

DOI: [10.26354/bb.6.1.102.2026](https://doi.org/10.26354/bb.6.1.102.2026)

Arkadiusz Lelek\*  
ORCID: 0009-0008-2261-3066  
[arek.lelek13@gmail.com](mailto:arek.lelek13@gmail.com)

## Prośrodowiskowe kryptoaktywa w kontekście zrównoważonego rozwoju w gospodarce cyfrowej

### Streszczenie

**Cel badania:** Celem opracowania jest analiza kryptoaktywów o ograniczonym wpływie środowiskowym oraz ocena wpływu mechanizmu Proof of Work na środowisko naturalne.

**Metodologia:** Badanie ma charakter przeglądowo-analityczny i opiera się na analizie literatury naukowej, raportów oraz dokumentów regulacyjnych z lat 2010–2025. Analizie poddano wpływ PoW na zużycie energii, ślad węglowy, odpady elektroniczne oraz aspekty społeczno-ekonomiczne, a także porównano go z mechanizmami Proof of Stake i Pure Proof of Stake.

**Wyniki:** Analiza wykazała, że PoW charakteryzuje się wysoką energochłonnością i znacznym obciążeniem środowiskowym. Alternatywne mechanizmy konsensusu cechują się niższym zużyciem energii i mogą ograniczać negatywny wpływ technologii blockchain na środowisko.

**Wnioski:** Kryptoaktywa o ograniczonym wpływie środowiskowym mogą stanowić kierunek rozwoju bardziej energooszczędnych rozwiązań blockchain, jednak wymagają dalszych badań i większej transparentności danych środowiskowych.

**Słowa kluczowe:** ekologiczne kryptoaktywa, zrównoważony rozwój, blockchain, rynek finansowy, ESG

**Kody JEL:** G20, Q56, Q33, G18

---

\* Arkadiusz Lelek – Uniwersytet Wrocławski.

## Environmentally friendly crypto-assets in the context of sustainable development in the digital economy

### Abstract

**Purpose:** The aim of this study is to analyse crypto-assets with a limited environmental impact and to assess the impact of the Proof of Work mechanism on the natural environment.

**Methodology:** The study is of a review and analytical nature and is based on an analysis of academic literature, reports and regulatory documents from 2010 to 2025. The analysis examined the impact of PoW on energy consumption, carbon footprint, electronic waste and socio-economic aspects, and compared it with the Proof of Stake and Pure Proof of Stake mechanisms.

**Results:** The analysis showed that PoW is characterised by high energy consumption and a significant environmental impact. Alternative consensus mechanisms are characterised by lower energy consumption and may reduce the negative environmental impact of blockchain technology.

**Conclusions:** Crypto-assets with a limited environmental impact may represent a direction for the development of more energy-efficient blockchain solutions; however, they require further research and greater transparency regarding environmental data.

**Keywords:** green crypto assets, sustainable development, blockchain, financial market, ESG

**JEL Codes:** G20, Q56, Q33, G18

### Wstęp

Dynamiczny rozwój technologii blockchain oraz kryptoaktywów w ostatnich latach znacząco wpłynął na kształt współczesnej gospodarki cyfrowej, jednocześnie ujawniając wiele istotnych wyzwań – szczególnie w obszarze środowiskowym. W centrum debaty znajduje się wysoka energochłonność mechanizmów konsensusu, zwłaszcza Proof of Work, która przekłada się na rosnące zużycie energii oraz emisję gazów cieplarnianych. Problematyka ta wykracza jednak poza aspekt ekologiczny, obejmując również kwestie społeczne, ekonomiczne i regulacyjne, co wskazuje na potrzebę poszukiwania bardziej zrównoważonych modeli funkcjonowania technologii blockchain. W odpowiedzi na te wyzwania rozwijają się tzw. ekologiczne kryptoaktywa, które wykorzystują mniej energochłonne mechanizmy konsensusu, jak Proof of Stake czy jego warianty, a także wspierają inicjatywy związane z odnawialnymi źródłami energii. Coraz częściej łączą one innowacje technologiczne z celami zrównoważonego rozwoju, oferując nowe możliwości finansowania projektów niskoemisyjnych oraz zwiększając transparentność rynku energetycznego.

Ograniczenia zużycia energii w systemach kryptowalutowych należy szukać w sposobie funkcjonowania mechanizmów konsensusu. Zarówno w przypadku bitcoina, jak i ethereum, podstawą działania jest blockchain rozproszona baza danych, w której kolejne pakiety transakcji (bloki) są dołączane do istniejącego łańcucha przez

uczestników sieci. Proces ten odbywa się bez centralnego nadzoru, a jego uczestnicy otrzymują wynagrodzenie za udział. Istotna różnica pojawia się w sposobie wyłaniania podmiotu odpowiedzialnego za dodanie nowego bloku. W systemie Proof of Work decydującą rolę odgrywa moc obliczeniowa, uczestnicy rywalizują, wykonując ogromną liczbę operacji, co przekłada się na bardzo wysokie zużycie energii. Natomiast w modelu Proof of Stake kluczowe znaczenie ma posiadany kapitał w postaci kryptowaluty zdeponowanej w sieci. W tym przypadku wybór uczestnika następuje na podstawie jego udziału, a nie zdolności obliczeniowych, co znacząco redukuje zapotrzebowanie na energię.

Celem niniejszego opracowania jest identyfikacja oraz analiza ekologicznych kryptoaktywów jako narzędzia wspierającego zrównoważony rozwój w gospodarce cyfrowej, ze szczególnym uwzględnieniem wpływu mechanizmu konsensusu Proof of Work na środowisko naturalne. Szczególna uwaga została poświęcona środowiskowym konsekwencjom funkcjonowania technologii blockchain, w tym zużyciu energii elektrycznej, emisji CO<sub>2</sub> oraz generowaniu odpadów elektronicznych. W opracowaniu uwzględniono również alternatywne mechanizmy konsensusu, jak Proof of Stake, analizując potencjał w ograniczaniu negatywnego wpływu kryptowalut na środowisko. Istotnym elementem analizy jest także ocena znaczenia ekologicznych kryptoaktywów w kontekście transformacji rynku finansowego zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju.

## 1. Teoretyczne podstawy prośrodowiskowych kryptoaktywów

Przedstawienie podstaw teoretycznych prośrodowiskowych kryptoaktywów jest zasadniczym punktem ze względu na określenie precyzyjnego zakresu badawczego. Prośrodowiskowe kryptoaktywa można zdefiniować jako te, które zachowują integralność blockchaina, jednocześnie będąc energooszczędnymi i redukując emisję dwutlenku węgla (Koemtzopoulos, Zournatzidou, Sariannidis 2025). Można je określać jako cyfrowe aktywa finansowe oparte na technologii rozproszonych rejestrów (DLT), których projekt oraz sposób funkcjonowania zostały ukierunkowane na ograniczenie negatywnego wpływu na środowisko naturalne, w szczególności poprzez redukcję zużycia energii elektrycznej, emisji dwutlenku węgla oraz ilości odpadów elektronicznych w porównaniu z tradycyjnymi kryptowalutami wykorzystującymi mechanizm konsensusu Proof of Work (Stoll, Klaaßen, Gellersdörfer 2019). Prośrodowiskowe kryptoaktywa są definiowane jako aktywa cyfrowe wykorzystujące energooszczędne mechanizmy konsensusu oraz rozwiązania ograniczające negatywny wpływ technologii blockchain na środowisko, w szczególności poprzez redukcję zużycia energii i emisji CO<sub>2</sub> (Ali i in. 2024). Celem prośrodowiskowych kryptoaktywów jest zmniejszenie śladu węglowego w procesie wydobywania i walidacji kryptowalut. Zielony blockchain oznacza wykorzystanie technologii blockchain w sposób zrównoważony ekologicznie, priorytetowo traktując redukcję emisji dwutlenku węgla i zużycia energii (Alzoubi, Mishra 2023). Kluczowym ele-

mentem prośrodowiskowych kryptoaktywów jest zastosowanie energooszczędnych mechanizmów konsensusu, jak Proof of Stake (PoS) lub odmiany hybrydowe, które nie wymagają intensywnego wykorzystania mocy obliczeniowej i specjalistycznego sprzętu górniczego, co znacząco obniża ich ślad węglowy (Saleh 2021). Ponadto prośrodowiskowe kryptoaktywa coraz częściej są projektowane w sposób umożliwiający integrację z koncepcją zrównoważonego rozwoju i standardami ESG, m.in. poprzez tokenizację projektów środowiskowych, kredytów węglowych lub finansowanie inicjatyw proklimatycznych, co wpisuje je w szerszy kontekst zielonych finansów w gospodarce cyfrowej (OECD 2022). Zrównoważony rozwój definiowany jest jako koncepcja zakładająca równoczesne uwzględnianie celów gospodarczych, społecznych i środowiskowych w procesie rozwoju, przy zachowaniu możliwości zaspokajania potrzeb przyszłych pokoleń (Misztal 2023). Z kolei ESG (Environmental, Social, Governance) oznacza zestaw kryteriów wykorzystywanych do oceny działalności przedsiębiorstw i inwestycji pod względem czynników środowiskowych, społecznych oraz ładu korporacyjnego, które mogą wpływać na ryzyko, stabilność oraz wyniki finansowe podmiotów gospodarczych (Oliver Yébenes 2024).

## 2. Metoda badawcza

Celem niniejszego opracowania jest identyfikacja oraz analiza prośrodowiskowych kryptoaktywów jako narzędzia wspierającego zrównoważony rozwój w gospodarce cyfrowej, ze szczególnym uwzględnieniem wpływu mechanizmu konsensusu Proof of Work na środowisko naturalne. W związku z charakterem badanego zagadnienia, obejmującego zarówno aspekty technologiczne, jak i ekonomiczne oraz regulacyjne, zastosowano podejście jakościowe, oparte na analizie wtórnych źródeł danych (*desk research*). Badanie ma charakter przeglądowo-analityczny i zostało przeprowadzone na podstawie analizy literatury przedmiotu oraz dostępnych źródeł wtórnych dotyczących środowiskowych konsekwencji funkcjonowania technologii blockchain i kryptowalut. Celem badania było uporządkowanie i syntetyczne przedstawienie najważniejszych aspektów wpływu mechanizmu Proof of Work (PoW) na środowisko oraz wskazanie alternatywnych rozwiązań technologicznych określanych jako bardziej energooszczędne i prośrodowiskowe.

Podstawową metodą badawczą, zastosowaną w artykule, była analiza literatury przedmiotu obejmująca artykuły naukowe publikowane w recenzowanych czasopiśmie międzynarodowych, raporty instytucji publicznych i organizacji międzynarodowych, dokumenty regulacyjne oraz analizy branżowe. Dobór literatury oparto na przeszukiwaniu baz danych Web of Science, Scopus oraz Google Scholar, z wykorzystaniem słów kluczowych: cryptocurrencies, blockchain, energy consumption, carbon footprint, Proof of Work, Proof of Stake oraz sustainable finance. W analizie uwzględniono publikacje z lat 2010–2025, co pozwoliło na przedstawienie zarówno początkowego etapu rozwoju kryptowalut, jak i najnowszych trendów technologicznych oraz regulacyjnych. Analiza została uporządkowana w pięciu głównych

obszarach badawczych dotyczących wpływu mechanizmu Proof of Work na środowisko i otoczenie społeczno-gospodarcze: zużycie zasobów naturalnych, zużycie energii elektrycznej, ślad węglowy, wpływ społeczny i ekonomiczny PoW oraz odpady elektroniczne. Poszczególne obszary analizowano na podstawie kryteriów obejmujących skalę wykorzystania energii i infrastruktury technicznej, poziom emisji CO<sub>2</sub>, wpływ na lokalne systemy energetyczne i koszty społeczne oraz stopień zużycia sprzętu wykorzystywanego w procesie miningu. Przyjęte kryteria umożliwiły syntetyczne porównanie środowiskowych konsekwencji funkcjonowania kryptowalut opartych na mechanizmie Proof of Work. Podział ten miał charakter porządkujący i służył syntetycznej prezentacji wyników badań dostępnych w literaturze. W ramach opracowania dokonano również ogólnego zestawienia mechanizmu Proof of Work z alternatywnymi mechanizmami konsensusu, jak Proof of Stake (PoS), przede wszystkim pod kątem deklarowanego poziomu energochłonności i potencjalnego wpływu środowiskowego. Porównanie to miało charakter opisowy i opierało się na danych prezentowanych w analizowanych źródłach.

### 3. Analiza wpływu PoW na środowisko

Mechanizm Proof of Work (PoW), stanowiący podstawę funkcjonowania pierwszej generacji kryptowalut, jest w literaturze przedmiotu uznawany za kluczowy czynnik determinujący środowiskowe konsekwencje rozwoju technologii blockchain. Blockchain jako technologia może potencjalnie wspierać realizację celów zrównoważonego rozwoju, to sieci oparte na PoW generują ogromne zużycie energii (Kouhizadeh, Sarkis 2018). Zgodnie z przyjętą metodyką badawczą analiza wpływu PoW została przeprowadzona w ujęciu przeglądowo-analitycznym poprzez identyfikację, agregację i grupowanie wyników badań empirycznych oraz analiz raportowych w pięciu obszarach oddziaływania środowiskowego. Brak scentralizowanego, zaufanego organu oznacza, że blockchain potrzebuje „mechanizmu konsensusu”, aby zapewnić zaufanie w całej sieci. W przypadku bitcoina konsensus osiąga się metodą zwaną Proof-of-Work, w której komputery w sieci – „górnicy” konkurują ze sobą, aby rozwiązać złożoną łamigłówkę matematyczną. Każda próba rozwiązania przez górnika nazywana jest „hashem”, a liczba prób podejmowanych przez górnika w ciągu sekundy jego „hashrate”. Po rozwiązaniu łamigłówki, najnowszy „blok” transakcji jest zatwierdzany i dodawany do „łańcucha” transakcji. Górnik, który pierwszy rozwiąże łamigłówkę, zostaje nagrodzony nowymi bitcoinami i opłatami transakcyjnymi w sieci. Zużycie energii przez sieć bitcoin jest zatem zarówno zabezpieczeniem, jak i efektem ubocznym polegania na stale rosnącej mocy obliczeniowej konkurujących górników w celu walidacji transakcji za pośrednictwem PoW (IEA 2019).

### 3.1. Zużycie zasobów naturalnych

Mechanizm PoW wymaga ciągłego zwiększania mocy obliczeniowej sieci, co prowadzi do intensywnego wykorzystania zasobów naturalnych, w szczególności surowców energetycznych. Wysoka energochłonność PoW sprzyja eksploatacji paliw kopalnych, zwłaszcza w regionach, w których energia elektryczna jest tania, lecz wysokoemisyjna (Truby 2018). Systematyczny przegląd literatury dotyczącej blockchaina podkreśla, że PoW jest przykładem technologii, w której efektywność ekonomiczna jest osiągana kosztem nadmiernego wykorzystania zasobów środowiskowych, co stoi w sprzeczności z zasadami gospodarki niskoemisyjnej (Kouhizadeh, Sarkis 2018).

Dodatkowe badania wskazują, że intensywne wykorzystanie zasobów w modelu PoW nie ogranicza się wyłącznie do energii, lecz obejmuje również zasoby materiałowe niezbędne do produkcji infrastruktury wydobywczej. Cykl życia sprzętu górniczego wiąże się z istotnym zapotrzebowaniem na metale ziem rzadkich oraz półprzewodniki, których wydobycie generuje znaczne obciążenia środowiskowe (Jones, Goodkind, Berrens 2022). PoW jako mechanizm konsensusu nie ma wbudowanych bodźców do optymalizacji wykorzystania zasobów, co odróżnia go od nowszych rozwiązań projektowanych w duchu efektywności środowiskowej. W konsekwencji PoW utrwała model intensywnej eksploatacji zasobów naturalnych charakterystyczny dla tradycyjnych sektorów energochłonnych (Sedlmeir i in. 2020).

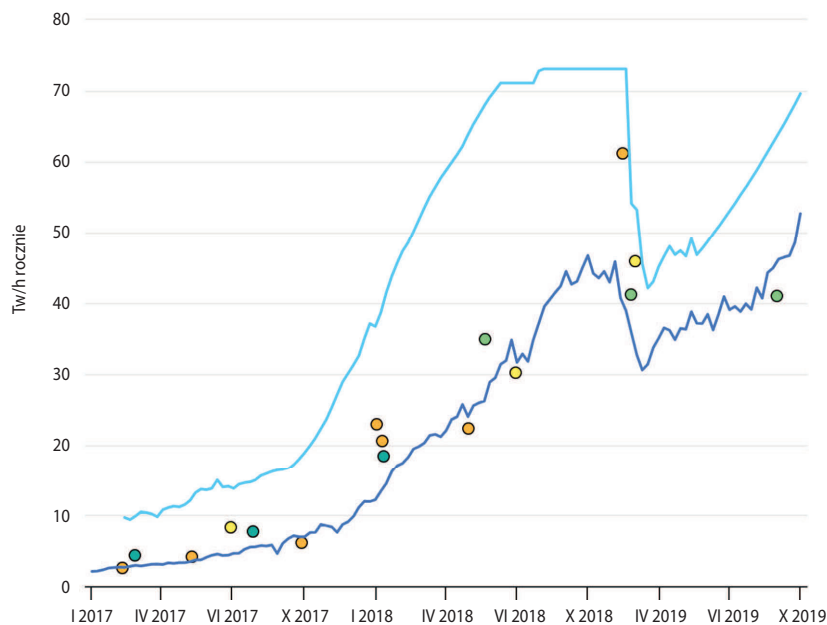
### 3.2. Zużycie energii elektrycznej

Zużycie energii elektrycznej przez sieci PoW jest jednym z najlepiej udokumentowanych aspektów ich oddziaływania środowiskowego. Zapotrzebowanie energetyczne Bitcoina nie jest powiązane z liczbą przetwarzanych transakcji, ale z poziomem trudności wydobycia i konkurencyjnym charakterem mechanizmu konsensusu (de Vries 2018). Dane Cambridge Centre for Alternative Finance wskazują, że roczne zużycie energii przez sieć Bitcoin jest porównywalne z konsumpcją energii przez średniej wielkości państwa, co czyni PoW jednym z najbardziej energochłonnych systemów cyfrowych na świecie (Blandin i in. 2020). Analizy energetyczne wskazują, że zużycie energii przez sieci PoW charakteryzuje się wysoką zmiennością, lecz długoterminowym trendem wzrostowym, powiązany z ceną kryptowalut i opłacalnością wydobycia (Hayes 2017). Badania z 2023 roku wykazały zużycie energii przy wydobywaniu kryptowalut wynoszące około 0,5% globalnego zużycia energii elektrycznej. Zużycie energii elektrycznej przez Bitcoina różni się w zależności od badania, przyjętej metodologii, a większość badań opiera się na niedoszacowaniu ceny energii elektrycznej, zużycie energii elektrycznej mieści się w przedziale od 37,7 TWh do 141,72 TWh, co jest wartością porównywalną z rocznym zapotrzebowaniem na energię niektórych średnich krajów europejskich (Laimon i in. 2025). Jedna transakcja na rynku finansowym, z wykorzystaniem kryptoaktywów typu Bitcoin, zużywa

około 1100 kWh, a Ethereum zużywa ponad 80 kWh. Przełomem w optymalizacji zużycia energii elektrycznej jest model Proof of Stake. Należy zaznaczyć, że udział odnawialnych źródeł energii wykorzystywanej do pozyskiwania kryptoaktywów wzrasta w ostatnich latach o 60% w kopaniu Bitcoina (CIRE.PL 2022).

Wydobycie kryptowalut ma wpływ pozytywny i negatywny na środowisko, efekt substytucyjny należy do pozytywnych skutków, kryptoaktywa mogą zastępować waluty i systemy finansowe, co obniża koszty transakcyjne, potrzeby transportowe oraz może przyczynić się do zwiększonych inwestycji w krajach biedniejszych. Efekt produkcyjny jest powiązany z procesem wydobywania kryptowalut, który wymaga znacznego zużycia energii, pochodzącej w większości z paliw kopalnych, co powoduje wzrost emisji CO<sub>2</sub>. Wydobycie kryptoaktywów wymaga energii, jak energia elektryczna, co negatywnie wpływa na środowisko. Jednak po wydobyciu kryptowaluty mogą zastąpić tradycyjne narzędzia finansowe w transakcjach, co prowadzi do pozytywnego wpływu na środowisko. Aby zmaksymalizować pozytywny wpływ kryptoaktywów na środowisko, niezbędne jest wdrożenie energooszczędnych technologii wydobywczych i zaostrzenie przepisów (Bashari i in. 2025).

**Rysunek 1. Szacunki zużycia energii przez Bitcoin**



Źródło: IEA, Bitcoin energy use estimates, IEA, Paris 2020, <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/bitcoin-energy-use-estimates>, Licence: CC BY 4.0

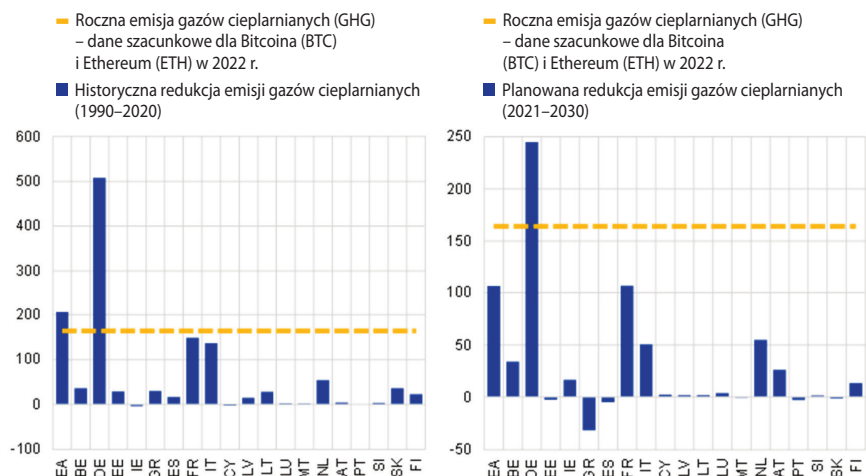
Wykres przedstawia opublikowane w latach 2017–2019 szacunki rocznego zużycia energii elektrycznej przez sieć Bitcoin, wyrażone w terawatogodzinach na rok (TWh/rok). Zaprezentowano dwa zakresy oszacowań (linia jasnoniebieska i ciemnoniebieska), które odzwierciedlają odpowiednio górne i dolne granice zużycia energii wynikające z różnych metod szacowania. Dodatkowo na wykresie zaznaczono wyniki wybranych badań naukowych i analiz (kolorowe punkty), opublikowanych przez różnych autorów. W analizowanym okresie obserwuje się wyraźny wzrost szacowanego zużycia energii przez sieć Bitcoin. Dolna granica wzrosła z około 2 TWh/rok na początku 2017 r. do ponad 50 TWh/rok w połowie 2019 r., natomiast górna granica zwiększyła się z około 10 TWh/rok do około 70 TWh/rok. Największy wzrost odnotowano w 2018 r., co było związane z dynamicznym wzrostem mocy obliczeniowej (hashrate) sieci oraz rosnącym zainteresowaniem wydobywaniem kryptowaluty. Na przełomie 2018 i 2019 r. widoczny jest przejściowy spadek obu szacunków, po którym ponownie następuje stopniowy wzrost. Różnice pomiędzy poszczególnymi punktami pomiarowymi wynikają z odmiennych metodologii stosowanych przez autorów analiz.

### 3.3. Ślad węglowy i emisje CO<sub>2</sub>

Wysokie zużycie energii elektrycznej w sieciach PoW przekłada się bezpośrednio na znaczne emisje gazów cieplarnianych. Ślad węglowy Bitcoina jest silnie uzależniony od regionalnego miks energetycznego, a dominacja źródeł kopalnych prowadzi do istotnych emisji CO<sub>2</sub> (Stoll, Klaaßen, Gellersdörfer 2019). Dalszy rozwój kryptowalut opartych na PoW może utrudnić realizację globalnych celów klimatycznych, jeśli nie zostaną wdrożone zmiany technologiczne lub regulacyjne (Mora i in. 2018). Nowsze modele szacowania emisji wskazują, że ślad węglowy PoW jest często niedoszacowany, ponieważ wiele analiz nie uwzględnia pośrednich emisji związanych z produkcją sprzętu oraz infrastrukturą chłodzenia centrów wydobywczych. Roczna globalna emisja dwutlenku węgla przez Bitcoina mieści się w przedziale od 22,0 do 22,9 MtCO<sub>2</sub>, to porównywalny poziom emisji dwutlenku węgla przez Jordanię i Sri Lankę. Przybliżony ślad węglowy Bitcoina przedstawia globalny problem i potrzebę podjęcia kwestii zewnętrznych efektów środowiskowych (Stoll, Klaaßen, Gellersdörfer 2019).

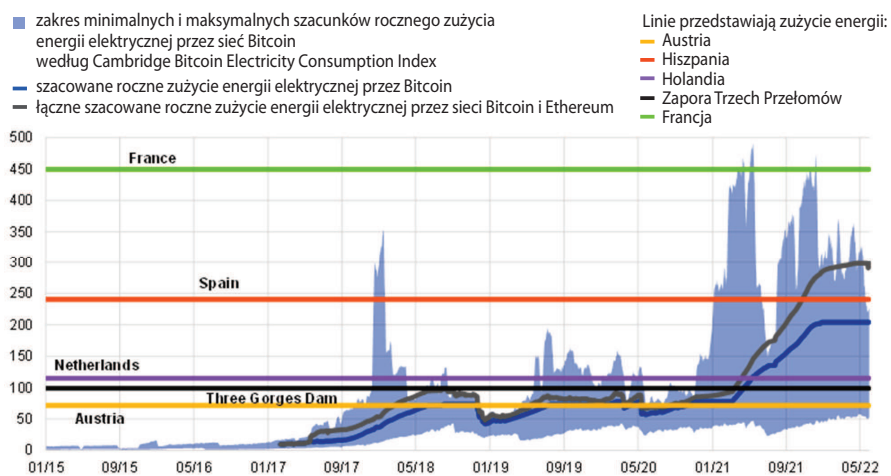
Od lipca 2021 roku do stycznia 2022 roku zużycie energii przez kryptoaktywa wzrosło o blisko 67%, Bitcoin odpowiada za około 60% całkowitego zużycia energii przez kryptowaluty. Udział odnawialnych źródeł energii w wydobywaniu Bitcoina zmniejszył się z 41,6% do 25,1% przez represje na chińskie kopalnie, które wykorzystywały energię wodną. Przeniesienie kopalni do USA i Kazachstanu zwiększyło emisję dwutlenku węgla z 478,27 gCO<sub>2</sub>/kWh w 2020 r. do 557,76 gCO<sub>2</sub>/kWh w 2021 r. przy zużyciu energii opartej na gazie lub energii elektrycznej uzyskiwanej z węgla (Sarkodie i in. 2024).

**Rysunek 2. Roczne emisje gazów cieplarnianych BTC i ETH w porównaniu z poprzednimi oszczędnościami emisji gazów cieplarnianych oraz z docelowymi oszczędnościami emisji gazów cieplarnianych**



Źródło: I. Gschossmann, A. van der Kraaij & Benoit, B. Pierre-Loïc, E. Rocher, *Mining the environment – is climate risk priced into crypto-assets?*, „Macroeprudential Bulletin, European Central Bank”, vol. 18, 2022.

**Rysunek 3. Szacunkowe roczne zużycie energii elektrycznej przez globalny bitcoin (BTC) i etherum (ETH) w porównaniu z wybranymi krajami**



Źródło: I. Gschossmann, A. van der Kraaij & Benoit, B. Pierre-Loïc, E. Rocher, *Mining the environment – is climate risk priced into crypto-assets?*, „Macroeprudential Bulletin, European Central Bank”, vol. 18, 2022.

Dane na powyższych wykresach wskazują na znaczne emisje dwutlenku węgla na poziomie większości państw Unii Europejskiej w 2020 roku. Natomiast szacunkowe dane za okres 2021–2030, za które można odnotować spadek emisji CO<sub>2</sub> przez niektóre państwa. Udział emisji dwutlenku węgla przez sektor blockchain będzie nadal znacznie większy niż 19 państw UE, co powinno stanowić kierunek zmian legislacyjnych na forach OECD. Szacunki śladu węglowego bitcoina i etherum pokazują ponadto, że ich łączna roczna emisja z maja 2022 r. niweluje dotychczasowe i docelowe oszczędności w zakresie emisji gazów cieplarnianych (GHG) w większości krajów strefy euro. Zużycie energii elektrycznej jest także wysokie, zużywając tyle energii co niektóre państwa, jak Francja, Hiszpania czy Holandia.

### 3.4. Wpływ społeczny i ekonomiczny PoW

Oddziaływanie PoW na środowisko ma również wymiar społeczny i ekonomiczny. W regionach koncentracji kopalń kryptowalut obserwuje się wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną, co może prowadzić do wzrostu cen energii dla lokalnych społeczności i przedsiębiorstw (de Vries 2018). Koszty środowiskowe PoW mają charakter kosztów zewnętrznych, które nie są internalizowane w cenach kryptowalut. Z perspektywy ekonomii środowiska prowadzi to do nieefektywnej alokacji zasobów i sprzyja utrwalaniu modeli biznesowych sprzecznych z koncepcją zrównoważonego rozwoju (Truby 2018). Negatywne efekty środowiskowe PoW wpływają także na społeczną percepcję technologii blockchain, obniżając poziom zaufania do jej zastosowań w sektorze publicznym i finansowym (Kouhizadeh, Sarkis 2018). Z perspektywy społecznej wskazuje się, że państwa objęte sankcjami, jak Iran czy Rosja, mogą wykorzystywać wydobywanie kryptowalut w szczególności bitcoina jako sposób na omijanie ograniczeń gospodarczych nakładanych w celu zwiększenia bezpieczeństwa międzynarodowego. Jednocześnie intensywne wydobywanie wiąże się z dużym obciążeniem systemów energetycznych, co może prowadzić do destabilizacji sieci elektroenergetycznych i przerw w dostawach prądu, czego przykłady odnotowano m.in. w Teheranie i Suchumi. Choć udział nielegalnych działań w całkowitym wolumenie transakcji bitcoinowych pozostaje relatywnie niewielki, około 0,3% w 2020 roku, kryptowaluty nadal są wykorzystywane w takich procedurach, jak pranie pieniędzy czy cyberprzestępczość, w tym ataki ransomware. Istnieją również doniesienia o ich potencjalnym powiązaniu z finansowaniem działalności terrorystycznej. Dodatkowe kontrowersje budzi kwestia zaplecza energetycznego wydobywania – wskazuje się na wykorzystanie energii pochodzącej z regionów, gdzie istnieje ryzyko naruszeń praw człowieka, np. w kontekście pracy przymusowej (Sapra, Shaikh, Dash 2023).

### 3.5. Odpady elektroniczne

Istotnym, ale relatywnie rzadziej analizowanym aspektem wpływu PoW na środowisko, jest problem odpadów elektronicznych. Specjalistyczny sprzęt górniczy (ASIC) charakteryzuje się krótkim cyklem życia, co prowadzi do generowania znacznych ilości e-odpadów (Stoll, Klaaßen, Gellersdörfer 2019). Sprzęt górniczy po średnio 1,2 roku staje się bezużyteczny, podobnie do wentylatorów pozostawianych w kopalniach, przybliżona wartość pozostawionych odpadów to 5,1 miliona (Hossain, Steigner 2024). Odpady te są często trudne do recyklingu i mogą stanowić dodatkowe źródło zanieczyszczeń środowiskowych, szczególnie w krajach o słabo rozwiniętych systemach gospodarki odpadami (OECD 2020). Zgodnie z badaniem z 2021 roku roczna ilość odpadów elektronicznych pochodzących z Bitcoina wynosi 30,7 kiloton. Elektrośmieci są zagrożeniem dla środowiska na każdej płaszczyźnie, począwszy od zanieczyszczeń gleby po skażenie powietrza i wody.

#### 3.5.1. Analiza wybranych kryptowalut opartych na mechanizmie Proof of Work pod względem wpływu środowiskowego

W niniejszej części opracowania dokonano zestawienia wybranych kryptoaktywów wykorzystujących mechanizm Proof of Work w celu ukazania ich zróżnicowanego wpływu na środowisko. Analiza obejmuje projekty o różnej skali popularności i stopniu wykorzystania zasobów obliczeniowych. Zestawienie pozwala uchwycić kluczowe różnice pomiędzy poszczególnymi kryptowalutami w zakresie ich oddziaływania środowiskowego. Tabela 1 przedstawia syntetyczne porównanie wybranych kryptowalut opartych na mechanizmie Proof of Work pod względem ich wpływu środowiskowego.

Przeprowadzona analiza wskazuje, że kryptoaktywa wykorzystujące mechanizm Proof of Work cechują się wysokim poziomem energochłonności oraz znaczącym oddziaływaniem środowiskowym. Największe obciążenie generuje Bitcoin, którego funkcjonowanie wiąże się z bardzo wysokim zużyciem energii elektrycznej, znaczną emisją CO<sub>2</sub> oraz dużą ilością odpadów elektronicznych wynikających z szybkiej dezaktualizacji sprzętu ASIC. Podobne tendencje są obserwowane również w przypadku Litecoin, Bitcoin Cash czy Ethereum Classic, które kontynuują model oparty na energochłonnym procesie miningu. Analiza pokazuje również, że rozwój rynku kryptowalut może wpływać na wzrost presji na lokalne systemy energetyczne oraz zwiększenie kosztów energii w regionach o wysokiej koncentracji kopalni kryptoaktywów. Uzyskane wyniki potwierdzają, że mechanizm Proof of Work pozostaje jednym z najbardziej problematycznych środowiskowo rozwiązań stosowanych w technologii blockchain, co wzmacnia znaczenie takich alternatywnych mechanizmów konsensusu, jak Proof of Stake.

**Tabela 1. Analiza wybranych kryptoaktywów opartych na mechanizmie Proof of Work pod względem wpływu środowiskowego**

Kryptoaktywo	Zużycie zasobów naturalnych	Zużycie energii elektrycznej	Ślad węglowy	Wpływ społeczno-ekonomiczny	Odpady elektroniczne
Bitcoin (BTC)	Bardzo wysokie intensywne wykorzystanie sprzętu ASIC i infrastruktury chłodzącej	Bardzo wysokie	Bardzo wysoki	Wzrost kosztów energii i presja na lokalne systemy energetyczne	Bardzo wysokie, szybka dezaktualizacja sprzętu miningowego
Ethereum (przed Ethereum Merge)	Wysokie	Wysokie	Wysoki	Rozwój rynku DeFi przy dużej energochłonności sieci	Wysokie
Litecoin (LTC)	Wysokie	Wysokie	Wysoki	Wzrost zapotrzebowania na energię w procesie miningu	Wysokie
Monero (XMR)	Wysokie – mining oparty na GPU/CPU	Wysokie	Wysoki	Większa anonimowość transakcji przy wysokich kosztach energetycznych	Znaczne
Dogecoin (DOGE)	Wysokie	Wysokie	Wysoki	Popularność spekulacyjna generująca wzrost aktywności miningowej	Wysokie
Bitcoin Cash (BCH)	Bardzo wysokie	Bardzo wysokie	Bardzo wysoki	Kontynuacja modelu PoW o dużym obciążeniu środowiskowym	Bardzo wysokie
Ethereum Classic (ETC)	Wysokie	Wysokie	Wysoki	Utrzymanie energochłonnego modelu PoW po zmianie Ethereum na PoS	Wysokie

Źródło: opracowanie własne.

## 4. Ekologiczne kryptoaktywa – rozwiązania technologiczne i ekonomiczne

Prośrodowiskowe kryptoaktywa stanowią odpowiedź na strukturalne ograniczenia środowiskowe kryptowalut opartych na mechanizmie Proof of Work i są coraz częściej analizowane w literaturze jako element transformacji gospodarki cyfrowej w kierunku zgodności z koncepcją zrównoważonego rozwoju. W ujęciu naukowym termin ten odnosi się do cyfrowych aktywów finansowych wykorzystujących energooszczędne mechanizmy konsensusu, zintegrowanych z odnawialnymi źródłami energii lub powiązanych z rynkami środowiskowymi, jak handel emisjami CO<sub>2</sub> (Keskin 2022).

Podstawowym rozwiązaniem technologicznym leżącym u podstaw ekologicznych kryptoaktywów jest zastąpienie energochłonnych algorytmów PoW mechanizmami konsensusu o niskim zapotrzebowaniu energetycznym. Badania porównawcze wskazują, że algorytmy Proof of Stake, Delegated Proof of Stake oraz mechanizmy BFT charakteryzują się znacząco niższym zużyciem energii przy zachowaniu funkcjonalności sieci rozproszonych (Rot, Zygała 2018). Stablecoiny na modelu PoS opierają się na walidatorach wybieranych na podstawie liczby posiadanych lub delegowanych tokenów, zmniejsza to zużycie energii przy weryfikacji transakcji (Koemtzopoulos, Zournatzidou, Sariannidis 2025).

Analiza konkretnych projektów ekologicznych kryptoaktywów pozwala zilustrować, w jaki sposób innowacje technologiczne i ekonomiczne przekładają się na realny wpływ na środowisko i rynki energetyczne. Bitcoin Minetrix jest przykładem systemu tokenizowanego wydobycia, który umożliwia użytkownikom inwestowanie w moc obliczeniową, bez konieczności posiadania własnego sprzętu. Dzięki centralizacji wydobycia i wykorzystaniu nowoczesnych centrów danych, projekt ten ogranicza nieefektywne zużycie energii i umożliwia bardziej kontrolowaną emisję CO<sub>2</sub> (CIRE. PL 2022). eTukTuk integruje blockchain z sektorem mobilności elektrycznej, tokenizując infrastrukturę ładowania pojazdów elektrycznych i wspierając zdecentralizowany handel energią. System ten pozwala na śledzenie i rozliczanie energii pochodzącej z odnawialnych źródeł, zwiększając transparentność rynku i umożliwiając finansowanie projektów niskoemisyjnych (ZBIAM 2023). Cardano (ADA) wykorzystuje mechanizm Proof of Stake (PoS), który redukuje zużycie energii nawet o 99% w porównaniu do tradycyjnego Proof of Work, co zostało potwierdzone w raportach branżowych dotyczących zużycia energii kryptowalut (Bankier.pl 2024). Dzięki PoS, Cardano umożliwia tworzenie zrównoważonych aplikacji finansowych i energetycznych, w tym tokenizacji projektów OZE, bez dużego obciążenia środowiskowego. Solarcoin (SLR) jest bezpośrednio powiązana z produkcją energii słonecznej. Każdy token jest przyznawany za wyprodukowaną jednostkę energii z paneli fotowoltaicznych, co tworzy ekonomiczny bodziec do inwestowania w OZE. Badania wykazują, że Solarcoin zwiększa motywację do produkcji energii słonecznej i poprawia efektywność inwestycji w fotowoltaikę w regionach rozwijających się (Thanasi-Boçe, Hoxha 2025). Nano (XNO) stosuje strukturę *block-lattice*, elimi-

nując potrzebę energochłonnych procesów konsensusu. Dzięki temu transakcje są niemal bezkosztowe energetycznie, co sprawia, że Nano jest przykładem kryptowaluty bardzo przyjaznej środowisku, szczególnie w systemach płatności cyfrowych (Business Insider 2026). Algorand (ALGO) łączy Pure Proof of Stake z kompensacją emisji CO<sub>2</sub>, osiągając neutralność węglową sieci. Mechanizmy te pozwalają nie tylko na minimalizację zużycia energii, ale także wspierają realizację projektów zgodnych z kryteriami ESG poprzez automatyczne raportowanie wpływu środowiskowego (Iberdrola 2024). BitGreen (BITG) w modelu hybrydowym łączy funkcje środka wymiany z bezpośrednim finansowaniem inicjatyw proekologicznych. Część opłat transakcyjnych przeznaczana jest na projekty związane z ochroną środowiska i transformacją energetyczną, co umożliwi inwestorom wnoszenie realnego wkładu ekologicznego poprzez codzienne korzystanie z sieci (Money.pl 2022).

W celu zobrazowania zróżnicowania ekologicznych kryptoaktywów dokonano analizy wybranych projektów wykorzystujących alternatywne mechanizmy konsensusu oraz rozwiązania ograniczające energochłonność technologii blockchain. Do analizy wybrano kryptoaktywa reprezentujące różne podejścia do problematyki zrównoważonego rozwoju, obejmujące zarówno energooszczędne mechanizmy funkcjonowania sieci, jak i projekty wspierające działania środowiskowe. Kryteriami porównania były przede wszystkim mechanizm konsensusu, poziom zużycia energii oraz charakterystyka efektywności energetycznej poszczególnych projektów.

Analiza porównawcza wskazuje, że większość badanych projektów opiera się na mechanizmach konsensusu typu Proof of Stake lub ich odmianach, które cechują się istotnie niższym zużyciem energii niż tradycyjny mechanizm Proof of Work. Szczególnie wysoką efektywnością energetyczną wyróżniają się projekty Cardano, Nano oraz Algorand, które eliminują potrzebę energochłonnego procesu miningu. Z kolei takie projekty, jak SolarCoin, BitGreen czy eTukTuk, łączą funkcje technologiczne z realizacją określonych celów środowiskowych, wspierając rozwój odnawialnych źródeł energii, elektromobilności oraz inicjatyw zgodnych z koncepcją zrównoważonego rozwoju. Przeprowadzona analiza stanowi element wkładu własnego opracowania poprzez syntetyczne zestawienie i porównanie wybranych ekologicznych kryptoaktywów pod kątem ich efektywności energetycznej oraz potencjalnego wpływu na realizację założeń zrównoważonego rozwoju.

**Tabela 2. Porównanie wybranych ekologicznych kryptoaktywów pod względem mechanizmu konsensusu oraz wpływu środowiskowego**

Kryptoaktywo	Mechanizm konsensusu	Szacunkowe zużycie energii	Charakterystyka efektywności energetycznej	Potencjalne ograniczenia
Bitcoin Minetrix	Stake-to-Mine / PoS	Niskie w porównaniu z klasycznym PoW	Ograniczenie potrzeby tradycyjnego miningu sprzę- towego	Projekt we wczesnej fazie rozwoju
eTukTuk	Proof of Stake	Niskie	Integracja blockchain z elektromobilnością i ni- skoemisyjnym transportem	Ograniczona skala wdrożeń
Cardano (ADA)	Proof of Stake	Bardzo niskie	Energooszczędny mecha- nizm Ouroboros	Mniejsza decentra- lizacja niż PoW
SolarCoin (SLR)	Proof of Stake	Niskie	Wsparcie produkcji energii słonecznej poprzez system nagród	Niewielka popular- ność projektu
Nano (XNO)	Open Representative Voting	Bardzo niskie	Brak energochłonnego miningu	Ograniczona adopcja rynkowa

Źródło: opracowanie własne.

## 5. Znaczenie ekologicznych kryptoaktywów dla rynku finansowego

Rozwój ekologicznych kryptoaktywów wpływa na rynek finansowy w sposób pośredni, lecz wielowymiarowy, oddziałując również na segment giełdowy związany z energetyką, w szczególności z energią odnawialną. Mechanizm tego oddziaływania nie ma charakteru jednorodnego, lecz przebiega poprzez kilka współzależnych kanałów, które odzwierciedlają rosnącą integrację finansów cyfrowych z transformacją energetyczną oraz rynkami kapitałowymi. Jednym z kluczowych kanałów oddziaływania ekologicznych kryptoaktywów jest ich rola jako alternatywnego źródła finansowania projektów związanych z energią odnawialną. Tokenizacja aktywów energetycznych oraz wykorzystanie blockchaina umożliwiają bezpośrednie pozyskiwanie kapitału na realizację inwestycji w odnawialne źródła energii, z pominięciem tradycyjnych instytucji pośredniczących. Literatura wskazuje, że zdecentralizowane modele finansowania mogą obniżać koszty transakcyjne, skracać czas pozyskiwania kapitału oraz zwiększać dostępność inwestycji dla szerszego grona inwestorów, w tym inwestorów detalicznych (Rot, Zygała 2018). W dłuższej perspektywie zwią-

szony napływ kapitału do sektora OZE może pozytywnie wpływać na wyceny spółek energetycznych notowanych na giełdach, wzmacniając ich pozycję rynkową.

Drugim istotnym mechanizmem jest funkcja sygnalizacyjna ekologicznych kryptoaktywów. Rosnące zainteresowanie inwestorów aktywami cyfrowymi o niskim śladzie środowiskowym może być interpretowane jako sygnał zmieniających się preferencji rynkowych oraz wzrostu znaczenia kryteriów środowiskowych ESG w decyzjach inwestycyjnych. W literaturze finansowej podkreśla się, że popyt na aktywa zgodne z kryteriami ESG wpływa na strukturę portfeli inwestycyjnych oraz alokację kapitału w gospodarce (Berg, Kölbl, Rigobon 2022). W tym kontekście ekologiczne kryptoaktywa mogą pośrednio wzmacniać zainteresowanie akcjami spółek z sektora energii odnawialnej, zwiększając ich płynność i stabilność notowań giełdowych.

Kolejnym aspektem oddziaływania kryptoaktywów o ograniczonym wpływie środowiskowym na rynek finansowy jest ich wpływ na świadomość inwestorów i przedsiębiorstw w zakresie zrównoważonego rozwoju. Integracja technologii blockchain z rynkami energii oraz finansów sprzyja upowszechnianiu informacji o wpływie działalności gospodarczej na środowisko, co z kolei może prowadzić do zmiany strategii inwestycyjnych. Coraz częściej decyzje kapitałowe uwzględniają nie tylko tradycyjne wskaźniki finansowe, lecz również kryteria środowiskowe, społeczne i ładu korporacyjnego (ESG), które stają się integralnym elementem wyceny przedsiębiorstw (Zetsche i in. 2020).

## Podsumowanie

Rozwój technologii blockchain i kryptoaktywów stawia współczesną gospodarkę cyfrową przed wyzwaniem środowiskowymi, przede wszystkim związanymi z wysokim zużyciem energii i emisją gazów cieplarnianych w tradycyjnych mechanizmach konsensusu typu Proof of Work. Analiza przeprowadzona w artykule wskazuje, że wpływ PoW obejmuje nie tylko energochłonność, ale również kwestie społeczne, ekonomiczne i regulacyjne, co podkreśla potrzebę poszukiwania bardziej zrównoważonych rozwiązań technologicznych. Kryptoaktywa o ograniczonym wpływie środowiskowym stanowią jedną z możliwych odpowiedzi na te wyzwania. Wykorzystują one mechanizmy konsensusu o niższej energochłonności, jak Proof of Stake, Pure Proof of Stake czy modele hybrydowe, a część projektów integruje również funkcje związane ze wspieraniem inicjatyw środowiskowych i odnawialnych źródeł energii.

Analiza wybranych projektów, jak Cardano, SolarCoin, Algorand, Nano, BitGreen, Bitcoin Minetrix czy eTukTuk, sugeruje, że kryptoaktywa o ograniczonym wpływie środowiskowym mogą przyczynić się do redukcji zużycia energii w porównaniu z tradycyjnymi rozwiązaniami opartymi na PoW. Jednocześnie część projektów deklaruje wspieranie działań związanych z transformacją energetyczną i finansowaniem inicjatyw niskoemisyjnych. Należy jednak podkreślić, że rzeczywista skala

tego wpływu pozostaje trudna do jednoznacznej oceny ze względu na ograniczoną dostępność porównywalnych danych oraz dynamiczny rozwój rynku kryptowalut.

W literaturze wskazuje się również, że rozwój kryptoaktywów o ograniczonym wpływie środowiskowym może potencjalnie zwiększać zainteresowanie inwestycjami uwzględniającymi kryteria ESG oraz wspierać rozwój rynku zielonych finansów. Technologia blockchain może także sprzyjać zwiększeniu transparentności transakcji oraz rozwojowi nowych modeli finansowania projektów środowiskowych. Jednocześnie rozwój tego segmentu rynku napotyka liczne ograniczenia, w tym brak jednolitych standardów raportowania wpływu środowiskowego, ryzyko greenwashingu, niedojrzałość części rozwiązań technologicznych oraz zróżnicowanie regulacyjne na poziomie międzynarodowym. W związku z tym konieczne są dalsze badania nad rzeczywistym wpływem kryptoaktywów o ograniczonym wpływie środowiskowym na środowisko, ich efektywnością ekonomiczną oraz możliwościami integracji z polityką klimatyczną i instrumentami finansowymi zgodnymi z kryteriami ESG.

## Bibliografia

- Ali F., Khurram M.U., Sensoy A., Vo X.V. (2024), *Green cryptocurrencies and portfolio diversification in the era of greener paths*, „Renewable and Sustainable Energy Reviews”, vol. 191, 114137. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.114137>
- Alzoubi Y.I., Mishra A. (2023), *Green Blockchain – A Move Towards Sustainability*, „Journal of Cleaner Production”, Volume 430, 139541. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139541>
- Bashari M., Doostkouei S.G., Fathabadi M., Soufimajidpour M. (2025), *The environmental cost of cryptocurrency: Analyzing CO2 emissions in the 9 leading mining countries*, „Sustainable Futures”, Volume 10, 100792. <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2025.100792>
- Bankier.pl (2024), *Ekologiczne kryptowaluty przejmują rynek? Analiza*, 29.02.2024, <https://www.bankier.pl/wiadomosc/Ekologiczne-kryptowaluty-przejmuja-rynek-Analiza-8703534.html> (dostęp: 20.03.2026).
- Berg F., Kölbl J.F., Rigobon R. (2022), *Aggregate Confusion: The Divergence of ESG Ratings*, „Review of Finance”, Volume 26, Issue 6. <https://doi.org/10.1093/rof/rfac033>
- Blandin A., Pieters G., Wu Y., Eisermann T., Dek A., Taylor S., Nijoki D. (2020), *3 RD Global Cryptoasset Benchmarking Study*, „Cambridge Centre for Alternative Finance, University of Cambridge Judge Business School”.
- Business Insider (2026), *Ekologiczne kryptowaluty 2026: najlepsze zrównoważone tokeny*, 26.02.2026, <https://businessinsider.com.pl/kryptowaluty/ekologiczne-kryptowaluty> (dostęp: 20.03.2026).
- CIRE.PL (2022), *Ile energii elektrycznej zużywają kryptowaluty?* 11.05.2022 <https://www.cire.pl/artykuly/serwis-informacyjny-cire-24/ile-energii-elektrycznej-zuzywaja-kryptowaluty> (dostęp: 20.03.2026).

- de Vries A. (2018), *Bitcoin's Growing Energy Problem*, „Joule”, Volume 2, Issue 5. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2018.04.016>
- Gschossmann I., van der Kraaij A., Benoit P.-L., Rocher E. (2022). *Mining the environment – is climate risk priced into crypto-assets?*, „Macprudential Bulletin, European Central Bank”, vol. 18.
- Hayes A.S. (2017), *Cryptocurrency value formation: An empirical study leading to a cost of production model for valuing bitcoin*, „Telematics and Informatics”, Volume 34, Issue 7. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2016.05.005>
- Hossain M.I., Steigner T. (2024), *Balancing Innovation and Sustainability: Addressing the Environmental Impact of Bitcoin Mining*, „Computers and Society”.
- Iberdrola (2024), *what are green cryptocurrencies and why are they important?*, <https://www.iberdrola.com/sustainability/green-cryptocurrencies> (dostęp: 20.03.2026).
- IEA, *Bitcoin energy use – mined the gap*, 04.07.2019 <https://www.iea.org/commentaries/bitcoin-energy-use-mined-the-gap> (dostęp: 20.03.2026).
- IEA, *Bitcoin energy use estimates*, IEA, Paris 2020, <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/bitcoin-energy-use-estimates>, Licence: CC BY 4.0.
- Jones B.A., Goodkind A.L., Berrens R.P. (2022), *Economic estimation of Bitcoin mining's climate damages demonstrates closer resemblance to digital crude than digital gold*, „Sci Rep”, 12, 14512. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18686-8>
- Keskin M. (2022), *Comparative Assessment of Eco-Friendly and Highest Trading Cryptocurrencies*, „American International Journal of Business Management”, Volume 5, Issue 07, 2022, ISSN-2379-106X.
- Koemtzopoulos D., Zournatzidou G., Sariannidis N. (2025), *Can Cryptocurrencies Be Green? The Role of Stablecoins Toward a Carbon Footprint and Sustainable Ecosystem*, „Sustainability”, 17, 483. <https://doi.org/10.3390/su17020483>
- Kouhizadeh M., Sarkis J. (2018), *Blockchain Practices, Potentials, and Perspectives in Greening Supply Chains*, „Sustainability”, 10(10):3652. <https://doi.org/10.3390/su10103652>
- Laimon M., Almadadha R., Goh S., (2025). *Energy Consumption of Crypto Mining: Consequences and Sustainable Solutions Using Systems Thinking and System Dynamics Analysis*, „Sustainability”, 17(8), 3522. <https://doi.org/10.3390/su17083522>
- Misztal A. (2023), *Zrównoważony rozwój przedsiębiorstw, CSR i ESG w dobie kryzysu makroekonomicznego i geopolitycznego*, „Kwartalnik Nauk O Przedsiębiorstwie”, 68(2). <https://doi.org/10.33119/KNoP.2023.68.2.6>
- Money.pl (2022), *Czy kryptowaluty są ekologiczne? Jak rynek kryptowalut wpływa na środowisko?* 26.10.2022, <https://www.money.pl/gospodarka/czy-kryptowaluty-sa-ekologiczne-jak-rynek-kryptowalut-wplywa-na-srodowisko-6849112242236256a.html> (dostęp: 20.03.2026).
- Mora C., Rollins R.L., Taladay K., Kantar M.B., (2018), *Bitcoin emissions alone could push global warming above 2°C*, „Nature Climate Change”, 8(11), 2018. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0321-8>

- OECD (2022), *Environmental impact of digital assets: Crypto-asset mining and DLT consensus mechanisms*, „OECD Business and Finance Policy Papers”, OECD Publishing, Paris. <https://doi.org/10.1787/8d834684-en>
- OECD (2020), *Taxing Virtual Currencies: An Overview of Tax Treatments and Emerging Tax Policy Issues*, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/e29bb804-en>
- Oliver Yébenes M. (2024), *Climate change, ESG criteria and recent regulation: challenges and opportunities*, „Eurasian Econ Rev”, 14, <https://doi.org/10.1007/s40822-023-00251-x>
- Rot A., Zygała R. (2018), *Technologia blockchain jako rewolucja w transakcjach cyfrowych. Aspekty technologiczne i potencjalne zastosowania*, „Informatyka Ekonomiczna”, 4(50), <https://doi.org/10.15611/ie.2018.4.09>
- Saleh F. (2021), *Blockchain without Waste: Proof-of-Stake*, „The Review of Financial Studies”, Volume 34, Issue 3. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhaa075>
- Sapra N., Shaikh I., Dash A. (2023), *Impact of Proof of Work (PoW)-Based Blockchain Applications on the Environment: A Systematic Review and Research Agenda*, „Journal of Risk and Financial Management”, 16(4):218. <https://doi.org/10.3390/jrfm16040218>
- Sarkodie S.A., Owusu P.A., Taden J. (2024), *Green growth assessment across 203 economies: Trends and insights*, „Sustainable Horizons”, Volume 10, 100083. <https://doi.org/10.1016/j.horiz.2023.100083>
- Sedlmeir J., Buhl H.U., Fridgen G., Keller R. (2020), *The Energy Consumption of Blockchain Technology: Beyond Myth*, „Bus Inf Syst Eng”, 62. <https://doi.org/10.1007/s12599-020-00656-x>
- Stoll C., Klaaßen L., Gallersdörfer U. (2019), *The Carbon Footprint of Bitcoin*, „Joule”, 3. [https://www.cell.com/joule/fulltext/S2542-4351\(19\)30255-7#:~:text=10.1016/j.joule.2019.05.012](https://www.cell.com/joule/fulltext/S2542-4351(19)30255-7#:~:text=10.1016/j.joule.2019.05.012)
- Thanasi-Boçe M., Hoxha J. (2025), *Blockchain for Sustainable Development: A Systematic Review*, „Sustainability”, 17, 4848. <https://doi.org/10.3390/su17114848>
- Truby J. (2018), *Decarbonizing Bitcoin: Law and policy choices for reducing the energy consumption of Blockchain technologies and digital currencies*, „Energy Research & Social Science”, Volume 44. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.06.009>
- ZBIAM (2023), *Blockchain i energia odnawialna: jak blockchain może pomóc w rozwoju zrównoważonych źródeł energii*, 22.06.2023, <https://zbiam.pl/blockchain-i-energia-odnawialna-jak-blockchain-moze-pomoc-w-rozwoju-zrownowazonych-zrodel-energii/> (dostęp: 20.03.2026).
- Zetsche D.A., Filippo A., Arner D.W., Buckley R.P. (2020), *The Markets in Crypto-Assets Regulation (MiCA) and the EU Digital Finance Strategy*, „European Banking Institute Working Paper Series”, No. 2020/77, University of Luxembourg “Law Working Paper Series”, No. 2020-018, University of Hong Kong „Faculty of Law Research Paper”, No. 2020/059, SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3725395>

## MISCELLANEA

DOI: [10.26354/bb.7.1.102.2026](https://doi.org/10.26354/bb.7.1.102.2026)

Patryk Grochowski\*

ORCID: 0009-0006-6915-8238

[patryk.gr00chowski@gmail.com](mailto:patryk.gr00chowski@gmail.com)

Krzysztof Koźmiński\*\*

ORCID: 0000-0002-4126-9992

[k.kozminski@wpia.uw.edu.pl](mailto:k.kozminski@wpia.uw.edu.pl)

### Dlaczego WIBOR nie może być kwestionowany przez sądy powszechne? Glosa aprobująca do Wyroku Trybunału Sprawiedliwości Unii Europejskiej w sprawie C-471/24

#### Streszczenie

Opracowanie stanowi głosę aprobującą do wyroku Trybunału Sprawiedliwości Unii Europejskiej z dnia 12 lutego 2026 r. w sprawie C-471/24, dotyczącego dopuszczalności badania postanowień umów kredytowych opartych na wskaźniku WIBOR w świetle dyrektywy 93/13/EWG. Analizowany jest aspekt ekonomiczny i prawny masowego dochodzenia roszczeń przeciwko bankom w Polsce, grożącego powstaniu wielomiliardowego rynku usług prawnych z tytułu sporów z bankami o klauzule kredytów opartych na zmiennej stopie procentowej. Analizy prowadzone są z uwzględnieniem stanu faktycznego sprawy, treści pytań prejudycjalnych oraz kluczowych tez wyroku, w szczególności dotyczących zakresu obowiązków informacyjnych kredytodawców, znaczenia wymogu przejrzystości oraz relacji pomiędzy regulacjami konsumenckimi a Rozporządzeniem BMR (Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/1011 z dnia 8 czerwca 2016 r. w sprawie indeksów stosowanych jako wskaźniki referencyjne w instrumentach finansowych i umowach finansowych lub do pomiaru wyników funduszy inwestycyjnych i zmieniające dyrektywy 2008/48/WE i 2014/17/UE nr 596/2014). Autorzy argumentują, że wyrok wyklucza możliwość uznania mechanizmu

---

\* Patryk Grochowski – Kancelaria Jabłoński Koźmiński i Wspólnicy Adwokaci i Radcowie Prawni S.K.A.

\*\* Krzysztof Koźmiński – Wydział Prawa i Administracji Uniwersytetu Warszawskiego.