Obraz zawierający Grafika, Czcionka, logo, design

Opis wygenerowany automatycznie

Studium Magisterskie

Kierunek Big Data – Analiza Danych

Imię i nazwisko autora

Piotr Jakubowski

Nr albumu 101281

Porównanie dokładności prognoz cen Bitcoina przy użyciu sieci LSTM, danych on-chain oraz algorytmów tradingowych

Praca Magisterska

Pod kierunkiem naukowym

Warszawa 2023

Spis treści

[1 Wprowadzenie 5](#_Toc143466677)

[2 Rynek Bitcoina 6](#_Toc143466678)

[2.1 Zasady działania Bitcoina 7](#_Toc143466679)

[2.1.1 Blockchain 7](#_Toc143466680)

[2.1.2 Bitcoin mining 11](#_Toc143466681)

[2.1.3 Proof-of-work 14](#_Toc143466682)

[2.2 Korelacja z innymi rynkami 16](#_Toc143466683)

[2.2.1 Korelacja ceny 18](#_Toc143466684)

[2.2.2 Korelacja zwrotu z inwestycji 21](#_Toc143466685)

[2.3 Charakterystyka rynku Bitcoina 24](#_Toc143466686)

[2.3.1 Zmienność 25](#_Toc143466687)

[2.3.2 Cykliczność 27](#_Toc143466688)

[2.3.3 Psychologia rynku kryptowalut 30](#_Toc143466689)

[3 Sieci neuronowe 31](#_Toc143466690)

[3.1 Rodzaje sieci neuronowych 31](#_Toc143466691)

[3.2 Architektura sieci neuronowej 31](#_Toc143466692)

[3.3 Deep learning 32](#_Toc143466693)

[3.4 Handel algorytmiczny 32](#_Toc143466694)

[4 Metodologia 32](#_Toc143466695)

[4.1 Źródło danych 32](#_Toc143466696)

[4.2 Metodologia 32](#_Toc143466697)

[5 Rezultaty 32](#_Toc143466698)

[6 Podsumowanie i wnioski 32](#_Toc143466699)

[Bibliografia 32](#_Toc143466700)

# Wprowadzenie

Celem niniejszej pracy było zbadanie zastosowania sieci LSTM – *Long Short-Term Memory,* algorytmów tradingowych oraz analizy danych on-chain, jako strategii inwestycyjnych na charakteryzującym się dużą zmiennością rynku kryptowalut. Dodatkowym celem było wskazanie zalet oraz wad każdej z metod, ocena ich użyteczności i skuteczności, a także próba wyłonienia najlepszej z nich.

Powyższy cel został wybrany ze względu na fakt, według którego „w przybliżeniu 78% wszystkich transakcji na giełdach w roku 2020 opierało się na zautomatyzowanych systemach i algorytmach”[[1]](#footnote-1) (Staff of the U.S. Securities and Exchange Commission, 2020). W związku z tym, a także w związku z rosnącą popularnością sztucznej inteligencji w pracy oceniono ich wpływ oraz przydatność na rynku kryptowalut.

Zakres pracy obejmował przedstawienie kryptowaluty Bitcoin, sieci neuronowych oraz algorytmów wykorzystywanych w handlu aktywami cyfrowymi, stworzenie oraz przetestowanie sieci LSTM mającej za zadanie predykcję zmiany ceny Bitcoina, stworzenie oraz przetestowanie algorytmów mających w określonych warunkach dokonywać transakcji kupna i sprzedaży kryptowaluty oraz stworzenie i analiza dashboardu zawierającego najważniejsze dane on-chain.

W pierwszej części teoretycznej opisano zasady działania *Bitcoina,* wpływający na wycenę mechanizm podaży kryptowaluty oraz jej fundamenty. Następnie porównano *Bitcoina* z innymi, tradycyjnymi aktywami takimi jak amerykańskie akcje, obligacje, rynek nieruchomości, ropa naftowa, złoto oraz rynki wschodzące w celu znalezienia zarówno podobieństw jak również korelacji cen oraz dziennych zwrotów z inwestycji. Na końcu zbadano cechy charakterystyczne dla rynku kryptowalut w celu ustalenia czynników powodujących wahania ceny.

Następnie Uzupełnię po napisaniu rozdziałów

W ostatniej części Uzupełnię po napisaniu rozdziałów

Do niedawna rynek kryptowalut był doskonały dla początkujących traderów. Nie dosyć że był otwarty 24 godziny na dobę, to ceną kierowały głównie popyt oraz podaż. Wraz ze wzrostem kapitalizacji Bitcoina oraz szeroko rozumianego runku kryptowalut, wśród naukowców, inwestorów oraz entuzjastów technologii pojawiły się zarówno debaty na temat użyteczności tych klas aktywów jak i złożoności oraz konkurencyjności strategii zarabiania na nich. Pojawiły się również manipulacje ceną, a także handel z wykorzystaniem szeroko rozumianych botów.

Decyzja o rozpoczęciu pisania pracy oceniającej przydatność sieci neuronowych LSTM, handlu algorytmicznego oraz analizy danych on-chain na rynku Bitcoina wynikła ze względów potrzeby zbadania wpływów technologicznych i algorytmicznych w dziedzinie inwestowania w kryptowaluty, a także statystyki według której około 70% rynku kryptowalut jest przedmiotem obrotu przez boty. Według Matthew Rothmana, analityka z Barclays Capital, „jeszcze w roku 2005 mniej niż jedna czwarta wolumenu obrotu akcjami w USA była generowana przez wysoką częstotliwość handlowców, a niewielu, włączając w to fundusze uważało to nie więcej niż za strategię niszową”[[2]](#footnote-2) (Rogow, 2009). Liczby te pokazują, że handel giełdowy w coraz większym stopniu będzie opierał się na szeroko rozumianych algorytmach, szczególnie w obliczu rosnącej popularności sztucznej inteligencji. To z kolei rodzi pytania o opłacalność tradycyjnych i nowatorskich strategii inwestycyjnych w takim otoczeniu.

# Rynek Bitcoina

Kryptowaluty to waluty cyfrowe będące alternatywą dla walut fiducjarnych. Ich wdrożenie opiera się na zasadach kryptografii, służącej zarówno do walidacji transakcji, jak i do generowania nowych tokenów. Implementacja kryptowalut zazwyczaj wykorzystuje schemat *proof-of-stake* lub *proof-of-work* rejestrujący wszystkie transakcje w księdze publicznej w celu ochrony sprzedawców przed oszustwami. Większość kryptowalut ma na celu stopniowe wprowadzanie nowej waluty, ograniczając całkowitą ilość pieniędzy w obiegu, aby uniknąć zjawiska inflacji, jakie często ma miejsce w przypadku walut fiducjarnych. Najpopularniejszą kryptowalutą jest niewątpliwie Bitcoin. Został on stworzony przez człowieka lub organizację znaną pod nazwą *Satoshi Nakamoto*, którego prawdziwa tożsamość jest wciąż nieznana. Podobnie jak inne kryptowaluty, Bitcoin wykorzystuje techniki kryptograficzne, a dzięki systemowi open source każdy może kontrolować i modyfikować jego kod źródłowy. Bitcoin został stworzony w celu umożliwienia użytkownikom dokonywania płatności *peer-to-peer,* czyli bezpośrednio od nadawcy do odbiorcy, bez pośrednictwa żadnych instytucji finansowych. „Sieć opatruje transakcje znacznikami czasu, haszując je na ciągły łańcuch algorytmu *proof-of-work* z wykorzystaniem skrótów kryptograficznych, tworząc zapis, którego nie da się zmienić bez wykonywania od nowa algorytmu *proof-of-work*”[[3]](#footnote-3) (Nakamoto, 2008). Dzięki temu, dopóki większość sieci będzie kontrolowana przez węzły wspomagające bezpieczeństwo, zagrożenia takie jak cenzurowanie sieci oraz podwójne wydawanie są niemożliwe.

## Zasady działania Bitcoina

Bitcoin jest zdecentralizowaną walutą cyfrową, która działa bez pomocy zaufanej trzeciej strony w postaci rządu, czy banku. Używa transakcji peer-to-peer w oparciu o sieć cyfrową, która rejestruje wszelkie transakcje kryptowalutowe. Sieć jest zasilana przez blockchain, który łączy w łańcuchy bloki historii transakcji, aby zapobiec manipulacji.

### Blockchain

*Blockchain* jest to rozproszona, niezmienna baza danych zawierająca informacje o transakcjach dokonanych w przeszłości oraz o utworzeniu nowych Bitcoinów, stanowiących nagrodę dla górników za tworzenie kolejnych bloków. *Blockchain* znany jest jako cyfrowy rejestr sieci Bitcoin i składa się z sekwencji bloków, w którym każdy kolejny blok jest zbudowany na podstawie poprzedniego i zawiera informacje o nowych transakcjach w sieci. Każdy blok składa się z:

- wysokości bloku określającego numer bloku,

- rozmiaru bloku określającego wagę bloku,

- wersji bloku określającego wersję łańcucha bloków,

- hashMerkleRoot stanowiący *hash* wszystkich *hashy* transakcji z danego bloku,

- *hash* stanowiący zaszyfrowany przez funkcję kryptograficzną skrót bloku,

- liczby transakcji,

- nagrody za blok będącej źródłem podaży kryptowaluty oraz zachęty dla osób utrzymujących sieć,

- znacznika czasu określający dokładny czas otwarcia bloku,

- transakcji, które mogą być zarówno transakcjami jak również dowolnym innym zdarzeniem,

- skrótu poprzedniego bloku,

- trudności bloku określającego miarę bezpieczeństwa oraz trudność konkurowania o nagrodę

- *nonce,* czyli zmiennej, którą górnicy manipulują podczas procesu wydobywania, aby wytworzyć *hash* bloku, który spełnia określone warunki określone przez aktualny poziom trudności sieci.

Uproszczony schemat bloków przedstawiono na rysunku numer 1.

Obraz zawierający tekst, zrzut ekranu, Czcionka, numer

Opis wygenerowany automatycznie

**Rysunek 1. Uproszczony schemat budowy bloków w sieci Bitcoin. Źródło: https://bithub.pl/bithub-plus/wszystko-co-musisz-wiedziec-o-bloku-i-trudnosci-wydobywania-bitcoina/.**

Skrót *hash* służy do identyfikacji bloku oraz jest zawarty w nagłówku kolejnego bloku w celu zapewnienia ich odpowiedniej kolejności oraz nienaruszalności. Jakakolwiek modyfikacja bloku zawartego w łańcuchu, modyfikuje również jego *hash*, który zawiera się już w bloku sąsiadującym. Powoduje to odrzucenie przez sąsiadujący blok.

„Każdy blok w sieci jest ograniczony do około 2400 transakcji. Wynika to z faktu, że średni rozmiar transakcji wynosi 500 bajtów, a jeden blok Bitcoina może pomieścić do 1,3 MB danych”[[4]](#footnote-4) (Kosior, 2022). Dodatkowo, każdy blok generowany jest co około 10 minut. Powoduje to relatywnie wysokie opłaty transakcyjne w celu priorytetyzacji danej transakcji. Dla porównania Visa jest w stanie procesować około 24000 transakcji na sekundę, co stanowi znaczącą konkurencję w realizacji pierwotnej funkcji Bitcoina jaką miał być elektroniczny system pieniężny typu peer-to-peer.

Rejestr sieci Bitcoin jest zdecentralizowany, to znaczy, że wszyscy uczestnicy sieci mają własne kopie łańcucha bloków i mogą go modyfikować oraz publiczny, czyli możliwy do przeczytania przez każdego. Decentralizacja sieci Bitcoin polega na fakcie, że nie ma jednostki nadzorczej, istnieje jednak zestaw zasad, które każdy użytkownik musi przestrzegać. W konsekwencji uczestnicy wzajemnie się kontrolują. W momencie dokonania transakcji, informacja o niej jest przekazywana pomiędzy węzłami dopóki wszystkie węzły nie zostaną poinformowane. W całym tym procesie integralność transakcji jest zapewniana przez kryptografię asymetryczną, w której klucz prywatny nadawcy szyfruje transakcję, a pozostali użytkownicy sieci mogą odczytać wiadomość za pomocą klucza publicznego. Innymi słowy, oznacza to, że każdą transakcję można przypisać konkretnemu aktorowi, ponieważ nikt inny nie ma dostępu do jego klucza prywatnego. Gdy informacje krążą w sieci, każdy może ją przeczytać, ale nie może ponownie zakodować zmienionej transakcji. Na rysunku numer 2 przedstawiono schemat, na którym widać, że „każdy z właścicieli przekazuje monetę następnemu, podpisując cyfrowo *hash* poprzedniej transakcji oraz klucz publiczny następnego właściciela dopisując je na końcu monety. Odbiorca może zweryfikować podpisy celem zweryfikowania łańcucha własności”[[5]](#footnote-5) (Nakamoto, Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System, 2008).

Obraz zawierający tekst, diagram, Plan, zrzut ekranu

Opis wygenerowany automatycznie

**Rysunek 2. Schemat przesyłania Bitcoina po sieci. Źródło: https://bitcoin.org/files/bitcoin-paper/bitcoin\_pl.pdf.**

Funkcję haszującą dla Bitcoina jest funkcja SHA-256, która dla dowolnej informacji wejściowej tworzy skrót o długości 256 bitów, lub inaczej 64 znaków. Jest to funkcja jednokierunkowa. Oznacza to, że uzyskanie danych wyjściowych z danych wejściowych jest stosunkowo łatwe, natomiast odwrócenie tego procesu wymaga bardzo dużej mocy obliczeniowej oraz czasu. W praktyce jest to w zasadzie niemożliwe i polega na zgadnięciu jednej z 2256 kombinacji. Algorytmy haszujące są powszechnie stosowane przy podpisach cyfrowych lub sprawdzaniu integralności danych, natomiast w przypadku Bitcoina, służą do generowania nowych adresów oraz kluczy, a także są ważną częścią procesu *miningu,* czyli kopania Bitcoina.

### Bitcoin mining

Aby sieć działała sprawnie, potrzebne są podmioty, które zbierają transakcje, ustalają poprawność i łączą w potencjalne bloki. Podmiotami tymi są górnicy. W nagrodę za swoje działania otrzymują kwotę w nowo utworzonych Bitcoinach, wraz z niewielką opłatą transakcyjną, pobieraną po zatwierdzeniu bloku i włączeniu go do głównego łańcucha. Dzieje się tak, gdy większość uczestników sieci osiągnęła konsensus w sprawie dodania kandydata na blok do swojej kopii łańcucha.

Kopanie kryptowalut zapewnia sieci bezpieczeństwo oraz decentralizację. Jest również odpowiedzialne za ich podaż. Proces *miningu* opiera się na ściśle określonych zasadach, które ograniczają proces wydobycia, uniemożliwiając komukolwiek arbitralne tworzenie nowych tokenów. Zasady te są wpisane w podstawowe protokoły kryptowalut oraz walidowane przez sieć górników. Aby utworzyć nowe jednostki kryptowaluty, górnicy wykorzystują swoją moc obliczeniową do rozwiązywania złożonych zagadek kryptograficznych. Górnik, który jako pierwszy rozwiąże problem, może dodać nowy blok transakcji do blockchainu i rozesłać go do sieci.

Każda nowa transakcja na *blockchainie* jest najpierw wysyłana do ­*mempoola* (*memory pool*), czyli puli pamięci. Następnie, górnicy weryfikują oraz uporządkowują te transakcje w bloki. Inaczej mówiąc, węzeł wydobywczy jest odpowiedzialny za zbieranie niepotwierdzonych transakcji z puli pamięci oraz składanie ich w blok kandydujący. Następnie, zadaniem górnika jest przekształcenie bloku kandydującego w potwierdzony blok. W celu potwierdzenia bloku górnik musi rozwiązać złożony problem matematyczny, który wymaga dużej mocy obliczeniowych. Za każdy potwierdzony blok otrzymuje nagrodę składającą się z nowo utworzonych kryptowalut oraz opłat transakcyjnych. Transakcje z wyższą opłatą transakcyjną będą szybciej zrealizowane, ze względu na fakt, że te transakcje są bardziej opłacalne dla górników do przetwarzania. Z tego samego względu, w okresie wzmożonego zainteresowania kryptowalutami, opłaty transakcyjne są większe. Istnieje bowiem zagrożenie, że przez zwiększoną liczbę transakcji oraz zbyt niską opłatę transakcyjną, przelew przez długi czas nie zostanie zrealizowany. Uproszczony schemat działania *mempoola* został przedstawiony na rysunku numer 3.

Obraz zawierający tekst, diagram, zrzut ekranu, linia

Opis wygenerowany automatycznie

**Rysunek 3. Uproszczony schemat działania mempoola. Źródło: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667295221000349.**

Pierwszym krokiem, wykonywanym przez górników podczas procesu kopania jest pobranie transakcji, które znajdują się w *mempoolu,* a następnie stworzenie z każdej z nich skrótu, przy użyciu funkcji hashującej. Dodatkowo, górnicy do każdego bloku dodają transakcję, która stanowi dla nich nagrodę blokową oraz spełnia funkcję podażową dla systemu. Po zahashowaniu oraz wypisaniu każdej transakcji, są one grupowane w drzewo hashów inaczej zwanym drzewem Mekrle. Tworzone jest ono poprzez grupowanie hashów transakcji w pary, hashowanie ich, aż do momentu powstania jednego hashu, nazywanego korzeniem Merkle. Po utworzeniu hasha reprezentującego wszystkie transakcje z bloku, górnicy muszą utworzyć prawidłowy nagłówek bloku, który składa się z nagłówka poprzedniego bloku, korzenia bloku kandydackiego oraz liczby losowej (*nonce*). Górnicy dokonują tego używając funkcji hashującej oraz tych trzech wartości jako dane wejściowe. Powtarzają oni tę czynność do czasu uzyskania prawidłowego hashu, to znaczy zaczynającego się od określonej liczby zer. Liczba zer jest zależna od trudności wydobycia, które zmienia się aby docelowo powstawał jeden blok co około 10 minut. Jako, że korzeń Markle oraz nagłówek poprzedniego bloku są niezmienne, górnicy muszą manipulować wartością *nonce* w celu uzyskania prawidłowego nagłówka bloku. Schemat drzewa Markle oraz tworzenia nagłówka bloku został przedstawiony na rysunku numer 4.

Obraz zawierający tekst, diagram, linia, Plan

Opis wygenerowany automatycznie

**Rysunek 4. Schemat drzewa Markle oraz nagłówka bloku. Źródło: https://bitcoin.org/bitcoin.pdf**

Po znalezieniu odpowiedniego hasha dla bloku, górnik ogłasza dany blok w sieci. Pozostali górnicy sprawdzają prawidłowość bloku oraz jego funkcji skrótu, a następnie, jeśli blok został stworzony prawidłowo, dodają go do swojej kopii *blockchaina*.

### Proof-of-work

„Gdy blok zostanie zatwierdzony, zostaje dodany do blockchaina, a górnicy rozpoczynają pracę nad kolejnym blokiem. Ważny hash wyprodukowany przez górników, funkcjonuje jako dowód ich pracy i dlatego algorytm konsensusu Bitcoina nazywa się *Proof of Work*”[[6]](#footnote-6) (Binance Holdings Ltd.). Konsensus ten jest niezbędny do funkcjonowania zdecentralizowanej sieci *peer-to-peer,* jaką jest Bitcoin, w którą każdy może mieć swój wkład. Aby sieć działała prawidłowo, tysiące operatorów węzłów muszą uzgodnić stan sieci na której działają. „Mechanizm konsensusu to proces, w ramach którego sieć niezawodnie i automatycznie określa, który przesłany blok uczestnika zostanie dodany do łańcucha, tym samym tworząc i nagradzając go nowo wytworzoną kryptowalutą w tym procesie”[[7]](#footnote-7) (Hayward, 2021). Mechanizm konsensusu *proof-of-work* został zaprojektowany przez twórcę Bitcoina Satoshi Nakamoto oraz jest stosowany w wielu innych projektach kryptowalutowych. Dzięki niemu sieć może pozostać zdecentralizowana bez potrzeby ufania któremukolwiek z górników. Zamiast tego sieć opiera się na zaufaniu do infrastruktury technologicznej. *Proof-of-work* jest kluczowym elementem Bitcoina, gdyż bez tak energochłonnego procesu można by było przeprowadzić atak na sieć. Obecnie, aby dokonać manipulacji blokami oraz wykorzystać system należy posiadać co najmniej 51% udziału w łącznej mocy wydobywczej. W praktyce jest to w zasadzie niemożliwe, gdyż wymagałoby to od pojedynczego górnika dysponowania ogromną ilością mocy obliczeniowej, lub zmowy dużej liczby górników. Dodatkowym aspektem jest fakt, że *hashrate* sieci Bitcoin cały czas rośnie, a co za tym idzie rośnie także trudność wydobycia oraz ilość mocy obliczeniowej utrzymującej sieć. „*Hasharate* jest to miara mocy obliczeniowej sieci blockchain, która wyrażona jest w ilości prób rozwiązania matematycznego problemu na sekundę – hashów na sekundę (H/s)” [[8]](#footnote-8) (Mykesz, 2023). Na rysunku numer 6 przedstawiono wykres *hasrate Bitcoina*.

Obraz zawierający linia, Wykres, tekst, zrzut ekranu

Opis wygenerowany automatycznie

**Rysunek 5. Wykres hasrate Bitcoina. Źródło: https://www.coinwarz.com/mining/bitcoin/hashrate-chart.**

Minusem powiększającego się zapotrzebowania na moc obliczeniową, a zarazem systemu *proof-of-work* jest rosnące zapotrzebowanie na energię. Porównując Bitcoina do systemu bankowego okazuje się, że Bitcoin pobiera znacznie mniej energii, która w wielu przypadkach jest nieciągła lub nadmiarowa, tym samym przyczyniając się do rozwoju sektora energetycznego.

## Korelacja z innymi rynkami

Jako, że *Bitcoin* jest młodym aktywem, zaraz po jego powstaniu cena ulegała mocnym wahaniom, a wielu inwestorów uznało *Bitcoina* za bardzo dobrą inwestycję alternatywną oraz uzupełnienie tradycyjnego portfela.

Z tego powodu w pracy sprawdzono korelację *Bitcoina* z rynkiem akcji amerykańskich, runkiem obligacji Stanów Zjednoczonych, złotem, cenami nieruchomości w Stanach Zjednoczonych, ropą naftową oraz rynkami wschodzącymi.

Jako reprezentację poszczególnych pozycji przyjęto:

- rynek akcji amerykańskich - indeks SP 500, czy pięciuset największych spółek amerykańskich,

- rynek obligacji – fundusz *iShares Core U.S. Aggregate Bond ETF*, którego celem jest śledzenie wyników inwestycyjnych indeksu obejmującego cały rynek amerykańskich obligacji o ratingu inwestycyjnym.

- złoto - *SPDR Gold Trust,* czyli zabezpieczony fizycznym złotem fundusz inwestycyjny oferujący ekspozycję na ten metal szlachetny,

- ceny nieruchomości w Stanach Zjednoczonych - *Vanguard Real Estate ETF,* czyli fundusz inwestujący w akcje spółek zarządzających nieruchomościami (*REITs – Real Estate Investment Trusts*),

- ropa naftowa - *WTI Crude Oil (West Texax Intermediate),* cena referencyjna ropy naftowej w Stanach zjednoczonych stanowiąca punkt odniesienia dla kupujących i sprzedających,

- rynki wschodzące - *iShares MSCI Emerging Markets ETF,* czyli fundusz, który ma na celu śledzenie wyników inwestycyjnych indeksu składającego się z akcji rynków wschodzących o dużej i średniej kapitalizacji.

Do analizy korelacji przyjęto dane począwszy od początku roku 2016. W tamtym okresie *Bitcoin* rozpoczął swoją pierwszą medialną hossę oraz został przedstawiony szeroko rozumianemu społeczeństwu. Tym samym rynek *Bitcoina* zaczął zyskiwać globalną rozpoznawalność. Za datę końcową przyjęto koniec 2022 roku w celu uzyskania danych z okresu pełnych siedmiu lat.

Obie korelacje obliczono metodą *Pearsona*. „Dwuwymiarowa korelacja Pearsona daje przykładowy współczynnik korelacji r, który mierzy siłę i kierunek zależności liniowych między parami zmiennych ciągłych. Co za tym idzie, korelacja Pearsona ocenia, czy istnieje statystyczny dowód na liniową zależność między tymi samymi parami zmiennych w populacji, reprezentowaną przez współczynnik korelacji populacji”[[9]](#footnote-9) (Nashirah Abu Bakar, 2008). Korelacja to zastała obliczona następującym wzorem:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1) |
| Gdzie:  - spółczynnik korelacji Pearsona między zmiennymi x i y  - wartości obserwacji dla odpowiednio x i y  - średnie wartości dla odpowiednio dla x i y  n – liczba obserwacji |  |

### Korelacja ceny

W pierwszej kolejności sprawdzono korelację ceny poszczególnych aktywów. Korelacja ta sprawdza zależność ruchu cen względem siebie. W przypadku gdy obie ceny poruszają się w tę samą stronę, korelacja jest dodatnia, natomiast gdy ceny poruszają się w różnych kierunkach, korelacja jest ujemna.

Na rysunku numer 6 widać, że w latach 2016-2022 cena *Bitcoina* była najbardziej skorelowana z giełdą SP500, a najmniej z amerykańskimi obligacjami. Może to świadczyć o tym, że *Bitcoin* jest aktywem wysokiego ryzyka przez co jest słabo skorelowany z bezpiecznymi obligacjami. Dodatkowo widać, że cena SP500 nie jest skorelowana tak mocno z ceną żadnego innego analizowanego aktywa, jak z *Bitcoinem*.

Obraz zawierający tekst, zrzut ekranu, Czcionka, numer

Opis wygenerowany automatycznie

**Rysunek 6. Korelacja cen Bitcoina, amerykańskich akcji, obligacji, rynku nieruchomości, ropy naftowej, złota oraz rynków wschodzących na przestrzeni lat 2016-2022. Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z https://finance.yahoo.com/.**

Na rysunku numer 7 przedstawiono mapę cieplną omawianej wyżej korelacji, na której dodatkowo widać, że amerykańskie obligacje mają niską lub ujemną korelację z każdym z analizowanych aktywów. Jest to przewidywalny wynik z uwagi na fakt, że w przeciwieństwie do pozostałych są one powszechnie uważane za najbezpieczniejsze aktywo. Jest to spowodowane faktem, że emitentem papierów dłużnych są Stany Zjednoczone, tak więc zabezpieczeniem jest tu jedna z największych gospodarek na świecie.

Obraz zawierający tekst, zrzut ekranu, kwadrat, Wielobarwność

Opis wygenerowany automatycznie

**Rysunek 7. Mapa cieplna korelacji cen Bitcoina, amerykańskich akcji, obligacji, rynku nieruchomości, ropy naftowej, złota oraz rynków wschodzących na przestrzeni lat 2016-2022. Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z https://finance.yahoo.com/.**

Następnie dla dokładniejszej analizy przedstawiono korelację cen *Bitcoina* z resztą analizowanych aktywów w podziale na pełne lata. Na rysunku numer 8 zauważono, że pomimo silnej korelacji cen *Bitcoina* z SP500 na przestrzeni lat 2016-2022, korelacja ta jest słaba w roku 2018 oraz 2021. Lata te były okresem zakończenia dwóch hoss oraz rozpoczęciem dynamicznych spadków na rynku kryptowalut. Oznacza to, że spadki *Bitcoina* są niezależne od pozostałej części rynku i może być niemożliwe ich przewidzenie w oparciu o cenę SP500.

Obraz zawierający tekst, zrzut ekranu, Czcionka, numer

Opis wygenerowany automatycznie

**Rysunek 8. Korelacja cen Bitcoina, amerykańskich akcji, obligacji, rynku nieruchomości, ropy naftowej, złota oraz rynków wschodzących na przestrzeni lat 2016-2022, w rozbiciu na poszczególne lata. Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z https://finance.yahoo.com/.**

Kolejnym krokiem było stworzenie mapy cieplnej korelacji cen *Bitcoina* z resztą analizowanych aktywów w podziale na pełne lata. Przedstawiono ją na rysunku numer 9. Po zwizualizowaniu danych nie widać żadnych szczególnych wzorów poza niższą korelacją dla wszystkich aktywów w roku 2018 oraz 2021. Potwierdza to jedynie fakt, że ruchy ceny *Bitcoina* są gwałtowne i niezależne od pozostałych rynków.

Obraz zawierający tekst, zrzut ekranu, kwadrat, Prostokąt

Opis wygenerowany automatycznie

**Rysunek 9. Mapa cieplna korelacji cen Bitcoina, amerykańskich akcji, obligacji, rynku nieruchomości, ropy naftowej, złota oraz rynków wschodzących na przestrzeni lat 2016-2022, w rozbiciu na poszczególne lata. Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z https://finance.yahoo.com/.**

### Korelacja zwrotu z inwestycji

Pomimo zauważalnej korelacji ceny *Bitcoina* z rynkiem SP500, w momentach gwałtownych ruchów cenowych kryptowaluty, korelacja ta zanikała. W tym celu sprawdzono korelację zwrotu z inwestycji pomiędzy wcześniej analizowanymi aktywami. Miara ta jest powszechnie używana do analizy korelacji kryptowalut z rynkami tradycyjnymi przez firmy takie jak *Fidelity Digital Assets* lub *Coinbase Institutional*. Jest to bardziej dynamiczna miara, która uwzględnia krótkoterminowe fluktuacje i może dostarczyć bardziej szczegółowych informacji na temat tego, jak te dwa aktywa reagują na codzienne wydarzenia na rynku.

W przypadku analizy korelacji dziennych zwrotów z inwestycji, korelacja *Bitcoina* oraz SP500 jest znów najwyższa spośród pozostałym aktywów, natomiast jest znacząco niższa niż korelacja cen tych dwóch aktywów. Jak wydać na rysunku numer 10 wynosi ona zaledwie 0,24. Oznacza to, że korelacja jest słaba i nie da się przewidzieć zwrotu z inwestycji na podstawie historycznych danych innego aktywa.

Obraz zawierający tekst, zrzut ekranu, Czcionka, numer

Opis wygenerowany automatycznie

**Rysunek 10. Korelacja dziennych zwrotów z inwestycji w Bitcoina, amerykańskie akcje, obligacje, rynek nieruchomości, ropę naftową, złoto oraz rynki wschodzące na przestrzeni lat 2016-2022. Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z https://finance.yahoo.com/.**

Następnym krokiem było wykonanie mapy cieplnej z uzyskanych danych. Na rysunku numer 11 widać korelację pomiędzy giełdą Stanów Zjednoczonych, nieruchomościami oraz rynkami wschodzącymi, natomiast w przypadku *Bitcoina*, żadne aktywo nie jest skorelowane.

Obraz zawierający zrzut ekranu, tekst, kwadrat

Opis wygenerowany automatycznie

**Rysunek 11. Mapa cieplna korelacji dziennych zwrotów z inwestycji w Bitcoina, amerykańskie akcje, obligacje, rynek nieruchomości, ropę naftową, złoto oraz rynki wschodzące na przestrzeni lat 2016-2022. Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z https://finance.yahoo.com/.**

Dla bardziej dokładnej analizy rozdzielono korelację analizowanych aktywów z *Bitcoinem* na poszczególne lata. Na rysunku numer 12 widać, że korelacja dziennych zwrotów z inwestycji znacząco zwiększa się w latach 2020-2022.

Obraz zawierający tekst, zrzut ekranu, Czcionka, numer

Opis wygenerowany automatycznie

**Rysunek 12. Mapa cieplna korelacji dziennych zwrotów z inwestycji w Bitcoina, amerykańskie akcje, obligacje, rynek nieruchomości, ropę naftową, złoto oraz rynki wschodzące na przestrzeni lat 2016-2022, w rozbiciu na lata. Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z https://finance.yahoo.com/.**

W celu łatwiejszej analizy danych, stworzono mapę cieplną na podstawie danych z rysunku numer 12. Na rysunku numer 13 wyraźnie widać, że korelacja dziennych zwrotów z inwestycji w *Bitcoina* z innymi analizowanymi aktywami, w latach 2016-2019 jest bliska zeru. Jest to prawdopodobnie spowodowane faktem, że rynek ten był na wczesnym etapie rozwoju. Potwierdza to fakt, że od roku 2020 korelacja z SP500, amerykańskimi nieruchomościami, ropą oraz rynkami wschodzącymi wrasta.

Obraz zawierający tekst, zrzut ekranu, kwadrat, numer

Opis wygenerowany automatycznie

**Rysunek 13. Mapa cieplna korelacji dziennych zwrotów z inwestycji w Bitcoina, amerykańskie akcje, obligacje, rynek nieruchomości, ropę naftową, złoto oraz rynki wschodzące na przestrzeni lat 2016-2022, w rozbiciu na lata. Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z https://finance.yahoo.com/.**

„Według Fidelity Digital Assets brak korelacji *Bitcoina* można tłumaczyć faktem, że rynek kryptowalut jest napędzany głównie przez inwestorów detalicznych, oddzieleniem *Bitcoina* od rynków tradycyjnych oraz brakiem nakładania się na siebie uczestników instytucjonalnych na rynkach tradycyjnych i kryptowalutowych. Dodatkowo, rosnąca baza inwestorów instytucjonalnych *Bitcoina* może prowadzić do jego rosnącej korelacji z innymi aktywami, w zależności od ich narracji dla tego aktywa”[[10]](#footnote-10) (Fidelity Digital Assets, 2020).

## Charakterystyka rynku Bitcoina

*Bitcoin* jest inny niż inne aktywa. Cechuje go między innymi pseudoanonimowość, gdyż pomimo rejestracji wszystkich transakcji, tożsamość podmiotów dokonujących transakcji pozostaje anonimowa. Dodatkowo *Bitcoin* w odróżnieniu do tradycyjnych aktywów jest antykruchy, czyli odporny na wszelkiego rodzaju ataki i zakłócenia oraz możliwość umocnienia się w odpowiedzi na nie. „Fenomen tego instrumentu polega na całkowitej umowności jego kursu, kreowanego przez popyt i podaż rynkową, a co za tym idzie, nie ma on żadnego pokrycia majątkowego czy prawnego”[[11]](#footnote-11) (Spyra, 2020). *Bitcoin* jest dodatkowo dostępny dla każdej osoby posiadającej dostęp do Internetu, co wyróżnia go od tradycyjnej bankowości.

### Zmienność

Wraz z adopcją kryptowalut oraz wzrostem zainteresowania inwestorów instytucjonalnych, rynek kryptowalut staje się bardziej dojrzały, a zmienność maleje. Niemniej jednak, porównując *Bitcoina* do innych walut fiducjarnych, kryptowaluta wciąż przejawia znacznie większą zmienność. Według badania przeprowadzonego na danych z lat 2014 – 2017, „podczas gdy rząd wielkości średniego zwrotu był porównywalny na wszystkich rynkach, skrajne obserwacje były znacznie wyraźniejsze w przypadku *Bitcoina* niż w przypadku kursów walutowych. Minima i maksima zaobserwowane dla Bitcoina były około 10 razy wyższe niż dla euro czy jena”[[12]](#footnote-12) (Dirk G. Baur, 2017).

Powodem tego może być brak regulacji, które z dużą dozą prawdopodobieństwa przyczyniłyby się do zmniejszenia skoków zmienności. Na przykładzie rynków walutowych, deprecjacja ceny o kilka procent mogłaby wywołać pewne działania banku centralnego w celu ustabilizowania kursu. Jako, że w przypadku *Bitcoina* nie ma organu nadzorującego, oddziaływania tego typu nie ma miejsca.

„W 2022 roku, średni, dzienny obrót na rynku *forex* wyniósł około 7,5 biliona dolarów”[[13]](#footnote-13) (Bank Rozrachunków Międzynarodowych, 2022). Dla porównania, rynek *Bitcoina* w roku 2022 miał średnio około 1,5 biliona dolarów kapitalizacji. Oznacza to, że całkowita wartość kryptowalut będących w obiegu w 2022 roku była około 5 razy mniejsza niż wartość średniego, dziennego obrotu na rynku *foreks.* Dane te dają pogląd, jak stosunkowo niewielki kapitał jest w stanie spowodować znaczący ruch na rynku kryptowalut.

Na wykresie 14, przedstawiono dwuprocentową głębokość rynku *Bitcoina* na giełdzie *Binance*. Widać na nim ilość aktywa, która jest dostępna do kupna lub sprzedaży w dwuprocentowym przedziale cenowym. Wolumen jest skumulowany, czyli przedstawia ilość *Bitcoina,* którą można kupić po cenie nie wyższej niż ta na osi X.

Obraz zawierający tekst, diagram, zrzut ekranu, linia

Opis wygenerowany automatycznie

**Rysunek 14. 2% głębokość rynku BTC/USDT na giełdzie Binance. Opracowanie własne na posdtawie Binance API.**

Dodatkowo, na rysunku 15 przedstawiono zagregowaną głębokość *Bitcoina*. Dnia 18.08.2023 widać na nim około 40% spadek. Spowodował to spadek kryptowaluty o około 13%. Wydarzenie to potwierdza kryzys płynności *Bitcoina*, który potencjalnie może spowodować gwałtowne ruchy ceny aktywa.

Obraz zawierający tekst, zrzut ekranu, Wykres, linia

Opis wygenerowany automatycznie

**Rysunek 15. Zagregowana głębokość rynku Bitcoina. źródło: https://coinmarketflow.com/coins/bitcoin-btc.**

Poza relatywnie niską kapitalizacją oraz płynnością rynku kryptowalut, wpływ na wysoką zmienność mają również charakterystyczne dla młodych rynków wydarzenia takie jak upadki giełd, czy *rug pulle,* czyli zniknięcie deweloperów z funduszami zaraz po wprowadzeniu oraz spopularyzowaniu tokenu.

### Cykliczność

Pomimo wielu różnic dzielących rynek kryptowalut z tradycyjnymi rynkami, cykliczność jest rzeczą wspólną dla ich wszystkich. Każdy cykl kryptowalutowy można podzielić na 4 fazy. „Jest to faza akumulacji, szybkiego wzrostu, dystrybucji oraz spadku ceny”[[14]](#footnote-14) (Knight, 2021). Wykres zawierający fazy cykli rynku kryptowalut został przedstawiony na rysunku numer 14.

Obraz zawierający linia, Wykres, diagram, tekst

Opis wygenerowany automatycznie

**Rysunek 16. Cztery fazy cyklu kryptowalut. Źródło: https://medium.datadriveninvestor.com/the-4-phases-of-a-crypto-market-cycle-6eb396097b9c**

Faza akumulacji jest początkiem nowego cyklu. Następuje ona po zakończeniu fazy spadkowej. Na tym etapie rynek osiąga swoją najniższą cenę, a sentyment przesuwa się ze skrajnie negatywnego do neutralnego. Podczas akumulacji na rynek powracają doświadczeni inwestorzy, tzw. *smart money* uważający, że największe spadki już minęły*.*

Kolejną fazą jest faza szybkiego wzrostu. Jest to okres, w którym rynek zaczyna się wznosić na coraz wyższe poziomy w coraz szybszym tempie. Nastroje na rynku zmieniają się z neutralnych na optymistyczne, a do rynku dołącza się coraz więcej inwestorów. Pod koniec tej fazy kryptowaluty osiągają maksymalną popularność w mediach, co skutkuje zwiększonym wolumenem na rynku, spowodowanym przez inwestorów indywidualnych. Punkt ten jest identyfikowany w momencie, gdy rynek jest już przewartościowany, a doświadczeni inwestorzy zaczynają sprzedawać.

W momencie, gdy rynek zaczyna się stabilizować, nadchodzi okres dystrybucji. W tej fazie cena jest utrzymywana przez podaż generowaną przez doświadczonych inwestorów oraz popyt generowany wizją ogromnych zysków inwestorów indywidualnych. W okresie dystrybucji nastroje z powrotem zmieniają się na neutralne. Faza ta kończy się, gdy rynek zmienia swój kierunek, a znaczna część inwestorów wierzy w dalsze wzrosty, pomimo spadków.

Ostatnią fazą rynku kryptowalut jest okres gwałtownych spadków. Ten moment jest najtrudniejszym i bardzo emocjonalnym momentem dla inwestorów. Na mediach społecznościowych panuje przekonanie, że rynek wciąż będzie rósł, co tylko umacnia inwestorów w ich złudnych przekonaniach o dalszych wzrostach. Okres ten kończy się w momencie zakończenia spadków oraz wejścia w fazę akumulacji.

Okresowość rynku kryptowalut jest ściśle powiązana z ograniczaniem podaży nowo generowanych *Bitcoinów* po każdym z *halvingów*. Na rysunku numer 15 przedstawiono wszystkie przeszłe oraz prognozowaną przyszłą datę *halvingu*. „Występują one co 210 000 bloków, gdzie wydobycie bloku trwa średnio 10 minut, czyli około co 4 lata”[[15]](#footnote-15) (Kryptoprywaciarz, 2020). Pierwszy *halving*, przypadający na datę 28.11.2012, zmniejszył nagrodę za blok 50 BTC do 25. Drugi *halving*, dnia 9.07.2016, zmniejszył nagrodę z 25 BTC do 12,5 BTC za blok, a trzeci 11.05.2020 z 12,5 BTC do 6,25 BTC. Kolejny obcięcie podaży *Bitcoina* przypaść na 17.04.2024, gdzie nagroda zmniejszy się do 3,125 BTC za blok.

Na rysunku 15 można zauważyć, że każdy z *halvingów* przypadał do tej pory w fazie akumulacji. Może to świadczyć o wpływie obcięcia podaży na cenę lub stanowić dowód na cykliczność *Bitcoina*.

Obraz zawierający tekst, linia, Wykres, diagram

Opis wygenerowany automatycznie

**Rysunek 17. Halvingi Bitcoina. Opracowanie własne na podstawie TradingView.**

Niezależnie od tego, czy regularne obcięcia podaży mają bezpośredni wpływ na cenę analizowanego aktywa, czy *halvingi* działają jak samospełniająca się przepowiednia wpływając na psychikę inwestorów, zdecydowanie można stwierdzić powtarzalność w ruchach ceny *Bitcoina* co cztery lata.

### Psychologia rynku kryptowalut

Wraz z dużą zmiennością na rynku kryptowalut wiążą się również silne emocje wśród inwestorów indywidualnych. „Według wolumenu wyszukiwania w Google, to właśnie oni, a nie duzi inwestorzy instytucjonalni stanowią główny kapitał napędzający hossy”[[16]](#footnote-16) (Hans Byström, 2018). To również inwestorzy indywidualni głównie kupują *Bitcoina* podczas fazy dystrybucji, podczas gdy inwestorzy instytucjonalni skupują dane aktywo podczas fazy akumulacji.

Powodem tego są głównie zjawiska zwane FOMO (*Fear of Missing Out)* oznaczający strach przed utraceniem możliwościoraz FUD (*Fear, Uncertainty, Doubt*), oznaczający strach, niepewność oraz wątpliwość.

Pierwszy termin występuje, gdy jednostki inwestują w kryptowaluty nie mając wystarczającej wiedzy, bądź zrozumienia tematu. Jest to spowodowane faktem, że inwestorzy kierują się historiami innych osób, które odniosły sukces w postaci ogromnych zwrotów z inwestycji w kryptowaluty. FOMO występuje głównie w końcowej fazie wzrostów oraz fazie dystrybucji, kiedy inwestorzy kierują się głównie chciwością oraz myślą że korekta nigdy nie przyjdzie. Powoduje to kupno przewartościowanych aktywów oraz w konsekwencji stratę lub zamrożenie kapitału. FOMO działa jako główny czynnik, który zwiększa globalny popyt na Bitcoina poprzez tworzenie spekulatywnych poglądów na temat tego, w jaki sposób Bitcoin przynosi korzyści inwestorom i powoduje, że są oni chronieni przed utraceniem okazji na zyski.

Zjawisko FUD powstaje w momencie rozpowszechniania negatywnych wiadomości dotyczących blockchainu lub regulacji kryptowalut. Informacje te, w przypadku inwestorów bez odpowiedniej wiedzy mogą wywołać poczucie niepewności oraz strachu na rynku. „Informacje te czasami są rozpowszechniane celowo przez osoby lub grupy mające interes w manipulowaniu rynkiem”[[17]](#footnote-17) (Woźniak, 2023). FUD potęguje zmienność na rynku, utrudniając tym samym podejmowanie racjonalnych decyzji. Negatywne informacje rozpowszechniane są najczęściej w fazie akumulacji, kiedy cena osiągnęła już swoje minima. Powoduje to sprzedaż *Bitcoina* przez niedoświadczonych inwestorów w momencie gdy jest niedowartościowany.

W konsekwencji predykcja ruchu cen kryptowalut jest bardzo trudna, a sam rynek kryptowalut jest nieprzewidywalny i często nieracjonalny. „Jako przykład może posłużyć aktywność na *Tweeterze* Elona Muska. „29.01.2021 Elon Musk zmienił swój opis na #bitcoin. Cena po tym wydarzeniu wzrosła z $32 000 do $38 000 w przeciągu paru godzin, zwiększając kapitalizację *Bitcoina* o $111 000 000”[[18]](#footnote-18) (Ante, 2021). Tego typu aktywność na rynku kryptowalut służy do manipulacji ceną. Jest to możliwe ze względu na brak dojrzałości rynku, niską kapitalizację oraz specyfikę inwestorów kryptowalutowych. Następstwem tego jest znaczna zmienność oraz niska korelacja z innymi rynkami.

# Sieci neuronowe

## Rodzaje sieci neuronowych

## Architektura sieci neuronowej

## Deep learning

## Handel algorytmiczny

Im mniej emocji tym lepiej. Pełne utrzymanie się warunków.

# Metodologia

## Źródło danych

## Metodologia

# Rezultaty

# Podsumowanie i wnioski

# Bibliografia

1. Staff of the U.S. Securities and Exchange Commission, *Report on Algorithmic Trading in U.S. Capital Markets*, 2020, s. 9. [↑](#footnote-ref-1)
2. Geoffrey Rogow, *Rise of the (Market) Machines*, WALL ST. J. MARKETBEAT BLOG, 2009. [↑](#footnote-ref-2)
3. Satoshi Nakamoto, *Bitcoin: Elektroniczny System Pieniężny Typu Peer-to-Peer,* 2008,s. 1. [↑](#footnote-ref-3)
4. Maciej Kosior, *Wszystko, co musisz wiedzieć o bloku i trudności wydobywania Bitcoina,* 2022. [↑](#footnote-ref-4)
5. Satoshi Nakamoto, *Bitcoin: Elektroniczny System Pieniężny Typu Peer-to-Peer,* 2008, s. 2. [↑](#footnote-ref-5)
6. Binance Holdings Ltd., *Mining,* https://academy.binance.com/en/glossary/mining [↑](#footnote-ref-6)
7. Andrew Hayward, *What is Proof-of-Work? How The Bitcoin Network Is Maintained*, 2021. [↑](#footnote-ref-7)
8. Karolina Mykesz, *Co to jest hashrate i jak go obliczyć?, https://www.citethisforme.com/bibliographies/ba0bd01c-edec-4db3-bb71-99d1462db199, 2023.* [↑](#footnote-ref-8)
9. Nashirah Abu Bakar, Sofian Rosbi, *Pearson Product Moment Correlation Diagnostics Between two types of crypto-currencies: A case study of Bitcoin and Ethereum,* International Journal of Advances in Scientific Research and Engineering, 2008, s. 43. [↑](#footnote-ref-9)
10. Fidelity Digital Assets, *Bitcoin’s Role as an Alternative Investment, https://www.fidelitydigitalassets.com/sites/default/files/documents/bitcoin-alternative-investment.pdf, 2020, s. 27.* [↑](#footnote-ref-10)
11. Łukasz Spyra, *Rynek kryptowalut w Polsce i jego instytucjonalne uwarunkowania,* Kwartalnik Nauk o Przedsiębiorstwie, 2020, s. 69 [↑](#footnote-ref-11)
12. Dirk G. Baur, Thomas Dimpf, *Realized Bitcoin Volatility,* 2017, s.7. [↑](#footnote-ref-12)
13. Bank Rozrachunków Międzynarodowych, *2022 Triennial Central Bank Survey*, 2022. [↑](#footnote-ref-13)
14. Richard Knight, *The 4 Phases of a Crypto Market Cycle,* 2021, dostęp: 12/08.2023. [↑](#footnote-ref-14)
15. Kryptoprywaciarz, *Cykliczność rynku Bitcoina, https://kryptoprywaciarz.pl/cyklicznosc-rynku-bitcoina/,* dostęp: 13.08.2023. [↑](#footnote-ref-15)
16. Hans Byström, Dominika Krygier, *What Drives Bitcoin Volatility?,* 2018,s.23. [↑](#footnote-ref-16)
17. Marcin Woźniak, *Psychologia Inwestowania w Bitcoin: Umysł inwestora kryptowalut,* 2023, dostęp: 15.08.2023. [↑](#footnote-ref-17)
18. Lennart Ante, *How Elon Musk’s Twitter activity moves cryptocurrency markets,* BRL Working Paper Series No. 16, 2021, s.1. [↑](#footnote-ref-18)