

Dr. sc. Josip Arnerić

Izvanredni profesor
Sveučilište u Zagrebu
Ekonomski fakultet
E-mail: jarneric@efzg.hr

Mladen Mateljan, mag. oec.

Sveučilište u Splitu
Ekonomski fakultet
E-mail: mmatel01@live.efst.hr

ANALIZA MEĐUOVISNOSTI TRŽIŠTA KAPITALA I TRŽIŠTA KRIPTOVALUTA

UDK / UDC: 336.76:[004.738.5:339.13

JEL klasifikacija / JEL classification: G10, C13, C14, C58

Prethodno priopćenje / Preliminary communication

Primljeno / Received: May 6, 2019 / 6. svibnja 2019.

Prihvaćeno za tisak / Accepted for publishing: December 4, 2019 / 4. prosinca 2019.

Sažetak

Tržišta kriptovaluta novonastala su tržišta koja se razvijaju sukladno s razvojem informacijskih tehnologija te se pojavljuje mogućnost odljeva kapitala s tradicionalnih tržišta kapitala na tržišta kriptovaluta. Cilj je ovoga rada istražiti u kojim periodima dolazi do odljeva ulagačkog kapitala s tržišta kapitala na tržište kriptovaluta i mogu li kriptovalute poslužiti kao sigurno utočište u turbulentnim razdobljima. U teorijskom se dijelu na sistematičan način opisuju svojstva kriptovaluta kao alternativnih oblika ulaganja. U empirijskom se dijelu analiziraju dva vodeća reprezentanta tržišta kapitala i tržišta kriptovaluta – burzovni indeks S&P500 i Bitcoin – te se pri tome koristi Engleov model dinamičkih uvjetnih korelacija. Rezultati pokazuju da je korelacija između dvaju tržišta vremenski promjenjiva te svoje najveće negativne vrijednosti poprima krajem 2015., sredinom 2016. i početkom 2017. godine, upravo kada je volatilnost S&P500 indeksa bila najveća. Time se potvrđuje da je tržište kriptovaluta sigurno utočište u razdobljima visoke volatilnosti na američkom tržištu kapitala.

Ključne riječi: kriptovaluta Bitcoin, indeks S&P500, sigurno utočište, MGARCH, dinamička uvjetna korelacija.

1. UVOD

Bitcoin je prva kreirana kriptovaluta koja od svoga nastanka ima vodeću tržišnu kapitalizaciju na tržištu kriptovaluta. Javno se pojavila 18. kolovoza 2008. godine, kada je registrirano ime domene *Bitcoin.org*. Iste je godine pod pseudonimom Satoshi Nakamoto nepoznat autor (ili skupina autora) objavio rad naslovljen „Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System“ (Nakamoto, 2008). Razvijeni softver otvorenoga kôda u siječnju 2009. godine postao je dostupan na mrežnoj stranici *sourceforge.net*, dok je identitet osobe ili osoba iza pseudonima Satoshi Nakamoto do danas ostao tajna.

Naime, Bitcoin je nastao kao reakcija na svjetsku financijsku krizu 2008. godine s idejom da se „izbaci“ korumpirani ljudski faktor i zamijeni automatiziranim upravljanjem i reguliranjem koristeći se matematičkim operacijama te da se izgradi sustav temeljen na kriptografiji i *peer-to-peer* tehnologiji. Ta je tehnologija značajno smanjila transakcijske troškove i pružila veću sigurnost prilikom prijenosa novca. Višestruke su prednosti ovako kreiranog sustava: može se instalirati internacionalno bez ograničenja i bez ovlasti bilo kojeg pojedinca, ne koristi se ID, tj. omogućuje financijske usluge osobama u područjima s nerazvijenom financijskom infrastrukturom, nitko ne može blokirati transakciju bilo kojeg iznosa, transakcija je nepovratna i ne postoji mogućnost prevare, transakcije se odvijaju u sekundama, dostupan je *online* 24 sata dnevno, 365 dana godišnje i ne zahtijeva nikakvo posredništvo.

Za razliku od tradicionalnih financijskih tržišta, sustav plaćanja na tržištu kriptovaluta potpuno je decentraliziran na osnovi kriptografskih protokola koji osiguravaju anonimnost, nisku cijenu i brzinu transakcija. Iako su tržišta kriptovaluta visokorizična, upravo su te osobine privukle velik interes javnosti, posebice zato što su prinosi na tim tržištima pozitivni i viši. Također, ulagači traže sigurno utočište u negativno koreliranoj imovini pa samim time dolazi do dodatnoga povećanja cijena zbog povećane potražnje za financijskim instrumentima na tim tržištima. Negativna koreliranost može upućivati na odljev kapitala s jednoga tržišta na drugo, stoga je glavni cilj ovoga rada istražiti koliko su tržišta kriptovaluta i tržišta kapitala međuovisna u kontekstu njihove negativne koreliranosti, odnosno u kojim periodima dolazi do odljeva ulagačkoga kapitala s tržišta kapitala na tržište kriptovaluta. Općenito, ulagači nastoje diversificirati svoje portfelje kako bi smanjili rizik. Negativna korelacija ili nekoreliranost između različitih vrsta imovine pridonose manjem riziku portfelja. Štoviše, tržište kriptovaluta već je dovoljno razvijeno da bi se počelo postavljati pitanje njegova utjecaja ne samo na tradicionalna tržišta već i na stabilnost samoga financijskog sustava, što je iznimno važno. U dostupnoj, uglavnom novijoj literaturi, nema jasnoga konsenzusa jesu li i koliko tržišta kapitala i tržišta kriptovaluta korelirana. Analizirajući stupanj negativne koreliranosti ili nekoreliranosti između navedenih tržišta u kratkom i dugom roku, može se utvrditi jesu li tržišta kriptovaluta sigurno utočište u turbulentnim vremenima (engl. *safe haven*), dobar diversifikator ili mogu poslužiti i živičarenju (engl. *hedging*). Zaključci

postojećih istraživanja (Bouri, Molnar, Azzi, Roubaud & Hagfors, 2017; Urquhart & Zhang, 2019; Wang, Zhang & Shen, 2019) nisu jedinstveni.

Postojeći su empirijski rezultati različiti s obzirom na to s kojom se vrstom financijske imovine Bitcoin ili neka druga kriptovaluta uspoređuje, u kojem vremenskom periodu i kojom metodologijom. To je bila motivacija da se navedena problematika detaljnije istraži s aspekta multivarijantnih generaliziranih modela uvjetne heteroskedastičnosti – MGARCH (engl. *Multivariate Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity*). Iako su MGARCH modeli djelomično zastupljeni u provedenim istraživanjima, izbor konkretnoga modela iz klase MGARCH nije argumentirano obrazložen, a nedostaju i dijagnostički testovi.

U ovom se radu analiziraju vremenski nizovi prinosa dvaju reprezentanata tržišta kapitala i tržišta kriptovaluta – dionički indeks S&P500 i Bitcoin kriptovaluta, a model koji se procjenjuje jest model dinamičkih uvjetnih korelacija DCC (engl. *Dynamic Conditional Correlation*) koji je definirao Engle (2002). Navedeni je model prikladan da se istraži: **i**) je li korelacija između prinosa tržišta kapitala i tržišta kriptovaluta konstantna ili vremenski promjenjiva, **ii**) u kojim je periodima korelacija negativna te **iii**) ima li korelacija između prinosa tržišta kapitala i tržišta kriptovaluta tendenciju rasta ili pada u dugom roku, odnosno koja je njezina tendencija ako uopće postoji? Odgovori na istraživačka pitanja koja će potvrditi ili opovrgnuti tezu da je Bitcoin kriptovaluta sigurno utočište u kratkom roku te da može poslužiti kao diversifikator u dugom roku predstavljaju relevantan doprinos samoga rada, dok su empirijski rezultati poticaj za daljnja istraživanja.

2. KARAKTERISTIKE TRŽIŠTA KRYPTOVALUTA

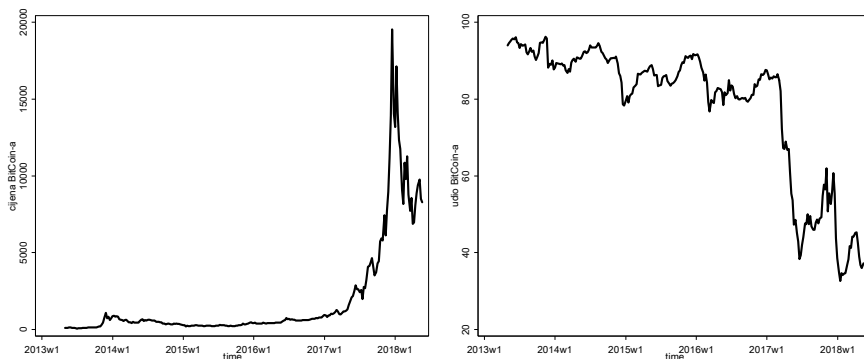
Tržište kriptovaluta predstavlja sumu ponude i potražnje za kriptovalutama. Primarni su izdavatelji kriptovaluta uglavnom *start-up* kompanije koje svoje poslovanje temelje na *blockchain* tehnologiji. Najveći su kupci tek izdanih kriptovaluta mali investitori, pojedinci i kućanstva. Trgovina kriptovalutama pretežito se odvija na javnim mrežnim mjenjačnicama. Mrežne mjenjačnice funkcioniraju kao uređena sekundarna tržišta vrijednosnih papira, čija se trgovina odvija preko dilerskih pultova. Pultovi su u slučaju trgovanja kriptovalutama zamijenjeni računima na mrežnim mjenjačnicama. Dileri kotiraju kupovne i prodajne tečajevе kojima trguju i zarađuju na razlici u cijeni te preuzimaju rizik jer se po kotiranim tečajevima uvijek obvezuju trgovati. K tome, kako nije potrebno licenciranje, trgovanje komunikacijskom mrežom računalnog sustava svima je dostupno.

Mrežne mjenjačnice specijalizirane za trgovinu kriptovalutama posljednjih su godina doživjele procvat. Ipak, pojedine su mjenjačnice doživjele slom uglavnom zbog hakiranja i krađe kriptovaluta, a najpoznatiji je slučaj MtGox mrežne mjenjačnice. Trenutno djeluje 199 mrežnih mjenjačnica, od kojih

njih deset ostvaruje najveći promet: *Bitfinex*, *Binance*, *Huobi*, *HitBTC*, *Coinbase GDAX*, *Bitstamp*, *Quoine*, *Gemini*, *Coinone* i *Bithumb* (prema javno dostupnim podacima na: <https://coinmarketcap.com/currencies/Bitcoin/markets/> [pristup 10. 6. 2018.]). Uz virtualne mjenjačnice, u stvarnome svijetu postoje fizičke mjenjačnice te Bitcoin bankomati koji omogućuju razmjenu Bitcoina za gotovinu. Neki Bitcoin bankomati nude dvosmjernu funkcionalnost koja omogućuje kupnju i prodaju Bitcoina. U nekim slučajevima pružatelji usluge Bitcoin bankomata zahtijevaju da korisnici imaju postojeći račun za obavljanje transakcija na stroju. Bitcoin bankomati nisu bankomati u tradicionalnom smislu; povezani su s Internetom, omogućujući zamjenu gotovine za Bitcoine koji se dodjeljuju kao papirnata potvrda ili premještanjem novca na javni ključ. Bitcoin bankomati ne povezuju se s bankovnim računom. Prvi Bitcoin bankomat postavljen je 29. listopada 2013. godine u centru Vancouvera u Kanadi.

Temeljne se funkcije tržišta kriptovaluta mogu klasificirati analogno tržištu kapitala: mobilizacija štednje, pružanje likvidnosti (omogućava brzu prodaju kriptovaluta), određivanje cijena (uravnoteženjem ponude i potražnje), alokacija resursa, omogućavanje dugoročnih investicija i kontinuirana dostupnost sredstava (kontinuirano trgovanje). Također, omogućuju ulagačima da u kratkom roku unovče kriptovalute te zbog toga budu skloniji ulagati u njih. Osnovna je funkcija primarnih tržišta alokacija resursa od štedno suficitnih do štedno deficitnih subjekata, tj. alokacija usitnjene i decentralizirane novčane štednje u privredu (Orsag, 2011), u ovom slučaju u tržište kriptovaluta. *Start-up* poduzećima na primarnom tržištu konkuriraju tradicionalna dionička društva, država i lokalna vlast svojim vrijednosnim papirima koji su manjega stupnja rizika, a ponekad nude i porezne olakšice. Na visinu tržišne cijene utječu poslovni rezultati *start-up* kompanija i buduća očekivanja koja proizlaze iz njihova poslovanja. Temeljni sudionici tržišta kriptovaluta jesu emitenti, izdavači kriptovaluta i njihovi kupci koji se još u žargonu tržišta kapitala nazivaju investitorima. Sukladno s motivima, na tržištima kriptovaluta mogu se prepoznati tri skupine ulagača: investitori, spekulanti i arbitražeri – jednako kao na tržištu kapitala. Za razliku od tržišta kapitala, na tržištima kriptovaluta ne pojavljuju se preuzimači jer kriptovalute ne donose vlasnička prava.

Nadalje, tržišta su kriptovaluta labavija, odnosno nikako regulirana. Zbog njihova globalno neovisnog funkcioniranja, države nailaze na prepreke pri njihovoj regulaciji. U svijetu kriptovaluta promjene se odvijaju ubrzano i svakodnevno, sukladno s inovativnom prirodom novonastalogo tržišta. Samim time svakodnevno nastaju i nestaju nove kriptovalute. Trenutno na tržištu kotira više od 1500 kriptovaluta, pri čemu se Bitcoin koristi kao reprezentant s obzirom na njegov tržišni udio. Udio tržišne kapitalizacije Bitcoina na cjelokupnom tržištu kriptovaluta i dalje je vodeći s približno 40% (Slika 1).



Slika 1. Kretanje cijene Bitcoin kriptovalute i njezina udjela u tržišnoj kapitalizaciji cjelokupnoga tržišta kriptovaluta u razdoblju od 3. svibnja 2013. do 20. kolovoza 2018.

Izvor: Izradili autori prema javno dostupnim podacima na: <https://coinmarketcap.com/currencies/Bitcoin/markets/> [pristup 10. 6. 2018.]

Kako je istaknuto u uvodnom dijelu, dostupna istraživanja ne pružaju jedinstven odgovor na pitanje je li Bitcoin sigurno utočište u turbulentnim periodima i može li se koristiti kao sredstvo živičarenja i diversifikator, odnosno očekuje li se negativna koreliranost ili nekoreliranost u kratkome ili dugome roku. Dio se istraživanja – primjerice, Katsiampa (2017) i Yi, Xu & Wang (2018) – fokusira na analizu transmisijskih mehanizama unutar tržišta kriptovaluta. Razumijevanje transmisijskih mehanizama, posebno prelijevanje šokova (engl. *shocks spillover*), omogućuje investitorima da prilagode svoje investicijske strategije ili potraže sigurno utočište u trenucima povećane volatilnosti. Štoviše, u razdobljima makroekonomske nesigurnosti, investitori u svojim portfeljima nerijetko zamjenjuju tradicionalne vrste imovine kriptovalutama. U kojoj će se mjeri odlučiti za alternativna ulaganja u financijske inovacije kao što su kriptovalute ovisi o njihovim preferencijama i sklonosti riziku.

Mnogo je rasprava o tome jesu li kriptovalute čisto spekulativnog karaktera ili su sredstvo razmjene. Frisby (2014) smatra ne samo da Bitcoin posjeduje obilježja novca već i da ima bolje karakteristike: ograničena ponuda omogućuje mu da funkcionira kao čuvar vrijednosti, a njegova prenosivost, veća likvidnost i niži transakcijski troškovi omogućuju da cirkulira na tržištu. Sve se više istraživanja temelji na analizi međuovisnosti između Bitcoina i drugih tradicionalnih vrsta imovine te traganju za odgovorom na pitanje je li Bitcoin zaista dobar diversifikator i u odnosu na koje vrste financijske imovine (Dyhrberg, 2016; Corbet & sur., 2018; Bouri & sur., 2018). Nadalje, Urquhart & sur. (2019) uspoređuju Bitcoin kriptovalutu s valutnim tečajevima te zaključuju da je Bitcoin sigurno utočište u turbulentnim vremenima samo za valute CAD, CHF i GBP, ali ne i za ostale valute. Istraživanje koje su proveli Bouri & sur.

(2017) ne obuhvaća samo svjetske burzovne indekse već i zlato, naftu i američki dolar. Uspoređujući Bitcoin kriptovalutu s različitim vrstama financijske imovine, empirijski je potvrđeno da Bitcoin pruža lošu zaštitu te da je pogodan samo za diversifikaciju i može poslužiti kao sigurno utočište samo za dionice koje kotiraju na azijskim tržištima kapitala u vremenima kada cijene na tim tržištima ekstremno padaju. Do sličnoga su zaključka došli Wang & sur. (2019) te spoznali da kriptovalute nemaju svojstvo ograničavanja rizika, ali su sigurno utočište u odnosu na međunarodne burzovne indekse koje karakterizira visoka likvidnost i visoka tržišna kapitalizacija DJI30 i Nasdaq. To je posebno bilo izraženo prije 2017. godine, kada su cijene kriptovaluta značajno rasle. S druge strane, Cheah & Fry (2015) pokazuju da je Bitcoin kriptovaluta suštinski sklona spekulativnim mjehurićima (engl. *speculative bubbles*) te da je njezina fundamentalna vrijednost jednaka nuli.

Usljed globalizacije i razvoja tehnologije, kreirani su mnogi kanali protjecanja kapitala te je omogućen jednostavniji i lakši priljev i odljev kapitala s jednoga tržišta na druga. Samim time različita tržišta postaju znatnije integrirana te ujedno osjetljivija na vanjske šokove s drugih tržišta. Primjerice, vijesti s jednoga tržišta u većoj ili manjoj mjeri neizravno će utjecati na druga tržišta ovisno o intenzitetu njihove povezanosti, odnosno koreliranosti (Engle, 2002). U sljedećem se poglavlju detaljno opisuje metodologija samoga istraživanja te argumentira zašto se u konkretnom slučaju primjenjuje DCC model. U posljednja tri desetljeća najveću su popularnost stekli upravo GARCH modeli i njihove inačice. Bez obzira na to primjenjuju li se kao univarijantni ili multivarijantni, među najzastupljenijima su u empirijskim analizama. Dapače, Engle (2009) je s pomoću Monte Carlo simulacija dokazao da navedeni modeli imaju najmanju pogrešku pri analizi poznate strukture međuovisnosti različitih vrsta imovine. Prednost je DCC modela i u tome što teži parsimoniji neovisno o broju varijabli, što nije slučaj u ostalim modelima, koji su često predeterminirani zbog velikoga broja parametara (Bauwens & Laurent, 2005). Štoviše, ako višedimenzionalna distribucija prinosa nije Gaussova, mogu se primijeniti MGARCH modeli pretpostavljajući višedimenzionalnu t-distribuciju ili asimetričnu t-distribuciju u slučaju pojave „debelih“ repova (engl. *fat tails*) i asimetričnih informacija (Dahiru & Takimoto, 2017).

3. UZORAK ISTRAŽIVANJA I METODOLOGIJA

Uzorak podataka, koji se koristi u ovom istraživanju, čine vremenski nizovi prinosa reprezentanata svakoga promatranog tržišta – dioničkog indeksa S&P500 kao reprezentanta tržišta kapitala i Bitcoina kao reprezentanta tržišta kriptovaluta. Ovi su reprezentanti izabrani zato što imaju najveću tržišnu kapitalizaciju u promatranom razdoblju (od 3. svibnja 2013. do 20. kolovoza 2018.). Naime, prema podacima iz svibnja 2018. godine, tržišna kapitalizacija cjelokupnoga tržišta kriptovaluta iznosi približno 0,4 bilijuna USD, a najveća je vrijednost iznosila oko 1 bilijun USD u siječnju 2018. godine. Ako se usporedi

svjetska tržišna kapitalizacija koja iznosi oko 80 bilijuna USD te teži brojevi od 100 bilijuna USD, očito je da udio tržišne kapitalizacije dionica S&P500 indeksa iznosi oko 10%, dok je tržišna kapitalizacija Bitcoin kriptovalute približno 40% cjelokupnoga tržišta kriptovaluta. U promatranom su razdoblju prinosi opaženi u tjednim intervalima vremena s ukupno 264 opažanja. Nadalje, prinosi opaženi u ne tako kratkim intervalima vremena normalno će se distribuirati. Što je interval uzorkovanja manji – primjerice, dnevni ili, pak, intradnevni – distribucije prinosa više će odstupati od normalnoga oblika, i to najčešće zato što se takvim uzorkovanjem obuhvaća više ekstremnih ili netipičnih vrijednosti. U literaturi je također poznato da podaci visokih frekvencija nisu normalno distribuirani (Amerić, 2010; 2012). S druge strane, frekvencija uzorkovanja utječe i na broj opažanja koji preostaje za analizu. Nastojeći balansirati između veličine uzorka i normalnosti distribucije prinosa, prikupljeni su tjedni podaci. Pretpostavka normalnosti važna je jer će se za procjenu DCC modela koristiti metoda najveće vjerodostojnosti ML (engl. *Maximum Likelihood*). Standardni i najzastupljeniji model u literaturi jest univarijatni simetrični GARCH(1,1) model koji je definirao Bollerslev (1986) nastvljavajući se na Engleov prvijenac. Budući da se u ovom radu analizira više od jedne varijable, tj. dva vremenska niza prinosa, potrebno je uzeti u obzir multivarijatne inačice univarijatnih modela. U konkretnom se slučaju primjenjuje nelinearna kombinacija univarijatnih GARCH modela. Takav pristup, za razliku od izravne generalizacije univarijatnih GARCH modela (primjerice, vektorski model VEC, dijagonalni vektorski model DVEC ili BEKK model prema *Baba, Engle, Kraft i Kroner*) ne zahtijeva procjenu velikoga broja parametara, a njihova je interpretacija jednostavnija.

MGARCH(p, q) model polazi od dekompozicije matrice Σ_t , koja predočuje matricu varijanci i kovarijanci prinosa:

$$\Sigma_t = D_t R_t D_t, \quad (1)$$

pri čemu je R_t uvjetna korelacijska matrica prinosa između dvaju tržišta, a D_t je dijagonalna matrica uvjetnih standardnih devijacija $\sigma_{j,t}$ za $j = 1, 2$ i $t = 1, 2, \dots, 264$. Pri tome se svaka od varijanci $\sigma_{1,t}^2$ i $\sigma_{2,t}^2$ opisuje univarijatnim GARCH(p, q) modelom, što omogućuje fleksibilnost u specifikaciji jednadžbi uvjetnih varijanci za svako tržište pojedinačno (Bauwens, Laurent & Rombouts, 2006). Također, za svako tržište vremenski pomaci p i q ne moraju biti jednaki, niti će procjene parametara biti identične. Iz navedene dekompozicije (1) jasno je vidljivo:

$$\sigma_{12,t} = \rho_{12,t} \sqrt{\sigma_{1,t}^2 \sigma_{2,t}^2}. \quad (2)$$

Kovarijanca je predočena nelinearnom kombinacijom umnoška koeficijenta linearne korelacije $\rho_{12,t}$ i uvjetnih standardnih devijacija $\sigma_{1,t}$ i $\sigma_{2,t}$. Ako se pretpostavi da je korelacijska matrica konstantna, onda je $R_t = R$, odnosno $\rho_{21,t} = \rho_{12}$. Konstantna korelacijska matrica R procjenjuje se na temelju parova opažanja iz uzorka ili se ona može uzeti samo kao inicijalna korelacijska

matrica, a konačna procjena matrice R dobiva se maksimizirajući funkciju vjerodostojnosti metodom ML (Arnerić, 2010).

Model u kojem se pretpostavlja da je korelacijska matrica konstantna naziva se modelom konstantnih uvjetnih korelacija i označava se kao CCC model (engl. *Constant Conditional Correlations*). Model konstantnih uvjetnih korelacija definirao je Bollerslev (1990), pri kojem je dinamika kovarijanci određena samo dinamikom dviju uvjetnih varijanci, ali ne i dinamikom njihovih korelacija.

Tse & Tsui (2002) predložili su DCC(1,1) model, pri kojem se vremenski promjenjiva korelacijska matrica opisuje sljedećom jednačjom:

$$R_t = (1 - \theta_1 - \theta_2)R + \theta_1 S_{t-1} + \theta_2 R_{t-1}. \quad (3)$$

U jednačbi (3) matrica R je pozitivno definitna korelacijska matrica, reda 2×2 , s jedinicama na glavnoj dijagonali i konstantna tijekom čitavoga procesa optimizacije. Parametri θ_1 i θ_2 su nenegativni skalari. Matrica R_{t-1} je korelacijska matrica iz prethodnoga razdoblja, dok je S_{t-1} tzv. „pomična“ korelacijska matrica svih prethodnih m standardiziranih grešaka relacije $u_{j,t-1}, u_{j,t-2}, \dots, u_{j,t-m}$ za koje vrijedi $u_{j,t-h} = D_{t-h}^{-1} \varepsilon_{t-h}$. Članovi matrice S_{t-1} mogu se definirati na sljedeći način:

$$S_{t-1} = \frac{\sum_{h=1}^m u_{1,t-h} u_{2,t-h}}{\sqrt{\sum_{h=1}^m u_{1,t-h}^2 \sum_{h=1}^m u_{2,t-h}^2}}. \quad (4)$$

Ako se ne odbacuje nulta hipoteza $H_0: \theta_1 = \theta_2 = 0$, tada se DCC(1,1) model svodi na CCC(1,1) model. Testiranjem navedene nulte hipoteze ispituje se koji je model prikladniji – model s konstantnim ili dinamičkim uvjetnim korelacijama, što je također jedan od ciljeva ovoga istraživanja.

Nadalje, Engle (2002) je definirao modificirani DCC(1,1) model, prema kojemu se dinamika uvjetne korelacijske matrice opisuje relacijama:

$$R_t = (\text{diag} Q_t)^{-\frac{1}{2}} Q_t (\text{diag} Q_t)^{-\frac{1}{2}}, \quad (5)$$

$$Q_t = (1 - \theta_1 - \theta_2) \bar{Q} + \theta_1 (u_{t-1} u_{t-1}^T) + \theta_2 Q_{t-1}, \quad (6)$$

$$\bar{Q} = [\rho_{12}] = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T u_t u_t^T. \quad (7)$$

Dinamika uvjetne korelacijske matrice R_t određena je dinamikom matrice Q_t . Matrica Q_t je uvjetna matrica varijanci i kovarijanci standardiziranih grešaka relacije u_t , pri čemu je \bar{Q} njihova bezuvjetna matrica kovarijanci (kovarijanca standardiziranih vrijednosti nije ništa drugo već korelacija ρ_{12}). U matricnoj se jednačbi (6) pretpostavlja da je parametar θ_1 pozitivan, a θ_2 nenegativan skalar, za koje vrijedi ograničenje $\theta_1 + \theta_2 < 1$. Prema Engleovu pristupu, uvjetne korelacije nisu definirane kao ponderirani zbroj korelacijskih matrica uvjetovanih informacijama iz prošlosti, već se matrica Q_t , čije se komponente opisuju univarijantnim GARCH(1,1) modelima, transformira u korelacijsku matricu.

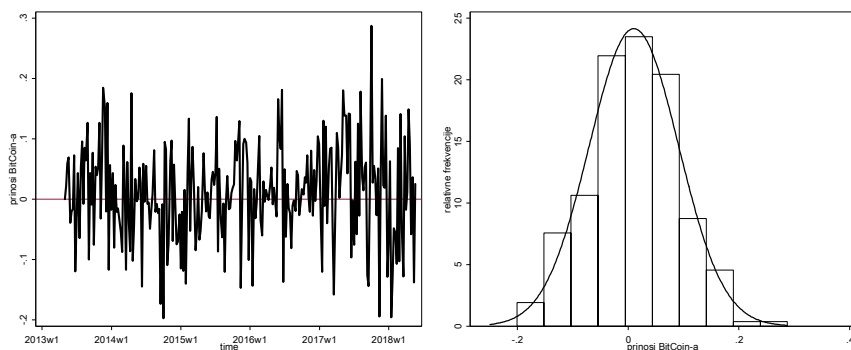
Standardna metoda procjene parametara DCC(1,1) modela, definiranoga jednadžbama (5)-(7), metoda je najveće vjerodostojnosti ML koja se provodi u dvama koracima (Engle, 2002). U prvome se koraku maksimiziranjem funkcije vjerodostojnosti procjenjuju parametri univarijatnih GARCH(p,q) modela, odnosno $\alpha_{k,i}$ i $\beta_{k,j}$ za $k = 2$, $i = 1, 2, \dots, p$ i $j = 1, 2, \dots, q$. U drugome se koraku maksimiziranjem funkcije vjerodostojnosti pronalaze parametri matrice jednadžbe Q_t , odnosno parametri ρ_{12} , θ_1 i θ_2 . Procjenitelji metodom najveće vjerodostojnosti u dvama su koracima konzistentni i kvazimaksimalno vjerodostojni procjenitelji (Engle, 2002).

Drugi je pristup procjeni parametara DCC(1,1) modela maksimizacija funkcije vjerodostojnosti samo u jednom koraku, pretpostavljajući multivarijatnu distribuciju inovacija. Međutim, taj pristup značajno otežava postupak procjene, koji je ionako složen jer se koriste numerički algoritmi iz kategorije kvazinjutnovskih metoda optimizacije. Riječ je o iterativnom postupku, a najpopularniji je algoritam prema kojem se Hesseova matrica aproksimira vanjskim umnoškom gradijenata (Arnerić, Lolić & Poklepović, 2015).

Metodološki propusti dosadašnjih istraživanja o ovoj temi ogledaju se u korištenju izravnom generalizacijom univarijatnih GARCH modela, i to posebice BEKK modela koji pruža prividno dobre rezultate zbog predeterminiranosti (primjerice, Katsiampa, 2017). Nadalje, istraživanja koja su proveli Wang & sur. (2019), Baur & sur. (2010) te Bouri & sur. (2017) zanemaruju dijagnostiku modela, dok istraživanja koja se koriste DCC modelom (Wang & sur., 2019; Canh & sur., 2019) ne navode je li se koristila metoda procjene u jednom ili dvama koracima te koji je točno algoritam upotrijebljen za maksimalizaciju funkcije vjerodostojnosti jer su rezultati vrlo osjetljivi na navedeno. Urquhart & sur. (2019) koriste se asimetričnim modelom uvjetnih dinamičkih korelacija ADCC (engl. *Asymmetric Dynamic Conditional Correlation*), uz pretpostavku da se asimetričnost jednako tretira za sve tečajevne valuta, što nije realno. Osim dnevnih podataka, koriste se i intradnevni podacima, uzorkovanim svakoga sata, čime je pretpostavka normalnosti narušena i ne pokazuju jesu li u takvim uvjetima procjene ADCC modela kvazimaksimalno vjerodostojne. Korištenje visokim frekvencijama zahtijeva alternativne pristupe kao što je koncept realizirane kovarijance.

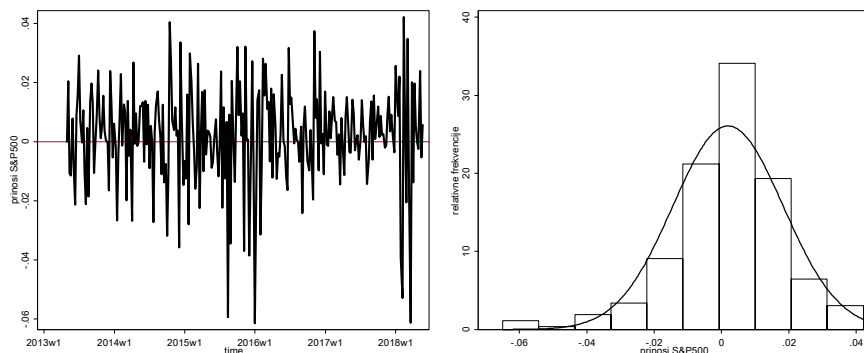
4. EMPIRIJSKI REZULTATI

Zbog nesinkronizirane trgovine kriptovalutama, koja se odvija kontinuirano s trgovinom na njujorškoj burzi, zatvorenoj vikendom, podatke je trebalo uskladiti. Kao računalna podrška koristio se program STATA v.13. Prije procjene modela ispituju se karakteristike prinosa dvaju tržišta, zatim se procjenjuje Engleov model DCC(1,1) te provodi dijagnostička provjera. U konačnici interpretiraju se rezultati i donose zaključci.



Slika 2. Vremenski niz i distribucija prinosa Bitcoin kriptovalute

Izvor: Izradili autori s pomoću programa STATA.



Slika 3. Vremenski niz i distribucija prinosa burzovnog indeksa S&P500

Izvor: Izradili autori s pomoću programa STATA.

Usporedbom slika 2 i 3 uočava se da je kriptovaluta Bitcoin izrazito volatilna u odnosu na indeks S&P500. Raspon tjednoga prinosa Bitcoin kriptovalute kreće se između -19,75% i 28,76%, dok je raspon prinosa S&P500 između -6,15% i 4,21% (Tablica 1). U promatranom razdoblju volatilnost Bitcoina (standardna devijacija prinosa) iznosi približno 8% i gotovo je pet puta veća od volatilnosti indeksa S&P500 (1,64%). Iz slika 2 i 3 vidljivo je da su obje distribucije prinosa približno normalnoga oblika. Osim grafički, normalnost distribucije prinosa ispituje se analitički s pomoću Jarque-Bera testa JB. Nultom se hipotezom JB testa pretpostavlja normalna distribucija. Na temelju mjera asimetrije i zaobljenosti izračunate su JB testovne veličine 0,48 i 3,13, pri kojima se nulta hipoteza ne odbacuje (Tablica 1). Proveden je i test jediničnoga korijena ADF. Testovne veličine ADF jesu redom -15,98 i -17,57, pri kojima se odbacuje

nulta hipoteza o postojanju jediničnoga korijena pa se zaključuje da su vremenski nizovi prinosa stacionarni u razinama. Dodatno, proveden je i Ljung-Box test kojim se testira pretpostavka da su prinosi nezavisni. U konkretnom slučaju proveden je test autokorelacije prvoga reda, što je dovoljno kada se analiziraju prve diferencije. Na temelju testovnih veličina 0,0022 i 2,5095 zaključuje se da prinosi nisu autokorelirani. Naposljetku, proveden je test Lagrangeova multiplikatora zaključno s pomakom 2 kojim se testira nulta hipoteza o homoskedastičnosti prinosa. S obzirom na LM(2) testovne veličine, navedena se nulta hipoteza odbacuje i zaključuje da je varijanca prinosa heteroskedastična i uvjetovana svojim prethodnim vrijednostima. To podrazumijeva postojanje ARCH efekata u prinosima, zbog čega se u obzir uzimaju prethodno opisani multivarijantni GARCH modeli.

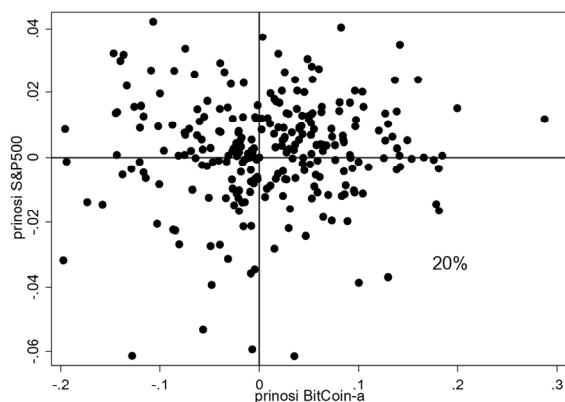
Tablica 1.

Deskriptivno-statistički pokazatelji i testovi nestacionarnosti (ADF), nezavisnosti LjB(1), homoskedastičnosti LM(2) i normalnosti prinosa (JB)

prinosi	sredina	st. dev.	min	max	ADF	LjB(1)	LM(2)	JB
Bitcoin	0,0102	0,0807	-0,1975	0,2876	-15,98***	0,0022	6,194**	0,48
S&P500	0,0015	0,0164	-0,0615	0,0421	-17,57***	2,5095	8,136**	3,13

Izvor: Izračun autora s pomoću programa STATA (*, **, *** označavaju signifikantnost pri kojoj se odbacuje nulta hipoteza na razini 10%, 5% ili 1%).

Dijagram rasipanja između prinosa dvaju promatranih tržišta (Slika 4) ukazuje na nedostatak korelacije kada se promatra čitav period opažanja. Međutim, ovaj je zaključak samo prividan jer se ne može zanemariti činjenica da je u 20% slučajeva prinos Bitcoin kriptovalute bio pozitivan u isto vrijeme kada je prinos na dionički indeks S&P500 bio negativan. Upravo je zato vrijedno istražiti u kojim je periodima korelacija bila negativna te se stoga i procjenjuje model dinamičkih uvjetnih korelacija DCC(1,1). Rezultati procjene istoimenoga modela i njegova dijagnostička provjera prikazani su u Tablici 2.



Slika 4. Dijagram rasipanja između prinosa Bitcoin kriptovalute i burzovnog indeksa S&P500

Izvor: Izradili autori s pomoću programa STATA.

Tablica 2.

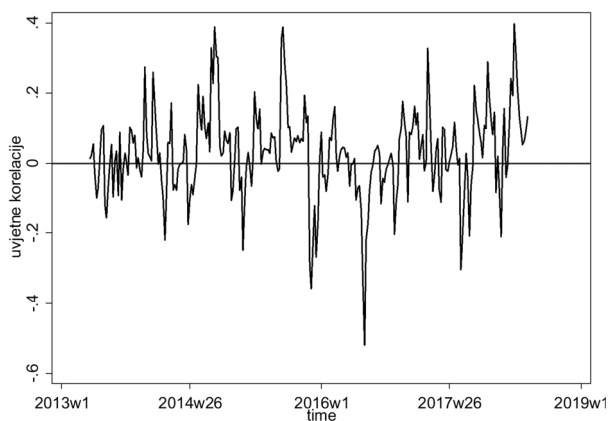
Procjene parametara DCC(1,1) modela i dijagnostička provjera

Procjene parametara metodom ML				
GARCH(1,1)	S&P500	Bitcoin	Engleov model DCC(1,1)	
μ	0.002402*** (0.000835)	0.008931* (0.004683)	ρ_{12}	0.0458395 (0.0788005)
α_0	0.000021** (0.00001026)	0.000638 (0.000432)	θ_1	0.116512** (0.0587431)
α_1	0.167245*** (0.052468)	0.111540* (0.062079)	θ_2	0.510272* (0.3037232)
β_1	0.767887*** (0.061658)	0.795708*** (0.106152)		
Dijagnostička provjera				
$\alpha_1 + \beta_1$	0.935	0.907	$\theta_1 + \theta_2$	0.626784
LjB(5)	7.8614	3.678	logL	1017.814
LM(5)	4.572	4.859	AIC	-2013.629
LM(10)	8.674	8.905	BIC	-1974.335
JB	3.894	0.235	Wald	9.99***

Izvor: Izračun autora s pomoću programa STATA (*, **, *** označavaju signifikantnost pri kojoj se odbacuje nulta hipoteza na razini 10%, 5% ili 1%).

U prvome dijelu Tablice 2 donose se procjene svih 11 parametara Engleova modela DCC(1,1) i njihove standardne pogreške u zagradama. Svi su

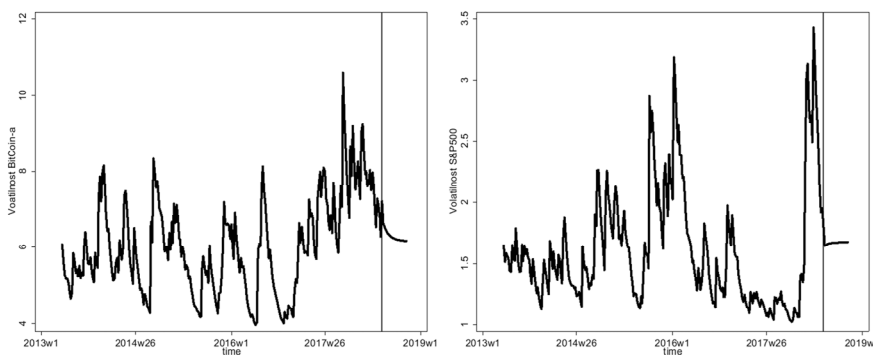
parametri pozitivni te su svi signifikantni, osim konstantnoga člana u jednadžbi uvjetne varijance Bitcoin kriptovalute α_0 i koeficijenta bezuvjetne korelacije ρ_{12} . Jako niska vrijednost koeficijenta bezuvjetne korelacije $\rho_{12} = 0,045839$ očekivana je s obzirom na dijagram rasipanja (Slika 4). Ipak, procjene parametara θ_1 i θ_2 otkrivaju da korelacija nije konstantna u vremenu. Odbacuje se nulta hipoteza $H_0: \theta_1 = \theta_2 = 0$ na temelju Waldova testa (Tablica 2) i zaključuje da je procijenjen model DCC(1,1) prikladan te da su korelacije dinamičke i uvjetovane informacijama iz prošlosti. Nadalje, dijagnostička provjera standardiziranih reziduala i njihovih kvadrata svakoga GARCH(1,1) modela pojedinačno upućuje na zaključak da nije preostalo ARCH efekata zaključno s 5 i 10 vremenskih pomaka, niti autokorelacije, također s pomakom 5. JB test potvrđuje normalnost standardiziranih reziduala. To znači da DCC(1,1) model, procijenjen ML metodom u dvama koracima, udovoljava svim pretpostavkama i da je točno specificiran. Potvrđena je pozitivnost parametara α_0 , α_1 i β_1 koji osiguravaju da su procijenjene varijance prinosa pozitivne (Slika 6), a zbroj parametara $\theta_1 + \theta_2 < 1$ udovoljava uvjetu stacionarnosti (stabilnosti) samoga modela. U Tablici 2 prikazane su još vrijednosti informacijskih kriterija AIC i BIC te funkcije vjerodostojnosti $\log L$. Navedene vrijednosti koriste se prilikom usporedbe više modela, što u ovom slučaju primjene nije bilo nužno jer nema potrebe za uključivanjem dodatnih pomaka. S obzirom na sve navedeno, zaključuje se da je model kojim se opisuju dinamičke uvjetne korelacije prikladan, odnosno da je pretpostavka konstantnih korelacija previše restriktivna za ove podatke. Dinamičke uvjetne korelacije prikazane su na Slici 5. Uvjetne korelacije poprimaju vrijednosti u rasponu između -0,52 i 0,39.



Slika 5. Dinamičke uvjetne korelacije između prinosa Bitcoin kriptovalute i indeksa S&P500

Izvor: Izradili autori s pomoću programa STATA.

Na Slici 5 uočava se da vremenski promjenjiva korelacija svoje najveće negativne vrijednosti poprima krajem 2015. godine (tijekom studenoga i prosinca), sredinom 2016. godine (tijekom lipnja i srpnja) te ponovno u kolovozu 2017. godine. Upravo u tim intervalima vremena volatilnost S&P500 indeksa bila je najveća. Time se potvrđuje da je tržište kriptovaluta sigurno utočište u odnosu na američko tržište kapitala u njegovim stresnim razdobljima, kada je ono visokovolatilno.



Slika 6. Uvjetne standardne devijacije prinosa Bitcoin kriptovalute i indeksa S&P500

Izvor: Izradili autori s pomoću programa STATA.

Na Slici 6 prikazane su ne samo procijenjene volatilnosti unutar uzorka opažanja (engl. *in-the-sample*) već i izvan uzorka (engl. *out-of-sample*) za 20 tjedana unaprijed. Procijenjene vrijednosti izvan uzorka opažanja jesu prognostičke vrijednosti koje konvergiraju s vremenom. U dugom se roku tako očekuje da će volatilnost Bitcoin kriptovalute biti na razini 6,17%, a volatilnost indeksa S&P500 na razini 1,67%. Sukladno s time, može se prognozirati i korelacija između promatranih tržišta. Dugoročno se očekuje korelacija približno jednaka nuli (0,0316).

5. ZAKLJUČAK

Iako su funkcije tržišta kriptovaluta slične tržištima kapitala i uglavnom s istim sudionicima, tržišta kriptovaluta decentralizirana su i gotovo da ih središnje vlasti nisu regulirale. Zahvaljujući bezgraničnoj internetskoj mreži i razvoju tehnologije, glavne su im karakteristike dostupnost i kontinuirano trgovanje te niži transakcijski troškovi. Cheah & sur. (2015) smatraju da su kriptovalute isključivo spekulativnoga karaktera, dok Frisby (2014) tvrdi da imaju obilježja novca i čuvar su vrijednosti. Dosadašnja istraživanja ne pružaju jedinstven odgovor na pitanje je li Bitcoin sigurno utočište u turbulentnim

periodima i može li se koristiti kao diversifikator i sredstvo živičarenja, odnosno očekuje li se negativna koreliranost ili nekoreliranost u kratkom ili dugom roku (Bouri & sur., 2017; Urquhart & sur., 2019; Wang & sur., 2019).

Naposljetku, može se zaključiti da su američko tržište kapitala i tržište kriptovaluta nejednako korelirani u različitim intervalima vremena. Empirijski rezultati multivarijatnoga GARCH modela DCC(1,1) pokazuju da je korelacija između prinosa dvaju tržišta vremenski promjenjiva te svoje najveće negativne vrijednosti poprima krajem 2015., sredinom 2016. i početkom 2017. godine. Upravo u tim intervalima vremena volatilitnost S&P500 indeksa bila je najveća. Potvrđuje se stoga da je tržište kriptovaluta sigurno utopište naspram američkog tržišta kapitala, i to samo kratkoročno, u vremenima njegove povećane volatilitnosti, te može pridonijeti diversifikaciji rizika jer se u dugome roku očekuje korelacija približno jednaka nuli. Iako postoji tendencija da različita tržišta postaju integriranija, kada se promatra duži period, tržište kriptovaluta i tržište kapitala to nisu. Naime, integriranost podrazumijeva pozitivnu korelaciju, istosmjerno i slično ponašanje ili barem konvergenciju. S druge strane, ne može se zanemariti negativna korelacija u 38% promatranoga vremena.

LITERATURA

Amerić, J. (2010). *Univarijatni i Multivarijatni GARCH modeli u analizi integriranosti hrvatskog tržišta kapitala*. Doktorska disertacija. Split: Ekonomski fakultet Sveučilišta u Splitu, pp. 1-196.

Amerić, J. (2012). „Modeliranje volatilitnosti na financijskim tržištima“. U: Aljinović, Z., Marasović, B. (ur.), *Matematički modeli u analizi razvoja hrvatskog financijskog tržišta*, pp. 131-158. Split: Ekonomski fakultet Sveučilišta u Splitu.

Amerić, J., Lolić, I., Poklepović, T. (2015). „Algorithms for Maximum Likelihood Estimation of GARCH Models“. U: Zadnik Stirn, L., Žerovnik, J., Kljajić, B., Drobne, S. (ur.), *Proceedings of the 13th International Symposium on Operational Research SOR*, pp. 273-278. Ljubljana: Slovenian Society Informatika.

Bala, D. A., Takimoto, T. (2017). „Stock markets volatility spillovers during financial crises: A DCC-MGARCH with skewed-t density approach“. *Borsa Istanbul Review*, Vol. 17, No. 1, pp. 25-48.

Baur, D. K., Lucey, B. M. (2010). „Is gold a hedge or a safe haven? An analysis of stocks, bonds and gold“. *Financial Review*, Vol. 45, No. 2, pp. 217-229.

Bauwens, L., Laurent S., Rombouts, J. V. K. (2006). „Multivariate GARCH models: a survey“. *Journal of Applied Econometrics*, Vol. 21, No. 1, pp. 79-109.

Bollerslev, T. (1986). „Generalized autoregressive conditional heteroscedasticity“. *Journal of Econometrics*, Vol. 31, No. 3, pp. 307-327.

Bollerslev, T. (1990). „Modelling the Coherence in Short-Run Nominal Exchange Rates: A Multivariate Generalized ARCH Model“. *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 72, No. 3, pp. 498-505.

Bouri, E., Das, M., Gupta, R., Roubaud, D. (2018). „Spillovers between Bitcoin and other assets during bear and bull markets“. *Applied Economics*, Vol. 50, No. 55, pp. 5935-5949.

Bouri, E., Molnar, 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*, Vol. 20, pp. 192-198.

Canh, N. P., Wongchoti, U., Thanh, S. D., Thong, N. T. (2019). „Systematic risk in cryptocurrency market: Evidence from DCC-MGARCH model“. *Finance Research Letters*, Vol. 29, pp. 90-100.

Cheah, E. T., Fry, J. (2015). „Speculative bubbles in Bitcoin markets? An empirical investigation into the fundamental value of Bitcoin“. *Economic Letters*, Vol. 130, pp. 32-36.

Corbet, S., Meegan, A., Larkin, C., Lucy, B., Yarovaya, L. (2018). „Exploring the dynamics relationships between cryptocurrencies and other financial assets“. *Economic Letters*, Vol. 165, pp. 28-34.

Dyhrberg, A. H. (2016). „Bitcoin, gold and the dollar – A GARCH volatility analysis“. *Finance Research Letters*, Vol. 16, pp. 85-92.

Engle, R. (2002). „Dynamic Conditional Correlation“. *Journal of Business & Economic Statistics*, Vol. 20, No. 3, pp. 339-350.

Engle, R. (2009). *Anticipating Correlations: A New Paradigm for Risk Management*. Princeton: Princeton University Press.

Frisby, D. (2014). *Bitcoin: The future of money?*. London: Unbound.

Katsiampa, P. (2017). „Volatility estimation for Bitcoin: A comparison of GARCH models“. *Economic Letters*, Vol. 158, pp. 3-6.

Nakamoto, S. (2008). „Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System“. Electronic publication, pp. 1-9. <https://Bitcoin.org/Bitcoin.pdf>

Orsag, S. (2011). *Vrijednosni papiri, investicije i instrumenti financiranja*. Sarajevo: Revicon.

Tse, Y. K. (2000). „A test for constant correlations in a multivariate GARCH model“. *Journal of Econometrics*, Vol. 98, No. 1, pp. 107-127.

Urquhart, A., Zhang, H. (2019). „Is Bitcoin a hedge or safe haven for currencies? An intraday analysis“. *International Review of Financial Analysis*, Vol. 63, pp. 49-57.

Yi, S., Xu, Z., Wang, G. J. (2018). „Volatility connectedness in the cryptocurrency market: Is Bitcoin a dominant cryptocurrency?“. *International Review of Financial Analysis*, Vol. 60, pp. 98-114.

Wang, Z., Zhang, W. Li, X., Shen, D. (2019). „Is Cryptocurrency a Hedge or a Safe Haven for International Indices? A Comprehensive and Dynamic Perspective“. *Finance Research Letters*, Vol. 31, pp. 1-18.

<https://Bitcoin.org/> [pristup 10. 6. 2018.]

<https://sourceforge.net/> [pristup 10. 6. 2018.]

<https://coinmarketcap.com/currencies/Bitcoin/markets/> [pristup 10. 6. 2018.]

Josip Arnerić, PhD

Associate Professor
University of Zagreb
Faculty of Economics and Business
E-mail: jarneric@efzg.hr

Mladen Mateljan, mag. oec.

University of Split
Faculty of Economics
E-mail: mmatel01@live.efst.hr

THE ANALYSIS OF INTERDEPENDENCIES BETWEEN CAPITAL MARKET AND CRYPTOCURRENCY MARKET

Abstract

Cryptocurrency markets are emerging markets that are evolving in line with the development of information technology, and the possibility of capital outflows from traditional capital markets into cryptocurrency markets is emerging. The aim of this paper is to investigate the periods in which capital outflows from the capital market to the cryptocurrency market occur and whether cryptocurrencies can serve as a safe haven in turbulent periods. The theoretical part systematically describes the properties of cryptocurrencies as alternative forms of investment. The empirical section analyzes two leading representatives of the capital and cryptocurrency markets - the S&P500 and Bitcoin exchange index - using Engle's dynamic conditional correlation model. The results show that the correlation between the two markets is time-varying, with its largest negative values picking up in late 2015, mid-2016 and early 2017, just when the volatility of the S & P500 index was the highest. This confirms that the cryptocurrency market is a safe haven in periods of high volatility in the US capital market.

***Keywords:* cryptocurrency Bitcoin, index S&P500, safe haven, MGARCH, dynamic conditional correlation**

***JEL classification:* G10, C13, C14, C58**

