

Paweł Węgrzyn^{*}

ORCID: 0000-0001-8963-2765

pwegrz@sgh.waw.pl

Marcin Glicz^{**}

ORCID: 0000-0003-4128-0267

marcin.glicz@upsl.edu.pl

Agnieszka Butor-Keler^{***}

ORCID: 0000-0002-2761-3144

abutor@sgh.waw.pl

Zmienność cenowa i ryzyko regulacyjne wybranych kryptowalut jako wyzwanie dla rynków finansowych

Streszczenie

Celem niniejszego artykułu jest oszacowanie i porównanie ryzyka zmienności cenowej kryptowalut (BTC, ETH) oraz tradycyjnych aktywów z wykorzystaniem modeli GARCH, a także identyfikacja ryzyka regulacyjnego wynikającego z obowiązujących i projektowanych regulacji normatywnych. Hipoteza badawcza zakłada, że kryptowaluty, w szczególności BTC i ETH, z uwagi na znaczną zmienność cen oraz niedostateczne ramy regulacyjne, wykazują wyższy poziom ryzyka w porównaniu do tradycyjnych instrumentów finansowych. W rezultacie ich potencjał jako aktywów dywersyfikujących portfel inwestycyjny może być ograniczony, a ich występowanie na rynkach finansowych może przyczyniać się do wzrostu ryzyka inwestycyjnego. Analizę empiryczną przeprowadzono z wykorzystaniem modeli ekonometrycznych GARCH(1,1), służących do badania zmienności warunkowej cen kryptowalut oraz ich porównania z tradycyjnymi aktywami finansowymi, jak pary walutowe EUR/USD, USD/PLN oraz indeksy giełdowe S&P500 i WIG20. Uzyskane wyniki potwierdzają, że BTC i ETH wykazują istotnie większą zmienność cenową niż tradycyjne instrumenty finansowe. Ponadto, wartość zagrożona (ang. *Value at Risk*) dla analizowanych kryptowalut jest znacząco wyższa w porównaniu do tra-

* Paweł Węgrzyn – dr, adiunkt, Katedra Geografii Ekonomicznej, Szkoła Główna Handlowa w Warszawie.

** Marcin Glicz – dr hab., LL.M., prof. ucz., Instytut Prawa i Administracji, Uniwersytet Pomorski w Słupsku.

*** Agnieszka Butor-Keler – dr, adiunkt, Zakład Cyfrowych Finansów FINTECH, Szkoła Główna Handlowa w Warszawie.

Poglądy wyrażone w artykule są poglądami osobistymi autorów i nie wyrażają oficjalnego stanowiska instytucji, w której są zatrudnieni.

dycyjnych instrumentów finansowych. Elementem badania jest także sfera regulacyjna, w tym analiza normatywna aktów prawnych poświęconych rynkowi kryptoaktywów oraz ocena roli tych regulacji w kontekście mitygacji ryzyka dla rynków finansowych.

Słowa kluczowe: kryptowaluty, zmienność cenowa, bitcoin, ether, GARCH

Kody JEL: C58, G12, G18, K22

Price volatility and regulatory risk of selected cryptocurrencies as a challenge for financial markets

Abstract

The aim of this article is to estimate and compare the price volatility risk of cryptocurrencies (BTC and ETH) and traditional financial assets using GARCH models, as well as to identify regulatory risk stemming from existing and proposed normative frameworks. The research hypothesis assumes that cryptocurrencies – particularly BTC and ETH – exhibit a higher level of risk compared to traditional financial instruments, due to their significant price volatility and insufficient regulatory frameworks. As a result, their potential as portfolio diversification assets may be limited, and their presence in financial markets may contribute to increased investment risk. The empirical analysis applies GARCH(1,1) econometric models to examine the conditional volatility of cryptocurrency prices and compare them with traditional financial assets such as the EUR/USD and USD/PLN currency pairs, as well as the S&P500 and WIG20 stock indices. The results confirm that BTC and ETH demonstrate significantly higher price volatility than conventional financial instruments. Moreover, the Value at Risk (VaR) measures for the analysed cryptocurrencies are substantially higher than those for traditional assets. The study also includes a regulatory dimension, providing a normative analysis of legal acts relating to the crypto-asset market and assessing the role of such regulations in mitigating risk in financial markets.

Keywords: cryptocurrencies, price volatility, bitcoin, ether, GARCH

JEL Codes: C58, G12, G18, K22

Wstęp

1. Rosnąca rola kryptowalut na rynkach finansowych

Kryptowaluty, na czele z BTC i ETH, zyskały na znaczeniu na globalnych rynkach finansowych w ciągu ostatnich kilkunastu lat. Dynamiczny wzrost popularności tych aktywów jest efektem połączenia innowacyjnych technologii blockchain, rosnącej akceptacji społecznej oraz poszukiwania alternatywnych form inwestycyjnych w obliczu niskich stóp procentowych i niepewności makroekonomicznej (Corbet et al. 2019). Rosnąca kapitalizacja rynkowa kryptowalut, która osiągnęła w ostatnich latach wartości liczone w bilionach dolarów, sprawia, że potencjalne załamanie tego rynku może mieć efekty kaskadowe dla innych segmentów systemu finansowego, szczególnie w kontekście powiązań instytucjonalnych inwestorów i rynków

regulowanych z sektorem kryptowalut (European Central Bank 2019; International Monetary Fund 2021). Takie ryzyko uwidoczniło się np. podczas spektakularnych spadków cen kryptowalut w latach 2018 i 2022. Po osiągnięciu historycznych szczytów w grudniu 2017 r. i styczniu 2018 r., gdy BTC osiągnął wartość 19 345 USD (16.12.2017 r.), a ETH ok. 1 385 USD (13.01.2018 r.), nastąpił gwałtowny spadek cen. W ciągu pierwszego kwartału 2018 r. BTC stracił około 64% swojej wartości, a ETH odnotowało spadek o około 94% od szczytu do dołka z 15.12.2018 r. Rok 2022 przyniósł kolejną znaczącą falę spadków na rynku kryptowalut. Bitcoin rozpoczął rok na poziomie 47 450 USD, a zakończył na poziomie 16 513 USD, co oznacza spadek o 65,2%. Ether w tym samym okresie stracił ok. 68,2% wartości.

W świetle tak wysokiej zmienności i potencjalnych efektów przenoszenia ryzyka między rynkami, celem niniejszej pracy jest oszacowanie i porównanie ryzyka zmienności cenowej kryptowalut (BTC, ETH) oraz tradycyjnych aktywów z wykorzystaniem modeli GARCH, a także identyfikacja ryzyka regulacyjnego wynikającego z obowiązujących i projektowanych regulacji normatywnych. Zgodnie z przyjętą hipotezą badawczą kryptowaluty, w szczególności BTC i ETH, z uwagi na znaczną zmienność cen oraz niedostateczne ramy regulacyjne, wykazują wyższy poziom ryzyka w porównaniu do tradycyjnych instrumentów finansowych. W rezultacie ich potencjał jako aktywów dywersyfikujących portfel inwestycyjny może być ograniczony, a ich występowanie na rynkach finansowych może przyczyniać się do wzrostu ryzyka inwestycyjnego.

2. Ryzyko zmienności cenowej kryptowalut a dywersyfikacja portfela

Badania nad powiązaniem między rynkiem kryptowalut a tradycyjnymi rynkami finansowymi nie pozwalają na przyjęcie jednoznacznych wniosków, co do potencjalnego stabilizującego lub destabilizującego wpływu kryptowalut, wynikającego z poziomu ryzyka zmienności cenowej tej kategorii aktywów. Bouri et al. (2017) zastosowali model DCC-GARCH do zbadania, czy BTC może pełnić funkcję hedgingu lub „bezpiecznej przystani” względem tradycyjnych aktywów (akcje światowe, obligacje, ropa, złoto, indeks towarowy, dolar amerykański). Wyniki pokazały, że atutem BTC może być co najwyżej jego niska korelacja stóp zwrotu między tymi aktywami w normalnych warunkach, a istotną rolę silnej bezpiecznej przystani zaobserwowano jedynie w przypadku skrajnych spadków tygodniowych na giełdach azjatyckich (Bouri et al. 2017). Innymi słowy, poza wyjątkowymi sytuacjami kryzysowymi BTC nie zabezpieczał przed ryzykiem na tradycyjnych rynkach, choć dzięki niskiej przeciętnej korelacji mógł służyć jako składnik dywersyfikujący portfel (Ji et al. 2019; Liu, Tsyvinski 2018). Potencjał kryptowalut do dywersyfikacji portfela inwestycyjnego – wynikający z niskiego poziomu korelacji stóp zwrotu z tych aktywów względem innych aktywów finansowych – był uważany za jeden z determinantów rosnącej popularności tych instrumentów. Podobnie Dyhrberg (2016), przy użyciu modeli GARCH stwierdziła, że BTC wykazuje cechy pośrednie między złotem a walutami FIAT. Jej model wykazał hedgingowe właściwości bitcoina zbliżone do złota – BTC reagował asymetrycznie na szoki, co czyniło go użytecznym w zarządzaniu ryzykiem.

Inne prace sugerują jednak ograniczenia kryptowalut jako „bezpiecznych przystani”. Przemawia za tym przede wszystkim ryzyko gwałtownych strat związanych z ekstremalnymi wahaniami cen, mogącymi prowadzić do negatywnych skutków dla inwestorów indywidualnych, a tym samym do potencjalnych konsekwencji makrofinansowych (Financial Stability Board 2018; Gandal et al. 2018). Również Klein et al. (2018) argumentują, że wysoce spekulacyjny charakter kryptowalut podważa ich wiarygodność jako stabilnego instrumentu hedgingowego, zwłaszcza w okresach skrajnej zmienności na rynkach. Innymi słowy, w sytuacjach poważnych turbulencji finansowych kryptowaluty nie zapewniają tak pewnej ochrony wartości jak tradycyjne bezpieczne aktywa (np. złoto lub obligacje skarbowe). Relatywnie niska korelacja stóp zwrotu kryptowalut ze stopami zwrotu z tradycyjnych aktywów w spokojnych okresach oznacza, że dodanie niewielkiej ekspozycji na kryptowaluty mogło dotąd mieć stabilizujący wpływ na portfel przez efekt dywersyfikacji. Jednak wraz z ewolucją rynku kryptowalut obserwuje się rosnącą współzależność i potencjalne kanały transmisji ryzyka. Canh et al. (2019) przebadali siedem rodzajów kryptowalut (bitcoin, litecoin, ripple, stellar, monero, dash, bytecoin) pod kątem koincydencji zmian i strukturalnych przełomów, stosując testy stabilności parametrów, testy przyczynowości Grangera oraz model DCC-MGARCH. Wykazali oni, że we wszystkich tych kryptowalutach występowały istotne strukturalne zmiany cen, a szoki początkowo pojawiające się w mniejszych kryptowalutach przenosiły się następnie na te większe (badanie na danych do 2018 r.). Ponadto stwierdzono silne dodatnie korelacje dynamiczne i powiązanie zmienności wewnątrz rynku kryptowalut (Canh et al. 2019). Oznacza to, że załamanie na jednej kryptowalucie może łatwo przełożyć się na spadki innych, co stanowi potencjalnie destabilizujący mechanizm wewnątrz tego segmentu rynku. Co jednak istotne, przywoływane publikacje koncentrują się głównie na aspekcie cenowym kryptowalut, nie obejmując przy tym kwestii związanych z ryzykiem prawnym dotyczącym BTC i ETH. Autorzy niniejszego opracowania uwzględniają również ten obszar analizy, co znajduje swoje rozwinięcie w części poświęconej ryzyku regulacyjnemu kryptowalut BTC i ETH.

Wiele badań analizuje zjawisko transmisji zmienności i szoków między kryptowalutami a np. rynkiem akcji czy towarów. Symitsi i Chalvatzis (2018) badali związki BTC z akcjami spółek z sektora energii i technologii, stosując model VAR-BEKK-AGARCH na danych dziennych do 2017 r. Wykazali, że zmiany cen i zmienność BTC wpływają na ceny akcji tych spółek (jednostronne efekty *spillover*). Dodatkowo zidentyfikowali dwukierunkowe reakcje na szoki między rynkami oraz zmieniające się w czasie korelacje, które mają znaczenie dla zarządzania portfelem inwestycyjnym. W innym badaniu wykorzystującym modele BEKK i DCC-MGARCH (okres 01.2017 – 05.2021) zbadano integrację BTC z kilkoma największymi rynkami akcji świata. Ustalono, że średnia dynamiczna korelacja między stopami zwrotu BTC a stopami zwrotu indeksów giełdowych była niska, co potwierdza krótkoterminowy potencjał hedgingowy BTC (Sajeev, Afjal 2022). Jednak przy głębszej analizie okazało się, że negatywne szoki na rynku BTC (gwałtowne spadki) przekładały się silniej na reakcje rynków akcji niż szoki pozytywne. W szczególności, w latach kryzysowych (jak 2018 czy 2022) zaobserwowano wyraźniejsze reakcje giełd na zała-

mania kryptowalut niż na wzrost ich wartości. Sugeruje to asymetrię w transmisji – spadki na kryptowalutach mogą nieść efekt destabilizujący dla innych rynków finansowych w większym stopniu niż wzrosty działają stabilizująco.

Najnowsze prace badające okres pandemii COVID-19 wskazują, że zależności między kryptowalutami a tradycyjnymi aktywami mogą nasilać się w okresach skrajnej niepewności. Przykładowo badanie na danych dziennych od 2011 r. do połowy 2022 r. (z wyróżnieniem podokresu przedpandemicznego i w trakcie pandemii) wykorzystało kombinację modelu DCC-GARCH oraz sieci neuronowych do analizy powiązania zmienności cenowej między BTC, złotem oraz sześcioma głównymi indeksami giełdowymi świata. Wyniki wskazały na długookresową transmisję zmienności między BTC a złotem, jak również między BTC a rynkami akcji (Ibrahim et al. 2024). Co ciekawe, krótkookresowe silne powiązania ujawniły się głównie w okresach napięć – na przykład podczas paniki rynkowej w 2020 r. znaczące krótkoterminowe zarażanie wystąpiło między BTC a giełdami Chin i Japonii. Badanie podkreśliło także, że wysoka zmienność BTC stanowi trudne do kontrolowania zagrożenie dla lokalnych rynków akcji (Ibrahim et al. 2024).

Podsumowując, literatura przedmiotu wskazuje na dwoisty wpływ kryptowalut na ryzyko dla rynków finansowych. W normalnych warunkach rynkowych kryptowaluty (w tym głównie najczęściej badany BTC) cechują się względną niezależnością od tradycyjnych aktywów, co implikuje korzyści stabilizacyjne poprzez dywersyfikację. Jednak w warunkach kryzysowych korelacje mogą gwałtownie rosnąć, a szoki na rynku kryptowalut mogą przenosić się na inne segmenty rynku, wywierając destabilizujący wpływ. Zaobserwowano też wzrost wewnętrznych powiązań w tym segmencie od 2018 r., co podkreśla ryzyko systemowe wewnątrz samego rynku kryptowalut i ogranicza – wcześniej wspomniane – możliwości zabezpieczenia się przed ryzykiem poprzez inwestycje w różne kryptowaluty (Koutmos 2018; Smales 2021; Xu, Zhang, Zhang 2021; Yi, Xu, Wang 2018).

1. Dane i metoda badawcza

1.1. Dane

Niniejsze badanie zmienności cenowej kryptowalut wyróżnia się pod względem długości analizowanego okresu – obejmuje ponad dziewięć lat dziennych danych (2016–Q1 2025). Dla porównania, w wielu innych badaniach stosowano znacznie krótsze okresy. Przykładowo, Sajeev i Afjal (2022) analizowali cztery lata i jeden kwartał (tj. od 03.2015 r. – 05.2019 r.), Bouri et al. (2017) badali okres od 07.2011 r. do końca 2015 r., tj. ok. cztery i pół roku, a Dyhrberg (2016) niespełna pięć lat (od 19.06.2010 r. do 22.05.2015 r.). Dłuższy szereg czasowy w niniejszym badaniu pozwala na dokładniejszą ocenę zmienności cen i ryzyka związanego z kryptowalutami w długim okresie. Wybór tego zakresu czasowego jest podyktowany zarówno dostępnością danych, jak i istotnymi wydarzeniami na rynku kryptowalut. Począt-

kową datę badania ustalono na 1.01.2016 r. ze względu na fakt, że ETH powstał dopiero w drugiej połowie 2015 r. (7.08.2015 r.). Rozpoczęcie próby z początkiem 2016 r. umożliwiło zatem jednoczesną analizę dwóch najważniejszych kryptowalut – BTC i ETH – już od wczesnego etapu rozwoju tej drugiej. Data końcowa, 31.03.2025 r., została wybrana w celu uwzględnienia jak najaktualniejszego okresu analizy, pozwalając tym samym na uzyskanie najświeższych wniosków dotyczących zmienności cenowej i ryzyka na rynku kryptowalut.

Tabela 1. Charakterystyka logarytmicznych stóp zwrotu badanych zmiennych

Dane	BTC	ETH	EURUSD	USDPLN	SP500	WIG20
Liczba obserwacji	3377	3377	2389	2388	2323	2310
Średnia	0.00155	0.00225	~0	~0	0.00044	0.000173
Odchylenie standardowe	0.03563	0.05148	0.00457	0.006529	0.011394	0.013893
Skośność	-0.34618	0.009135	-0.02486	0.287525	-0.84085	-0.65524
Kurtoza	8.960696	9.51671	4.89045	6.693409	19.168257	11.39759
p-value testu ADF	<0.001***	<0.001***	<0.001***	<0.001***	<0.001***	<0.001***

Poziomy istotności: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 1 przedstawia charakterystykę statystyczną logarytmicznych stóp zwrotu dla sześciu analizowanych zmiennych. Dane dotyczące BTC i ETH obejmują 3377 obserwacji dziennych, co wynika z faktu, że kryptowaluty są notowane przez 7 dni w tygodniu, bez przerw weekendowych i świątecznych. W przeciwieństwie do nich, tradycyjne aktywa rynkowe – pary walutowe (EUR/USD, USD/PLN) oraz indeksy giełdowe (S&P500, WIG20) – charakteryzują się niższą liczbą obserwacji (w przedziale 2310–2389), ponieważ są notowane wyłącznie w dni robocze. Średnie dzienne stopy zwrotu dla BTC (0,155%) i ETH (0,225%) są zauważalnie wyższe niż w przypadku aktywów tradycyjnych, dla których wartości te oscylują wokół zera. Odchylenia standardowe badanych zmiennych potwierdzają znacznie wyższy poziom zmienności kryptowalut – odpowiednio: 3,56% dla BTC i aż 5,15% dla ETH – w porównaniu z relatywnie niską zmiennością dla EUR/USD (0,46%), USD/PLN (0,65%) oraz umiarkowaną zmiennością indeksów giełdowych (S&P500 – 1,14%, WIG20 – 1,39%). Wskaźniki skośności i kurtozy pozwalają zidentyfikować asymetrię i leptokurtyczność rozkładów – wszystkie szeregi wykazują nadmiarowe ogony w porównaniu z rozkładem normalnym, co uzasadnia zastosowanie modeli GARCH z rozkładem *t*-Studenta. Największą kurtozę odnotowano dla indeksu S&P500 (po-

nad 19), co świadczy o wyjątkowo silnej koncentracji dużych odchyłeń od średniej. Co istotne, wyniki testu ADF dla wszystkich badanych zmiennych wskazują na stacjonarność szeregów stóp zwrotu – dla każdej z nich wartość p-value była niższa niż 0,001, co pozwala odrzucić hipotezę o obecności jednostkowego pierwiastka na poziomie istotności 0,1%.

Modele GARCH(1,1) estymowano osobno dla każdego aktywa na pełnym dostępnym zbiorze danych, bez sztucznej synchronizacji kalendarzy notowań. Dopiero na etapie analizy porównawczej szeregi zostały dopasowane względem wspólnej części dat, co umożliwiło poprawne zestawienie wyników bez ingerencji w strukturę oryginalnych danych. Takie podejście pozwala zarówno na pełne wykorzystanie informacji zawartej w danych kryptowalutowych (w tym danych weekendowych), jak i na zachowanie spójności w analizach przekrojowych i wizualizacjach między klasami aktywów.

1.2. Metoda badawcza

W badaniach poświęconych zmienności kryptowalut stosowano różne metody służące temu, aby uchwycić wyjątkowe właściwości zmienności oraz zrozumieć współzależności między tymi klasami aktywów. Zdecydowanie dominującym podejściem były modele GARCH i ich odmiany, starające się ocenić zmienność kryptowalut w czasie. Wynika to z tego, że ceny kryptowalut charakteryzują się występowaniem „skupisk zmienności” (ang. *Volatility clustering*), tzn. okresami dużych wahań cen, przeplatającymi się z okresami względnej stabilności. Modele GARCH, są szczególnie skuteczne w badaniu tego typu zmienności, ponieważ uwzględniają fakt, że obecna zmienność cenowa zależy od zmienności zaobserwowanej w przeszłości. Dodatkowo, jak potwierdzają obserwacje Katsiampa (2017), szeregi cenowe kryptowalut mają rozkłady ze znaczną liczbą ekstremalnych obserwacji (tzw. grube ogony). Modele GARCH dobrze radzą sobie z tego rodzaju ekstremalnymi wartościami, gdyż zakładają warunkową heteroskedastyczność, umożliwiając lepsze odwzorowanie dynamicznych cech danych (Bollerslev 1986). Zmienność cenowa należy przy tym – zgodnie z definicją Komitetu Bazylejskiego – do podstawowych komponentów ryzyka rynkowego, rozumianego jako ryzyko poniesienia strat w wyniku niekorzystnych zmian cen rynkowych instrumentów finansowych (Bank for International Settlements 2016).

Jak zauważa Fiszeder (2009, s. 88), jednym z najczęściej stosowanych modeli do pomiaru zmienności na rynkach finansowych, w tym na rynku kryptowalut, jest GARCH(1,1), ze względu na jego prostotę oraz dobre własności prognostyczne (Chu et al. 2017; Dyhrberg 2016; Katsiampa 2017). W ujęciu ogólnym już Bollerslev (1986) wykazał, że GARCH(1,1) efektywnie modeluje dynamikę warunkowej wariancji oraz zapewnia stabilne i wiarygodne prognozy krótkoterminowe.

Pełna specyfikacja zastosowanego modelu GARCH(1,1) obejmuje dwa równania – równanie średniej oraz równanie warunkowej wariancji:

- 1) Równanie średniej: $r_t = \mu + \varepsilon_t$
 2) Równanie wariancji: $\sigma_t^2 = \omega + \alpha \varepsilon_{t-1}^2 + \beta \sigma_{t-1}^2$,

gdzie:

- r_t – stopa zwrotu aktywa w czasie,
 μ – stały składnik w równaniu średniej, odzwierciedlający oczekiwaną stopę zwrotu aktywa,
 ε_t – błąd predykcji (reszta modelu), przy czym $\varepsilon_t | \Omega_{t-1} \sim t(0, \sigma_t^2, \nu)$ ma rozkład t -Studenta o ν stopniach swobody,
 σ_t^2 – warunkowa wariancja zwrotów,
 $\omega > 0$ – stały składnik wariancji, reprezentujący długoterminowy poziom zmienności,
 $\alpha \geq 0$ – parametr ARCH mierzący natychmiastową reakcję wariancji na nowe informacje (ostatnie szoki cenowe),
 $\beta \geq 0$ – parametr GARCH określający trwałość zmienności, czyli stopień, w jakim aktualna wariancja zależy od poprzednich wartości.

Wybór modelu GARCH(1,1) jest uzasadniony również faktem, że w badaniach empirycznych dotyczących rynku kryptowalut potwierdzono, iż szeregi czasowe cen kryptowalut charakteryzują się znaczną liczbą ekstremalnych obserwacji (tzw. grube ogony) (Katsiampa 2017). W takich sytuacjach istotne jest odpowiednie dobranie rozkładu błędów warunkowych. Literatura sugeruje, że rozkład t -Studenta może być bardziej odpowiedni niż rozkład normalny, ponieważ lepiej odzwierciedla obecność grubych ogonów w danych finansowych (Cont 2001). Zastosowanie rozkładu t -Studenta zwiększa efektywność estymacji wartości zagrożonej (VaR) oraz poprawia trafność przewidywania skrajnych zdarzeń (Kuester 2005). Katsiampa (2017) przeprowadziła porównanie efektywności różnych modeli GARCH dla rynku bitcoina, wskazując, że GARCH(1,1) z rozkładem t -Studenta cechuje się najlepszym dopasowaniem oraz dokładnością prognozowania zmienności. Podobnie Chu et al. (2017) potwierdzili dominującą rolę tego wariantu GARCH przy modelowaniu zmienności kryptowalut, podkreślając jego przewagę w uchwyceniu dynamicznych cech szeregu.

Uzupełniając modelowanie ekonometryczne, do badania oceny poziomu ryzyka wykorzystano także miarę wartości zagrożonej (ang. *Value at Risk*; VaR). Obliczona wartość VaR odpowiada na pytanie: jaka jest potencjalna maksymalna strata (przy założonym poziomie istotności), której nie powinno się przekroczyć w danym horyzoncie czasowym? Formalnie, przyjmując poziom istotności α (np. 5% lub 1%) i horyzont jednodniowy, to VaR_α jest taką wartością graniczną, że z prawdopodobieństwem $(1-\alpha)$ rzeczywista strata nie przekroczy tej wartości. W badaniu zastosowano metodę historyczną do oszacowania VaR, która polega na zebraniu historycznych dziennych stóp zwrotu badanego aktywa w odpowiednim oknie czasowym (tj. od 2016 r. do końca Q1 2025 r.) i wyznaczeniu kwantyla rzędu α z tak uzyskanej empirycznej dystrybucji. Zaletą metody historycznej jest brak założeń o rozkładzie (np. normalnym) stóp zwrotu. Do kalkulacji wykorzystywane są rzeczywiste dane rynkowe. Wadą może być brak aktualizacji względem bieżą-

cej zmienności (jeśli zmienność rośnie, dane historyczne z łagodniejszego okresu mogą niedoszacowywać ryzyka). Dlatego też w badaniu obliczono również VaR w ujęciu parametrycznym na podstawie modelu GARCH(1,1) z rozkładem t -Studenta (McNeil, Frey, Embrechts 2005, s. 283–291). W tym celu wykorzystano średni poziom α_t w okresie próby odzwierciedlający typowy poziom zmienności z próby.

W uzupełnieniu do VaR została zaprezentowana również wartość oczekiwanej straty w przypadku przekroczenia VaR (ang. *Expected Shortfall*; ES). ES $(1 - \alpha)$ szacuje średnią stratę przy założeniu, że strata już przekroczyła próg VaR. Metodologicznie, w wersji historycznej liczy się średnią z najgorszych $\alpha\%$ historycznych obserwacji stóp zwrotu.

Wykorzystaną metodą badawczą była także stosowana w naukach prawnych metoda dogmatycznoprawna.

2. Wyniki badań empirycznych i dyskusja

Tabela 2 przedstawia zestawienie kluczowych parametrów modeli GARCH(1,1) z rozkładem t -Studenta dla sześciu analizowanych aktywów: dwóch kryptowalut (BTC, ETH), dwóch par walutowych (EUR/USD, USD/PLN) oraz dwóch indeksów akcyjnych (S&P500, WIG20).

Tabela 2. Porównanie parametrów modeli GARCH(1,1) dla analizowanych aktywów

Aktywa	μ (stała w równaniu średniej)	ω (warunek początkowy wariancji)	α (reakcja na szoki)	β (trwałość zmienności)	Shape (grubość ogonów)
BTC	0.00137***	0.00002**	0.10140***	0.89760***	3.22256***
ETH	0.00102	0.00008**	0.15136***	0.84764***	3.34473***
EUR/USD	-0.00003	~ 0	0.03425***	0.95922***	9.51623***
USD/PLN	-0.00009	~ 0	0.07170***	0.88958***	10.01976**
SP500	0.00094***	~ 0	0.16610***	0.83288***	5.47750***
WIG20	0.00029	~ 0	0.05633**	0.92011***	8.11741***

Poziomy istotności: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.

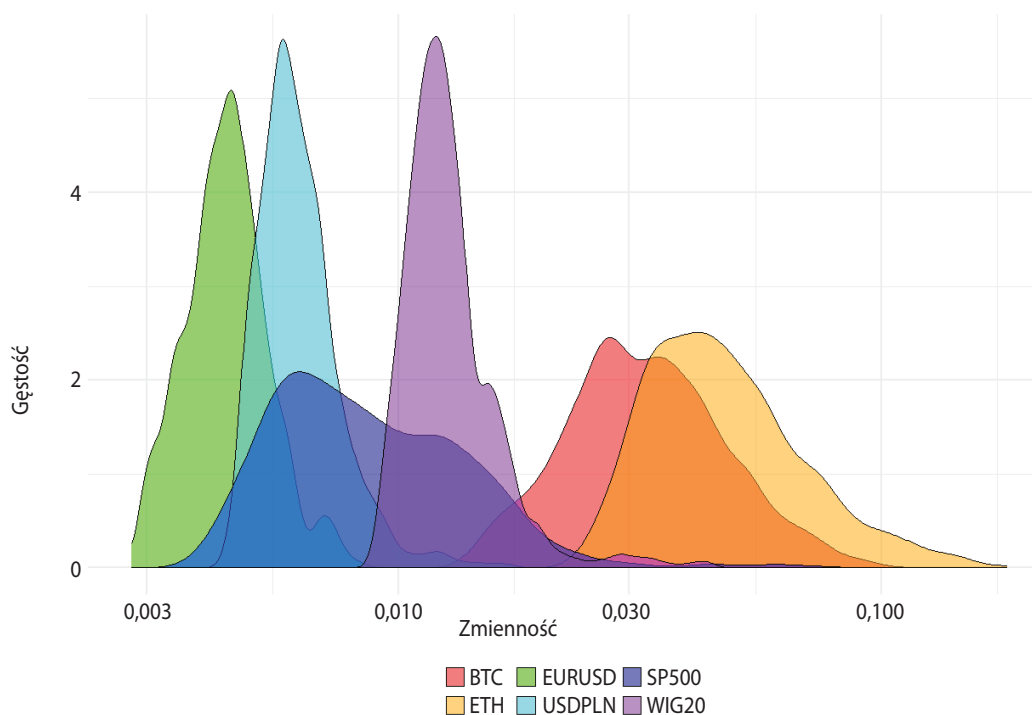
Źródło: obliczenia własne na podstawie danych z okresu analizowanego.

W badanej próbie kryptowaluty (BTC, ETH) osiągnęły sumę $\alpha + \beta = 0,999$, co oznacza, że okresy wysokiej zmienności na tych rynkach są wyjątkowo trwałe (bardzo wysoki stopień persystencji zmienności). Porównywalny poziom występuje też

w indeksie S&P500, gdzie komponent α (krótkoterminowa reakcja na szok) jest wyższy niż w kryptowalutach (0,166 vs 0,101–0,151). Pomimo tego, BTC i ETH mają istotnie wyższe ω , tj. warunek początkowej wariancji (jako jedyne aktywa w tabeli osiągnęły istotność tego parametru). Sugeruje to pewien bazowy poziom zmienności, zauważalny nawet przy braku szoków na rynku.

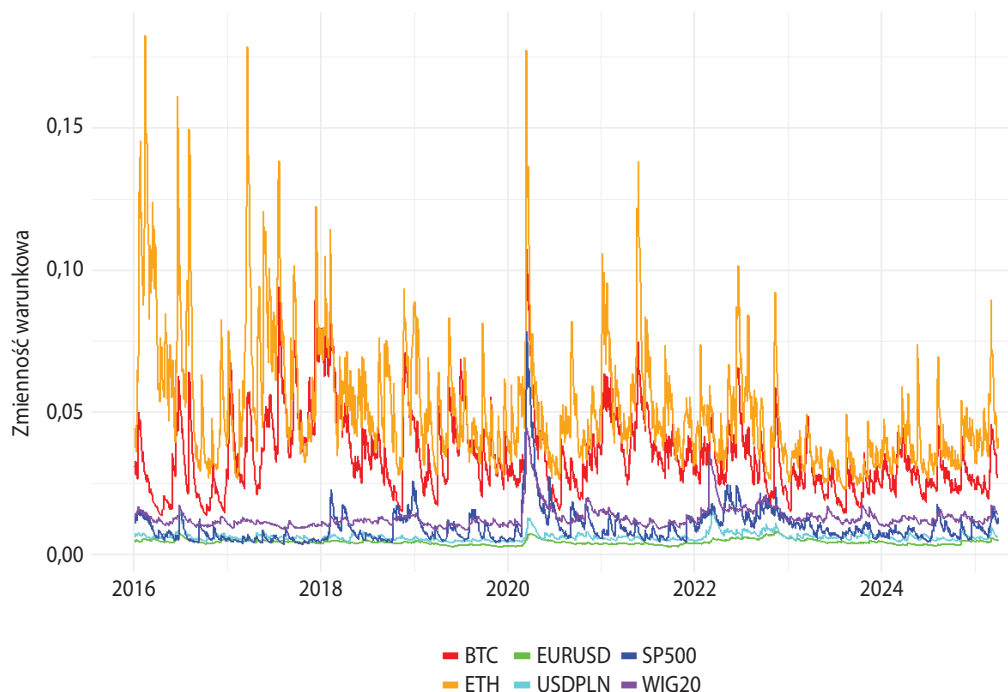
Jednym z kluczowych czynników wpływających na oceny ryzyka są tzw. „grube ogony”. Informuje o tym parametr *shape* pokazując, jak mocno rozkład stóp zwrotu odbiega od normalnego w zakresie zdarzeń skrajnych (w przypadku niskich poziomów tego parametru). Wysokość poziomu *shape* w zakresie 3,22–3,34 w przypadku kryptowalut oznacza wyjątkowo grube ogony, a zatem zwiększoną częstość ekstremalnych wahań cen. Chociaż rozkład S&P500 również jest leptokurtyczny (*shape* 5,48) – to w zauważalnie mniejszym stopniu niż w przypadku kryptowalut. Indeks WIG20 oraz pary walutowe EUR/USD i USD/PLN prezentowały wyraźnie wyższe poziomy *shape*, co sugeruje, że ekstremalne wahania są statystycznie mniej prawdopodobne niż na rynku kryptowalut.

Rysunek 1. Porównanie rozkładów zmienności poszczególnych aktywów



Źródło: opracowanie własne na podstawie estymacji modeli GARCH(1,1).

Różnice w zakresie poziomów występowania wahań skrajnych są widoczne na rysunku 1, prezentującym porównanie rozkładów zmienności wszystkich badanych aktywów. Wykres ten pokazuje, że ETH i BTC regularnie przyjmują większe wartości zmienności (w skali dziennej) niż pozostałe aktywa.

Rysunek 2. Porównanie zmienności warunkowej wybranych aktywów finansowych

Źródło: opracowanie własne na podstawie estymacji modeli GARCH(1,1).

Jak wynika z danych zaprezentowanych na rysunku 2, epizody skrajnie wysokiej zmienności zdarzają się kryptowalutom znacznie częściej i osiągają poziomy rzędu 10–15% dziennego odchylenia standardowego, podczas gdy zmienność warunkowa pozostałych badanych aktywów oscyluje w granicach kilku procent (indeksy giełdowe) lub mniej (pary walutowe) w badanym okresie. Prezentowane wyniki wskazują na znacznie większe ryzyko rynkowe na rynku kryptowalut niż tradycyjnych rynków kapitałowych czy walutowych.

Celem uzupełnienia otrzymanych wniosków z modelu GARCH(1,1) dokonano kalkulacji poziomu VaR, który stanowi jedną z kluczowych miar ryzyka stosowanych we współczesnych finansach, ponieważ w sposób kwantyfikowalny opisuje, jaka strata – z określonym prawdopodobieństwem – nie zostanie przekroczona w danym horyzoncie czasowym. Kalkulacje przeprowadzono w wariancie historycznym oraz parametrycznym na podstawie zmienności warunkowej z modelu GARCH(1,1).

Otrzymane wyniki potwierdzają, że w badanym okresie kryptowaluty (BTC i ETH) wykazywały zdecydowanie najwyższe ryzyko rozumiane jako możliwość wystąpienia dużych, dziennych spadków wartości. Świadczą o tym zarówno wartości VaR oraz ES obliczone metodą historyczną (tabela 3), jak i wyniki estymacji parametrycznej na podstawie zmienności warunkowej modelu GARCH(1,1) (tabela 4).

W podejściu historycznym, w którym został wykorzystany empiryczny rozkład stóp zwrotu, ETH osiąga VaR(5%) bliski –7,41%, a VaR(1%) wynosi aż –14,92%, co sugeruje istotne prawdopodobieństwo wystąpienia kilkunastoprocentowych strat w skali jednodniowej. Podobnie wysokie ryzyko obserwuje się w przypadku

BTC (–5,55% i –10,87% na odpowiednich poziomach ufności). Dla par walutowych (EUR/USD, USD/PLN) wskazania VaR są wyraźnie niższe, nieprzekraczające kilku procent, co oznacza, że w większości dni straty na poziomie wyższym niż –1% czy –2% należą do rzadkości. Sytuacja rynkowa indeksów (S&P500 i WIG20) pod względem miar VaR (1,7–2,1% przy poziomie 5% i do około 3,3% przy poziomie 1%) plasuje się pośrednio między kryptowalutami a walutami.

Tabela 3. Szacunkowe wartości VaR i ES (metoda historyczna) (w %)

Aktywa	VaR(5%)	ES(5%)	VaR(1%)	ES(1%)
BTC	-5,55	-8,80	-10,87	-13,92
ETH	-7,41	-11,91	-14,92	-19,81
EURUSD	-0,73	-0,97	-1,06	-1,45
USDPLN	-1,00	-1,38	-1,61	-2,04
SP500	-1,74	-2,82	-3,33	-4,84
WIG20	-2,10	-3,07	-3,33	-5,12

Wartości w tabeli oznaczają logarytmiczną stratę dzienną.

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 4. Szacunkowe wartości VaR i ES w ujęciu parametrycznym (GARCH(1,1)) (w %)

Aktywa	VaR(5%)	ES(5%)	VaR(1%)	ES(1%)
BTC	-7,86	-12,95	-14,88	-22,62
ETH	-11,48	-18,42	-21,37	-31,78
EURUSD	-0,82	-1,09	-1,25	-1,52
USDPLN	-1,16	-1,51	-1,76	-2,12
SP500	-1,86	-2,86	-3,12	-4,28
WIG20	-2,41	-3,32	-3,76	-4,72

Wartości w tabeli oznaczają logarytmiczną stratę dzienną.

Źródło: opracowanie własne na podstawie estymacji modeli GARCH(1,1).

Z kolei analiza parametryczna (tabela 4), w której poziomy VaR oraz ES są wyznaczone na bazie estymowanej zmienności warunkowej z modeli GARCH(1,1) i rozkładu *t*-Studenta, dodatkowo podkreśla zwiększoną podatność kryptowalut na skrajne wahania cen. W szczególności ether (ETH) z VaR(5%) na poziomie –11,48% i ES(5%) ponad –18% wykazuje największą wrażliwość na gwałtowne ruchy cen.

Różnice między metodą historyczną a parametryczną w ujęciu procentowym są niewielkie dla bardziej stabilnych rynków (np. EUR/USD, USD/PLN), co oznacza, że realnie obserwowany rozkład stóp zwrotu jest zbliżony do tego, co przewiduje model GARCH. W przypadku BTC i ETH uwzględnienie wysokiej persystencji zmienności i grubych ogonów powoduje natomiast, że wartości VaR i ES są wyższe niż w podejściu historycznym.

Potencjał do dziennych wysokich ujemnych stóp zwrotu na rynkach kryptowalut niesie ze sobą ryzyko szybkich i gwałtownych strat kapitału, co przy znacznych obrotach i płytkich rynkach może prowadzić do eskalacji zjawisk kryzysowych. Zaś niższe, relatywnie stabilne parametry VaR w segmencie walutowym i na głównych indeksach wskazują na mniejsze ryzyko wystąpienia głębokich spadków w krótkim okresie.

Warto podkreślić, że ocena wpływu rynku kryptowalut na ryzyko dla rynków finansowych nie może być prowadzona wyłącznie z perspektywy ilościowej. Istotne znaczenie ma również aspekt regulacyjny, zwłaszcza w obliczu rosnącej liczby instrumentów powiązanych z kryptoaktywami (np. kontrakty terminowe, fundusze ETF) oraz potencjalnego zainteresowanie rynkiem kryptowalut podmiotami sektora bankowego i firm inwestycyjnych. Dotychczas jednak powstało relatywnie niewiele badań łączących rygor metod statystycznych i ekonometrycznych ze szczegółową analizą regulacyjną, co sprawia, że kwestia uwzględnienia ryzyka wynikającego ze zwiększonej zmienności kryptowalut wymaga nowego, interdyscyplinarnego podejścia. W niniejszym artykule uwzględniono zatem nie tylko badanie zmienności cen wybranych kryptowalut i jej skutków dla ryzyka na rynkach finansowych, lecz także przeprowadzono analizę czynników ryzyka regulacyjnego w kontekście aktualnie obowiązującego stanu prawnego.

3. Ryzyko regulacyjne kryptowalut BTC i ETH

3.1. Uwagi wprowadzające

W analizie ryzyka związanego z kryptowalutami istotne miejsce zajmuje ryzyko regulacyjne rozumiane jako element szerszej kategorii ryzyka prawnego. Ryzyko regulacyjne związane jest nie tylko ze zmianą otoczenia prawnego, ale również obejmuje sytuacje, w których brak jest odpowiednich uregulowań lub ich stosowanie jest źródłem problemów interpretacyjnych. Źródłem ryzyka jest w tym aspekcie także zróżnicowanie jurysdykcyjne obejmujące odmienne zasady przeprowadzania transakcji, ewidencjonowania i ich rozliczania w przepisach różnych państw, jak również potencjalnego dochodzenia roszczeń (Kuźniak 2008). W celu identyfikacji ryzyka regulacyjnego należy dokonać analizy normatywnej kryptowalut przy zastosowaniu metod badawczych nauk prawnych. Zakresem analizy należy objąć naturę jurydyczną kryptowalut oraz stosunki prawne obrotu. Wyznaczony w ten sposób zakres analizy ukierunkowujący strukturę rozważań na zagadnienia warstwy normatywnej kryptowalut uzupełni wcześniej przeprowadzoną analizę o aspekt

regulacyjny. Metodą badawczą wykorzystywaną w tej warstwie opracowania jest metoda dogmatycznoprawna polegająca na analizie wybranych regulacji prawnych. Przedmiotem analizy jest zatem treść obowiązującego prawa, jak również jego wykładnia prowadzona w doktrynie i orzecznictwie w przedmiocie oceny regulacji kryptowalut, ze szczególnym uwzględnieniem BTC i ETH. Celem zastosowania tej metody ma być ustalenie, jakie normy obowiązują w systemie prawa, jak wygląda praktyka stosowania tych norm oraz sformułowanie wniosków przez pryzmat ryzyka regulacyjnego dla bezpieczeństwa rynku. W analizach przyjęto założenie, że złożoność stosunków prawnych w zakresie kryptowalut wymaga zastosowania metod regulacji należących do różnych gałęzi prawa.

3.2. Problemy regulacyjne w zakresie koncepcji kryptowaluty

Analiza zagadnienia istoty prawnej kryptowaluty jakimi są BTC i ETH obejmuje spłot dwóch ściśle ze sobą powiązanych zagadnień: pojęcia oraz jej natury jurystycznej. Zagadnienia te cechują się dość dużą złożonością z racji traktowania ich jako zjawiska natury technologii cyfrowej, sfery ekonomicznej, a także prawnej (Michna 2018, s. 4). Charakterystyczne dla płaszczyzny kryptowalut jest jednak występowanie deficytów regulacyjnych już na poziomie pojęciowym, które stanowią istotne źródło ryzyka regulacyjnego. Przyczyną takiego stanu rzeczy są trudności w zakresie jednoznacznej kwalifikacji procesu kreacji kryptowaluty, ale także zróżnicowanie pełnionych przez nie funkcji, w tym także rozpatrywania ich w kontekście pieniądza (Marszałek 2019, s. 110). Dodatkowym źródłem trudności w określeniu pojęcia i natury jurystycznej BTC i ETH jest powiązanie ich z siecią (odpowiednio Bitcoin i Ethereum), która nie jest sama w sobie podmiotem praw i obowiązków (Wnęk 2023, s. 37). Kryptowaluty w piśmiennictwie prawniczym zestawiane są także pojęciowo z walutami wirtualnymi i walutami cyfrowymi jako pieniądzem w postaci wirtualnej (Skorupka, Urbanowicz-Sobczak, Zawłocki 2024, s. 856). Należy odnotować, że polski ustawodawca nie zdefiniował wprost kryptowaluty, ale sformułował definicję legalną waluty wirtualnej. Stosowna regulacja w tym zakresie została zawarta w art. 2 ust. 2 pkt 26 ustawy z 1 marca 2018 r. o przeciwdziałaniu praniu pieniędzy oraz finansowaniu terroryzmu (2018). Definicja ta nie ma jednak charakteru uniwersalnego i została sformułowana na potrzeby tej konkretnej ustawy.

Kryptowaluty, mimo że są środkiem wymiany oraz realizują funkcję tezauryzacyjną, pozbawione są jednak niezbędnego do uznania ich za pieniądź atrybutu prawnego środka płatniczego. BTC i ETH mogą być natomiast uznane za pieniądź prywatny, który nie jest emitowany przez określony podmiot, ale kreowany/emittowany (ang. *mining*) przez samą sieć. Kryptowaluty jakimi są BTC i ETH pełnią bez wątpienia funkcję innego niż pieniądź miernika wartości na gruncie prawa cywilnego (Zacharzewski 2014, s. 1133).

Jednoznacznej definicji kryptowalut nie zawiera także rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2023/1114 z dnia 31 maja 2023 r. w sprawie rynków kryptoaktywów (dalej: rozporządzenie MiCA). Prawodawca unijny wprowadził wprawdzie definicję pojęcia „kryptoaktywo”, które jest cyfrowym odzwierciedleniem wartości lub prawa, które da się przenosić i przechowywać w formie elektronicznej z wykorzystaniem technologii rozproszonego rejestru lub podobnej technologii. Definicja ta jest szeroka i obejmuje także kryptowaluty w postaci BTC i ETH (ESMA 2024, s. 17). Rozporządzenie przewiduje trzy kategorie aktywów: tokeny powiązane z aktywami (tzw. ART), tokeny będące e-pieniędzem (tzw. EMT) oraz kryptoaktywa inne niż tokeny powiązane z aktywami i tokeny będące e-pieniędzem, w tym tokeny użytkowe. Z uwagi na charakter BTC i ETH, w szczególności związany z brakiem przypisania centralnego emitenta, kryptowaluty te nie będą podlegać obowiązkowi emisyjnym, zawartym w MICA, jakie dotyczą EMT, ART czy tokenów użytkowych. Nie oznacza to jednak, że obrót i przechowywanie tych kryptowalut nie będzie objęte regulacją. W tym aspekcie zastosowanie znajdą przepisy rozporządzenia MICA związane z dostawcami usług związanych z kryptoaktywami CASP (ang. *Crypto Asset service Provider*). Dostawcy CASP świadczyć mogą bowiem usługi związane z kryptoaktywami m.in. poprzez przechowywanie kryptoaktywów, prowadzenie platform obrotu oraz zarządzaniu portfelami kryptowalut w imieniu i na rzecz osób trzecich.

Należy podkreślić, że formułowanie definicji legalnych w naukach prawnych może być obciążone ryzykiem w zakresie skuteczności i praktyczności takiej regulacji. Jak zauważa się trafnie, w doktrynie zbyt szczegółowa definicja kryptowaluty wiąże się z ryzykiem, że tylko niewielka zmiana w algorytmie albo sposobie funkcjonowania doprowadziłaby do wyłączenia konkretnej kryptowaluty spod zakresu definicji legalnej, a tym samym spod zakresu regulacji. Natomiast definicja ogólna może doprowadzić do sytuacji, w której jako kryptowaluty należałoby zakwalifikować również inne waluty wirtualne, które nie powinny być w tej definicji ujęte (Mazur 2024, s. 205). Dodatkowo pojawiają się nowe koncepcje tworzenia kolejnych systemów kryptowalutowych opartych na modelu podobnym do Bitcoina czy Ethereum (Behan 2022, s. 241). Brak definicji pojęcia kryptowaluty w naukach prawnych nie wyklucza jednak opisu jej przykładowych cech (związek z technologią kryptograficzną, łatwość transferu, anonimowość użytkowania i możliwość deanonimizacji, wymienialność, wymienność, nieodwracalność, bezpieczeństwo, ale także sposób emisji i powiązanie z innymi wartościami oraz wskazanie, że ich wartość nie jest gwarantowana, ich akceptacja jest wyrazem zaufania społeczności do samej koncepcji oraz są one przechowywane przez zdecentralizowany system rozproszonej bazy danych (Behan 2022, s. 242).

3.3. Kierunki klasyfikacji kryptowalut na płaszczyźnie regulacyjnej

Mimo zidentyfikowanych problemów definicyjnych kryptowalut na gruncie prawa prywatnego, stanowią one przedmiot stosunków prawnych obrotu. Swoboda umów pozwala bowiem stronom kreować stosunki prawne, w których kryptowaluta jest przedmiotem świadczenia, a nawet może pełnić funkcję analogiczną do pieniądza. Na gruncie prawa karnego kryptowaluta nie jest traktowana jako pieniądz, inny prawny środek płatniczy, dokument czy instrument finansowy. Nie jest traktowana również jako prawo majątkowe ani składnik mienia, mimo to może stanowić przedmiot czynu zabronionego (Błażowska 2024, s. 153).

W prawie cywilnym traktowanie BTC i ETH jako rzeczy, a w konsekwencji objęcie ich regułami obrotu prawnorzeczowego jest problematyczne. Również pozostałe teoretyczne koncepcje cywilnoprawne kwalifikujące kryptowalutę jako prawo majątkowe, wierzytelność, utwór lub instrument finansowy nie są pozbawione wątpliwości (Szewczyk 2018, s. 243; Wnęk 2023, s. 55–64; Zacharzewski 2014, s. 1133). Szersze omówienie wątpliwości odnoszących się do natury jurydycznej kryptowalut wykracza poza ramy niniejszego opracowania, dlatego należy ograniczyć się do stwierdzenia, że w doktrynie prawa brak jest jednolitego stanowiska na temat natury jurydycznej kryptowalut. Taki stan sprzyja wielości kategorii pojęciowych oraz dodatkowo przyczynia się do powstawania wieloznaczności utrudniając interpretację.

Orzeczenia judykatury również nie przynoszą jednoznacznej odpowiedzi w zakresie kwalifikacji prawnej kryptowalut. Tym bardziej, że odnoszą się one do fragmentu obrotu kryptowalutami jakim są kwestie fiskalne. Naczelny Sąd Administracyjny w wyroku z 12 lipca 2022 r., II FSK 3094/19 uznał, że kryptowaluty nie mają postaci zmaterializowanej i nie są zarządzane przez żadną instytucję centralną ani centralny system, gdyż istnieją jako pewna wartość numeryczna zapisana w systemie informatycznym. Obrót kryptowalutami w ocenie sądu jest natomiast usługą pośrednictwa, gdzie sprzedający pośredniczy pomiędzy osobami dokonującymi zmian w rejestrze systemu Bitcoin (tzw. górnikami), a osobą, na rzecz której dokonywana jest zmiana w rejestrze (czyli „kupującym”). W innym wyroku z 6 marca 2018 r., II FSK 488/16, Naczelny Sąd Administracyjny uznał, że bitcoin w praktyce stosunków cywilnoprawnych jest rodzajem mienia, a w wyroku z 4 sierpnia 2022 r. II FSK 3150/19 odniósł się do kwestii posiadania BTC stwierdzając, że jest to posiadanie kryptograficznego klucza pozwalającego danemu użytkownikowi na dokonanie wpisu do publicznego rejestru funkcjonującego w ramach sieci Bitcoin. Do zagadnień kreacji kryptowaluty odnosi się natomiast wyrok NSA z 2 września 2021 roku, II FSK 651/21, w którym sąd uznał, że proces kopania kryptowaluty jest zbliżony do procesu wytworzenia rzeczy lub utworu będącego przedmiotem praw autorskich. W przypadku kryptowalut efektem „kopania” jest uzyskanie prawa majątkowego, które wcześniej nie istniało. Orzecznictwo w zakresie kwalifikacji kryptowalut nie jest zatem jednoznaczne i nie zawsze pozostaje spójne z wypowiedziami doktryny prawa. Jest to istotny czynnik generujący podwyższone ryzyko regulacyjne, które może negatywnie wpływać na bezpieczeństwo rynku finansowego.

3.4. Ryzyko regulacyjne a bezpieczeństwo rynku finansowego

Bezpieczeństwo rynku finansowego stanowi jeden z głównych celów ingerencji prawodawcy w swobodne funkcjonowanie mechanizmów obrotu. Ingerencja ta w przypadku rynku kryptoaktywów nie obejmuje całokształtu rynku, ale koncentruje się na wybranych obszarach jego funkcjonowania, tworząc organizacyjne i funkcjonalne podstawy obrotu, aby zapewniać wysoki poziom ich integralności. Sposoby oddziaływania przybierają postać zróżnicowanych modeli regulacji, które albo ograniczają dostęp do uczestnictwa w obrocie lub reglamentują określone w nim zachowania (model zakazowy), albo nakładają na jego uczestników dodatkowe obowiązki związane z funkcjonowaniem platform obrotu, wymiany oraz przechowywania (model organizacyjny). Jak podkreśla prawodawca unijny w motywie 4 rozporządzenia MiCA, brak przepisów w tym zakresie naraża posiadaczy tych kryptoaktywów na ryzyko oraz może powodować znaczne zagrożenie dla integralności rynku. Mimo, że inwestycje w kryptowaluty nie są objęte modelem zakazowym, tzn. w uproszczeniu nie są zabronione, to jednak wiążą się z daleko idącym ryzykiem wynikającym także z braku pewności prawa, które dla bezpieczeństwa obrotu na rynku ma znaczenie fundamentalne. BTC i ETH nie są poddane regulacji prawnej na poziomie umożliwiającym jednoznaczne określenie ich natury jurydycznej, mimo że zalicza się je do szerokiej kategorii prawnej kryptoaktywów. Wartość obu kryptowalut odwołuje się w istocie do tego, ile nabywca jest w stanie za nie zapłacić oraz, czy akceptuje je jako sposób spełnienia świadczenia. Dodatkowo powiązanie z technologią powoduje, że trudne jest wyznaczenie granic ochrony uczestników obrotu tymi aktywami.

Pewność regulacji prawnych jest istotnym warunkiem bezpiecznego funkcjonowania obrotu. Regulacje te powinny umożliwiać skuteczne dochodzenie roszczeń oraz zapewniać należytą ochronę inwestorów. W tym zakresie ujawnia się szczególnie wysokie ryzyko regulacyjne w jego aspekcie jurysdykcyjnym związanym z funkcjonalną sferą obrotu kryptoaktywami, czyli dokonywaniem transakcji. Przepisy, które są stosowane w jednym państwie, nie muszą być stosowane w innym (Kuźniak 2008, s. 94). W naukach prawnych zwraca się uwagę na trudności w ustalaniu prawa regulującego stosunki międzynarodowego obrotu w przestrzeni cyfrowej. Trudności te są przyczyną formułowania koncepcji obowiązywania odrębnego systemu quasi-prawnego dla sfery obrotu cyfrowego, tzw. systemu *lex cryptografica* opartego na założeniu *code is law*, czyli sam kod jest prawem (Świerczyński 2024, s. 171). Koncepcje te z pewnością zwiększają tylko ryzyko regulacyjne w kontekście bezpieczeństwa rynku. Tworzą bowiem rozwiązania konkurencyjne wobec tradycyjnych instrumentów regulacji obrotu.

W podsumowaniu uwag w zakresie ryzyka regulacyjnego warto odnotować, że braku stosowanych przepisów dotyczących kryptowalut oraz ich zmienność cenowa zostały wprost wskazane w wyroku NSA z 11 października 2023 r., II GSK 883/20 jako ich cechy w kontekście przedmiotu inwestycji. Analiza płaszczyzny normatywnej kryptowalut prowadzi zatem do wniosku, że obecny stan regulacji BTC i ETH

jest źródłem ryzyka regulacyjnego. Dodatkowymi źródłami tego ryzyka jest brak centralnego podmiotu emitującego kryptowaluty (dla analizowanych w pracy kryptowalut, tj. BTC i ETH), ich funkcjonowanie w sieciach informatycznych poza rynkiem rozumianym jako miejsce koncentracji strony podażowej i popytowej oraz ryzyko jurysdykcyjne wynikające z braku jednoznacznie jasnych kryteriów wskazywania prawa właściwego dla kwalifikacji i obrotu kryptowalutami. Ewolucja rynku kryptowalut wymaga pogłębionych badań prawnych nad istotą tej kategorii kryptoaktywów nie tylko w wymiarze krajowym, ale także na płaszczyźnie prawa międzynarodowego.

Podsumowanie

Kryptowaluty, stanowiące jedno z bardziej dynamicznie rozwijających się form cyfrowych aktywów w sektorze finansowym ostatnich lat, już kilkakrotnie dowiodły, że mogą generować poważne ryzyko dla rynków finansowych. Analizy zaprezentowane w niniejszej pracy, obejmujące zarówno klasyczne miary zmienności i estymację modeli GARCH(1,1) z rozkładem *t*-Studenta, jak też wyznaczone wartości VaR (*Value at Risk*) oraz ES (*Expected Shortfall*), wykazały wyraźnie, że analizowane kryptowaluty (BTC i ETH) odznaczają się wysokimi wskaźnikami zmienności i podatnością na gwałtowne stratyienne. W podejściu historycznym ETH osiągało nawet kilkunastoprocentowe VaR(1%), a w ujęciu parametrycznym, dodatkowo uwzględniającym grube ogony rozkładu stóp zwrotu, prognozowane straty ekstremalne (ES) okazały się jeszcze wyższe, sięgając ponad -30%. Podobnie wysoka wrażliwość BTC potwierdza, że obie główne kryptowaluty wyróżniają się na tle tradycyjnych instrumentów, jak pary walutowe (EUR/USD, USD/PLN) i indeksy giełdowe (S&P500, WIG20), dla których analogiczne miary VaR i ES są znacznie niższe.

Uzyskane wyniki przemawiają więc za hipotezą, że kryptowaluty – zwłaszcza w obecnej fazie rozwoju i przy aktualnych, często niejednoznacznych regulacjach – pełnią raczej funkcję destabilizującą aniżeli stabilizującą rynki finansowe, przyczyniając się tym samym do wzrostu ryzyka. Kluczowe znaczenia ma tu sprzężenie ryzyka cenowego i regulacyjnego, które osłabia przewidywalność procesów i decyzji rynkowych, a także z uwagi na technologiczny aspekt analizowanych kryptowalut (BTC, ETH) oraz ich międzynarodowy charakter, utrudnia przyjęcie jednolitych i spójnych ram prawnych. Zdaniem autorów, przy obecnym stanie prawnym i dynamice rozwoju wybranych kryptowalut, tj. BTC i ETH, jak również w świetle przeprowadzonej analizy ryzyka rynkowego, należy postrzegać je raczej jako instrumenty spekulacyjne niż jako stabilne aktywa w portfelach inwestycyjnych. Ich wysoka zmienność cenowa, transgraniczny i zdecentralizowany charakter oraz złożona natura prawna pogłębiona brakiem jednolitości kwalifikacji prawnej w obrocie, utrudniają skuteczne objęcie ich jednolitymi ramami regulacyjnymi w przyszłości, a dla inwestorów nieprofesjonalnych stanowią szczególne źródło ryzyka, mogące stać się w przyszłości przedmiotem licznych roszczeń prawnych.

Należy zauważyć, że w okresach wysokiego wolumenu obrotu, a zarazem niskiej płynności, nawet stosunkowo niewielkie zmiany nastrojów inwestorów mogą wywoływać serię gwałtownych wahań cenowych. Choć w normalnych warunkach rynkowych BTC czy ETH mogą oferować pewne korzyści w ramach dywersyfikacji (z uwagi na niską korelację ze stopami zwrotu tradycyjnych aktywów finansowych), liczne badania wskazują, że wspomniany efekt stabilizacyjny zanika w momentach kryzysowych. Modele GARCH sugerują, że załamanie na rynku kryptowalut łatwo może się rozprzestrzeniać poprzez kanały zmienności oraz rosnące zależności między kryptoaktywami a rynkami akcji i innymi segmentami rynku finansowego. Jeśli do takiego załamania dochodzi podczas napięć makroekonomicznych, dynamicznie rosnąca zmienność kryptowalut może przyspieszyć odpływ kapitału, potęgując niestabilność na pozostałych rynkach.

Dodatkowo analizowane modele GARCH(1,1) z rozkładem *t*-Studenta wykazały, że kryptoaktywa charakteryzują się wyższym prawdopodobieństwem wystąpienia ekstremalnych zdarzeń, których nie uwzględniają proste założenia rozkładu normalnego. Co więcej, wyniki wykazały, że okresy wysokich wahań utrzymują się wyjątkowo długo. Te kwestie mają oczywiste implikacje dla polityki regulacyjnej i monitorowania zjawisk rynkowych. Wysoka nieprzewidywalność cen kryptowalut wymaga szczególnej uwagi ze strony organów nadzorczych – nie tylko ze względu na możliwe straty inwestorów indywidualnych – ale przede wszystkim ze względu na potencjalne sprzężenia zwrotne między tym segmentem a tradycyjnymi segmentami rynku finansowego. Ponadto, z uwagi na specyfikę BTC i ETH przepisy Rozporządzenie MICA znajdują zastosowanie jedynie w ograniczonym zakresie, nie dając tym samym wystarczającej ochrony dla inwestorów na tym rynku.

Podsumowując, przeprowadzone badania potwierdzają, że – przy obecnym stanie rozwoju oraz ryzyku regulacyjnym – rynek kryptowalut nie pełni funkcji stabilizatora, stanowiąc istotne źródło ryzyka, które narasta zwłaszcza w okresach występowania niespodziewanych szoków zewnętrznych. Tym samym, dalszy rozwój rynku kryptowalut będzie wymagał nie tylko dopracowania i harmonizacji rozwiązań prawnych, w celu ograniczenia ryzyka regulacyjnego, lecz również kontynuowania badań nad zmiennością, strukturą korelacji i identyfikacją potencjalnych kierunków przepływu kapitału finansowego, aby skutecznie ograniczać i zarządzać ryzykiem na rynkach finansowych.

Bibliografia

- Bank for International Settlements (2016), *Minimum Capital Requirements for Market Risk*. Basel Committee on Banking Supervision.
- Behan A. (2022), *Waluty wirtualne jako przedmiot przestępstwa*, wydanie I, stan prawny na dzień 31 grudnia 2021 r. Kraków: Krakowski Instytut Prawa Karnego Fundacja.
- Błażowska A. (2024), *Kryptowaluty w Polskim Prawie Karnym*. Monografie Prawnicze. Warszawa: Wydawnictwo C. H. Beck.

- Bollerslev T. (1986), *Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity*. „Journal of Econometrics”, 31(3), 307–27. doi:10.1016/0304-4076(86)90063-1
- Bouri E., Molnár P., Azzi G., Roubaud D., Hagfors L.I. (2017), *On the Hedge and Safe Haven Properties of Bitcoin: Is It Really More than a Diversifier?*, „Finance Research Letters”, 20, 192–98. doi:10.1016/j.frl.2016.09.025
- Canh, N.P., Wongchoti U., Thanh S.D., Trung Thong N. (2019), *Systematic Risk in Cryptocurrency Market: Evidence from DCC-MGARCH Model*, „Finance Research Letters”, 29, 90–100. doi:10.1016/j.frl.2019.03.011
- Chu J., Chan S., Nadarajah S., Osterrieder J. (2017), *GARCH Modelling of Cryptocurrencies*, „Journal of Risk and Financial Management”, 10(4), 17. doi:10.3390/jrfm10040017
- Cont R. (2001), *Empirical Properties of Asset Returns: Stylized Facts and Statistical Issues*, „Quantitative Finance”, 1(2), 223–36. doi:10.1080/713665670
- Corbet S., Lucey B., Urquhart A., Yarovaya L. (2019), *Cryptocurrencies as a Financial Asset: A Systematic Analysis*, „International Review of Financial Analysis”, 62, 182–199. doi:10.1016/j.irfa.2018.09.003
- Dyhrberg A.H. (2016), *Bitcoin, Gold and the Dollar – A GARCH Volatility Analysis*, „Finance Research Letters”, 16, 85–92. doi:10.1016/j.frl.2015.10.008
- ESMA (2024), *Consultation Paper on the Draft Guidelines on the Conditions and Criteria for the Qualification of Crypto-Assets as Financial Instruments*.
- European Central Bank (2019), *Crypto-Assets: Implications for Financial Stability, Monetary Policy, and Payments and Market Infrastructures*, Occasional Paper Series (223).
- Financial Stability Board (2018), *Crypto-Asset Market. Potential Channels for Future Financial Stability Implications*.
- Fiszeder P. (2009), *Modele klasy GARCH w empirycznych badaniach finansowych*. Rozprawa Habilitacyjna / Uniwersytet Mikołaja Kopernika. Toruń: Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika.
- Gandal N., Hamrick J., Moore T., Oberman T. (2018), *Price Manipulation in the Bitcoin Ecosystem*, „Journal of Monetary Economics”, 95, 86–96. doi:10.1016/j.jmoneco.2017.12.004
- Ibrahim B.A., Elamer A.A., Alasker T.H., Mohamed M.A., Abdou H.A. (2024), *Volatility Contagion between Cryptocurrencies, Gold and Stock Markets Pre-and-during COVID-19: Evidence Using DCC-GARCH and Cascade-Correlation Network*, „Financial Innovation”, 10(1), 104. doi:10.1186/s40854-023-00605-z
- International Monetary Fund. (2021), *COVID-19, Crypto, and Climate: Navigating Challenging Transitions*. Global Financial Stability Report. Washington, DC.
- Ji Q., Bouri E., C.K.M. Lau, Roubaud D. (2019), *Dynamic Connectedness and Integration in Cryptocurrency Markets*, „International Review of Financial Analysis”, 63, 257–72. doi:10.1016/j.irfa.2018.12.002
- Katsiampa P. (2017), *Volatility Estimation for Bitcoin: A Comparison of GARCH Models*, „Economics Letters”, 158, 3–6. doi:10.1016/j.econlet.2017.06.023

- Klein T., Pham Thu H., Walther T. (2018), *Bitcoin Is Not the New Gold – A Comparison of Volatility, Correlation, and Portfolio Performance*. „International Review of Financial Analysis”, 59, 105–16. doi:10.1016/j.irfa.2018.07.010
- Koutmos D. (2018), *Return and Volatility Spillovers among Cryptocurrencies*, „Economics Letters”, 173, 122–127. doi:10.1016/j.econlet.2018.10.004
- Kuester K. (2005), *Value-at-Risk Prediction: A Comparison of Alternative Strategies*, „Journal of Financial Econometrics”, 4(1), 53–89. doi:10.1093/jjfinec/nbj002
- Kuźniak K. (2008), *Zarządzanie Ryzykiem Prawnym w Przedsiębiorstwie*, Prace Naukowe Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu, Finanse, Bankowość, Rachunkowość, 6(1196).
- Liu Y., Tsyvinski A. (2018), *Risks and Returns of Cryptocurrency*. w24877. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research. doi:10.3386/w24877.
- Marszałek P. (2019), *Kryptowaluty – Pojęcie, Cechy, Kontrowersje*, Studia BAS, 1(57), 105–25. doi:10.31268/StudiaBAS.2019.06
- Mazur Ł. (2024), *Kryptowaluty jako środek umarzania zobowiązań*, [w:] *Prawo umów elektronicznych: zarys systemu, Monografie Prawnicze*, J. Gołaczyński (red.). Warszawa: Wydawnictwo C. H. Beck.
- McNeil A., Frey R., Embrechts P. (2005), *Quantitative Risk Management: Concepts, Techniques, and Tools*, Vol. 101.
- Michna M. (2018), *Bitcoin Jako Przedmiot Stosunków Cywilnoprawnych*. Monografie Prawnicze. Warszawa: Wydawnictwo C. H. Beck.
- Sajeev K.C., Afjal M. (2022), *Contagion Effect of Cryptocurrency on the Securities Market: A Study of Bitcoin Volatility Using Diagonal BEKK and DCC GARCH Models*, SN Business & Economics, 2(6), 57. doi:10.1007/s43546-022-00219-0
- Skorupka J., Urbanowicz-Sobczak K., Zawłocki R. (2024), *Przestępstwa Przeciwko Mieniu i Gospodarcze*, wyd. 3, R. Zawłocki (red.). System Prawa Karnego / Redaktor Naczelny L.K. Paprzycki, A. Marek. Warszawa: Wydawnictwo C. H. Beck: wydano we współpracy z Instytutem Nauk Prawnych PAN.
- Smales L.A. (2021), *Volatility Spillovers among Cryptocurrencies*, „Journal of Risk and Financial Management”, 14(10), 493. doi:10.3390/jrfm14100493
- Świerczyński M. (2024), *Przełomowe technologie informatyczne w prawie prywatnym międzynarodowym. Stan prawny na 30.11.2023 r.* Monografie Prawnicze. Warszawa: Wydawnictwo C. H. Beck.
- Symitsi E., Chalvatzis K.J. (2018), *Return, Volatility and Shock Spillovers of Bitcoin with Energy and Technology Companies*, „Economics Letters”, 170, 127–130. doi:10.1016/j.econlet.2018.06.012
- Szewczyk J. (2018), *O Cywilnoprawnych Aspektach Bitcoina*, „Monitor Prawniczy”, (5).
- Ustawa z dnia 1 marca 2018 r. o przeciwdziałaniu praniu pieniędzy oraz finansowaniu terroryzmu. 2018.
- Wnęk M. (2023), *Natura Prawna Kryptowaluty*. Monografie Prawnicze. Warszawa: Wydawnictwo C. H. Beck.

Xu, Q., Zhang Y., Zhang Z. (2021), *Tail-Risk Spillovers in Cryptocurrency Markets*, „Finance Research Letters”, 38, 101453. doi:10.1016/j.frl.2020.101453

Yi S., Xu Z., Wang G.-J. (2018), *Volatility Connectedness in the Cryptocurrency Market: Is Bitcoin a Dominant Cryptocurrency?*, „International Review of Financial Analysis”, 60, 98–114. doi:10.1016/j.irfa.2018.08.012

Zacharzewski K. (2014), *Bitcoin Jako Przedmiot Stosunków Prawa Prywatnego*, „Monitor Prawniczy”, (21).