczny rozwój rynku pojazdów elektrycznych. Jednak wzrost podaży kobaltu i wielu innych metali akumulatorowych przewyższył krótkoterminowy popyt, co doprowadziło do spadku cen w ciągu ostatnich dwóch lat. Między lipcem a wrześniem

2024 roku ceny kobaltu spadły o 10%. Choć później ustabilizowały się na kilka miesięcy, na początku 2025 roku nastąpił dalszy spadek. Oczekuje się stabilizacji rynku, ponieważ nadpodaż i zmieniające się składniki chemiczne baterii ograniczają wahania cen. Rozwój produkcji baterii litowo-żelazowo-fosforanowych (LFP), szczególnie w Chinach, ogranicza popyt na chemikalia kobaltowe. Chiny pozostają wiodącym na świecie producentem rafinowanego kobaltu, z którego większość otrzymuje się z częściowo rafinowanego kobaltu importowanego z Demokratycznej Republiki Konga. Chiny są także głównym światowym odbiorcą kobaltu, a prawie 87% jego zużycia zostało wykorzystane przez przemysł akumulatorów litowo-jonowych. Na całym świecie realizuje się liczne projekty mające na celu odzyskiwanie kobaltu ze złomu tego typu akumulatorów (<https://investingnews.com/where-is-cobalt-mined/>).

Lit

Lit, który znajduje współcześnie wiele zastosowań, m.in. w przemyśle akumulatorowym, metalurgicznym, nuklearnym, szklarskim i ceramicznym, w spawalnictwie, do produkcji smarów, środków leczniczych i syntetycznego kauczuku, nie występuje w przyrodzie w stanie wolnym. Pozyskuje się go głównie z minerałów, ale także z wód solankowych.

Tabela 6. Lit – występowanie, zasoby i produkcja

Występowanie i oszacowania wielkości złóż w 2024 roku (mln ton)	Produkcja światowa w 2024 roku	Produkcja w 2024 roku wg krajów (tony metryczne)
Boliwia 23 Argentyna 22 Stany Zjednoczone 14 Chile 11 Australia 8,7 Chiny 6,8 Niemcy 3,8 Kanada 3,0 Demokratyczna Republika Konga (DRK) 3 Zasoby światowe – około 105	240 000 (produkcja górnicza w tonach metrycznych zawartości litu)	Australia 86 000 Chile 44 000 Chiny 33 000 Argentyna 9600 Brazylia 4900 Kanada 3400 Zimbabwe 3400 Portugalia 389

ŹRÓDŁO: OPRACOWANIE WŁASNE NA PODSTAWIE [HTTPS://WWW.STATISTA.COM/STATISTICS/606684/WORLD-PRODUCTION-OF-LITHIUM/](https://www.statista.com/statistics/606684/world-production-of-lithium/) LITHIUM 2024.

Dzięki prowadzonym pracom poszukiwawczym, zmierzone i wskazane zasoby litu znacznie wzrosły na całym świecie. Oprócz państw wymienionych w Tabeli 6 pewne ilości tego surowca występują też między innymi w Meksyku, Czechach, Serbii, Peru, Rosji, Mali, Brazylii, Zimbabwe, Hiszpanii. Oparte na solance źródła litu na różnych etapach rozwoju lub eksploatacji znajdują się w Argentynie, Boliwii, Kanadzie, Chile, Chinach i Stanach Zjednoczonych, zaś źródła oparte na minerałach – w Australii, Austrii, Brazylii, Kanadzie, Chinach, Kongo (w Kinszasie), Czechach, Etiopii, Francji, Finlandii,

Niemczech, Ghanie, Indiach, Iranie, Kazachstanie, Mali, Namibii, Nigerii, Peru, Portugalii, Rosji, Rwandzie, Serbii, Hiszpanii, Tajlandii, Turcji, Stanach Zjednoczonych i Zimbabwie. Źródła litu i glinki na różnych etapach rozwoju lub eksploracji są także zlokalizowane w Meksyku i Stanach Zjednoczonych. W Australii lit wydobywa się w kopalniach z twardych skał, w szczególności z minerału spodumenu (Lithium, 2024). Obecnie lit jest szczególnie poszukiwany ze względu na rosnące zapotrzebowanie do produkcji akumulatorów. Trzy kraje wiodące prym w jego wytwarzaniu (Australia, Chile i Chiny) dostarczają łącznie 88% produkcji światowej (Lithium, 2024). Największy przyrost produkcji miał miejsce w Australii (z 13 tys. ton metrycznych w 2013 roku do 86 tys. ton metrycznych w 2023 roku) i w Chinach (odpowiednio z 4 tys. ton metrycznych do 33 tys. ton metrycznych). W przeciwieństwie do Australii, w Chile i w Chinach lit wydobywa się z solanki. Chińskie przedsiębiorstwa zwiększyły również swoje udziały w produkcji litu na całym świecie, a trzy z nich znajdują się wśród czołowych firm wydobywczych tego surowca. Największa z nich, Tianqi Lithium, ma znaczący udział w Greenbushes – największej na świecie kopalni litu w Australii. Argentyna (czwarty kraj na liście) w ciągu ostatniej dekady zwiększyła swoją produkcję ponad trzykrotnie głównie za sprawą napływu bezpośrednich inwestycji zagranicznych (BIZ).

Wytwarzanie baterii pochłania obecnie 87% światowej produkcji litu. Zużycie litu w bateriach znacznie wzrosło w ostatnich latach, ponieważ akumulatory litowe są szeroko stosowane na rozwijającym się rynku pojazdów elektrycznych, przenośnych urządzeń elektronicznych, narzędzi elektrycznych i do magazynowania energii w sieciach energetycznych (Lithium, 2024).

Nikiel

Nikiel to wszechstronny minerał stosowany w szerokiej gamie technologii czystej energii, ale także w tradycyjnych gałęziach przemysłu. Według prognoz Międzynarodowej Agencji Energetycznej popyt na nikiel wzrośnie znacząco, o około 65% do końca tej dekady (IEA, 2024e).

Tabela 7. Nikiel – występowanie, zasoby i produkcja (mln ton)

Występowanie i oszacowania wielkości złóż w 2023 roku	Produkcja światowa w 2024 roku	Produkcja w 2023 roku wg krajów
Indonezja 55 Australia 24 Brazylia 16 Rosja 8,3 Nowa Kaledonia 7,1 Filipiny 4,8 Zasoby globalne 139	3,7	Indonezja 1,8 Filipiny 0,4 Nowa Kaledonia 0,25 Rosja 0,2 Australia 0,15

ŹRÓDŁO: OPRACOWANIE WŁASNE NA PODSTAWIE USGS, 2024; [HTTPS://INSG.ORG/WP-CONTENT/UPLOADS/2024/09/PUBLIST_THE-WORLD-NICKEL-FACTBOOK-2024.PDF](https://insg.org/wp-content/uploads/2024/09/PUBLIST_THE-WORLD-NICKEL-FACTBOOK-2024.PDF)

Indonezja stała się siłą napędową wzrostu światowego przemysłu wydobywczego niklu. Produkcja tego surowca wzrosła tam dziesięciokrotnie w ciągu ostatnich 10 lat. Ten szybki wzrost i bezprecedensowa skala produkcji pomogły umocnić wiodącą rolę Indonezji w globalnym przemyśle wydobywczym niklu. Stało się to głównie za sprawą napływu kapitału zagranicznego.

Metale ziem rzadkich

Metale ziem rzadkich, inaczej zwane pierwiastkami ziem rzadkich, obejmują 17 pierwiastków chemicznych: lantan, cer, prazeodym, neodym, promet, samar, europ, gadolin, terb, dysproz, holm, erb, tul, iterb i lutet (są to lantanowce) oraz skand i itr. Wszystkie te pierwiastki współwystępują w minerałach zawierających lantanowce i mają podobne właściwości chemiczne. Stanowią siódmą część wszystkich pierwiastków, które występują w naturze, co oznacza, że nie są aż tak rzadkie, jak mogłaby sugerować ich nazwa. Stanowią jednak złoża rozproszone, co utrudnia eksploatację. Metale ziem rzadkich dzieli się na ciężkie (ang. *Heavy Rare Earth Elements*) i lekkie (ang. *Light Rare Earth Elements*). Spotykane są zazwyczaj w formie tlenków, węglanów, fosforanów i krzemianów. Lantanowce występują w przyrodzie zespołowo, a ich rozdzielenie jest bardzo trudne i kosztowne. Ze względu na ich znaczenie dla rozwoju nowoczesnych technologii i transformacji energetycznej zalicza się je do najcenniejszych zasobów na Ziemi.

Tabela 8. Metale ziem rzadkich – występowanie, zasoby i produkcja

Występowanie i oszacowania wielkości złóż w 2024 roku (mln ton metrycznych)	Produkcja światowa w 2024 roku	Produkcja w 2024 roku wg krajów (tony metryczne)
Chiny 44 Wietnam 22 Brazylia 21 Indie 6,9 Australia 5,7 Rosja 3,8 Stany Zjednoczone 1,5 Rezerwy światowe 90		Chiny 270 000 (69,77% produkcji światowej) Stany Zjednoczone 45 000 Mjanma 31 000 Australia 13 000 Nigeria 13 000 Tajlandia 13 000 Indie 2900 Rosja 2500

ŹRÓDŁO: OPRACOWANIE WŁASNE NA PODSTAWIE
<https://www.statista.com/statistics/270277/mining-of-rare-earths-by-country/>
<https://investingnews.com/daily/resource-investing/critical-metals-investing/rare-earth-investing/rare-earth-metal-production/>
<https://www.china-briefing.com/news/chinas-rare-earth-elements-dominance-in-global-supply-chains/>,
 US GEOLOGICAL SURVEY, MINERAL COMMODITY SUMMARIES, JANUARY 2025 (UDZIAŁ W REZERWACH W OPARCIU O SZACUNKOWĄ GLOBALNĄ SUMĘ 90 MLN TON METRYCZNYCH)

Od połowy lat 60. aż do lat 90. XX wieku, kiedy zamknięto kopalnie z powodu bardzo wysokiej uciążliwości środowiskowej, czołowym producentem były Stany Zjednoczone, gdzie metale ziem rzadkich wydobywano w Mountain Pass w Kalifornii. Od tej pory na czołowe miejsce wysunęły się Chiny, których zasoby szacuje się na 44 mln ton.

Stosunkowo duże ilości metali ziem rzadkich znaleziono też w Wietnamie i Brazylii. Liczą się również Rosja, Indie, Australia, Stany Zjednoczone, Mjanma (Birma), Tajlandia czy Grenlandia. W odniesieniu do kilku pierwiastków metali ziem rzadkich istnieją bardziej szczegółowe dane odnośnie do miejsc występowania i wielkości zasobów. Naturalne złoża skandu znajdują się w Australii, Chinach, Kazachstanie, Rosji, USA, Ukrainie i na Madagaskarze. Neodym wydobywany jest głównie w Chinach, USA, Brazylii, Indiach, Sri Lance i Australii. Dostępne zasoby są oceniane na około 8 mln ton. Roczne wydobycie to około 7 tys. ton. Dysproz nie występuje w stanie wolnym, ale jest obecny w wielu minerałach. Obecnie najwięcej dysprozu jest uzyskiwane ze złóż gliny w południowych Chinach. Zasoby gadolinu szacuje się na 1 mln ton przy wydobyciu 400 ton rocznie. Zasoby holmu określa się na poziomie 400 tys. ton, zaś iterbu – 1 mln ton (Burchard-Dziubińska, 2014).

Ze strategicznego punktu widzenia na rynku metali ziem rzadkich kluczowym czynnikiem jest dominująca pozycja Chin w globalnych łańcuchach wartości. Kwestia ta, choć dostrzeżona przez analityków rynku, do niedawna nie wywoływała większego niepokoju wśród wiodących odbiorców metali ziem rzadkich w państwach Zachodu. Nawet wówczas, gdy Chiny, aby zachować zasoby pierwiastków ziem rzadkich w celu zaspokojenia rosnącego krajowego popytu i rozwiązania problemów środowiskowych, zaczęły po 2010 roku wdrażać różne środki, takie jak limity, licencje i podatki, mające na celu zwłaszcza ukrócenie niekontrolowanego wydobycia i eksportu tych surowców (Wübbecke, 2013). Obecnie Chiny nie tylko odpowiadają za około 90% globalnych zdolności przetwarzania metali ziem rzadkich, ale kontrolują niemal cały łańcuch produkcyjny – od separacji pierwiastków po wytwarzanie magneśców i katalizatorów. Restrykcje w zakresie dostępu do technologii ekstrakcji i separacji pierwiastków ziem rzadkich Chiny wprowadzały stopniowo od grudnia 2023 roku. W kwietniu 2025 roku, w odpowiedzi na podwyżki ceł na produkty chińskie wprowadzone przez prezydenta Donalda Trumpa, chińskie Ministerstwo Handlu nałożyło ograniczenia eksportowe na siedem pierwiastków ziem rzadkich (REE) i magnesy wykorzystywane w sektorze obronnym, energetycznym i motoryzacyjnym. Dotyczyły one: samaru, gadolinu, terbu, dysprozu, lutetu, skandu oraz itru i nałożyły na firmy obowiązek uzyskania specjalnych licencji na eksport tych minerałów i magneśców. Ostatni ruch Chin na tym polu z października 2025 roku znacząco rozszerzył ograniczenia w eksporcie pierwiastków ziem rzadkich przez dodanie do puli pięciu nowych pierwiastków: holmu, europu, iterbu, tulu i erbu. Chiny wprowadziły dodatkową kontrolę dla użytkowników technologii rafinacji metali ziem rzadkich oraz wymóg przestrzegania nowych przepisów przez zagranicznych producentów pierwiastków ziem rzadkich wykorzystujących chińskie materiały. Zagraniczne firmy potrzebują teraz zgody chińskiego rządu na eksport produktów zawierających nawet niewielkie ilości pierwiastków ziem rzadkich i muszą wyjaśnić ich przeznaczenie. Wymieniono również konkretne technologie i procesy, które podlegają ograniczeniom. Należą do nich: wydobycie, wytopianie i separacja, produkcja materiałów magnetycznych oraz recykling pierwiastków ziem rzadkich z innych źródeł. Dotyczą one m.in. sektora zielonej energii w zakresie baterii litowo-jonowych, anod grafitowych i niektórych urządzeń do ich produkcji (Reuters, 2025).

Obserwując zaostrzanie przez Chiny dostępu do metali ziem rzadkich, wiele krajów rozpoczęło eksplorację nowych złóż tych pierwiastków i zwiększyło ich krajową produkcję. Ponadto w różnych krajach zintensyfikowano działania na rzecz recyklingu, ochrony pierwiastków ziem rzadkich i poszukiwania materiałów zastępczych (Ping Cheng i in., 2024).

Przewiduje się, że do 2030 roku udział Chin w wydobyciu pierwiastków ziem rzadkich spadnie z obecnych 69,77% do 54%, zaś Australii wzrośnie z 7% do 18%. Wobec coraz bardziej agresywnej polityki Chin odnośnie do dostępu firm zagranicznych do metali ziem rzadkich, manifestującej się wprowadzaniem kolejnych restrykcji i prób kontroli wykorzystania i eksportu produktów zawierających choćby śladowe ilości tych metali pochodzenia chińskiego, można oczekiwać intensyfikacji wydobycia w innych znanych lokalizacjach.

Obecnie w Stanach Zjednoczonych nie prowadzi się separacji ciężkich pierwiastków ziem rzadkich. Rozwój tych możliwości jest obecnie w toku. Departament Obrony Stanów Zjednoczonych postawił sobie za cel opracowanie kompletnego łańcucha dostaw pierwiastków ziem rzadkich (od kopalni do magnezu), który mógłby zaspokoić wszystkie potrzeby obronne USA do 2027 roku. Od 2020 roku przeznaczył ponad 439 mln dolarów na budowę krajowych łańcuchów dostaw. W 2020 roku Pentagon przyznał firmie MP Materials 9,6 mln dolarów na budowę zakładu separacji lekkich pierwiastków ziem rzadkich w Mountain Pass w Kalifornii. Dwa lata później przyznał dodatkowe 35 mln dolarów na zakład przetwórstwa ciężkich pierwiastków ziem rzadkich. Te zakłady byłyby pierwszymi tego typu w Stanach Zjednoczonych, w pełni integrując łańcuch dostaw pierwiastków ziem rzadkich – od wydobycia, separacji i ługowania w Mountain Pass, po rafinację i produkcję magnezów w Fort Worth w Teksasie. Jednak nawet po osiągnięciu pełnej sprawności operacyjnej MP Materials będzie produkować jedynie 1000 ton magnezów neodymowo-borowo-żelazowych (NdFeB) do końca 2025 roku – mniej niż 1% ze 138 000 ton magnezów NdFeB wyprodukowanych w Chinach w 2018 roku. W 2024 roku MP Materials ogłosiło rekordową produkcję 1300 ton tlenku neodymowo-prazeodymowego (NdPr). W tym samym roku Chiny wyprodukowały około 300 tys. ton magnezów NdFeB (<https://www.csis.org/analysis/consequences-chinas-new-rare-earths-export-restrictions>). Choć inwestycje, o których mowa, są robione z myślą o sektorze zbrojeniowym, to co dzieje się z produkcją metali ziem rzadkich, będzie miało wpływ na cały rynek tych pierwiastków.

Ciemne strony zielonej transformacji energetycznej

Dekarbonizacja gospodarki światowej poprzez jej elektryfikację nie jest rozwiązaniem idealnym, gdyż bazuje na surowcach, których pozyskanie niesie z sobą problemy natury etycznej, społecznej, środowiskowej i politycznej. Badacze oszacowali zużycie materiałów związane z wytworzeniem gigawatogodziny (GWh) energii elektrycznej. Materiały te obejmują wszystkie metale i minerały używane do produkcji i budowy instalacji solarnych, farm wiatrowych i baterii. Do skał zaliczyli wydobyty węgiel i ilość skał, które muszą zostać wydobyte (przemieszczone) w celu pozyskania minerałów (Ritchie, Rosado, 2024).

Tabela 9. Zużycie materiałów związane z wytworzeniem/magazynowaniem gigawatogodziny (GWh) energii elektrycznej

Technologia	Metale i minerały (kg)	Skąły (kg)
Energia wiatrowa na lądzie	7093	52397
Energia wiatrowa na morzu	1953	32929
Energia słoneczna PV	1809	43472
Magazynowanie energii	426	39293
Energia nuklearna EPR (Europejski Reaktor Ciśnieniowy)	1358	12095
Energia nuklearna AP1000 (Westinghouse Electric Company)	624	9332

ŹRÓDŁO: OPRACOWANIE WŁASNE NA PODSTAWIE RITCHIE, ROSADO, 2024

Interesujące są też dane na temat stosunku ilości skał do metali w wydobywanych materiałach. Stosunek ten oznacza ilość skał, które należy wydobyć, aby wyprodukować jedną jednostkę metalu. Na przykład stosunek 10 oznacza, że należy wydobyć 10 kg skał, aby wyprodukować 1 kg danego metalu. Oszacowania dla wybranych metali wyglądają następująco: Uran – 3624, Lit – 163, Kobalt – 859, Miedź – 513, Niob – 479, Nikiel – 250 (Nassar i in., 2022; Wang i in., 2024).

Przytoczone dane uzmysławiają presję na środowisko związaną z koniecznością usuwania i przemieszczania materiału skalnego w procesach pozyskiwania metali kluczowych dla dekarbonizacji gospodarki. Za tym kryje się nie tylko dewastacja naturalnych ekosystemów na ogromną skałę, lecz także naruszanie miejsc ważnych dla rdzennej ludności z powodów bytowych i kulturowych. Rodzi to niekiedy poważne konflikty interesu. Bynajmniej nie dotyczą one jedynie słabo rządzonych, skorumpowanych państw rozwijających się, ale czasem z zadziwiającą siłą wybuchają w krajach wysoko rozwiniętych, na przykład w Australii czy Stanach Zjednoczonych.

Dobrze udokumentowanym przykładem poważnego kryzysu związanego z eksploatacją kobaltu jest sytuacja w Demokratycznej Republice Kongo. Należy podkreślić, że na wydobyciu kobaltu w DRK ciąży naruszenie praw człowieka i praca dzieci. Dzieje się tak głównie z powodu powszechnego, nieuregulowanego wydobycia rzemieślniczego. Problem nie jest nowy i wciąż nie znalazł satysfakcjonującego rozwiązania. Region wydobycia kobaltu i miedzi w DRK wydaje się być traktowany jak strefa poświęceń, opisywany jako obszar, w którym populacja cierpi z powodu życia na silnie zanieczyszczonych obszarach. Eksperti RAID i AFREWATCH przeanalizowali co najmniej 22 badania naukowe i 20 raportów społeczeństwa obywatelskiego, z których jasno wynika, że rzeki, jeziora, strumienie, wody gruntowe i mokradła w pobliżu kopalni kobaltu i miedzi w DRK są poważnie zanieczyszczone przez działalność górnictwa. Firmy górnicze objęte badaniem, będące dużymi europejskimi lub chińskimi korporacjami międzynarodowymi, są świadome możliwego

skażenia i jego potencjalnych zagrożeń dla ludzi i środowiska. Zagrożenia te zostały zidentyfikowane i uwzględnione w ich ocenach wpływu na środowisko i społeczeństwo, które kopalnie są zobowiązane sporządzać co pięć lat. Nawet jeśli w dużej mierze winne są historyczne zanieczyszczenia i zanieczyszczenia pochodzące z wydobywania rzemieślniczego, przedsiębiorstwa górnicze nie są skłonne przedstawić dowodów, takich jak audyty lub oceny stron trzecich, które potwierdzałyby, że ich obecne praktyki skutecznie ograniczają skażenia środowiska (RAID, 2024).

Działania mające na celu regulację sektora i zwiększenie bezpieczeństwa obejmują utworzenie w 2019 roku państwowego przedsiębiorstwa *Entreprise Générale du Cobalt*, które uzyskało wyłączne prawa do wydobywania na pięciu obszarach dzięki umowie z 2024 roku z państwowym przedsiębiorstwem górniczym *Gecamines*. Minister górnictwa DRK formalnie zatwierdził w 2022 roku Standard Kobaltu ASM, a obecnie opracowywane są plany oceny jego skuteczności w ośrodkach pilotażowych. Ramy dla regulowanego sektora górnictwa rzemieślniczego zostały opracowane przez Inicjatywę Odpowiedzialnych Minerałów (ang. *Responsible Minerals Initiative*) we współpracy z globalnymi i lokalnymi interesariuszami. Choć Demokratyczna Republika Konga pozostaje głównym krajem pochodzenia kobaltu, tamtejsze firmy odpowiadają tylko za około 3,5% globalnej produkcji. Najwięksi producenci zarejestrowani są w Wielkiej Brytanii, Szwajcarii (*Glencore* i *Eurasian Natural Resources*) i Chinach (*China Molybdenum* i *Metorex*). Rodzina *Glasenbergs* (z RPA) jest największym udziałowcem w *Glencore*, który odpowiada za około 19% światowej produkcji (Blas, Farchy, 2023).

Kolejnym krajem odnotowującym bardzo dynamiczne zmiany w produkcji kobaltu jest Indonezja. Podaż kobaltu w tym kraju wzrosła o 937% od 2021 roku, kiedy to roczna produkcja wynosiła 2700 ton metrycznych. Wprowadzenie w 2020 roku zakazu eksportu rudy niklu przyciągnęło do Indonezji chińskie inwestycje w przetwórstwo metali do produkcji baterii. Wzrost produkcji kobaltu wynika z uruchomienia czterech nowych instalacji przetwarzających rudę. Według raportu rynkowego opublikowanego w maju 2024 roku przez Instytut Kobaltu Indonezja ma potencjał potroić swoją produkcję kobaltu z 2023 roku do 2030 roku. Innymi słowy: produkcja kobaltu w Indonezji w 2030 roku będzie stanowić 16% światowej produkcji w porównaniu z 1% w 2021 roku i 5% w 2022 roku. Podczas gdy firmy w Indonezji dążą do zwiększenia produkcji kobaltu, narastają międzynarodowe obawy dotyczące wpływu wzmoczonej działalności wydobywczej na ekosystemy morskie kraju. Większość obaw wynika z działalności wydobywczej w archipelagu Raja Ampat, grupie tropikalnych wysp w pobliżu Papui Zachodniej. Obszar ten jest siedliskiem 75% światowych gatunków koralowców i ponad 1500 gatunków ryb. W 2023 roku został wpisany na listę światowego geoparku UNESCO.

Produkcja kobaltu w Rosji, pomimo nałożonych na ten kraj sankcji w związku z napaścią na Ukrainę, pozostaje stabilna. Filipiny – piąty co wielkości producent kobaltu na świecie – także boryka się z poważnymi problemami. Los górnictwa przez pewien czas był w tym kraju niepewny, ponieważ były prezydent Rodrigo Duterte i były minister środowiska Roy Cimatu wezwali do zamknięcia wszystkich kopalń ze względu na obawy związane z ochroną środowiska. Jednak na początku 2021 roku Duterte zmienił zdanie, znosząc

zakaz wydawania nowych pozwoleń na kopalnie w celu zwiększenia dochodów. Jego następcą, prezydent Bongbong Marcos nakazał Departamentowi Środowiska i Zasobów Naturalnych kraju egzekwowanie surowszych wytycznych i protokołów bezpieczeństwa zarówno w małych, jak i dużych kopalniach. Ma nadzieję na doprowadzenie do zgodności nielegalnych operacji górniczych z przepisami, aby mogły one działać legalnie i w bezpieczniejszych warunkach dla pracowników. W 2024 roku Stany Zjednoczone potwierdziły plany przyznania dotacji dla Eramen Minerals na budowę zakładu przetwórstwa niklu i kobaltu na Filipinach, co ma pobudzić rozwój krajowego przemysłu wydobywczego. W Stanach Zjednoczonych poczyniono postępy w realizacji szeregu projektów dotyczących przetwarzania, rafinacji lub recyklingu kobaltu, stymulowanych zachętami związanymi z polityką klimatyczną Joe Bidena (Bipartisan Infrastructure Law z 2021 roku i Inflation Reduction Act z 2022 roku). Jednak należy pamiętać, że problemy wynikły z obecności firm górniczych dotykają lokalne społeczności i środowisko przyrodnicze w krajach Ameryki Południowej: Brazylii, Chile, Ekwadorze, Peru (Conway, 2024; Scheyder, 2024). Znane są też liczne spory firm górniczych z rdzenną ludnością na terenie Stanów Zjednoczonych. Konflikty dotyczą terenów bogatych zarówno w paliwa kopalne, jak i metale ważne w dekarbonizacji (Scheyder, 2024).

Rozterki i grę interesów dobrze uzmysławia to, co dzieje się w związku z produkcją i przetwórstwem litu. Dla firm technologicznych w Azji, Europie i Ameryce Północnej, zwłaszcza związanych z produkcją akumulatorów i pojazdów elektrycznych, najwyższym priorytetem stało się zapewnienie bezpieczeństwa dostaw tego surowca. W tym celu tworzy się alianse strategiczne i spółki joint venture między firmami technologicznymi i firmami eksploracyjnymi. Poszukiwanie nowych źródeł dostaw litu angażuje nie tylko geologów czy spółki górnicze, lecz także polityków. Jednak dziś lokalne społeczności w różnych miejscach na świecie są bardziej świadome skutków eksploatacji surowców i bronią się przed nimi, organizując protesty i uzależniając wyrażenie zgody na budowę kopalni od uzyskania gwarancji bezpieczeństwa środowiskowego oraz innych korzyści.

W Unii Europejskiej duże nadzieje wiązano z odkryciem na początku tego stulecia przez geologów z Rio Tinto złóż krzemianu o dużej zawartości litu i boru w Serbii w Dolinie Jadaru. Specjaliści z Rio Tinto ocenili, że serbskie złoża litu należą do największych w świecie. W 2017 roku koncern podpisał z władzami Serbii porozumienie dotyczące ich eksploatacji. Zadeklarował zainwestowanie około 2,4 mld dolarów i uruchomienie wydobycia na początku obecnej dekady. Planowano wydobywać 58 ton litu rocznie, co wystarczyłoby do wytworzenia baterii dla około 1,1 mln samochodów. Jednak po gwałtownych protestach ludności porozumienie zostało przez władze Serbii najpierw zawieszone (w 2021 roku), a następnie zerwane (w 2022 roku). W lipcu 2024 roku serbski trybunał konstytucyjny unieważnił decyzję o pozbawieniu koncernu Rio Tinto praw do eksploatacji złóż w Dolinie Jadaru, co przywróciło nadzieję na trwałą współpracę i utorowało drogę do podpisania przez Unię Europejską porozumienia o sojuszu strategicznym w dziedzinie eksploatacji litu. Aby uspokoić nastroje społeczne, prezydent Serbii Aleksandar Vučić zapewnił, że przez najbliższe dwa lata będą badane ryzyka związane z wydobyciem litu. Ponadto w Serbii ma zostać ulokowana inwestycja w produkcję baterii do samochodów

elektrycznych bazująca na lokalnym surowcu. Nikt nie da jednak gwarancji, że demonstracje przeciw tej inwestycji ustaną, tym bardziej, że mogą one być częścią szerszego planu wywołania politycznej zawieruchy.

Fala protestów przeciwko wydobywaniu litu przeszła także przez Portugalię, gdzie do inwestycji przymierzała się brytyjska firma Savannah Resources. W tym przypadku doszło do skandalu, kiedy pod adresem czołowych polityków i członków rządu sformułowano zarzuty o korupcję. Doszło nawet do przeszukania rezydencji premiera Portugalii Antonio Costy i zatrzymania Vitora Escarii – szefa jego sztabu. W efekcie ambitne plany odnośnie do uczynienia z Portugalii głównego dostawcy litu dla Unii Europejskiej się rozmyły – przynajmniej na razie.

W Czechach również pojawiły się nadzieje na uruchomienie produkcji litu na bazie złóż odkrytych przez European Metals Holdings w okolicach Cinovec w Górach Kruszcowych. Zasoby litu w tej lokalizacji szacuje się na 1,2 mln ton. Czeski koncern energetyczny ČEZ zadeklarował gotowość współpracy z European Metals Holdings. Przewidziano współpracę z Niemcami z uwagi na graniczne położenie złóż. Problemem może być jednak opłacalność przedsięwzięcia ze względu na koszty związane z koniecznością kruszenia skał zawierających lit. W planach jest mowa o przystąpieniu do eksploatacji w 2026 roku.

W Stanach Zjednoczonych symbolem walki o dostęp do bogatych złóż litu stała się gryka Tiehma (*E. tiehma*) – niewielka, endemiczna roślina, która upodobała sobie właśnie bogatą w lit glebę w Nevadzie. Zlokalizowane w Rhyolite Ridge złoża, które zamierza eksploatować firma Ioneer Ltd., są pod baczna obserwacją ruchów obrońców przyrody, rdzennych mieszkańców, koncernów górniczych i samochodowych. Toczy się wieloletnia batalia, której szokującym epizodem stało się wytrzebiecie we wrześniu 2020 roku 18646 sztuk gryki Tiehma. Biorąc pod uwagę, że większość przedsięwzięć górniczych w Stanach Zjednoczonych podlega przepisom z 1872 roku, które zostały stworzone z myślą o wspieraniu wydobywania, oraz fakt zwycięstwa w wyborach prezydenckich w 2024 roku przez Donalda Trumpa, można się spodziewać, że spółki wydobywcze dostaną zielone światło (Burchard-Dziubińska, 2025).

Warto dodać, że odnotowuje się szybki wzrost liczby zakładów recyklingu baterii litowych. W 2023 roku około 40 przedsiębiorstw w Kanadzie i Stanach Zjednoczonych oraz 50 w Europie poddawało recyklingowi baterie litowe lub planowało to zrobić. Firmy samochodowe i recyklerzy baterii nawiązali współpracę, aby zaopatrywać przemysł samochodowy w źródło materiałów akumulatorowych (Leruth, Mazarei, 2022).

Wnioski

Zielona transformacja energetyczna odbywa się głównie poprzez elektryfikację. Odchodzenie od paliw kopalnych nie jest proste, gdyż nie tylko są one znakomitym źródłem energii, lecz także są łatwe w transporcie i przechowywaniu. Elastyczne co do miejsca i czasu jest też uwalnianie zgromadzonej w nich energii, a technologie z tym związane są dojrzałe i względnie bezpieczne i tanie. Ich zastąpienie przez inne źródła jest wyzwaniem o charakterze cywilizacyjnym. W przyszłości powinny gwarantować trwałą i sprawiedliwą

dostęp do energii wszystkim jej użytkownikom, a wielkoskalowe stosowanie nie powinno stwarzać katastrofalnych skutków ubocznych. Technologie związane z produkcją energii z jej nisko- i bezemisyjnych źródeł bazują na szerokiej gamie surowców mineralnych niezbędnych do tego, aby nie tylko przechwycić energię słońca czy wiatru, lecz także zamienić ją na prąd, wprowadzić do sieci energetycznej i/lub zmagazynować.

Zielona transformacja energetyczna wymaga sięgnięcia na dużą skalę po nieenergetyczne, kopalne zasoby Ziemi. Do najważniejszych należą: miedź, grafit, kadm, kobalt, lit, nikiel i pierwiastki ziem rzadkich. Popyt na nie generowany przez zapotrzebowanie na energię powiększy już ten istniejący ze względu na szerokie użytkowanie tych surowców w innych zastosowaniach, m.in. w przemyśle metalurgicznym, lotniczym, kosmicznym, obronnym, a także w optyce, diagnostyce medycznej i w wielu innych. Przyszłość zielonej energetyki zależy zatem w ogromnej mierze od tego, gdzie i jak będą pozyskiwane kluczowe dla niej zasoby. Przeprowadzona analiza wielkości światowych zasobów tych surowców i geograficznego ich rozmieszczenia wykazała, że do gry wchodzi zarówno duzi, jak i mali gracze. Zwraca uwagę wiodąca rola Chin w produkcji niektórych surowców ważnych z punktu widzenia transformacji energetycznej oraz w generowaniu na nie popytu. Kraj ten aktualnie realizuje na tym polu ambitne działania, bez wahania sięgając po różnego rodzaju restrykcje nakładane na wydobycie kluczowych surowców na swoim terytorium, transfer technologii i obrót produktami zawierającymi nawet niewielkie ilości metali ziem rzadkich pochodzenia chińskiego. Zaostrzenie polityki surowcowej przez Chiny jest przede wszystkim wynikiem własnych dążeń, choć oczywiście nie można pominąć wpływu wojny celnej zainicjowanej przez administrację Donalda Trumpa na początku 2025 roku. To, co dzieje się na światowych rynkach surowców nieenergetycznych ważnych z punktu widzenia wytwarzania zielonej energii, dotyczy wszystkie kraje – dla jednych będąc szansą, dla innych wyzwaniem. Aby przeciwdziałać problemom z podażą surowców, degradacją środowiska, naruszaniem praw człowieka i konfliktom z ludami rdzennymi, należy bardziej skutecznie kontrolować struktury własnościowe i zasady zarządzania w przedsiębiorstwach działających w branży minerałów krytycznych oraz zwrócić większą uwagę na problem korupcji w krajach, w których prowadzona jest działalność górnicza. Aby zapobiec wąskim gardłom w produkcji, powinny być zawiązywane fuzje między przedsiębiorstwami produkującymi i/lub przedsiębiorstwami użytkującymi surowce krytyczne. Jednym z działań wspierających potrzebę uwzględniania standardów ESG jest niedawny krok Londyńskiej Giełdy Metali w sprawie wycofania z giełdy przedsiębiorstw, które nie spełniają standardów odpowiedzialnego pozyskiwania.

Bardzo pożądanym sposobem na zmniejszenie zagrożeń związanych z ograniczoną podażą surowców jest dotowanie przez kraje wysoko rozwinięte działalności gospodarczej ukierunkowanej na poszukiwania alternatywnych źródeł, substytutów i recyklingu złomu minerałów krytycznych.

Istnieje szereg strategii mających na celu wzmocnienie odporności łańcuchów dostaw czystej energii i zmniejszenie dzisiejszego wysokiego poziomu koncentracji (na przykład w Chinach znajduje się połowa planowanych zakładów chemicznych zajmujących się litem, a w Indonezji prawie 90% planowanych zakładów rafinacji niklu). Zdaniem ekspertów

poziomy koncentracji w 2030 roku pozostaną wysokie, szczególnie w przypadku operacji rafinacji i przetwarzania. Polityka energetyczna i cele klimatyczne, choć mają wpływ, nie są jedynymi siłami stojącymi za ciągłym wzrostem sektora czystej energii. Silnie wpływają czynniki kosztowe, innowacje, a także intensywna konkurencja o światowe przywództwo.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Blas J., Farchy J., 2023, *Świat na sprzedaż*, Szczeliny, Kraków.
- [2] Burchard-Dziubińska M., 2014, *Strategiczna rola metali ziem rzadkich w gospodarce opartej na wiedzy*, w: *Gospodarka w praktyce i teorii*, 34 (1), 21–33. <https://doi.org/10.18778/1429-3730.34.02>.
- [3] Conway E., 2024, *Skarby Ziemi, Sześć surowców które zadecydują o przyszłości naszej cywilizacji*, Szczeliny, Kraków.
- [4] <https://investingnews.com/daily/resource-investing/critical-metals-investing/rare-earth-investing/rare-earth-metal-production/> (dostęp 01.05.2025).
- [5] <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2024/mcs2024-cadmium.pdf> (dostęp 05.10.2025).
- [6] <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/mining-of-uranium/world-uranium-mining-production> (dostęp 01.10.2025).
- [7] <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/mining-of-uranium/world-uranium-mining-production> (dostęp: 01.10.2025)
- [8] <https://www.bhcarbons.com/global-graphite-production-top-10-nations-2022-2024-data/>
- [9] <https://www.china-briefing.com/news/chinas-rare-earth-elements-dominance-in-global-supply-chains/> (dostęp 01.10.2025)
- [10] <https://www.lme.com/Metals/EV> (dostęp 01.10.2025).
- [11] <https://www.reuters.com/world/china/china-tightens-rare-earth-export-controls-2025-10-09/> (dostęp 01.10.2025).
- [12] <https://www.statista.com/statistics/1023116/refinery-production-cadmium-worldwide-by-country/> (dostęp 10.10.2025).
- [13] <https://www.statista.com/statistics/267366/world-graphite-production/> (dostęp 01.10.2025).
- [14] <https://www.statista.com/statistics/270277/mining-of-rare-earths-by-country/> (dostęp 01.10.2025).
- [15] ICA Annual Report 2024 <https://internationalcopper.org/> (dostęp 01.10.2025).
- [16] IEA, 2024a, *Electricity 2024*, <https://www.iea.org/reports/electricity-2024> (dostęp: 10.10.2024).
- [17] IEA, 2024b, Trends in electric cars. Global EV Outlook 2024, <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024/trends-in-electric-cars> (dostęp: 10.10.2025).
- [18] Krey V. i in., 2014, *Annex II: Metrics & Methodology*. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- [19] Leruth L. Mazarei A., 2022, *Who controls the world's minerals needed for green energy?*, Peterson Institute For International Economics, <https://www.piie.com/blogs/realtime-economic-issues-watch/who-controls-worlds-minerals-needed-green-energy>, (dostęp: 20.09.2025).
- [20] Nassar i in., 2022, Rock-to-Metal Ratio: A Foundational Metric for Understanding Mine Wastes.
- [21] OECD-NEA & IAEA, *Uranium 2024: Resources, Production and Demand* („Red Book”) World Nuclear Association, *The Nuclear Fuel Report*.
- [22] Ping Cheng et al., 2024 Global rare earth element resources: A concise review, *Applied Geochemistry*, Volume 175, November 2024, 106–158 <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2024.106158>. (dostęp 01.10.2025)
- [23] RAID, 2024, <https://raid-uk.org/report-environmental-pollution-human-costs-drc-cobalt-demand-industrial-mines-green-energy-evs-2024/>, (dostęp: 02.06.2025)

- [24] Ritchie H., Rosado P., 2024, Metals and Mineral, Published online at OurWorldinData.org. <https://ourworldindata.org/metals-minerals> [Online Resource] (dostęp: 20.10.2025).
- [25] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/1252 z dnia 11 kwietnia 2024 roku w sprawie ustanowienia ram na potrzeby zapewnienia bezpiecznych i zrównoważonych dostaw surowców krytycznych oraz zmiany rozporządzeń (UE) nr 168/2013, (UE) 2018/858, (UE) 2018/1724 i (UE) 2019/1020.
- [26] Scheyder, E., 2024, *Wojna o minerały. Jak surowce strategiczne decydują o naszej przyszłości energetycznej*, Prószyński, Warszawa.
- [27] Schlömer S. i in., 2014, Annex III: Technology-specific cost and performance parameters. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- [28] STATISTA, 2024a, <https://www.statista.com/statistics/1118777/electricity-demand-worldwide/> (dostęp: 10.10.2024).
- [29] US Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2025.
- [30] Wang i in., 2024, Updated Mining Footprints and Raw Material Needs for Clean Energy.
- [31] WBMS, 2024, <https://news.metal.com/newscontent/102627471>, (dostęp: 15.10.2024).
- [32] Wübbke, 2013, *Rare earth elements in China: Policies and narratives of reinventing an industry*, Resources Policy, Elsevier, vol. 38 (3), s. 384–394. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2013.05.005>.