

Wielowymiarowy obraz ryzyka na giełdach walut kryptograficznych

Kinga Kądziołka

Wprowadzony w 2009 r. elektroniczny system płatności za pomocą kryptowaluty bitcoin umożliwia dokonywanie anonimowych płatności, jak również stwarza możliwości inwestycyjne. Posiadanie wirtualnych monet oraz inwestowanie na rynku walut kryptograficznych obarczone jest ryzykiem. W artykule rozpatrzone zostaną różne aspekty tego ryzyka. Analizując ryzyko, jako zmienność stóp zwrotu poszczególnych inwestycji dokonano ich uporządkowania pod względem wybranych miar ryzyka. Zwrócono również uwagę na ryzyko związane z płynnością inwestycji oraz ryzyko wiktylizacji¹⁵⁹. Poruszono także zagadnienia związane z automatycznymi systemami transakcyjnymi. Na przykładzie inwestycji na giełdzie BitMarket.pl pokazano, że strategia pozwalająca osiągnąć wysoki zysk w danym okresie nie musi przynosić zysków w przyszłości. Podejmując decyzje o zainwestowaniu środków w waluty kryptograficzne¹⁶⁰ należy mieć na uwadze, że nie opracowano jak dotąd strategii, która pozwalałaby osiągać ponadprzeciętne zyski w każdych warunkach. Opracowanie takiej strategii w przypadku walut kryptograficznych jest szczególnie trudne, gdyż ich kurs nie jest związany z sytuacją ekonomiczną czy sytuacją w danej branży, ale kształtuje się wyłącznie na podstawie popytu i podaży użytkowników systemu.

Ryzyko jako zmienność stóp zwrotu

W zakresie oceny ryzyka inwestycji w waluty kryptograficzne, jako zmienności stóp zwrotu wykorzystane zostaną trzy miary ryzyka: wariancja, semiwariancja oraz miara *VaR* (ang. *Value at Risk*). Wariancja stopy zwrotu jest średnią ważoną z kwadratów różnic między możliwą realizacją stopy zwrotu (ozn. r_i) a jej wartością oczekiwaną (ozn. $E(r)$). Wagi stanowią prawdopodobieństwa (ozn. p_i) realizacji danej stopy zwrotu. Formalnie można to zapisać za pomocą formuły¹⁶¹:

¹⁵⁹ Ryzyko wiktylizacji jest to ryzyko stania się ofiarą przestępstwa, por. [W. Dadak, *Ryzyko wiktylizacji uczestników obrotu gospodarczego przestępstwami gospodarczymi*, „Czasopismo prawa karnego i nauk penalnych”, 2/2010, s. 104].

¹⁶⁰ Rozważania ograniczono do inwestycji w kryptowalutę bitcoin. Oprócz bitcoina funkcjonuje kilkadziesiąt innych walut kryptograficznych, jak np. litecoin, peercoin, primecoin.

¹⁶¹ W zakresie wykorzystanych miar ryzyka przyjęto oznaczenia jak w pracy R. Czyżyckiego i J. Purczyńskiego, *Ryzyko inwestycji w spółki sektora TSL na Warszawskiej Giełdzie Papierów Wartościowych*, *Logistyka* 6/2014.

$\sigma^2 = \sum_{i=1}^n p_i (r_i - E(r))^2$. Z kolei semiwariancja jest wykorzystywana w przypadku, gdy ryzyko jest

traktowane jako zjawisko negatywne. Analizowane są wówczas tylko ujemne odchylenia stóp zwrotu od wartości oczekiwanej. Formalnie semiwariancja zdefiniowana jest za pomocą wzoru:

$S\sigma^2 = \sum_{i=1}^n p_i (r_i - E(r))^2 b_i$, gdzie $b_i = 0$ dla $r_i \geq E(r)$ oraz $b_i = 1$ dla $r_i < E(r)$. Ostatnią z

analizowanych miar ryzyka opierającą się na zmienności stóp zwrotu jest miara *VaR*, określona jako maksymalna wartość, którą można stracić w wyniku inwestycji dla danego okresu czasu oraz przy założonym poziomie tolerancji. Formalnie *VaR* można zdefiniować następująco: $P(W \leq W_0 - VaR) = \alpha$, gdzie: W_0 – aktualna wartość waloru, W – wartość waloru na koniec badanego okresu, α - poziom tolerancji¹⁶² (zwykle 0,05 lub 0,01). Tutaj analiza ryzyka będzie prowadzona nie dla wartości (cen walut kryptograficznych), ale dla stóp zwrotu. Do wyznaczania *VaR* wykorzystana zostanie metoda symulacji historycznej, gdyż rozkłady stóp zwrotu na analizowanych giełdach umożliwiających inwestowanie w kryptowalutę nie miały cech rozkładów normalnych¹⁶³.

Analizowano tylko te inwestycje (kursy par walutowych) na giełdach bitcoin, które były notowane co najmniej przez rok. W ocenie ryzyka uwzględniono okres 04.09.2014 – 04.09.2015. Analizą objęto 70 inwestycji (tabela 1). Dla każdej inwestycji wyznaczono pozycję pod względem ryzyka według wariancji, semiwariancji i miary *VaR* (dla przyjętego poziomu tolerancji $\alpha = 0,05$). Pozycja 1 oznacza inwestycję obciążoną największym ryzykiem a pozycja 70 oznacza inwestycję najmniej ryzykowną względem danej miary ryzyka. Występowała duża zgodność uporządkowania inwestycji pod względem rozważanych miar ryzyka (tabela 1, tabela 2).

Tabela 1. Ranking inwestycji wg wybranych miar ryzyka

Nazwa inwestycji (nazwa giełdy)	wariancja	semiwariancja	VaR
localbtcUSD (LocalBitcoins)	1	1	1
localbtcEUR (LocalBitcoins)	2	2	3
vcxEUR (Vircorex)	3	3	4
localbtcCHF (LocalBitcoins)	4	4	2
localbtcINR (LocalBitcoins)	5	5	5

¹⁶² Por. M. Wojnarowska, *Analiza wpływu kryzysu finansowego 2007 – 2009 na spółki notowane na GPW w Warszawie z wykorzystaniem metody VaR*, [w:] A. Ś. Barczak, D. Iskra (red.), *Metody matematyczne, ekonometryczne i komputerowe w finansach i ubezpieczeniach 2010*, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, 2012, s. 422 – 423.

¹⁶³ Por. K. Kądziołka, *Ocena ryzyka inwestycji w kryptowalutę bitcoin*, „Współczesna Gospodarka”, 3/2015.

Nazwa inwestycji (nazwa giełdy)	wariancja	semiwariancja	VaR
localbtcBRL (LocalBitcoins)	6	7	14
localbtcCAD (LocalBitcoins)	7	6	6
localbtcZAR (LocalBitcoins)	8	8	8
localbtcPLN (LocalBitcoins)	9	10	11
localbtcDKK (LocalBitcoins)	10	11	10
localbtcTHB (LocalBitcoins)	11	9	7
vexUSD (Vircorex)	12	12	9
localbtcGBP (LocalBitcoins)	13	13	15
bitbayUSD (BitBay)	14	16	26
localbtcHKD (LocalBitcoins)	15	14	12
localbtcSGD (LocalBitcoins)	16	15	13
localbtcRUB (LocalBitcoins)	17	19	18
localbtcARS (LocalBitcoins)	18	22	22
krakenXRP (Kraken)	19	17	16
localbtcAUD (LocalBitcoins)	20	20	20
localbtcNOK (LocalBitcoins)	21	18	17
localbtcMXN (LocalBitcoins)	22	21	19
btcedeEUR (bitcoin.de)	23	26	47
krakenNMC (Kraken)	24	23	24
localbtcNZD (LocalBitcoins)	25	24	23
localbtcSEK (LocalBitcoins)	26	25	21
krakenLTC (Kraken)	27	30	33
fybsgSGD (FYB-SG)	28	29	27
bitkonanUSD (bitKonan)	29	27	25
fybseSEK (FYB-SE)	30	28	28
cbxUSD (Camp BX)	31	31	32
bitnzNZD (bitNZ)	32	33	31

Nazwa inwestycji (nazwa giełdy)	wariancja	semiwariancja	VaR
bit2cILS (Bit2C)	33	32	29
krakenUSD (Kraken)	34	35	34
coinfloorGBP (Coinfloor)	35	36	35
bitcurexEUR (Bitcurex)	36	37	30
virtexCAD (Canadian Virtual Exchange)	37	34	37
rockUSD (The Rock Trading Company)	38	38	36
okcoinCNY (OKCoin)	39	40	39
cotrUSD (CoinTrader)	40	39	59
hitbtcEUR (hitbtc)	41	45	38
bitfinexUSD (Bitfinex)	42	41	62
zyadoEUR (zyado)	43	43	40
btcnCNY (BTC China)	44	44	60
anxhkEUR (ANX)	45	48	44
bitstampUSD (BitStamp)	46	42	41
hitbtcUSD (hitbtc)	47	61	42
anxhkGBP (ANX)	48	49	55
anxhkUSD (ANX)	49	53	50
btceUSD (btc·e)	50	47	61
anxhkJPY (ANX)	51	46	49
anxhkCAD (ANX)	52	56	57
anxhkAUD (ANX)	53	54	56
anxhkNZD (ANX)	54	51	51
anxhkCNY (ANX)	55	59	46
anxhkSGD (ANX)	56	58	48
btcmarketsAUD (btcmarkets)	57	55	64
anxhkHKD (ANX)	58	60	54
itbitEUR (itBit)	59	50	45

Nazwa inwestycji (nazwa giełdy)	wariancja	semiwaniancja	VaR
itbitSGD (itBit)	60	57	43
itbitUSD (itBit)	61	52	52
bitmarketpLPLN (BitMarket.pl)	62	64	58
btceEUR (btc·e)	63	63	68
bitbayPLN (BitBay)	64	66	65
mrcdBRL (Mercado Bitcoin)	65	62	66
bitcurexPLN (Bitcurex)	66	69	70
krakenEUR (Kraken)	67	65	53
rockEUR (The Rock Trading Company)	68	67	63
btceRUR (btc·e)	69	70	67
btcoiIDR (bitcoin.co.id)	70	68	69

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych <http://bitcoincharts.com/markets/list/>, 05.09.2015.

Tabela 2. Współczynniki korelacji kolejnościowej Spearmana

	wariancja	semiwaniancja	VaR
wariancja	1	0,9887	0,9404
semiwaniancja	0,9887	1	0,9407
VaR	0,9404	0,9407	1

Źródło: opracowanie własne.

W przypadku kursów BTC/PLN (oznaczone kolorem czerwonym w tabeli 1) najbardziej ryzykowna była inwestycja na giełdzie LocalBitcoins a najmniejszym ryzykiem obarczona była inwestycja na giełdzie Bitcurex. Pod względem miary *VaR* była to najmniej ryzykowna inwestycja spośród wszystkich analizowanych. Jednakże należy mieć na uwadze, że w przypadku szacowania miary *VaR* wpływ na uzyskiwane wyniki ma między innymi przyjęty poziom tolerancji. Porównując ryzyko kursu BTC/PLN przy założonym poziomie tolerancji 0.01, mniej ryzykowne okazały się inwestycje na giełdach BitMarket.pl i BitBay¹⁶⁴. Najbardziej ryzykowna (pod względem wszystkich rozważanych miar ryzyka) była inwestycja *localbtcUSD* na giełdzie LocalBitcoins. Jednocześnie

¹⁶⁴ por. K. Kądziołka, *Ocena ryzyka inwestycji w kryptowalutę bitcoin...*

przeciętna dzienna stopa zwrotu z tej inwestycji była największa i wynosiła 2,8%. Jednakże, gdyby do tej inwestycji w analizowanym okresie zastosować strategię „kup i trzymaj” można było stracić sporą część zainwestowanego kapitału. Kupując przykładowo w dniu 04.09.2014 kryptowalutę po cenie bliskiej ceny zamknięcia (611,25 USD za sztukę) i sprzedając w dniu 04.09.2015 po cenie bliskiej cenie z zamknięcia (415,59 USD za sztukę) strata z inwestycji wyniosłaby około 32% zainwestowanych środków¹⁶⁵.

Ryzyko płynności i upadku giełd walut kryptograficznych

Płynność rozumiana jest tutaj jako możliwość kupna/sprzedazy kryptowaluty po aktualnej cenie rynkowej, bez znacznego wpływu na tę cenę. Będzie to możliwe, gdy aktualna wielkość ofert kupna/sprzedazy zgłoszonych przez uczestników po obu stronach rynku będzie odpowiednio duża. Ponadto występuje też ryzyko zawieszenia inwestycji (spowodowane np. atakiem cyberprzestępców na giełdę). Analizowano odsetek dni (w okresie 04.09.2014 – 04.09.2015), w które dana inwestycja była niedostępna. Dla analizowanych inwestycji przeciętny odsetek dni, w które inwestycja była niedostępna wynosił 6,11%. Największym odsetkiem czasu niedziałania (ponad 72% czasu) charakteryzowała się inwestycja *vcxEUR* na giełdzie Vircurex. Z kolei w przypadku pary BTC/PLN największym odsetkiem czasu niedziałania charakteryzowała się inwestycja na giełdzie Bitcurex, która była niedostępna przez 24% analizowanego okresu czasu. Inwestycja *localbtcPLN* była niedostępna przez 3,83% czasu, natomiast inwestycje *bitbayPLN* i *bitmarketplPLN* były dostępne przez cały okres 04.09.2014 – 04.09.2015.

Z funkcjonowaniem giełd walut kryptograficznych związane jest również ryzyko upadku giełdy, co równocześnie wiąże się z przerwaniem inwestycji na tej giełdzie (niekiedy także z utratą zainwestowanego kapitału). T. Moore i N. Christin, analizując czas funkcjonowania giełd bitcoin (dla danych do 2013 r.), wyliczyli, że przeciętny czas funkcjonowania takiej giełdy wynosił 381 dni¹⁶⁶.

Inwestycje w kryptowalutę a ryzyko wiktymizacji

Elektroniczny system płatności za pomocą walut kryptograficznych stwarza również możliwości do „działania” cyberprzestępcom. Przedmiotem ich ataku może stać się zarówno giełda jak i pojedynczy portfel Bitcoin, przechowywany np. na dysku twardym komputera. W przypadku kradzieży waluty kryptograficznej nie istnieją żadne systemy gwarantowania zwrotu środków. Mogą

¹⁶⁵ Przyjęto tu, że strategia „kup i trzymaj” polegała na zakupie kryptowaluty w pierwszym dniu wybranego okresu i sprzedaży w ostatnim dniu tego okresu po cenach bliskich cenom zamknięcia w tych dniach.

¹⁶⁶ T. Moore, N. Christin, *Beware the Middleman: Empirical Analysis of Bitcoin - Exchange Risk*, www.fc13.ifca.ai/slide/1-2.pdf, 06.11.2015.

też pojawić się osoby zachęcające do powierzenia im posiadanych środków finansowych, celem dokonania inwestycji w kryptowalutę. Czynnikiem przyciągającym potencjalnych inwestorów mogą być obietnice wysokich zysków. Jednakże pod przykrywką potencjalnej firmy oferującej inwestycje w waluty kryptograficzne może kryć się piramida finansowa. Należy mieć na uwadze, że na piramidzie zyskują tylko osoby znajdujące się na szczycie oraz te, które odpowiednio wcześniej do niej dołączyły, gdyż podstawowym założeniem tego typu systemów jest strata osób, które znajdują się na końcu¹⁶⁷.

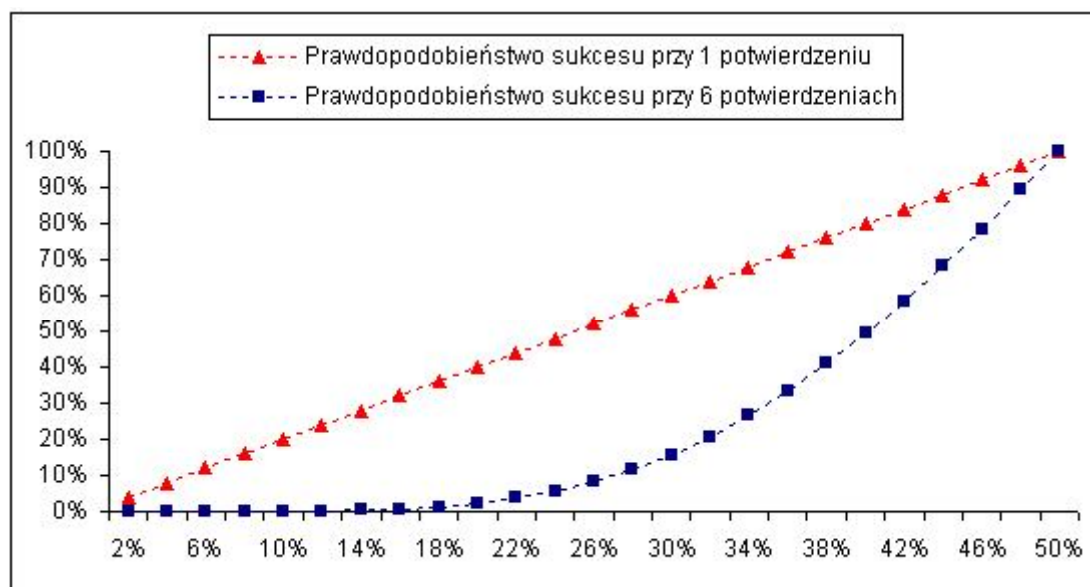
W przypadku transakcji w sieci Bitcoin występuje też ryzyko podwójnego wydania tych samych środków. Zabezpieczeniem przed podwójnym wydaniem środków (ang. *double spending*) jest mechanizm potwierdzeń transakcji przez węzły sieci. Wraz ze wzrostem liczby potwierdzeń maleje prawdopodobieństwo podwójnego wydania tych samych środków¹⁶⁸. Jednakże przed tzw. atakiem 50%+ nie jest w stanie uchronić żadna liczba potwierdzeń, gdyż atakujący, który posiada ponad 50% mocy obliczeniowej sieci Bitcoin może ingerować w bieżące transakcje¹⁶⁹. Wykres (rysunek 1) przedstawia zależność między prawdopodobieństwem sukcesu podwójnego wydania tych samych środków a udziałem mocy obliczeniowej atakującego w przypadku stosowania 1 oraz 6 potwierdzeń niezbędnych do zaakceptowania transakcji¹⁷⁰. Przy założeniu, że atakujący posiada 10% mocy obliczeniowej sieci Bitcoin, w przypadku stosowania 6 potwierdzeń prawdopodobieństwo podwójnego wydania środków jest bliskie zera, natomiast przy 1 potwierdzeniu wynosi 0,2.

¹⁶⁷ por. [J. W. Wójcik, *Oszustwa finansowe. Zagadnienia kryminologiczne i kryminalistyczne*, Wydawnictwo JWW, Warszawa 2008, s. 287]

¹⁶⁸ Por. K. Kądziołka, *Transakcje kryptowalutą bitcoin – wybrane zagrożenia*, „Rola informatyki w naukach ekonomicznych i społecznych. Innowacje i implikacje interdyscyplinarne”, 1/2015, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Handlowej w Kielcach.

¹⁶⁹ Por. M. Szymankiewicz, *Bitcoin. Wirtualna waluta Internetu*, Helion, Gliwice, 2014, s. 84-86.

¹⁷⁰ Wzór na prawdopodobieństwo sukcesu podwójnego wydania tych samych środków podaje M. Rosenfeld w pracy *Analysis of hashrate - based double - spending*, <http://arxiv.org/abs/1402.2009>, 29.03.2015.

Rysunek. 1 Sukces double spending w zależności od mocy obliczeniowej atakującego

Źródło: opracowanie własne

Metody data mining w generowaniu strategii inwestycyjnych

Powstało wiele prac podejmujących tematykę stosowania wybranych metod data mining (jak np. sieci neuronowe, lasy losowe, systemy rozmyte, algorytmy grupowania danych) na rynkach finansowych. Z wykorzystaniem tych metod podejmowane są próby prognozowania kursów/stóp zwrotu walorów, generowania strategii inwestycyjnych, identyfikacji zależności w finansowych szeregach czasowych¹⁷¹. Podejmowane są również próby aplikacji wybranych metod na rynku walut kryptograficznych, tworzone są różne automatyczne systemy transakcyjne¹⁷². Jednak przy próbach

¹⁷¹ M. in.: [P. Lula, J. Morajda, *Klasyfikacja wzorców występujących w finansowych szeregach czasowych przy użyciu sieci neuronowych Kohonena*, Zeszyty Naukowe Akademii Ekonomicznej w Krakowie, nr 604, 2002], [J. Korczak, P. Lipiński, *Systemy agentowe we wspomaganiu decyzji na rynku papierów wartościowych*, [w:] M. Ganzha i in. (red.), *Rozwój informatycznych systemów wieloagentowych w środowiskach społeczno – gospodarczych*, Wydawnictwo Placet, Warszawa, 2008], [A. Matuszewska-Janica, D. Witkowska, *Modelowanie kursu euro/dolar: dynamiczne modele ekonometryczne i sztuczne sieci neuronowe*, Zeszyty Naukowe SGGW „Ekonomika i Organizacja Gospodarki Żywnościowej”, nr 69, 2008], [A. Karathanasopoulos, *Modeling and Trading the EUR/USD Exchange Rate Using Machine Learning Techniques*, ETASR - Engineering, Technology & Applied Science Research, Vol. 2, No. 5, 2012], [A. Kasznia, *Prognozowanie finansowych szeregów czasowych przy użyciu jednokierunkowych sieci neuronowych*, [w:] A. S. Barczak, D. Iskra (red.), *Metody matematyczne, ekonometryczne i komputerowe w finansach i ubezpieczeniach 2010*, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, Katowice 2012], [Q. Qin, *Linear and Nonlinear Trading Models with Gradient Boosted Random Forests and Application to Singapore Stock Market*, Journal of Intelligent Learning Systems and Applications, 5/2013], [L. M. Badea, *Forecasting Exchange Rates with Mixed Models*, Journal of Mobile, Embedded and Distributed Systems – JMEDS, Vol 5, No 2, 2013], [M. Sarapata, *Prognozowanie finansowych szeregów czasowych z wykorzystaniem modeli jednokierunkowych sieci neuronowych*, „Studia Ekonomiczne” nr 181/14, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, Katowice, 2014].

¹⁷² m. in.: [P.A. Gloor, J. Kaminski, *Nowcasting the Bitcoin Market with Twitter Signals*, www.arxiv.org/pdf/1406.7577, 11.03.2015], [X. Li i in., *Exploring the Determinants of Bitcoin Exchange Rate*, http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2515233, 11.03.2015], [A. Moser i in., *Bitcoin Stock Prediction Using Artificial Neural Networks*, http://academia.edu/17464066/Bitcoin_Stock_Prediction_Using_Artificial_Neural_Networks,

adaptacji metod data mining do generowania strategii inwestycyjnych pojawia się m.in. problem określenia zbioru zmiennych objaśniających oraz prognozowanych. Wśród zmiennych wejściowych można wykorzystać m. in.: ceny/stopy zwrotu z wcześniejszych notowań, wybrane wskaźniki analizy technicznej, wolumen obrotów. Zmiennymi wyjściowymi w modelach mogą być np.: prognozy cen/stóp zwrotu w kolejnych okresach, współczynniki kierunkowe funkcji trendu, wskaźniki sygnałów kupna/sprzedazy. Poszczególne dane można stosować zarówno w postaci nieprzekształconej, jak też w postaci np. różnic, indeksów statystycznych, logarytmów. Brak jest jednoznacznych wskazań literaturowych, który zestaw zmiennych byłby „najlepszy”. W różnych pracach można spotkać różne podejścia do rozważanego problemu. W tym artykule zaprezentowana zostanie strategia inwestycyjna wzorowana na propozycji D. Witkowskiej¹⁷³, przy czym zamiast sieci neuronowej wykorzystany zostanie model lasu losowego zbudowanego z wielu drzew regresyjnych.

Drzewo regresyjne to graf spójny, acykliczny, który stanowi graficzną prezentację modelu postaci¹⁷⁴: $y = f(\mathbf{x}_i) = \sum_{k=1}^K \alpha_k \mathbf{I}(\mathbf{x}_i \in R_k)$, gdzie y – zmienna zależna, R_k – segment przestrzeni zmiennych objaśniających, α_k – parametry modelu ($k=1, \dots, K$), \mathbf{I} – funkcja wskaźnikowa określona następująco: $\mathbf{I}(q) = 1$, gdy warunek q jest prawdziwy oraz $\mathbf{I}(q) = 0$ w przeciwnym przypadku. Parametry α_k wyznaczone są następująco: $\alpha_k = \frac{1}{N(k)} \sum_{\mathbf{x}_i \in R_k} y_i$, gdzie $N(k)$ – liczba elementów znajdujących się w segmencie R_k , y_i – wartości przyjmowane przez zmienną zależną w segmencie R_k .

W podstawowej wersji algorytm lasu losowego działa według następującego schematu¹⁷⁵:

- 1) Ustal liczbę modeli bazowych (tutaj drzew regresyjnych) M oraz liczbę zmiennych K
- 2) Dla każdego $j=1, \dots, M$ wykonaj następujące kroki:
 - a. Wylosuj próbę uczącą U_j ze zbioru treningowego
 - b. Zbuduj maksymalne drzewo D_m na podstawie próby U_m , losując w każdym węźle drzewa K zmiennych, spośród których najlepsza dobierana jest do modelu
- 3) Dokonaj predykcji modelu zagregowanego stosując uśrednianie wyników predykcji wszystkich M modeli

Analizowano dane dzienne dotyczące kursu BTC/PLN na giełdzie BitMarket.pl w okresie 02.03.2014 – 04.09.2015. Zmienną prognozowaną była krzywa nachylenia kursu, rozumiana jako

06.11.2015], [I. Madan i in., *Automated Bitcoin Trading via Machine Learning Algorithms*, <http://cs229.stanford.edu/projects2014.html>, 11.03.2015].

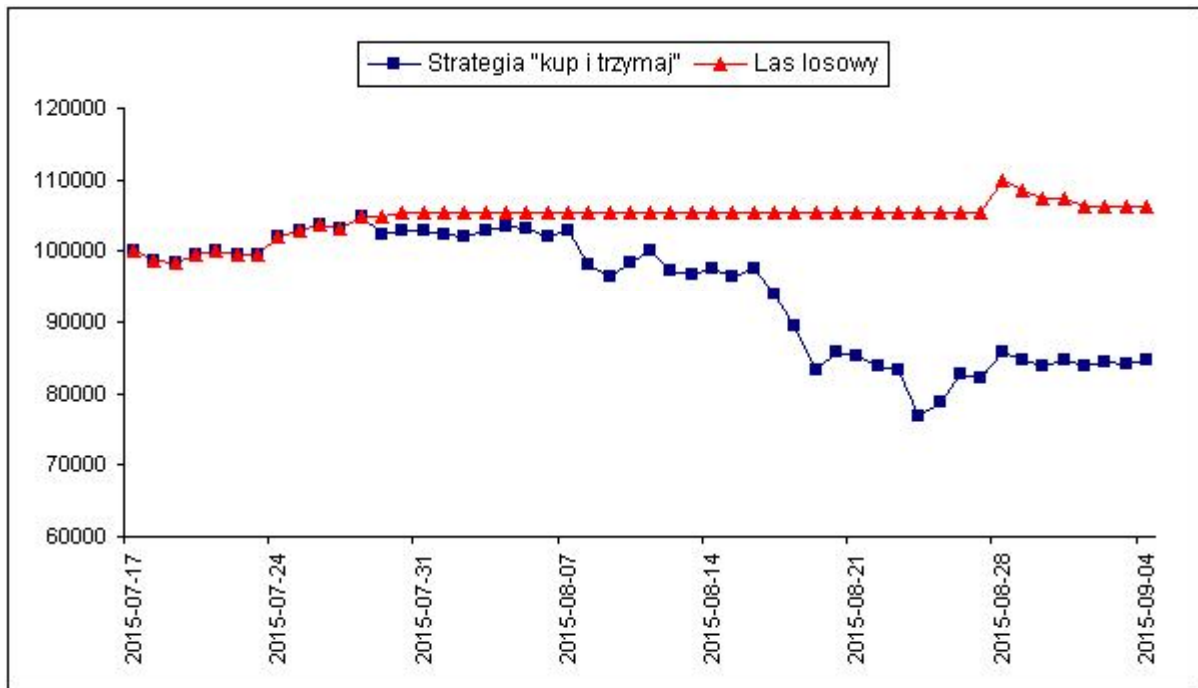
¹⁷³ Por. [D. Witkowska, *Sztuczne sieci neuronowe i metody statystyczne. Wybrane zagadnienia finansowe*, Wydawnictwo C.H. Beck, Warszawa 2002, s. 97 – 110].

¹⁷⁴ Por. E. Gatnar, *Podejście wielomodelowe w zagadnieniach dyskryminacji i regresji*, Warszawa 2008, s. 37- 44.

¹⁷⁵ Por. E. Gatnar, *Podejście wielomodelowe...*, s. 158.

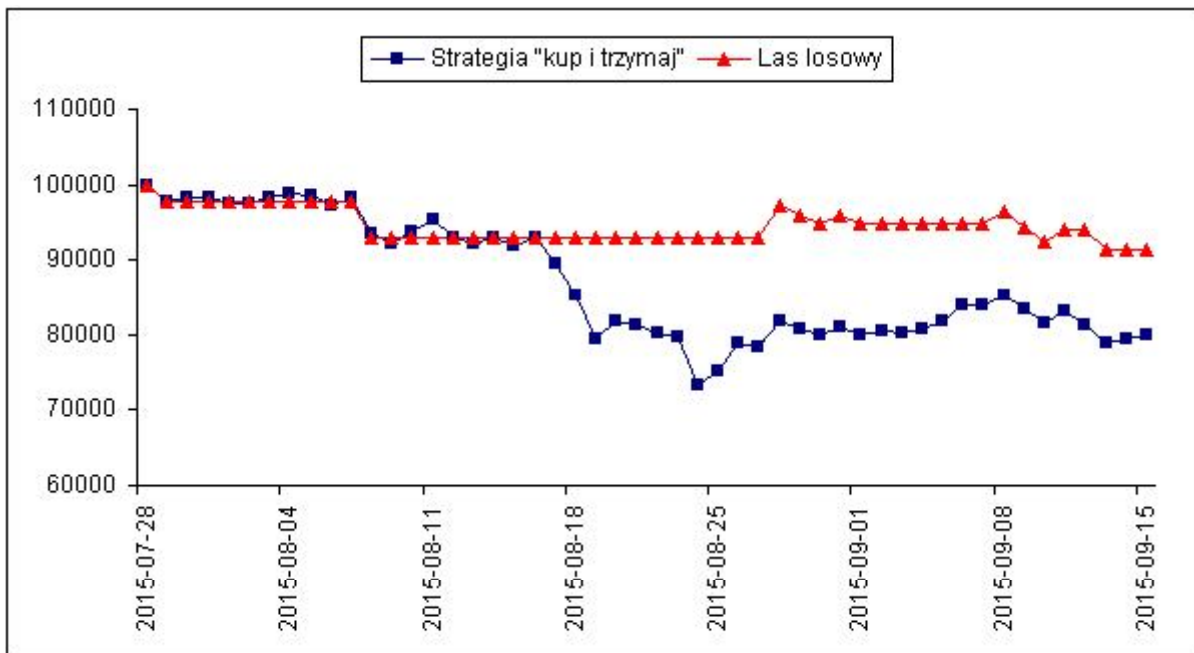
krzywa współczynników kierunkowych regresji liniowej wyznaczonych dla cen wirtualnych monet (z zamknięcia sesji) na podstawie ustalonego okresu estymacji (tutaj 14 notowań). Wśród zmiennych objaśniających wykorzystano stopy zwrotu dla 31 kolejnych notowań poprzedzających analizowaną sesję oraz różnice względne wolumenu bitcoinów dla 31 kolejnych notowań poprzedzających analizowaną sesję. Zbiór treningowy stanowiły dane za okres 03.04.2014 – 16.07.2015 (po skróceniu szeregów uwzględniając opóźnienia zmiennych). Dane testowe stanowiły obserwacje z okresu 17.07.2015 – 04.09.2015. Na podstawie danych zbioru treningowego oszacowano parametry modelu. Wykorzystano las losowy zbudowany z 250 drzew regresyjnych. Na każdym etapie konstrukcji drzew wybierano w sposób losowy 21 zmiennych spośród 62 zmiennych objaśniających¹⁷⁶. Na podstawie uzyskanych prognoz krzywej nachylenia kursu generowane były sygnały kupna/sprzedaży kryptowaluty. Przyjęto, że sygnały te występują w punktach przecięcia krzywej nachylenia kursu z osią czasu. Sygnał sprzedaży generowany był w momencie przecięcia osi czasu z malejącą krzywą nachylenia kursu, a kupna – z rosnącą. Analizowano wyniki uzyskane na danych zbioru testowego, które nie były wykorzystane w procesie budowy modelu. Przyjęto, że bitcoiny były kupowane i sprzedawane po cenie bliskiej ceny z zamknięcia. Wówczas strategia „kup i trzymaj” na zbiorze testowym wygenerowałaby stratę 15,38% zainwestowanego kapitału. W przypadku lasu losowego założono (celem porównania wyników), że bitcoiny zakupiono w tym samym dniu, co w przypadku strategii „kup i trzymaj”, czyli 17.07.2015 po cenie bliskiej ceny z zamknięcia, czyli 1039,79 PLN (za jednego bitcoina). Założono, że kapitał początkowy wynosił 100000 PLN, czyli w dniu 17.07.2015 zakupiono 96,15662 BTC. W przypadku strategii wykorzystującej las losowy sprzedaż i zakup wirtualnych monet następowała zgodnie z wygenerowanymi sygnałami. Rysunek 2 przedstawia wartość kapitału w kolejnych dniach okresu testowego dla strategii „kup i trzymaj” i lasu losowego.

¹⁷⁶ Przyjęto parametr $K=21$, gdyż w literaturze zalecane jest dla problemów regresyjnych losowanie $K=N/3$ zmiennych, gdzie N oznacza liczbę wszystkich zmiennych objaśniających, por. [A. Liaw, M. Wiener, *Classification and Regression by randomForest*, R News 2(3), 2002, s. 20]. Obliczenia wykonano z wykorzystaniem darmowego programu R.

Rysunek. 2 Stan posiadania w kolejnych dniach okresu testowego 17.07.2015-04.09.2015

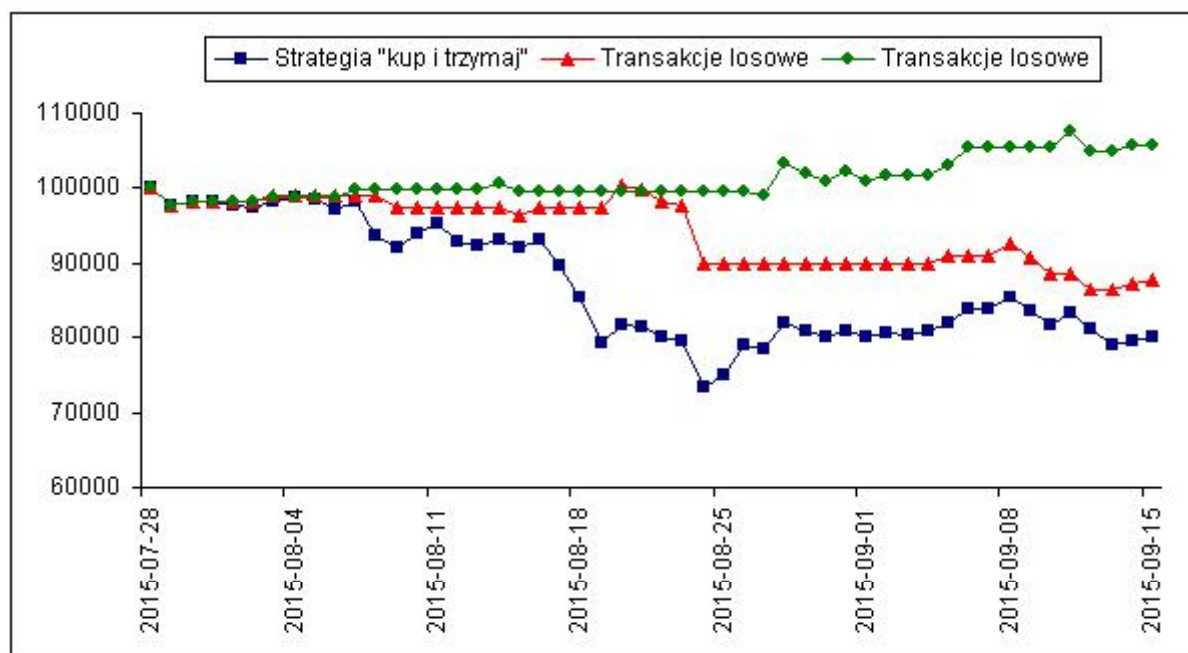
Źródło: opracowanie własne

Strategia wykorzystująca las losowy umożliwiła osiągnięcie zysku na poziomie 6,16% w ciągu 50 dni. Uzyskany wynik mógłby wydawać się kuszącą alternatywą w stosunku, np. do niskooprocentowanych obecnie lokat bankowych. Jednakże należy mieć na uwadze, że generowanie przez daną strategię zysków w jednym okresie nie gwarantuje, że tak będzie zawsze. Zaprezentowaną strategię inwestycyjną ponownie zastosowano do inwestycji na giełdzie BitMarket.pl, przy czym zbiór treningowy tworzyły obserwacje z okresu 03.04.2014 – 27.07.2015 a zbiór testowy obejmował okres 28.07.2015 – 15.09.2015. W przypadku kupna bitcoinów w dniu 28.07.2015 i zawierania transakcji zgodnie z sygnałami uzyskiwanymi na podstawie lasu losowego, można było stracić 8,53% zainwestowanego kapitału. Dla strategii „kup i trzymaj” strata wyniosłaby 20,08% (rysunek 3).

Rysunek. 3 Stan posiadania w kolejnych dniach okresu testowego 28.07.2015 – 15.09.2015

Źródło: opracowanie własne

W przypadku rozważanej inwestycji porównano również z analizowanymi strategiami wyniki uzyskane w sytuacji losowego zawierania transakcji. W przypadku strategii losowej przyjęto założenie, że w dniu 28.07.2015 dokonano zakupu bitcoinów po cenie bliskiej ceny z zamknięcia. Dla każdego kolejnego dnia (z okresu testowego) losowana była liczba z przedziału $[0,1]$. Jeśli wylosowana liczba była mniejsza niż 0,33 generowany był sygnał kupna. Jeśli wylosowana liczba była większa od 0,67 generowany był sygnał sprzedaży. W pozostałym przypadku nie zawierano transakcji. Rysunek 4 przedstawia posiadany w kolejnych okresach kapitał dla strategii „kup i trzymaj” oraz dwóch symulacji strategii losowej. W tym konkretnym przypadku zawieranie transakcji w sposób losowy umożliwiło osiągnięcie lepszego rezultatu niż strategia „kup i trzymaj”. Co więcej, w jednej z analizowanych symulacji strategii losowej uzyskano dodatnią stopę zwrotu, wynoszącą 5,76%. Oczywiście, stosując strategię losową w analizowanym okresie można było też stracić dużo więcej niż w przypadku strategii „kup i trzymaj”. Należy mieć jednak na uwadze, że prezentowane tu próby szacowania stóp zwrotu dla poszczególnych strategii inwestycyjnych mają charakter teoretyczny. W rzeczywistości mogłoby się zdarzyć, że po wygenerowaniu sygnału (np. sprzedaży) transakcja nie doszłaby do skutku. Przykładowo, w sytuacji chęci sprzedania dużej ilości wirtualnych monet po aktualnym kursie, mogłoby się okazać, że brak jest kupców na taką ich ilość.

Rysunek. 4 Stan posiadania w kolejnych dniach okresu testowego 28.07.2015 – 15.09.2015

Źródło: opracowanie własne

Podsumowanie

W artykule analizowano różne aspekty ryzyka związanego z posiadaniem i inwestycją w wirtualne monety. Zaprezentowano strategię inwestycyjną wykorzystującą algorytm random forest. Analizowano ceny z zamknięcia z częstotliwością dzienną. Uwzględniając dużą zmienność kursu bitcoina można podejmować próby opracowania strategii inwestycyjnych bazujących na danych o wyższej częstotliwości. I. Madan i in. zaproponowali strategię inwestycyjną na giełdach bitcoin wykorzystującą las losowy dla danych o częstotliwości minutowej¹⁷⁷. Jednakże, jak zostało wspomniane, nie ma jak na razie uniwersalnej strategii inwestycyjnej, która umożliwiłaby generowanie w każdych warunkach ponadprzeciętnych zysków. To, że dana strategia umożliwiła osiągnięcie zysku w przeszłości nie oznacza, że również w przyszłości tak będzie. Ponadto strategia generująca w danym okresie zyski na jednej inwestycji, na innej może wygenerować straty. Przykładowo, stosując zaprezentowaną strategię na giełdzie LocalBitcoins (do pary BTC/PLN) dla okresu testowego 17.07.2015 – 04.09.2015 strata wyniosłaby 10,16% zainwestowanego kapitału (podczas gdy na giełdzie BitMarket.pl osiągnięto w tym okresie zysk). W internecie dostępne są portale oferujące rzekome „pewne” i wysokie zyski z inwestycji w kryptowalutę. Potencjalni

¹⁷⁷ Por. I. Madan i in., *Automated Bitcoin Trading...*

inwestorzy często niewiele wiedzą na temat oferowanych im produktów i usług a informacje o ryzyku (niekiedy pisane małą czcionką) bywają przez nich pomijane. Decydując się na zainwestowanie środków w kryptowalutę należy mieć na uwadze, że im większe zyski ma przynieść inwestycja tym większe zazwyczaj towarzyszy jej ryzyko i większe jest prawdopodobieństwo poniesienia straty.

O autorze

Kinga Kądziołka jest doktorem nauk ekonomicznych oraz analitykiem kryminalnym.

Streszczenie

W artykule zwrócono uwagę na różne aspekty ryzyka związanego z posiadaniem i inwestycją w waluty kryptograficzne. Na przykładzie strategii inwestycyjnej wykorzystującej model lasu losowego zwrócono uwagę, że strategia generująca zyski w przeszłości nie musi być równie skuteczna w przyszłości. Ponadto strategia przynosząca w danym okresie zyski na jednej giełdzie, na innej może wygenerować straty.

Summary

Article presents potential financial risks to which the Bitcoin users are exposed. There was also presented investment strategy based on random forest. It was tested on BitMarket.pl Exchange. Random forest worked better than „buy and hold” strategy, but in some cases it generated losses.