

Aleksandra Ceglarska

e-mail: 181345@student.ue.wroc.pl

Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu

Weryfikacja występowania anomalii kalendarzowych na rynku kryptowalut na przykładzie Bitcoina

DOI: 10.15611/2024.53.6.02

JEL Classification: G12, G14

© 2024 Aleksandra Ceglarska

Praca opublikowana na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa-Na tych samych warunkach 4.0 Międzynarodowe (CC BY-SA 4.0). Skrócona treść licencji na <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.pl>

Cytuj jako: Ceglarska, A. (2024). Weryfikacja występowania anomalii kalendarzowych na rynku kryptowalut na przykładzie Bitcoina W: A. Grześkowiak, P. Peternek (red.), *Zastosowanie metod ilościowych w ekonomii i finansach* (s. 25-40). Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu.

Streszczenie: Ogromny postęp technologiczny oraz przeniesienie płatności do Internetu otworzyło zupełnie nowe możliwości w zarządzaniu finansami oraz dokonywaniu płatności. W 2008 roku nastąpił przełom, gdyż powstała nowa koncepcja płatności elektronicznych – Bitcoin, który szybko stał się najpopularniejszą kryptowalutą na świecie. Obecnie tematy dotyczące Bitcoina i innych kryptowalut są bardzo aktualne, zwłaszcza pytanie, czy Bitcoin może funkcjonować jako środek płatniczy i pieniądź. Rynek finansowy ściśle związany jest z pojęciem ryzyka, dlatego dokonano analizy Bitcoina w tym kontekście, określając ryzyko jako odchylenie standardowe stóp zwrotu notowań Bitcoina. Przeprowadzony test bootstrap pozwolił ustalić, że ryzyko inwestycji w Bitcoin różni się w poszczególnych podokresach czasowych. Zidentyfikowano zależności między rytmem dnia typowego inwestora a anomaliami godzinowymi Bitcoina, uznano więc, że tematyka ta jest wciąż aktualna i warto przeprowadzić dalsze badania w tym zakresie.

Słowa kluczowe: Bitcoin, kryptowaluty, efekty kalendarzowe, ryzyko inwestycyjne, test bootstrap

1. Wstęp

Pojęcie transakcji, czyli po prostu wymiany towaru lub usługi, towarzyszyło ludzkości od zarania dziejów. Koncepcja środka pieniężnego ewoluowała od zboża, soli, koralików czy muszli poprzez pierwsze wybite w zachodniej Turcji monety i pieniądź papierowy aż do płatności internetowych, kart płatniczych oraz tak abstrakcyjnych jeszcze 20 lat temu płatności telefonem lub zegarkiem. Przeniesienie wielu codziennych działań do Internetu (w tym właśnie płatności) wynika z ogromnego postępu informatyzacji w społeczeństwie (Dopierała i Borodo, 2014).

W 2008 roku powstała jednak zupełnie nowa koncepcja płatności elektronicznej, która od tamtego czasu rozwinęła się do niesamowitych rozmiarów. Mowa tutaj oczywiście o Bitcoinie umożliwiającym internetowy transfer pieniędzy bez pośrednictwa żadnej instytucji finansowej, którego twórcą jest Satoshi Nakamoto. Tematyka kryptowalut, a szczególnie Bitcoina, ostatnimi czasy jest bardzo aktualna. Coraz więcej osób zadaje sobie pytanie: Czy Bitcoin może być środkiem płatniczym i pełnić funkcję pieniądza? Istnieją kraje, które rozważają wprowadzenie Bitcoina jako oficjalnego środka płatniczego, a prekursorem w tej dziedzinie jest rząd Salwadoru, który zdecydował się na ten krok 6 września 2021 roku. Od tamtego czasu w Salwadorze Bitcoinem można zapłacić za mieszkanie, zakupy, usługi, a nawet kolację w restauracji. Pomimo negatywnych skutków ekonomicznych i zadłużenia kraju na skutek wprowadzenia kryptowaluty zwolenników takiej idei nie brakuje. Nic zresztą dziwnego, skoro do końca 2021 roku około 34 miliony obywateli Stanów Zjednoczonych (ponad 10% całego społeczeństwa) posiadało w swoim portfelu jakąś kryptowalutę (Bińkowski, 2022). W 73% przypadkach był nią właśnie Bitcoin. Dzięki tak dużemu zainteresowaniu tematem kryptowalut naukowcy i analitycy coraz częściej przeprowadzają badania, aby sprawdzić, co wpływa na zmienność Bitcoina, oraz czy istnieją jakieś trendy lub prawidłowości wynikających z anomalii kalendarzowych opisujących występowanie pewnych regularnych trendów i wzorców związanych z określonymi dniami tygodnia („efekt poniedziałku”), miesiącami („efekt stycznia”) lub okresami w roku („efekt końca kwartału”). Takie anomalie mogą wpływać na kursy różnych instrumentów finansowych, zaprzeczając tym samym teorii rynku efektywnego.

Celem pracy jest określenie, w jaki sposób wartości ryzyka Bitcoina kształtują się w ciągu dnia, oraz stwierdzenie występowania ewentualnych prawidłowości związanych z rytmem dnia inwestorów. Postanowiono przeprowadzić weryfikację występowania anomalii kalendarzowych na rynku kryptowalut na przykładzie Bitcoina w zakresie ryzyka mierzonego jako odchylenie standardowe stóp zwrotu. Postawiono następujące pytania badawcze:

1. Czy istnieją godziny, w których ryzyko Bitcoina regularnie wzrasta lub maleje?
2. Czy ryzyko Bitcoina wzrasta, gdy statystycznie wszyscy są w pracy, czy wtedy gdy raczej wszyscy śpią?
3. W których godzinach w ciągu doby średni poziom ryzyka Bitcoina jest największy, a w których najmniejszy? Z czego może to wynikać?

Aby móc udzielić odpowiedzi na zadane pytania badawcze, podjęto szereg działań mających na celu jak najlepsze zrozumienie działania Bitcoina, jego trendów i związanych z nim zależności, a także przeprowadzono analizy, zastosowano metody obliczeniowe, zinterpretowano odpowiednie wykresy oraz przeprowadzono testy statystyczne. Głównym etapem badania jest wykonanie testu bootstrap i ostateczne potwierdzenie występowania anomalii godzinowych ryzyka inwestycji w Bitcoin.

2. Ryzyko inwestycji w kontekście instrumentów finansowych

2.1. Funkcjonowanie rynku finansowego w kontekście ryzyka

Rynek finansowy stwarza przestrzeń dla transakcji kupna i sprzedaży dokonywanych za pomocą różnych instrumentów finansowych. Dzięki podaży utworzonej przez sprzedających oraz popytowi zależnemu od kupujących lub inwestorów, ceny aktywów finansowych, takich jak akcje lub obligacje, często się zmieniają, podobnie jak ogólne warunki rynkowe. Rynek ten skupia inwestorów, którzy posiadają wolne środki pieniężne i w momencie kupna danego instrumentu finansowego zamieniają wolny pieniądź w kapitał inwestycyjny, którego posiadanie wiąże się z prawdopodobieństwem uzyskania bardzo dużych korzyści, ale również z dużym ryzykiem (Business Insider, 2021). Na każdym rynku finansowym: pieniężnym, kapitałowym, walutowym, instrumentów pochodnych lub depozytowo-walutowym dokonywane transakcje obciążone są w pewnym stopniu ryzykiem. Terminem ryzyka określa się pewne niebezpieczeństwo dotyczące możliwości nieuzyskania oczekiwanych sukcesów lub nawet możliwego poniesienia nieplanowanych strat (Bijańska i Wodarski, 2014). Istnieje kilka rodzajów ryzyka: ryzyko stopy procentowej, ryzyko kursu walutowego, ryzyko kredytowe, ryzyko polityczne i ryzyko płynności (Porcenaluk, 2013). Każdy inwestor dąży do zmniejszenia tego ryzyka na różne sposoby. Możliwa jest dywersyfikacja portfela (rozbicie kapitału na odmienne inwestycje) lub zakup instrumentów finansowych o krótkim terminie wykupu i dużej płynności (Jajuga, 2006).

2.2. Waluta tradycyjna i waluta kryptograficzna a poziom ryzyka

Poziom ryzyka zależy od wielu czynników: warunków rynkowych, czasu trwania inwestycji i przeprowadzonej analizy rynku oraz rozeznania się na nim. Jednak głównym czynnikiem, który na takie ryzyko wpływa, jest niewątpliwie rodzaj instrumentu finansowego, w który się inwestuje. Różnice w kontekście ryzyka zaobserwowano w przypadku porównania waluty tradycyjnej z walutą kryptograficzną (tab. 1).

Tabela 1. Porównanie waluty tradycyjnej i kryptograficznej

Waluta tradycyjna	Waluta kryptograficzna
Handel odbywa się tylko w określonych godzinach.	Handel odbywa się całą dobę.
Długi czas transakcji.	Bardzo krótki czas transakcji.
Tworzona przez rządy państwowe.	Tworzona przez specjalne oprogramowanie.
Kontrolowana przez instytucje finansowe, banki i rządy.	Nie jest kontrolowana przez scentralizowane instytucje.
Materialna forma: banknoty oraz monety.	Brak materialnej formy, jest to fragment kodu.
Raczej nie są spekulacyjne.	Waluta spekulacyjna.
Utrzymuje optymalną wartość, jest dość stabilna.	Bardzo wysokie amplitudy wartości, niestabilność.

Źródło: opracowanie własne.

Wszystkie wymienione w tabeli 1 aspekty walut w istotny sposób wpływają na różnice w ryzyku pomiędzy nimi.

Bitcoin jest w dużej mierze walutą spekulacyjną, o dużych amplitudach wartości i dosyć małej stabilności, przez co ryzyko inwestycji w niego jest dosyć wysokie. Porównując ryzyko inwestycji na działających w Polsce giełdach walut tradycyjnych i giełdach kryptowalut, dochodzi się do wniosku, że ryzyko przy inwestowaniu w waluty tradycyjne jest duże niższe niż w sytuacji inwestowania, np. w Bitcoin (Kądziołka, 2015).

3. Metodyka badań

3.1. Narzędzia zastosowane do charakterystyki rozkładów

Rynek finansowy jest dynamiczny i podlega ciągłym zmianom. Na jego różnorodność wpływa wiele czynników: różne typy inwestorów mających różne cele i strategie inwestycyjne, występowanie asymetrii informacji, podatność rynku na zmiany polityczne, katastrofy naturalne lub wydarzenia gospodarcze czy regulacje prawne. Tak więc również szeregi finansowe są nieprzewidywalne i może w nich występować ryzyko pojawienia się obserwacji odstających, np. w wyniku błędnych pomiarów, manipulacji i oszustw, losowych fluktuacji lub gwałtownych zmian w danych finansowych. Eliminacja takich obserwacji jest szczególnie ważna przy mało licznych zbiorach danych (Budka i in., 2013) lub przy analizie danych o wysokiej częstotliwości.

Podstawowymi parametrami pozwalającymi na wychwycenie obserwacji odstających jest kurtoza, która w przeciwieństwie do mediany lub kwartylii jest czuła na obserwacje nietypowe. Wartość średniej także może być zniekształcona nawet z powodu pojedynczej obserwacji odstającej. Dopiero 50% dużych błędów może zaburzyć wartość mediany, w przypadku średniej próg wynosi 0% (Trzpiot, 2013). Zwracać uwagę powinna szczególnie dodatnia wartość kurtozy, wskazująca na rozkład leptokurtyczny, w którym jest większe prawdopodobieństwo wystąpienia obserwacji odstających niż w przypadku rozkładu normalnego. Aby zlokalizować obserwacje nietypowe można posłużyć się również wykresem punktowym oraz wykresem pudełkowym, który przedstawia poziom rozproszenia lub koncentracji danych. Na jego podstawie da się określić zarówno obserwacje centralne, jak i obserwacje odstające (Kosiorowski i in., 2018). Nie jest on jednak metodą doskonałą. W przypadku rozkładów skośnych przedstawienie na nim obserwacji odstających może być wątpliwe, dlatego wciąż powstają nowe modyfikacje tego wykresu (Walker i in., 2018).

Nadrzędne znaczenie ma scharakteryzowanie skośności potencjalnie występującej w rozkładach stóp zwrotu (Piontek, 2007). Najbardziej popularnym sposobem określenia asymetrii rozkładu jest wyznaczenie współczynnika asymetrii (współczynnika skośności). Miara ta jednak nie jest jednoznaczna, gdy przyjmuje wartość zero, które powinno wskazywać na występującą symetrię rozkładu. Istnieją takie

rozkłady, dla których pomimo występującej asymetrii, współczynnik również przyjmuje wartość zero. Współczynnik SK , przyjmujący wartości przybliżone do zera, jednoznacznie wskazuje na symetrię rozkładu (Piontek, 2007). Jest on wyrażony następującym wzorem:

$$SK = \frac{m_3}{m_2^{3/2}}, \quad (1)$$

gdzie: m_i to i -ty moment centralny.

Należy przeprowadzić test Jarque-Bera, który w klasycznej wersji badając normalność rozkładu, uwzględnia zarówno skośność, jak i kurtozę. Standardowa wartość statystyki Jarque-Bera jest odpowiednia tylko dla danych, których rozkład jest zbliżony do rozkładu normalnego. Aby móc ją wykorzystać w przypadku analizowanych danych, mianownik należy skorygować o grubość ogonów. Statystyka, jak w przypadku tradycyjnej wersji, jest przybliżona rozkładem χ^2 , jednak o jednym, a nie dwóch stopniach swobody, i przyjmuje następującą postać (Godfrey i Orme, 1991):

$$RS = n \frac{(\sqrt{b_1})^2}{[9 + m_6 m_2^{-3} - 6m_4 m_2^{-2}]}, \quad (2)$$

gdzie: m_i to odpowiednie i -te momenty zwykłe rozkładu, $\sqrt{b_1}$ to wartość miary skośności (SK), a n to wielkość próby.

Dzięki skorygowaniu mianownika zmniejsza się statystyka testowa, więc w mniej szej liczbie przypadków odrzuca się hipotezę zerową świadczącą o symetrii rozkładu.

Jeśli statystyka RS jest większa od wartości krytycznej z rozkładu χ^2 , istnieją podstawy do odrzucenia hipotezy zerowej o symetrii i normalności rozkładu. Jeśli statystyka RS jest mniejsza od wartości krytycznej, to nie istnieją przesłanki do odrzucenia hipotezy zerowej, rozkład jest symetryczny i normalny.

Powyższe analizy skośności i kurtozy mają na celu udowodnienie, że klasyczne testy zakładające normalność rozkładu nie mogą zostać użyte w tej analizie. Skorzystano więc z testu bootstrap, który nie wymaga spełnienia założeń o normalności rozkładów.

3.2. Zastosowanie metod bootstrapowych

Metody bootstrapowe znajdują zastosowanie przede wszystkich w analizie i prognozowaniu szeregów czasowych. Ich główne założenie dotyczy traktowania próby bootstrapowej składającej się z losowo wygenerowanych elementów, tak samo jak wylosowaną próbkę dla całej populacji (Gulgowski i Włosik, 2013). Metody bootstrapowe należą do metod symulacyjnych (Pekasiewicz i in., 2014) i są stosowane do oszacowania nieznanymi wartościami powiązanych z modelami statystycznymi (Boos, 2003). Bootstrap po raz pierwszy został wykorzystany przez B. Efrona w 1977 r.

jako pomocne narzędzie, zwłaszcza w bardziej zaawansowanych modelach. Metody bootstrapowe pozwalają na szerszą analizę wyników w porównaniu do stosowania metod klasycznych (Foszcz, 2006). Wyższość tej metody ponad metodami klasycznymi jest potwierdzana w kilku punktach (Hesterberg i in., 2003):

1. Wymaga mniej założeń. Metoda bootstrap nie wymaga potwierdzenia występowania rozkładu normalnego, dużej lub małej próby badawczej.
2. Pozwala na większą dokładność wyników.
3. Łatwość w zrozumieniu mechanizmów. Metody bootstrapowe są intuicyjne i budują pewną analogię, dzięki czemu są zrozumiałe dla badaczy i odbiorców.

Biorąc pod uwagę wszystkie zalety i możliwości testu bootstrap, zdecydowano się go użyć w przeprowadzanej analizie. Zapewni on rzetelność wyników niezależnie od rozkładu obserwacji bądź ich dużej liczby. Metoda bootstrap polega na wylosowaniu kolejnych próbek, wzorując się na próbce wyjściowej o takiej samej liczbie obserwacji jak ta próbka. Jest to proces losowania ze zwracaniem, co oznacza, że możliwe jest wielokrotne wylosowanie tego samego obiektu. Wartości średniej z wybranych próbek większe od statystyki testowej wyrażają p -wartość, która z kolei na założonym poziomie istotności pozwala odrzucić lub przyjąć hipotezę zerową i określić, czy porównywane próbki różnią się od siebie, czy nie. Definiuje się hipotezę zerową:

$$H_0 : \text{Próbki istotnie nie różnią się od siebie,}$$

wobec hipotezy alternatywnej:

$$H_1 : \text{Próbki istotnie się od siebie różnią.}$$

Są to ogólne hipotezy opisujące test bootstrap, natomiast, aby móc dokładniej przeprowadzić badania, sformułowano dodatkowe hipotezy:

1. Dla porównania średnich próbek:

$$H_0 : \hat{X}_1 = \hat{X}_2,$$

wobec hipotezy alternatywnej:

$$H_1 : \hat{X}_1^1 \hat{X}_2,$$

2. Dla porównania median próbek:

$$H_0 : \hat{M}_{e_1} = \hat{M}_{e_2},$$

wobec hipotezy alternatywnej:

$$H_1 : \hat{M}_{e_1}^1 \hat{M}_{e_2},$$

Dla zaprezentowanych hipotez określono osobne statystyki testowe:

Test 1 – porównujący średnie:

$$|\hat{X}_1 - \hat{X}_2|$$

Test 2 – porównujący mediany:

$$|\hat{M}_{e_1}^1 - \hat{M}_{e_2}|$$

Test bootstrap zakłada, że dwie wybrane próby nie różnią się od siebie. Postawiono połączyć ze sobą dwie badane próbki i na podstawie całego zbioru określić rozkład statystyki testowej. Następnie wartość tę trzeba porównać z wartością statystyki uzyskanej dla wygenerowanych próbek bootstrap. Potem w próbie badawczej należy odnaleźć obiekty, których wartości są większe od statystyki testowej. Z odnalezionych próbek oblicza się średnią, stanowiącą p -wartość. Jeśli p -wartość jest mniejsza od przyjętego poziomu istotności, to istnieją podstawy do odrzucenia hipotezy zerowej – próbki istotnie różnią się od siebie. Jeśli p -wartość jest większa od przyjętego poziomu istotności, to nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej, czyli próbki istotnie się od siebie nie różnią.

4. Wyniki badań

4.1. Znaczenie podstawowych parametrów rozkładu ryzyka stóp zwrotu Bitcoina

Aby przeprowadzić analizę wykorzystano pięciominutowe notowania Bitcoina w okresie od 8.11.2022 (10:55) do 8.02.2023 (10:55), dzięki czemu uzyskano ponad 26 tysięcy obserwacji¹. Dane pozyskano z bazy internetowej Eikon, która jest platformą finansową firmy Refinitiv, zawierającą szeroki zakres danych rynkowych dostarczanych z giełd na całym świecie. Godziny dotyczą czasu GMT+1².

W celu uporządkowania pięciominutowych notowań Bitcoina postanowiono podzielić wszystkie obserwacje na sześć okresów, każdy zawierający dane z czterech godzin.

Każdy przedział zawiera 92 obserwacje – tyle, ile dni liczy okres badawczy:

1. 8:00-11:55
2. 12:00-15:55
3. 16:00-19:55
4. 20:00-23:55
5. 24:00-3:55
6. 4:00-7:55

¹ dokładnie 26 498

² GMT – *Greenwich Mean Time*, czyli czasu w Greenwich w Londynie

Dla każdego z tych przedziałów obliczono odchylenie standardowe stóp zwrotu:

$$\frac{x_{t+1} - x_t}{x_t}, \quad (3)$$

gdzie x_t to wartość notowania Bitcoina w dniu x .

Podział doby w ten konkretny sposób motywowany jest najbardziej powszechnym rytmem dnia typowego przedstawiciela społeczeństwa.

Okresy czasu dzielą dobę na okresy, kiedy ludzie zazwyczaj są w pracy (od 8:00 do 11:55 oraz od 12:00 do 15:55), kiedy po pracy i odpoczywają, oddają się pasjom lub aktywnościom fizycznym (od 16:00 do 19:55), okres wieczorny przeznaczony na relaks oraz sen (od 20:00 do 7:55). Wydawać by się mogło, że okresami o największym ryzyku Bitcoina będą trzeci oraz czwarty przedział czasowy, kiedy inwestor – typowy przedstawiciel społeczeństwa – może usiąść do komputera, telefonu oraz zająć się swoimi inwestycjami, w tym Bitcoinem. Przewiduje się więc, że to okres 3 i 4 będą okresami o największym ryzyku Bitcoina, gdyż duża aktywność inwestorów w sieci internetowej wiąże się z dużym rozproszeniem podejmowanych decyzji kupna-sprzedaży. W podokresach 1 i 2 analogicznie ryzyko powinno być najmniejsze (ze względu na wykonywaną w tym czasie pracę i obowiązki). Aby móc potwierdzić te przypuszczenia, zdecydowano się na przeprowadzenie szeregu analiz umożliwiających potwierdzenie lub odrzucenie supozycji badacza.

Kluczowym elementem tego badania było obliczenie ryzyka inwestowania mierzonego jako odchylenie standardowych stóp zwrotu w poszczególnych podokresach, aby móc stwierdzić, czy występują w nich prawidłowości rozkładu analizowanej zmiennej. Do obliczeń użyto programu R i RStudio, który wygenerował tabelę z odchyleniami w każdym podokresie dla poszczególnych dni. Podstawowe statystyki opisowe przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 2. Podstawowe statystyki opisowe ryzyka stóp zwrotu Bitcoina

Statystyki	Numer przedziału czasowego					
	1	2	3	4	5	6
	Przedział godzinowy					
	8:00-11:55	12:00-15:55	16:00-19:55	20:00-23:55	24:00-3:55	4:00-7:55
Średnia	0,0012788	0,0016133	0,0012549	0,0012762	0,0012976	0,0008549
Odchyl. stand.	0,0030311	0,0031726	0,0009960	0,0010435	0,0011498	0,0007745
Mediana	0,0006891	0,0009375	0,0009946	0,0009000	0,0009186	0,0006665
Kurtoza	76,726567	61,762482	7,1909804	8,6896287	10,876394	15,143793
Skośność	8,4570679	7,3691391	2,4582007	2,5039807	2,7641817	3,6172936

Źródło: opracowanie własne.

Analizując tabelę 2, można stwierdzić, że największe średnie wartości występują w podokresie 2. Niewiele mniejsze można zaobserwować w podokresach 1, 3, 4 i 5.

Najmniejsze przeciętne wartości Bitcoina widoczne są dla podokresu ostatniego, zawierającego obserwacje od godziny 4:00 do 7:55. Prawdopodobnie niskie wartości wynikają w tym przypadku z najmniejszej aktywności społeczeństwa w tym przedziale godzinowym. Zdecydowana większość osób, które żyją w analizowanej strefie czasowej, nie korzysta wtedy z Internetu, nie kupuje kryptowalut, a cały rynek po prostu jest nieaktywny. Analogicznie można stwierdzić, że podokres 2 w godzinach od 12:00 do 15:55 jest z kolei okresem największej aktywności społeczeństwa. To wtedy zdecydowana większość ludzi pracuje, uczy się, korzysta z komputera i Internetu, śledzi giełdę, czyta wiadomości oraz przeprowadza operacje finansowe, w tym na rynku kryptowalut. Już na podstawie tak prostych parametrów jak średnia można zacząć potwierdzać hipotezę o wpływie rytmu dnia społeczeństwa na wartości ryzyka Bitcoina. Uwagę przyciągają większe wartości odchylenia standardowego dla dwóch pierwszych podokresów. Oznacza to większe zróżnicowanie wartości względem średniej i możliwość występowania obserwacji odstających. Kolejnym aspektem, który powinien zwrócić uwagę, jest wysoka wartość kurtozy w dwóch pierwszych podokresach. Jest to wyraźna przesłanka o występowaniu wartości ekstremalnej, zwłaszcza biorąc pod uwagę fakt, iż jest to rozkład leptokurtyczny (dodatnia wartość kurtozy), charakteryzujący się większym ryzykiem występowania ogonów rozkładu (i obserwacji odstających) niż rozkład normalny.

Przeanalizowano wartość skośności obliczonej zgodnie ze wzorem 4:

$$\frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^3, \quad (4)$$

gdzie: n to liczba obserwacji, x_i to i -ta wartość w zbiorze danych, s to odchylenie standardowe, a $\bar{x}$ to średnia arytmetyczna zbioru danych.

Stwierdzono występowanie asymetrii prawostronnej we wszystkich przedziałach, co oznacza, że wydłużony jest prawy ogon rozkładu. Wartości średniej oraz kurtozy dla podokresu 1 i 2 wyraźnie wskazują na występowanie obserwacji odstających, które należy znaleźć w dalszej analizie. W związku z powyższym sformułowano następujące wnioski:

1. Bitcoin przyjmował średnio największe wartości w godzinach 12:00-16:00, w środku dnia, kiedy prawdopodobnie największa liczba osób korzysta z Internetu, śledzi rynki akcji oraz obserwuje zachowania kryptowalut, w tym Bitcoina.
2. Najmniejsze średnie wartości Bitcoina zauważalne są w godzinach 4:00-8:00. Jest to przedział czasowy, w którym zdecydowana większość społeczeństwa śpi bądź szykuje się do rozpoczęcia nowego dnia, a więc nie ma czasu wykonywać transakcji i wpływać na rynek kryptowalut, w tym Bitcoina.
3. Konieczna jest szczegółowa analiza dwóch pierwszych przedziałów pod kątem występowania w nich obserwacji odstających.

Poddano analizie wykresy pudełkowe oraz punktowe dla dwóch pierwszych przedziałów i zlokalizowano obserwacje odstające. Obserwacje takie powinno się

usunąć ze zbioru danych, jednak w tym przypadku ich brak znacząco zaburzyłby stworzone przedziały i mógłby negatywnie wpłynąć na wiarygodność wyników. Aby zachować ciągłość obserwacji, postanowiono za nietypowe obserwacje podstawić wartości uśrednione (średnia z pozostałych obserwacji dla konkretnego podokresu). Ponownie poddano analizie oba typy wykresów i nie stwierdzono więcej komplikacji mogących utrudnić całe badanie.

4.2. Test Jarque-Bera

Postanowiono zbadać symetrię oraz normalność rozkładu stóp zwrotu Bitcoina. Wykorzystano współczynnik SK (1) oraz zmodyfikowany wzór Jarque-Bera (2). Otrzymano następujące wyniki:

Tabela 3. Wyniki testu Jarque-Bera

Przedziały godzinowe	SK	RS
8:00-11:55	2,344967	8,024767
12:00-15:55	3,284107	3,694340
16:00-19:55	2,458201	5,887322
20:00-23:55	2,503981	2,987919
24:00-3:55	2,764182	2,479858
4:00-7:55	3,617294	3,650702

Źródło: opracowanie własne.

Współczynnik SK w każdym przypadku jest większy od 0, co oznacza, że rozkład odchyleń zwrotu Bitcoina nie jest symetryczny. Statystyka testowa RS dla podokresu 1 i 3 jest większa od wartości krytycznej CV, która wyniosła 3,841459, więc dla tych przedziałów nie występuje symetria rozkładu. W przypadku pozostałych podokresów wartość RS jest mniejsza od wartości krytycznej, nie ma więc podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej o symetrycznym rozkładzie ryzyka stóp zwrotu Bitcoina.

4.3. Wykrywanie różnic za pomocą testu bootstrap

Ze względu na wyniki powyższych testów nie można skorzystać z metod klasycznych. Wykorzystano więc test bootstrap, który będzie przeprowadzany kolejno dla wszystkich przedziałów następujących po sobie parami. Do obliczeń wykorzystano program R i RStudio. Pierwszym etapem było obliczenie średniej z obu badanych próbek, a następnie obliczenie statystyki testowej będącej wartością bezwzględną różnicy średniej próbek. Następnie należało obliczyć medianę i również wyznaczyć statystykę testową (wartość bezwzględna różnicy median dwóch próbek).

Następnie stworzono wektor składający się z połączonych wartości przedziału 1 i 2, aby przetestować, czy jego pierwsza połówka (przedział 1) różni się od drugiej połówki (przedział 2), czyli czy średnia wartość ryzyka jest inna w podokresie 1 niż w podokresie 2.

Kolejnym krokiem jest określenie, jakie jest prawdopodobieństwo otrzymania pierwszej i drugiej statystyki testowej większej lub równej obserwowanej statystyce testowej przy założeniu, że hipoteza zerowa jest prawdziwa i statystyka testowa jest zbliżona do 0.

W tym celu sprawdzono, ile z 10 tysięcy próbek bootstrap przyjmuje wartości niemniejsze od pierwszej statystyki testowej (dla średniej). Następnie obliczono średnią z wszystkich próbek przyjmujących równe lub większe wartości od obserwowanej statystyki testowej i w ten sposób otrzymano p-wartość. Te same działania powtórzono również dla mediany. Wyniki dla wszystkich podokresów przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Wyniki testu bootstrap

Para przedziałów czasowych	Test średniej		Test mediany	
	statystyka testowa	p-wartość	statystyka testowa	p-wartość
1 i 2	0,00033690	0,0454	0,0002484	0,0137
2 i 3	0,00005412	0,7440	0,0000571	0,5430
3 i 4	0,00002132	0,9151	0,0000945	0,4812
4 i 5	0,00002100	0,8928	0,0000190	0,8445
5 i 6	0,00044270	0,0029	0,0002521	0,0019
6 i 1	0,00011722	0,4595	0,0001172	0,8329

Źródło: opracowanie własne.

Analizując powyższe wartości na przykładzie podokresów 8:00-11:55 i 12:00-15:55, można stwierdzić, że:

- w przypadku testu średnich p-wartość wyniosła 4,54%, więc zakładając poziom istotności 5%, istnieją podstawy do odrzucenia hipotezy zerowej, ryzyko inwestycji w Bitcoin różni się w badanych okresach;
- w przypadku testu median p-wartość wyniosła 1,37%, co oznacza, że z 10 tysięcy analizowanych próbek bootstrap 137 przyjmuje wartości większe od statystyki testowej. 1,73% jest mniejszy od przyjętego poziomu istotności, więc istnieją podstawy do odrzucenia hipotezy zerowej – próbki różnią się od siebie.

Patrząc analogicznie na pozostałe przykłady, można zauważyć, że jedynie podokres 1 i 2 oraz 5 i 6 istotnie się od siebie różnią pod względem wielkości ryzyka Bitcoina. Pomiedzy pozostałymi podokresami badanymi parami taka zależność nie występuje.

4.4. Poziom ryzyka w podokresach a poziom ryzyka w całym okresie

Test bootstrap pozwala jedynie na określenie, czy podokresy różnią się od siebie, w tym przypadku w kontekście ryzyka mierzonego jako odchylenia standardowe stóp zwrotu. Na tym etapie nie wiadomo jednak, w których przedziałach ryzyko to maleje lub rośnie. Aby odpowiedzieć na to pytanie, należy wykorzystać podstawowy parametr rozkładu – średnią. Średnie obliczone dla poszczególnych przedziałów należy porównać ze średnią obliczoną dla wszystkich obserwacji razem, aby móc stwierdzić, w których przedziałach ryzyko Bitcoina, mierzone jako odchylenie standardowe stóp zwrotu, jest większe, a w których mniejsze od średniego poziomu ryzyka w całym okresie. Średnie przedstawiono w tabeli 5. Jej wartości dla podokresu 8:00-11:55 i 12:00-15:55 różnią się od tych zawartych w tabeli 2 ze względu na występujące w tych podokresach obserwacje odstające. Dwie obserwacje odstające zostały zidentyfikowane i skorygowane poprzez zastąpienie ich wartości średnią z wartości poprzedzającej i następującej po nich, dzięki czemu wyniki badań oraz wartości parametrów są bardziej precyzyjne, wiarygodne i rzetelne.

Tabela 5. Poziom ryzyka w poszczególnych przedziałach czasowych

Przedział czasowy	Średnia
Cały okres	0,1161
8:00-11:55	0,0972
12:00-15:55	0,1309
16:00-19:55	0,1255
20:00-23:55	0,1276
24:00-3:55	0,1298
4:00-7:55	0,0855

Źródło: opracowanie własne.

Analizując tabelę 4, można stwierdzić, że podokresy pierwszy i drugi istotnie się od siebie różnią. Średnia od godziny 8:00 do 11:55 jest mniejsza od średniej w całym okresie, zatem przeciętne ryzyko w tym przedziale jest niższe niż w całym badanym okresie. Od godziny 12:00 ryzyko zdecydowanie rośnie i utrzymuje wartość wyższą od średniej do godziny 3:55. Pomiędzy przedziałami zawierającymi godziny od 12:00 do 3:55 nie występują istotne różnice – w każdym z nich średnia podokresu jest wyższa od średniej całkowitej, więc przeciętne ryzyko jest wyższe niż w całym badanym okresie. Potwierdzić także można różnicę zidentyfikowaną w teście bootstrap pomiędzy przedziałem 5 i 6. Dopiero od godziny 4:00 następuje spadek ryzyka poniżej ogólnej średniej. Podsumowując, najmniejsze ryzyko inwestycji w Bitcoin mierzone jako odchylenie standardowe stóp zwrotu zauważalne jest od godziny 4:00 do 11:55. Jest to okres w ciągu doby, kiedy zdecydowana większość społeczeństwa śpi (4:00-7:55) lub pracuje (8:00-11:55), więc nie ma czasu korzystać z Internetu i ewentualnie interesować się kryptowalutami, w tym Bitcoinem. Okres przedpołudniowy, czyli właśnie do godziny 12:00, jest przez naukowców uważany

za najbardziej produktywny, kiedy warto podjąć się trudniejszych zadań, odbywać spotkania, wtedy nasz mózg pracuje najlepiej. Według badań zaraz po przebudzeniu u większości ludzi można odnotować dosyć wysoki poziom hormonu stresu, co powoduje, że mózg jest bardziej chłonny (Brueck, 2020; More, 2004). W tym czasie więc społeczeństwo nie interesuje się Bitcoinem.

W przedziałach czasowych zawierających godziny od 12:00 do 3:55 ryzyko inwestycji w Bitcoin wyraźnie wzrasta. Najlogiczniejszym założeniem byłoby stwierdzenie, że do godziny 16:00 ryzyko przyjmuje dosyć niskie wartości ze względu na standardowe godziny pracy. Okazuje się jednak, że jest to podokres najbardziej aktywny. Można to wytłumaczyć teorią, że po godzinie 12:00 mózg staje się mniej chłonny, ludzie potrzebują przerwy i często sięgają po urządzenia mobilne, aby odpocząć po dużym intelektualnym wysiłku. Wtedy również następuje coraz popularniejsza przerwa na lunch, podczas której również społeczeństwo może wpływać na Bitcoin. Około godziny 16:00 wartość kryptowaluty spada w porównaniu z podokresem 2, jednak potem stopniowo się podnosi. Zaskakujące jest to, że większe zainteresowanie Bitcoinem (tłumaczone wzrostem ryzyka Bitcoina) występuje w przedziale godzinowym 24:00-3:55 niż od godziny 16:00 do 23:55. Prawdopodobnie wynika to z faktu, że Bitcoinem zainteresowani są w znacznej mierze ludzie młodzi, których rytm życia może różnić się od tego założonego przez badacza. Warto przeanalizować to zagadnienie pod kątem różnych godzin otwarcia giełd w różnych istotnych krajach, co może wpływać na analizę oraz interpretację wyników.

5. Zakończenie

Pomimo istnienia ponad 4 tysięcy kryptowalut, które codziennie można kupować, wymieniać i sprzedawać, jedno jest pewne – rynek ten nie osiągnął jeszcze swojego maksymalnego potencjału. Wciąż będzie się rozwijał, ewoluował i modernizował przez wiele kolejnych lat i zapewne powstanie jeszcze dużo więcej kryptowalut. Warto podkreślić, że mimo istnienia licznych prac badawczych (np. Fauzi i Othman, 2020; Choithani, 2024) koncentrujących się na analizie i badaniu rynku kryptowalut nadal jest potrzeba jego dalszej eksploracji. Badanie kryptowalut w nowych kontekstach i aspektach jest konieczne, gdyż nie ulega wątpliwości, że ich wpływ na rynek finansowy oraz gospodarkę pieniężną całego świata będzie stale wzrastał.

Przeprowadzenie wszystkich powyższych analiz i testów pozwoliło z sukcesem odpowiedzieć na zadane pytania badawcze. Stwierdzono, że występują różnice pomiędzy czterogodziennymi podokresami czasu w ciągu doby. Oznacza to, że ryzyko mierzone jako odchylenie standardowe stóp zwrotu różni się od siebie w kolejnych godzinach doby. Przeprowadzenie testu bootstrap pozwoliło stwierdzić, że podokres 2 (12:00-15:55) istotnie różni się od okresu go poprzedzającego (8:00-11:55), ale jest podobny do okresu po nim następującego (16:00-19:55). Podokres 5 (24:00-3:55) istotnie różni się od okresu po nim następującego (4:00-7:55) i jest podobny do okresu go poprzedzającego (20:00-23:55).

Test bootstrap pozwala jedynie na stwierdzenie występowania różnic, nie określa jednak konkretnych zmian. Aby odpowiedzieć na wszystkie pytania badawcze należało porównać średnią wartość odchylenia standardowego stopy zwrotu z poszczególnych okresów z całkowitą średnią odchylen standardowych stóp zwrotu wyznaczoną ze wszystkich obserwacji. Dzięki temu zabiegowi możliwe było ustalenie, w którym podokresie ryzyko Bitcoina średnio wzrasta lub maleje. W dwóch podokresach 8:00-11:55 oraz 4:00-7:55 ryzyko maleje w stosunku do średniej całkowitej. Tak niskie wartości są spowodowane tym, że w tych godzinach większość społeczeństwa śpi lub intensywnie pracuje i nie ma czasu ingerować w rynek Bitcoina. Ryzyko wzrasta od godziny 12:00 i pozostaje na poziomie powyżej średniej aż do godziny 3:55. Są to godziny mniej produktywne, kiedy społeczeństwo relaksuje się, odpoczywa, kończy pracę i ma czas, aby korzystać z Internetu i śledzić giełdę.

Podsumowując, udało się odpowiedzieć na pytania badawcze. Istnieją godziny, w których ryzyko Bitcoina regularnie wzrasta i maleje. Poziom ryzyka jest większy w godzinach 12:00-3:55 niż średnia w całym okresie, a więc w dość szerokim przedziale czasowym, kiedy ludzie częściowo są w pracy, a częściowo już odpoczywają. Statystycznie w porannych godzinach pracy ryzyko Bitcoina maleje, a od godziny 12:00 wzrasta.

Zdecydowanie warto pogłębić te badania i spróbować przeprowadzić tę samą analizę na krótszych przedziałach czasowych lub w inny sposób, niż powyżej podzielić dobę na odcinki. Warto także przeanalizować rynek kryptograficzny na przykładzie innych kryptowalut i stwierdzić, czy anomalie kalendarzowe występują tylko na przykładzie Bitcoina, czy jest to zjawisko globalne dla wszystkich kryptowalut.

Ciekawym zagadnieniem wydaje się to, czy za kilka lat udowodnione trendy pozostaną stabilne, czy też ulegną zmianie. Wszystkie te refleksje zachęcają naukowców i analityków z całego świata do stałego zgłębiania wiedzy dotyczącej kryptowalut oraz do przeprowadzania nowych badań i analiz na rynku kryptograficznym.

Literatura

- Bijańska, J. i Wodarski, K. (2014). Ryzyko w decyzjach inwestycyjnych przedsiębiorstw. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Organizacja i Zarządzanie*, (70).
- Bińkowski, P. (2022, 23 kwietnia). *Ponad 10% Amerykanów będzie posiadać kryptowaluty do końca roku – sugeruje nowe badanie*. Bitcoin.pl. Pobrano 22 marca 2023 z <https://bitcoin.pl/badanie-adopcja>
- Boos, D. D. (2003). Introduction to the Bootstrap World. *Statistical Science*, 18(2), 168-174.
- Brueck, H. (2020, 22 września). *Naukowcy podpowiadają, jak najlepiej zaplanować swój dzień pracy*. Business Insider. Pobrano 10 czerwca 2024 z <https://businessinsider.com.pl/rozwoj-osobisty/kiedy-jestesmy-najbardziej-produktywni-w-pracy/ze83g9y>
- Budka, A., Kayzer, D., Pietruczuk, K. i Szoszkiewicz, K. (2013). Zastosowanie wybranych procedur do wykrywania obserwacji nietypowych w ocenie jakości rzek. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 3(II).

- Business Insider (2021, 9 marca). *Czym jest rynek finansowy?* Pobrano 10 czerwca 2024 z <https://businessinsider.com.pl/gielda/co-to-jest-rynek-finansowy-i-co-nalezy-o-nim-wiedziec/3pl6nxq>
- Choithani, T., Chowdhury, A., Patel, S., Patel, P., Patel, D. i Shah, M. (2024). A Comprehensive Study of Artificial Intelligence and Cybersecurity on Bitcoin, Crypto Currency and Banking System. *Annals of Data Science*, 11(1), 103-135. <https://doi.org/10.1007/s40745-022-00433-5>
- Doman, R. (2004). Wykorzystanie danych wysokiej częstotliwości w prognozowaniu zmienności polskich indeksów giełdowych za pomocą modeli zmienności stochastycznej. *Acta Universitatis Lodzensis. Folia Oeconomica*, (177), 311-328.
- Dopierała, Ł., & Borodo, A. (2014). Znaczenie waluty kryptograficznej Bitcoin jako środka wymiany. *Współczesna Gospodarka*, 5(2).
- Fauzi, M. A., Paiman, N. i Othman, Z. (2020). Bitcoin i kryptowaluta: wyzwania, możliwości i przyszłe prace. *The Journal of Asian Finance, Economics and Business*, 7(8), 695-704.
- Foszcz, D. (2003). Zastosowanie metod bootstrapowych do bilansowania produkcji na przykładzie O/ZWR KGHM „Polska Miedź” SA. *Inżynieria Mineralna*, (3), 64-69.
- Godfrey L., i Orme C. (1991). Testing for Skewness of Regression Distributions. *Economic Letters*, (37), 31-34.
- Gulgowski, J. i Wolnik, B. (2013). *Metody bootstrapowe w statystyce*. Instytut Matematyki, Uniwersytet Gdański.
- Hesterberg, T. (2003). Bootstrap and Permutation Tests—Companion chapter 18 to the „Practice of Business Statistics”. *The Practice of Business Statistics*.
- Jajuga, K. (2006). Ogólne zasady inwestowania. *Anatomia Sukcesu. Instytucje i zasady funkcjonowania rynku kapitałowego*. Fundacja Edukacji Rynku Kapitałowego/ Komisja Nadzoru Finansowego.
- Kądziołka, K. (2015). Ocena ryzyka inwestycji w kryptowalutę Bitcoin. *Współczesna Gospodarka*, 6(3), 1-8.
- Kosiorowski, D., Rydlewski, J. P. i Zawadzki, Z. (2018). Wykrywanie funkcjonalnych obserwacji odstających na przykładzie monitorowania jakości powietrza. *Przegląd Statystyczny*, 65(1), 82-98.
- More, S. T. B. (2004). Productive. *Environmental Justice Politics*, (163), 111-121.
- Pekasiewicz, D., Domański, C., Baszczyńska, A. i Witaszczyk, A. (2014). *Testy statystyczne w procesie podejmowania decyzji*. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego.
- Piontek, K. (2007). Pomiar i testowanie skośności rozkładów stóp zwrotu instrumentów finansowych. *Prace Naukowe Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu. Taksonomia*, (14), 122-130.
- Porcenałuk, P. (2013). Analiza wybranych miar ryzyka płynności dla akcji notowanych na GPW w Warszawie w latach 2001-2011. *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, (323), 289-297.
- Trzpiot, G. (2013). Wybrane statystyki odporne. *Studia Ekonomiczne*, (152), 163-173.
- Walker, M. L., Dovoedo, Y. H., Chakraborti, S., i Hilton, C. W. (2018). An Improved Boxplot for Univariate Data. *The American Statistician*, 72(4), 348-353.

Verification of the Occurrence of Calendar Anomalies in the Cryptocurrency Market Based on the Example of Bitcoin

Abstract: Huge technological progress and the transfer of payments to the Internet have opened up completely new possibilities in financial management and making payments. In 2008, there was a breakthrough when a new concept of electronic payments was created – Bitcoin, which quickly became the most popular cryptocurrency in the world. Currently, topics regarding Bitcoin and other cryptocurrencies are very topical, especially the question of whether Bitcoin can function as a means of payment and money. The financial market is closely related to the concept of risk, therefore Bitcoin was analysed in this context, defining risk as the standard deviation of Bitcoin rates of return. The bootstrap test conducted allowed us to determine that the risk of investing in Bitcoin differs in individual time subperiods. Relationships between social customs and Bitcoin hourly anomalies were identified, so it was concluded that this topic is still relevant and it is worth conducting further research in this area.

Keywords: Bitcoin, cryptocurrencies, calendar effects, investment risk, bootstrap test