

Dr. sc. Tea Šestanović

Izvanredna profesorica
Sveučilište u Splitu, Ekonomski fakultet
Katedra za kvantitativne metode, Split
E-mail: tea.sestanovic@efst.hr
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6279-6070>

Klara Luketa, univ. mag. oec.

OTP banka d. d.
Direkcija kreditnih rizika za građanstvo, Odjel za odobravanje i nadzor
Specijalist za kreditne rizike, Split
E-mail: klara.luketa@otpbanka.hr
Orcid: <https://orcid.org/0009-0005-2029-7440>

SIGURNO UTOČIŠTE ILI IZVOR ZARAZE? ANALIZA MEĐUSOBNOG UTJECAJA VALUTA, KRIPTOVALUTA I ZLATA TIJEKOM TRŽIŠNIH TURBULENCIJA

UDK / UDC: 339.722:336.74:004]:005.52:005.334
JEL klasifikacija / JEL classification: G01, G15, E44, C58, F31
DOI: 10.17818/EMIP/2025/23
Prethodno priopćenje / Preliminary communication
Primljeno / Received: 24. siječnja 2025. / January 24, 2025
Prihvaćeno / Accepted: 7. travnja 2025. / April 7, 2025

Sažetak

Ovaj rad istražuje fenomen financijske zaraze i prelijevanja te međusobne povezanosti s fokusom na odnose između kriptovaluta (Bitcoina i Etheruma), zlata i fiat valuta (američki dolar, euro, britanska funta). Korištenjem DCC-MGARCH modela u razdoblju od 1. 1. 2019. do 1. 1. 2023. analiziraju se dinamičke uvjetne korelacije prinosa, dok se Kolmogorov-Smirnov (KS) test koristi za ispitivanje prisutnosti zaraze u kontekstu koronakrize te krize uzrokovane ratom u Ukrajini. Učinak prelijevanja istražuje se Diebold-Yilmaz (DY) indeksom. Rezultati pokazuju da su Bitcoin i Ethereum prije pandemije imali slabu negativnu korelaciju s dolarom, djelujući kao zaštita, dok su tijekom pandemije postali sigurna utočišta. Korelacija s eurom ostala je blizu nule, što ih također pozicionira kao zaštitu. U odnosu na funtu pokazali su slabe pozitivne korelacije, čineći ih diverzifikatorima. KS testovi otkrili su izraženu prisutnost zaraze za kriptovalute i funtu, dok DY indeks pokazuje značajno prelijevanje volatilnosti s kriptovaluta na sva valutna tržišta.

Ključne riječi: financijska zaraza, kriptovalute, fiat valute, DCC-MGARCH, prelijevanje.



This work is licensed under a Creative
Commons Attribution 4.0 International License.

1. UVOD

Financijsku zarazu karakterizira širenje tržišnih poremećaja, kao što su ekonomske ili financijske krize, iz jedne zemlje ili tržišta na drugu. Prema Forbes i Rigobón (2002), zaraza se može definirati kao značajno povećanje međutržišnih korelacija za vrijeme kriznih razdoblja u usporedbi sa stabilnim tržišnim razdobljima. Ovaj fenomen može dovesti do povećane volatilnosti, nestabilnosti tržišta i širih gospodarskih posljedica. Razumijevanje zaraze na međunarodnim financijskim tržištima postaje presudno zbog njezina značajnog utjecaja na upravljanje portfeljem i međunarodnu diverzifikaciju rizika, osobito s obzirom na sve veću integraciju tržišta širom svijeta. Kako bi donositelji odluka mogli pravovremeno i primjereno reagirati te kontrolirati utjecaje zaraze na svoje portfelje optimalnim upravljanjem, važno je da budu svjesni izvora zaraze. Osim financijske zaraze koja je intenzivna i iznenadna, prelijevanje podrazumijeva transmisiju ekonomskih i financijskih utjecaja između tržišta, koja mogu biti pozitivna i negativna (Elsayed, Gozgor, & Lau, 2022; Wang, Li & Huang, 2022).

Iako je financijska zaraza povijesno bila usmjerena prema konvencionalnim financijskim tržištima (Ahmad, Bhanumurthy & Seghal, 2014; Ji, Wang, Xiao, Bu & Lin, 2022), eksplozivan rast kriptovaluta u posljednjem desetljeću privlači veliku pozornost među investitorima i širom javnosti, postajući nezaobilazna komponenta u globalnim financijskim kretanjima. Stoga mogućnost efekta zaraze i prelijevanja između kriptovaluta i drugih vrsta financijske imovine postaje sve realnija.

Nedavno objavljeni radovi značajno doprinose razumijevanju učinka zaraze, kao i povezanosti među kriptovalutama, pri čemu se efekt zaraze može uočiti između kriptovaluta u periodima nakon njihova značajnog pada 2017. godine (Ferreira & Pereira, 2019) te tijekom pandemije bolesti COVID-19 (Jiang, Zhou & Qiu, 2023). Xu, Zhang i Zhang (2021) otkrili su visoku međuovisnost rizika među kriptovalutama, dok Tiwari, Adewuyi, Albulescu i Wohar (2020) ukazuju na jaku povezanost tijekom rastućih tržišnih perioda. Ova istraživanja, međutim, ne obuhvaćaju izravno interakciju s fiat valutama i drugim imovinama. Nekoliko istraživanja uključuje efekte zaraze između kriptovaluta i tradicionalnih imovina kao što su globalni tržišni indeksi (Sajeev & Afjal, 2022; Elsayed i sur., 2022; Ampountolas, 2023) ili vrijedne robe (Elsayed i sur., 2022) te valute (Elsayed i sur., 2022), pri čemu zaključuju da se efekt zaraze intenzivira za vrijeme turbulencija na tržištima, osobito tijekom koronakrize. Elsayed i sur. (2022) zaključuju da je zlato sigurno utočište, dok je Bitcoin neto prijenosnik prelijevanja volatilnosti na druga tržišta. Naime, sigurno je utočište imovina koja nije u korelaciji ili je u negativnoj korelaciji s drugom imovinom u vrijeme tržišnog stresa, zaštitna je imovina koja u prosjeku nije u korelaciji ili je u negativnoj korelaciji s drugom imovinom, a diverzifikator je imovina koja je u prosjeku pozitivno (ali ne i savršeno) povezana s drugom imovinom (Baur & Lucey, 2010). Dyhrberg (2016) pretpostavlja da Bitcoin ima slična svojstva kao zlato ili dolar te je potaknuo istraživanja o potencijalnim svojstvima kriptovaluta kao sigurnog utočišta, sredstva zaštite ili diverzifikatora u odnosu na tradicionalnu imovinu

(Bouri, Molnár, Azzi, Roubaud & Hagfors, 2016; Cocco, Tonelli & Marchesi, 2022; Aljinović, Šestanović & Škrabić Perić, 2022). Kriptovalute imaju i ključne karakteristike zlata kao što su rudarenje, ograničena ponuda i decentralizacija. Zlato ima dugu povijest kao valuta i stabilno sredstvo pohrane vrijednosti, ne podliježe inflaciji ili manipulacijama vlada, slično kao i kriptovalute. Također, kriptovalute imaju svojstva tradicionalnih valuta jer se smatraju sredstvom razmjene, obračunskom jedinicom i sredstvom pohrane vrijednosti. Njihov potencijal kao sredstvo pohrane vrijednosti leži u ponudi alternativnog sustava plaćanja s povjerenjem koje na decentralizirani način stvara kripto zajednica i koji je zaštićen od središnjih intervencija (Janson & Karoubi, 2021). No, ipak ne funkcioniraju kao tradicionalne valute (Palazzi, Júnior & Klotzle, 2021). U tom kontekstu žele se istražiti interakcije između fiat valuta, kriptovaluta i zlata s obzirom na to da se do sada nisu istraživali.

Naime, Antoniadis, Sariannidis i Kontsas (2018) te Wang, Liu i Wu (2022) zaključuju da postoji negativna povezanost Bitcoina i USD, što ukazuje na Bitcoin kao sredstvo zaštite. Elsayed i sur. (2022) istražuju volatilnost prelijevanja između kriptovaluta i fiat valuta, identificirajući Bitcoin i USD, između ostalih, kao neto prijenosnike prelijevanja, dok je GBP između ostalih neto primatelj prelijevanja. S druge strane, Almansour, Almansour i In'airat (2020) zaključuju da fiat valute ne utječu značajno na Bitcoin, dok GBP značajno utječe na Bitcoin pri 10% signifikantnosti. Palazzi i sur. (2021) zaključuju da EUR ima izravan utjecaj na Bitcoin, dok se Ethereum ponaša kao i ostale valute. No, ova istraživanja ne govore ništa o efektima zaraze ili prelijevanja u kontekstu kriznih razdoblja. Nadalje, Mokni i Ajmi (2021) analiziraju uzročnost između USD i glavnih kriptovaluta, otkrivajući promjene u prediktivnoj snazi tijekom pandemije, kao i mogućnost kriptovaluta kao zaštite u krizi. Međutim, ovo istraživanje ne uzima u obzir interakcije s ostalim valutama, kao ni sa zlatom. Guo, Lu i Wei (2021) analiziraju efekte zaraze Bitcoina s i prema drugim financijskim tržištima te zaključuju da je pandemija COVID-19 značajno povećala razinu zaraze. Međutim, ne istražuju svojstva kriptovaluta u odnosu na druge valute, dok Yang, Wang i Gao (2022) zaključuju da Bitcoin ima najmanju povezanost s valutama u odnosu na druge financijske imovine, pružajući samo u dugom roku mogućnosti zaštite, dok je zlato učinkovit i robustan u terminima sigurnog utočišta naspram valuta. No, ne uzimaju novija turbulentna zbivanja na tržištima potaknuta Ukrajinsko-ruskim ratom te međusobne interakcije valuta, kriptovaluta i zlata. Ovi su radovi značajni za razumijevanje dinamičnih tržišnih odnosa, ali obuhvaćaju ograničene vremenske okvire te daju proturječne zaključke u kontekstu međuovisnosti valuta, kriptovaluta i zlata u različitim vremenskim razdobljima, što je posebno važno istražiti u kontekstu novijih tržišnih zbivanja. Osim toga, većina radova stavljala je Bitcoin u kontekst s drugim tradicionalnim imovinama, zanemarujući valute i interakciju s njima, kao i interakciju sa zlatom kao valutom. Osim toga, radovi su se često koristili Bitcoinom kao predstavnikom kriptovaluta, dok se u ovom radu uspoređuju i

svojstva Ethereuma. Naime, Bitcoin počiva na tzv. *proof-of-work*, a Ethereum na *proof-of-stake* metodi za potvrđivanje transakcija i održavanje sigurnosti u *blockchain* mrežama, dok se također razlikuju s obzirom na ograničenost ponude Bitcoina te neograničenost ponude Ethereuma.

Stoga se u ovom radu želi istražiti povezanost između tržišta valuta, kriptovaluta i zlata, kako u stabilnim tako i u kriznim razdobljima, uzrokovanim koronakrizom te krizom potaknutom ratom u Ukrajini s dalekosežnim posljedicama na gospodarstva te institucionalne, ali i male investitore na financijskim tržištima. U tom kontekstu istražiti će se svojstva kriptovaluta i zlata kao diverzifikatora, zaštite ili sigurnog utočišta naspram valuta, na temelju uvjetnih korelacija iz DCC-MGARCH modela (engl. *dynamic conditional correlation – multivariate generalized autoregressive conditionally heteroskedastic*). Međutim, budući da se za neke parove valuta može uočiti izraženija korelacija u kriznim razdobljima, također će se istražiti postojanje učinka zaraze na ovim tržištima koristeći se Kolmogorov-Smirnov (KS) testom, dok će se u kontekstu prelijevanja s pomoću Diebold i Yilmaz (DY) indeksa pronaći neto prijenosnici i neto primatelji volatilnosti.

Doprinos ovog rada očituje se u sveobuhvatnoj analizi povezanosti, prelijevanja i učinaka zaraze između kriptovaluta, zlata i fiat valuta, s posebnim naglaskom na razdoblja koronakrize i krize proizašle iz rata u Ukrajini, pri čemu dolazi do značajnog porasta cijena energenata i drugih roba, inflacije, kao i povećane volatilnosti na tržištima te bijeg u imovine koje se smatraju sigurnim utočištima. Za razliku od dosadašnjih istraživanja, koja su se uglavnom fokusirala na povezanost unutar kriptovaluta ili između kriptovaluta i odabranih financijskih instrumenata tijekom stabilnih ili kratkoročnih kriznih razdoblja, ovaj rad obuhvaća specifične krizne periode koji do sada nisu istraživani, uz poseban naglasak na fiat valute koje su se rijetko koristile u istraživanjima. Osim Bitcoina koji se većinom koristio kao predstavnik kriptovaluta, u ovom radu uspoređuju se i svojstva Ethereuma zbog inherentno različitih svojstava. Nije pronađeno nijedno istraživanje koje promatra valute i kriptovalute te zlato u kontekstu zaraze, prelijevanja te povezanosti. Razumijevanje međuovisnosti tijekom kriza omogućuje identifikaciju imovine koja može služiti kao zaštita, diverzifikator ili sigurno utočište. Takvi uvidi pomažu u formulaciji učinkovitijih strategija za upravljanje rizicima i boljem razumijevanju složenih odnosa među tržištima u kontekstu globalnih financijskih izazova. Ovo istraživanje doprinosi relevantnoj literaturi o istraživanjima vezanim za COVID i recentniju krizu potaknutu ratnim zbivanjima, pružajući teorijsku podršku za diverzificirane investicijske portfelje, naročito za investitore koji ciljaju na smanjenje rizika.

Rad je strukturiran u nekoliko poglavlja. Drugo poglavlje pruža pregled literature. Treće poglavlje definira metodološki okvir rada. Četvrto poglavlje obuhvaća empirijsko istraživanje. Zaključno poglavlje sumira nalaze istraživanja.

2. PREGLED LITERATURE ISTRAŽIVANJA

Financijska je zaraza povijesno bila usmjerena prema konvencionalnim financijskim tržištima (Ahmad i sur., 2014; Ji i sur., 2022), pri čemu su se najčešće istraživali efekti zaraze uzrokovani Meksičkom krizom 1994., Azijskom krizom 1997., velikom financijskom krizom 2007. (Tran, 2018), europskom dužničkom krizom 2011. (Ahmad i sur., 2014) te koronakrizom 2020. godine, kada je zabilježen jači efekt zaraze u usporedbi s prethodnim krizama (Ji i sur., 2022). Pandemija je značajno utjecala i na efekte prelijevanja između tradicionalnih financijskih tržišta (Wang, Li & Huang, 2022).

Međutim, u posljednjem su desetljeću kriptovalute privukle značajnu pozornost među akademikima koji su ih istraživali u kontekstu njihove uloge, zaraze, prelijevanja ili, pak, povezanosti, kako bi se razumio njihov utjecaj na globalno tržište. Većina istraživanja bazira se na međusobnim odnosima unutar tržišta kriptovaluta. Efekt zaraze može se uočiti između kriptovaluta, naročito u periodima nakon njihova značajnog pada 2017. (Ferreira & Pereira; 2019) te tijekom koronakrize (Jiang i sur., 2023). Xu i sur. (2021) otkrili su visoku međuovisnost rizika među kriptovalutama, dok Tiwari i sur. (2020) ukazuju na jaku povezanost tijekom rastućih tržišnih perioda. Navedeno ukazuje na sve veću integraciju tržišta kriptovaluta, gdje je tijekom pandemije ta povezanost ojačala. Bitcoin i Ethereum imaju značajnu ulogu u prijenosu šokova. Daljnja istraživanja proširuju fokus na interakcije kriptovaluta s drugim tržištima, uključujući valutna tržišta, indekse i različite oblike financijske imovine. Elsayed i sur. (2022) zaključuju da postoji značajan efekt prelijevanja između kriptovaluta i valutnih tržišta u prvim trima kvartalima 2017. za Bitcoin (na CHF) i Litecoin (na CAD), dok je prelijevanje bilo značajno samo u prvim trima kvartalima 2015. za Ripple (na CNY). Rezultati BGSVAR modela pokazali su da cijene Bitcoina i Litecoina snažno ovise o CNY, dok druge glavne valute ne utječu značajno na kriptovalute. Zaključuju i da su Bitcoin i USD, između ostalih, neto prijenosnici prelijevanja, dok je GBP, između ostalih, neto primatelj prelijevanja. S druge strane, Almansour i sur. (2020) zaključuju da fiat valute ne utječu značajno na Bitcoin, dok GBP značajno utječe na Bitcoin pri 10% signifikantnosti. Povezanost s USD i GBP negativnog je smjera, dok je s EUR pozitivnog smjera, iako nije statistički značajna. Palazzi i sur. (2021) istražuju nelinearnu povezanost Bitcoina sa 6 valuta te zaključuju da EUR ima izravan utjecaj na Bitcoin. Ethereum ima dvosmjernu uzročnost s EUR i GBP, između ostalih, što znači da se Ethereum ponaša kao i ostale valute. Međutim, ova istraživanja nisu vezana uz periode kriza, što je izrazito važno u kontekstu prelijevanja i zaraze. Mokni i Ajmi (2021) pokazuju za postoji varijabilna uzročnost ovisno o tržišnim uvjetima i razdoblju, pri čemu ekstremni tržišni uvjeti pokazuju dvosmjernu uzročnost, dok je u normalnim uvjetima povezanost između kriptovaluta i USD slaba. Prije pandemije USD je imao snažan utjecaj na kriptovalute, dok su samo Bitcoin i Ethereum utjecali na USD. Tijekom pandemije USD je izgubio prediktivnu snagu nad većinom kriptovaluta, dok su kriptovalute pokazale jaču prediktivnu snagu nad USD te mogućnost zaštite. Međutim, ovo istraživanje ne uzima u obzir interakcije s ostalim valutama, kao ni

sa zlatom. Guo i sur. (2021) dodatno produbljuju ovu raspravu, istražujući odnos Bitcoina i različitih imovina prije i tijekom koronakrize. Prije pandemije, zaraza Bitcoina prema drugim tržištima bila je vrlo niska, što ukazuje na njegovu relativnu neovisnost. Nakon izbijanja pandemije, zaraza Bitcoina skočila je s manje od 1% na više od 9%, prvo zbog utjecaja drugih tržišta, a zatim zbog prijenosa zaraze s Bitcoina na druga tržišta. Tijekom pandemije, Bitcoin postaje neto prijenosnik zaraze za sedam tržišta, posebno zlato, USD i obveznice. Zaključuju da je to rezultat veće likvidnosti Bitcoina u usporedbi s obveznicama i USD, koji se smatraju sigurnim utočištima u nekim slučajevima. Iako je ovo istraživanje najsvieobuhvatnije u ovom kontekstu, ono ne istražuje svojstva kriptovaluta u kontekstu novijih previranja na tržištima potaknutim ratnim zbivanjima u Ukrajini, kao ni druge valute. Wang i sur. (2022) zaključuju da je Bitcoin negativno povezan s USD, dok s ostalim imovinama nakon početka koronakrize postaje značajnije povezan. Yang i sur. (2022), koristeći se metodom valne koherencije uz DCC-GARCH model, zaključuju da Bitcoin ima mogućnost zaštite za tržište valuta u dugom roku, no da su ipak vrijedne robe najbolja opcija u optimalnom portfelju valuta. Pri tome se zlato ističe kao učinkovito i robusno sigurno utočište za valute. Konačno, Hsu Sheu i Yoon (2021) analizirali su učinke prelijevanja volatilnosti rizika između triju glavnih kriptovaluta (Bitcoin, Ethereum, Ripple) i deset tečajeva te dvije cijene zlata. Pokazuju značajne učinke prelijevanja kovolatilnosti za svaki par kriptovaluta i tečajeva ili zlata tijekom cijelog razdoblja, kao i usred neizvjesnosti uzrokovane koronakrizom. Obrasci prelijevanja mijenjali su se zbog gospodarskih šokova. Međutim, značajni obrasci prelijevanja pronađeni su između kriptovaluta i deviznih tečajeva ili zlata tijekom pandemije. Za to razdoblje zaključili su da kriptovalute mogu biti sigurno utočište za tečajeve ili zlato, dok je Ripple diverzifikator za USD. No, ova istraživanja, unatoč tome što istražuju svojstva zlata i kriptovaluta između ostalih imovina naspram valuta te uključuju i koronakrizu, ne uključuju novija tržišna zbivanja u kontekstu ratnih zbivanja i rastuće inflacije.

Konačno, osim u kontekstu zaraze i prelijevanja, Bitcoin se često istražuje u kontekstu potencijala kao zaštite i sigurnog utočišta te uloge unutar investicijskih portfelja. Tako Bouri i sur. (2016) zaključuju da je Bitcoin loša zaštita te je pogodan isključivo za diverzifikaciju, no pokazao se kao sigurno utočište protiv ekstremnih padova azijskih dionica. Antoniadis i sur. (2018) zaključuju da je Bitcoin negativno koreliran sa zlatom, USD i Dow Jones Sustainable Indexom (DJSI). Urquhart i Zhang (2019) pokazuju da Bitcoin može biti dobar kao zaštita za CHF, EUR i GBP, diverzifikator za AUD, CAD i JPY te sigurno utočište za CAD, CHF i GBP. Na sličan način Cocco i sur. (2022) pokazuju da su negativni odnosi između Bitcoina i nekih burzovnih indeksa tijekom pandemije ukazivali na njegov potencijal sigurnog utočišta u slučaju pada burzi, dok su Arnerić i Mateljan (2019) potvrdili da je tržište kriptovaluta sigurno utočište u razdobljima visoke volatilnosti na američkom tržištu kapitala. Budući da se u različitim vremenskim periodima odnos između kriptovaluta, zlata i fiat valuta može značajno razlikovati te da prethodna istraživanja ne daju jednoznačne odgovore, istraživanje njihova međudnosa, a naročito u kontekstu recentnih kriza, smatra se ključnim.

3. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

U ovom radu koristi se DCC-MGARCH model od Tse i Tsui (2002), a za analizu dinamičkih uvjetnih korelacija Studentova t-distribucija koja ima prednost u modeliranju zadebljanih repova financijskih vremenskih nizova. Za svaku imovinu i univarijantni GARCH (1,1) model procjenjuje se postavljanjem jednadžbi za sredinu (1) i varijancu (2):

$$r_{i,t} = \mu_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (1)$$

$$h_{i,t} = \alpha_{i,0} + \alpha_{i,1} \cdot \varepsilon_{i,t-1}^2 + \beta_{i,1} \cdot h_{i,t-1} \quad (2)$$

gdje je u jednadžbi (1) $r_{i,t}$ matrica prinosa $n \times m$ za imovinu i ($i=1, \dots, m$) u vremenu t ($t=1, \dots, n$), $\mu_{i,t}$ je $n \times m$ matrica sredina r_t , a $\varepsilon_{i,t}$ je vektor inovacijskih članova definiran kao $\varepsilon_{i,t} = u_{i,t} \sqrt{h_{i,t}}$, gdje je $u_{i,t} | I_{i,t-1} \sim t_v(0, H_t)$ neovisni i identično distribuirani proces koji slijedi Studentovu t distribuciju s v stupnjeva slobode, dok je $I_{i,t-1}$ informacijski skup dostupan do vremena $t - 1$ za imovinu i . U jednadžbi (2) $h_{i,t}$ je uvjetna varijanca, $\alpha_{i,0}$ su konstante ($\alpha_{i,0} > 0$), $\alpha_{i,1}$ su parametri koji prikazuju perzistenciju ARCH efekta, dok $\beta_{i,1}$ predstavljaju GARCH efekt ili konvergenciju dugoročnoj volatilnosti pri čemu $0 \leq \alpha_1 + \beta_1 < 1$. Dakle, m univarijantnih GARCH (1,1) modela procijenjeno je u prvom koraku, čiji su parametri potrebni radi generiranja matrice D_t , dok se u drugom koraku procjenjuju parametri potrebni za generiranje matrice R_t , s ciljem dobivanja matrice varijanci i kovarijanci (H_t) (Engle i Sheppard, 2001):

$$H_t = D_t R_t D_t \quad (3)$$

gdje je $D_t = \text{diag}(\sqrt{h_{1,t}}, \sqrt{h_{2,t}}, \dots, \sqrt{h_{m,t}})$. Razlika između modela koje su razvili Engle (2002) Tse i Tsui (2002) jest u pristupu modeliranja uvjetne korelacijske matrice R_t , pri čemu je u modelu Tse i Tsui (2002) vremenski promjenjiva korelacijska matrica (4) ponderirani zbroj dugoročne korelacijske matrice, korelacijske matrice standardiziranih reziduala i uvjetnih korelacija iz prethodnog razdoblja:

$$R_t = (1 - \lambda_1 - \lambda_2) R + \lambda_1 \Psi_{t-1} + \lambda_2 R_{t-1} \quad (4)$$

gdje su parametri λ_1 i λ_2 nenegativni i vremenski nepromjenjivi te zadovoljavaju uvjet stacionarnosti ($\lambda_1 + \lambda_2 < 1$). Budući da su λ_1 i λ_2 skalari, sve korelacije slijede istu dinamiku, pri čemu oni upravljaju dinamikom korelacija. Matrica R ($m \times m$) u jednadžbi (4) vremenski je nepromjenjiva zajamčeno pozitivno semidefinitna matrica s jedinicama na dijagonalni, Ψ_{t-1} ($m \times m$) je također matrica čiji su elementi funkcija prinosa s pomakom te koja je pozitivno definitna s jedinicama na dijagonalni, uvjetne varijance su pozitivne te parametri λ_1 i λ_2 koji su pozitivni i zadovoljavaju uvjet $\lambda_1 + \lambda_2 < 1$, osiguravaju da je i matrica H_t

pozitivno semidefinitna kao umnožak triju pozitivno definitnih matrica (Tse i Tsui, 2002). Koristi se metoda maksimalne vjerodostojnosti.

Uz DCC-MGARCH model, ovaj rad koristi se dvosmjernim KS testom za provjeru jednakosti distribucija uvjetnih korelacija između pretkriznog i kriznog razdoblja, čime se testira efekt zaraze (Boffelli & Urga, 2016). D-vrijednost u testu mjeri najveću apsolutnu razliku između dviju distribucijskih funkcija pretkriznog i kriznog razdoblja. U slučaju prisutnosti zaraze, očekuje se da će druga grupa (krizno razdoblje) stohastički dominirati nad prvom grupom (pretkrizno razdoblje), što bi se potvrdilo prihvaćanjem nulte hipoteze u drugom testu. Istovremeno, prihvaćanje alternativne hipoteze u prvom testu pokazuje da distribucija pretkriznog razdoblja ne dominira nad distribucijom kriznog razdoblja, dok alternativna hipoteza u trećem testu potvrđuje da distribucije između pretkriznog i kriznog razdoblja nisu jednake, što također potvrđuje prisutnost zaraze (Boffelli & Urga, 2016).

Diebold-Yilmaz (DY) indeks prelijevanja koristi se radi kvantifikacije međusobnog utjecaja između različitih imovina, u kontekstu prelijevanja volatilnosti ili šokova. Prvo se procjenjuje VAR (engl. *vector autoregression*) model volatilnosti različitih imovina, pri čemu su volatilnosti dobivene iz DCC-MGARCH modela. Slijedi dekompozicija varijance koja određuje koliki se dio predviđene varijance pogreške određene varijable može pripisati šokovima druge varijable. Generalizirani pristup dekompozicije varijance osigurava da rezultati ne ovise o redosljedu varijabli. Ukupni indeks prelijevanja dobije se kao postotak predviđene varijance pogreške, dok usmjerenost prelijevanja mjeri prelijevanja „ka“ i „od“ određenih imovina. Konačno, neto prelijevanje, kao razlika prelijevanja „ka“ i „od“, može biti pozitivno ili negativno. Pozitivan neto indeks sugerira da je prva imovina neto prenosilac šokova, dok negativan vrijednost znači da je prva imovina neto primatelj šokova (Diebold & Yilmaz, 2012).

4. EMPIRIJSKO ISTRAŽIVANJE

U analizi su korišteni dnevni podaci (1. 1. 2019 – 1. 1. 2023.) o cijenama zatvaranja za Bitcoin (BTC) i Ethereum (ETH), preuzeti sa stranice *CoinMarketCap*. Korišteni su indeksi fiat valuta: američkog dolara (USD_I), eura (EUR_I) i britanske funte (GBP_I), preuzeti sa stranice *Stooq*, te vrijednosti zlata, preuzeti s *markets.businessinsider.com*. Izračunati su logaritmirani prinosi. Podaci za vikende i neradne dane isključeni su iz analize kako bi se isključile nedostajuće vrijednosti. Deskriptivna statistika uz testove normalnosti, stacionarnosti, homoskedastičnosti i neovisnosti prikazana je u Tablici 1.

Tablica 1. Deskriptivna statistika s testovima normalnosti, stacionarnosti, homoskedastičnosti i neovisnosti

	ZLATO	USD	EUR	GBP	BTC	ETH
1. 1. 2019. – 1. 1. 2023.						
n	994	994	994	994	994	994
μ	0.0003658	0.0000717	-0.000345	-0.0000198	0.0015034	0.0022225
σ	0.0097813	0.0051623	0.0033297	0.0053077	0.0458554	0.0598133
X_{min}	-0.0582216	-0.0276506	-0.0111216	-0.0328956	-0.4647298	-0.5507137
X_{max}	0.0440252	0.0268583	0.0143829	0.0209816	0.2030469	0.3435243
α_3	-0.4576607	0.0402611	0.2132676	-0.2590146	-1.209591	-0.9375331
α_4	6.227097	6.340112	3.909601	7.164163	16.22608	13.82404
SK	112.63***	83.39***	25.82***	111.75***	373.24***	302.32***
ADF	-18.195***	-17.528***	-18.963***	-17.194***	-17.398***	-17.466***
LJB(1)	0.5645	3.0078	1.47	0.9920	1.3611	4.4916
LM(1)	9.297***	113.042***	22.645***	36.087***	1.502	4.626**
LM(5)	48.044***	167.808***	49.819***	105.206***	18.621***	20.997***
LM(10)	71.487***	196.501***	58.555***	120.557***	19.024**	23.036**
1. 1. 2019. – 27. 2. 2020.						
n	286	286	286	286	286	286
μ	0.0008793	-0.00000477	-0.0001688	0.0000657	0.0029831	0.0018557
σ	0.0077486	0.004006	0.0030194	0.0051696	0.0419385	0.0484104
X_{min}	-0.0216162	-0.0123432	-0.0109483	-0.0224625	-0.1590262	-0.1842925
X_{max}	0.029156	0.013533	0.0101389	0.0202233	0.2030469	0.1743043
α_3	0.0677576	-0.3773481	0.1497937	0.4141025	0.4025004	-0.321201
α_4	3.805695	3.71638	3.99757	5.837964	7.122877	5.684303
28. 2. 2020. – 1. 1. 2023.						
n	708	708	708	708	708	708
μ	0.0001584	0.0001026	0.0000197	-0.0000543	0.0009057	0.0023707
σ	0.0104892	0.0055639	0.0034477	0.0053656	0.0473611	0.0638755
X_{min}	-0.0582216	-0.0276506	-0.0111216	-0.0328956	-0.4647298	-0.5507137
X_{max}	0.0440252	0.0268583	0.0143829	0.0209816	0.1915266	0.3435243
α_3	-0.5053443	0.0938401	0.2183018	-0.5010014	-1.646595	-1.078763
α_4	6.112616	6.194231	3.821385	7.591405	18.17354	14.19004

Napomena: * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$.

Izvor: izračuni autora u STATA BE 18.5.

Kriptovalute imaju znatno veći prosječni prinos u odnosu na zlato i fiat valute. ETH ima najviši prosječni prinos od 0,22%, dok BTC bilježi 0,15%. Usporedno, zlato ima prosječni prinos od 0,03%, dok fiat valute imaju niže prinose: USD 0,007%, EUR -0,035% i GBP -0,002%. Kriptovalute pokazuju i veće standardne devijacije od zlata i fiat valuta, što ukazuje na veći rizik. Sve varijable imaju visoke koeficijente zaobljenosti (α_4), posebno BTC i ETH, što ukazuje na debele repove u distribuciji i veću vjerojatnost ekstremnih vrijednosti, odnosno

mogućnost većeg financijskog rizika. BTC ima najizraženiju negativnu asimetriju od -1,21, sugerirajući veći rizik ekstremnih gubitaka. Može se odbaciti nulta hipoteza SK testa (tzv. *skewness-kurtosis*) da su vremenski nizovi prinosa normalno distribuirani za sve varijable pri razini značajnosti od 1%. Također, može se odbaciti nulta hipoteza proširenog Dickey-Fullerova (ADF) testa koja pretpostavlja nestacionarnost procesa. Pri prvom vremenskom pomaku, Ljung-Boxovim (LJB) test ne ukazuje na značajnu autokorelaciju za sve promatrane varijable. Test Lagrangeova multiplikatora (LM) odbacuje nultu hipotezu o nepostojanju ARCH efekta za sve varijable. Ista tablica prikazuje deskriptivnu statistiku prinosa posebno za dva razmatrana razdoblja: prvi koji obuhvaća razdoblje prije službenog proglašenja pandemije, od 1. 1. 2019. do 27. 2. 2020., te drugi koji obuhvaća razdoblje nakon službenog proglašenja pandemije, od 28. 2. 2020. do 1. 1. 2023. Prijelom vremenskog niza ujedno odgovara i strukturnom prijelomu nizova određenih Bai-Perronovim testom (Bai & Perron, 2003). U prvom razdoblju USD i EUR bilježe negativne prosječne prinose, dok GBP i zlato imaju blago pozitivne prinose. BTC i ETH bilježe značajne pozitivne prinose (0,2983% i 0,1855%). U drugom razdoblju USD, EUR i ETH pokazuju blagi rast prinosa, dok GBP poprima negativne prosječne prinose. BTC i zlato smanjuju prinose. U prvom razdoblju fiat valute pokazuju nisku volatilnost, dok BTC i ETH imaju višu volatilnost. U drugom razdoblju volatilnost raste pri svim instrumentima, ukazujući na povećanu nestabilnost tijekom drugog razdoblja, kao posljedica navedenih globalnih događaja.

Korelacijske matrice za prvo i drugo razdoblje prikazane su u Tablici 2. Zlato i USD imali su negativnu slabu korelaciju u razdoblju prije krize koja se pojačala intenzitetom u kriznom razdoblju. Korelacija zlata i EUR je na početku pozitivna i slaba, dok u kriznom periodu gubi značajnost. Sasvim je suprotan odnos zlata s GBP. Dok korelacija zlata i BTC opada u krizi, s ETH blago raste te ostaje pozitivna i značajna za obje kriptovalute i u oba razdobljima. USD i EUR imali su umjerenu pozitivnu korelaciju u prvom razdoblju, no u drugom je povezanost gotovo nestala. EUR i GBP pokazali su statistički značajnu polujaku negativnu korelaciju u prvom razdoblju, dok se u drugom jačina te korelacije smanjila i postala umjerena. USD i ETH pokazivali su neznačajnu korelaciju u prvom razdoblju, a u drugom ta korelacija postaje slaba, negativna i statistički značajna. Slično je i za GBP i BTC te za GBP i ETH, međutim, njihove korelacije u drugom razdoblju postaju slabe, pozitivne i značajne. USD i GBP imaju jaku negativnu povezanost u oba razdobljima dok BTC i ETH zadržavaju sličnu pozitivnu jaku korelaciju.

Tablica 2. Korelacijske matrice od 2. 1. 2019. do 28. 2. 2020. i od 2. 3. 2020. do 3. 1. 2023.

	ZLATO	USD	EUR	GBP	BTC	ETH
<i>1. 1. 2019. – 27. 2. 2020.</i>						
ZLATO	1					
USD	-0.2436***	1				
EUR	0.1633***	0.3309***	1			
GBP	-0.0227	-0.8842***	-0.6293***	1		
BTC	0.1981***	-0.1017*	0.0135	0.0202	1	
ETH	0.1101*	-0.0594	-0.0659	0.0338	0.8042***	1
<i>28. 2. 2020. – 1. 1. 2023.</i>						
ZLATO	1					
USD	-0.4339***	1				
EUR	0.0511	0.0090	1			
GBP	0.2742***	-0.8610***	-0.3585***	1		
BTC	0.1532***	-0.1953***	0.0142	0.2129***	1	
ETH	0.1548***	-0.1920***	0.0396	0.2067***	0.8349***	1

Napomena: * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$.

Izvor: izračuni autora u STATA BE 18.5.

DCC-t-MGARCH (1,1) model koji uključuje samo konstante u jednadžbi sredine procjenjuje se za sve imovine zajedno (Tablica 3.). Parametri α_1 i β_1 svih univarijantnih GARCH(1,1) modela statistički su značajni pri razini od 1%. Pozitivni parametri α_0 , α_1 i β_1 osiguravaju da su procijenjene varijance prinosa pozitivne, dok zadovoljeni uvjeti $0 \leq \alpha_1 + \beta_1 < 1$ i $\lambda_1 + \lambda_2 < 1$ osiguravaju stacionarnost procesa. Dijagnostička provjera standardiziranih reziduala provedena s pomoću LM testa pokazuje odsutnost ARCH efekta, dok pri prvom vremenskom pomaku LJB test ne ukazuje na značajnu autokorelaciju, čime se potvrđuje da je DCC-t-MGARCH(1,1) model ispravno specificiran.

Tablica 4. prikazuje procijenjene dinamičke uvjetne korelacije dobivene iz DCC-t-MGARCH (1,1) modela. Korelacije između USD i obiju kriptovaluta slabe su, negativne i statistički značajne, što sugerira da su promjene u USD obrnuto povezane s promjenama u cijenama BTC i ETH. GBP pokazuje statistički značajne slabe pozitivne korelacije s BTC i ETH, dok EUR i zlato nemaju značajnu korelaciju s kriptovalutama. Slika 1. prikazuje uvjetne korelacije, a vertikalne linije odnose se na početak pandemije COVID-19. Također, zlato ima izraženu negativnu korelaciju s USD, dok s EUR i GBP imaju pozitivnu i slabu, ali značajnu povezanost. Za provjeru robusnosti rezultata procijenjen je GJR-DCC-t-MGARCH (1,1) model (Glosten-Jagannathan-Runkle) koji omogućuje da negativni šokovi imaju drukčiji utjecaj na volatilitnost u usporedbi s pozitivnim šokovima. Rezultati su dostupni od autora na zahtjev. Negativni šokovi povećavaju volatilitnost više od pozitivnih šokova za dodatnih 8% pri zlatu i EUR, dok taj učinak u ovom razdoblju

pri USD nije statistički značajan. Suprotno vrijedi pri GBP, BTC i ETH, pri čemu je parametar γ_1 negativnog predznaka, sugerirajući neobičnu dinamiku tržišta ili posebne okolnosti, kao što je ovaj period istraživanja, u kojima pozitivni šokovi imaju veći utjecaj na volatilitnost u odnosu na negativne šokove. Stavroyiannis (2018) argumentiraju na primjeru zlata da se negativna vrijednost parametra u tom slučaju može objasniti da u trenucima krize parametar postaje negativan jer postoji bijeg iz drugih imovina prema sigurnom utočištu. Također, sve dok je zadovoljen uvjet $\alpha_1 + \gamma_1 < 1$ te $\alpha_1 > 0$, hipoteza asimetrije za GJR model ne može se opovrgnuti. Nakon procjene univarijantnih GJR-GARCH (1,1) modela, njihovi reziduali koriste se u DCC modelu. Rezultati procijenjenih parametara, kao i uvjetnih korelacija, pokazuju da su robusni na primjenu različitih modela koji uključuju simetrični i asimetrični model te specifikaciju modela u parovima, kao i za sve varijable zajedno.

Tablica 3. Procijenjeni parametri iz DCC-t-MGARCH (1,1) modela

	ZLATO	USD	EUR	GBP	BTC	ETH
μ	0.00052**	0.00004	-0.00008	0.00003	-0.00083	-0.00055
	(0.00026)	(0.0001)	(0.00009)	(0.00013)	(0.00105)	(0.00141)
α_1	0.0479***	0.0476***	0.0327***	0.0379***	0.1539***	0.1089***
	(0.0139)	(0.0096)	(0.0078)	(0.0068)	(0.0332)	(0.0256)
β_1	0.9090***	0.9225***	0.9666***	0.9351***	0.7311***	0.7932***
	(0.0267)	(0.0159)	(0.0084)	(0.0125)	(0.0527)	(0.0424)
α_0	4.66E-6**	7.86E-7	7.72E-8	7.21E-7***	0.00023***	0.0031***
	(1.87E-6)	2.16E-7	4.88E-8	(2.03E-7)	(0.00006)	(0.00009)
$LM(1)$	0.722	1.335	1.616	2.540	1.263	0.001
$LM(5)$	5.446	6.935	4.353	11.058*	7.093	5.860
$LM(10)$	6.509	7.451	7.966	11.706	9.087	10.205
$LJB(1)$	0.551	0.217	0.057	0.848	2.147	2.658
λ_1	0.0146***	λ_2	0.9723***	ν	5.5061***	
	(0.0027)		(0.0061)		(0.4069)	

Napomena: * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$. Standardne pogreške u zagradama.

Izvor: izračuni autora u STATA BE 18.5.

Tablica 4. Dinamičke uvjetne korelacije iz DCC-t-MGARCH (1,1) modela

	ZLATO	USD	EUR	GBP	BTC	ETH
ZLATO	1					
USD	-0.4435***	1				
EUR	0.1558**	0.0177	1			
GBP	0.1842***	-0.8662***	-0.4656***	1		
BTC	0.0749	-0.2213***	0.0370	0.2017***	1	
ETH	0.0630	-0.2091***	0.0293	0.1946***	0.8563***	1

Napomena: * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$.

Izvor: izračuni autora u STATA BE 18.5.

Tablica 5. prikazuje deskriptivnu statistiku dinamičkih uvjetnih korelacija, podijeljenu na prvi i drugi period, dok su njihovi grafički prikazi dani na Slici 1. Treći dio Tablice 5. daje rezultate dvosmjernog KS testa za parove imovina, gdje se testiraju razlike u distribucijama uvjetnih korelacija između pretkriznog i kriznog razdoblja. Zadnji dio Tablice 5. prikazuje testiranje prelijevanja između parova valuta korištenjem DY indeksom, pri čemu pozitivna vrijednost neto indeksa sugerira da je prva varijabla neto prijenosnik, a negativna vrijednost neto indeksa da je prva varijabla neto primatelj prelijevanja.

Korelacije između zlata i USD negativne su u obama razdobljima zbog toga što se smatraju konkurentskim sigurnim utočištima za investitore, pri čemu kada potražnja za zlatom raste, to najčešće smanjuje potražnju za USD. Naime, kada realne kamatne stope padaju, zlato postaje atraktivnije jer služi kao zaštita od inflacije i obrnuto. Može se uočiti sve jača negativna povezanost u kriznim razdobljima koronakrize i rata u Ukrajini te vraćanje na niže negativne vrijednosti u mirnijim razdobljima. Slično se ponaša i par GBP-USD, pri čemu je korelacija jaka i negativna te se može zabilježiti značajniji porast u jačini povezanosti u kriznom razdoblju koji je najizraženiji u vrijeme ratnih zbivanja. Može se zaključiti da je USD u tom periodu ojačao kao sigurno utočište, dok se GBP suočio s izazovima koji se nastavljaju još od Brexita, kao i zbog globalnih neizvjesnosti u tim razdobljima. GBP i EUR također pokazuju negativnu korelaciju koja se smanjuje intenzitetom u kriznim razdobljima. GBP je dosegnuo svoj povijesni minimum u rujnu 2022., kada je Vlada Ujedinjenog Kraljevstva najavila tzv. „mini budžet“ kojim se pojačala nesigurnost, nakon čega je središnja banka Engleske morala poduzeti mjere radi vraćanja financijske stabilnosti (IMF, 2023). U isto je vrijeme ECB bio nešto brži u povećanju kamatnih stopa, što rezultira bržem vraćanju povjerenja investitora u EUR.

Negativne korelacije zabilježene su i u parovima USD-BTC i USD-ETH, slično kao i u drugim istraživanjima (Baur i sur., 2018). Naime, jačanje USD, naročito u vrijeme rata u Ukrajini, može se dijelom protumačiti porastom povjerenja u tradicionalni financijski sustav, čime se smanjuje zanimanje za ulaganje u alternativnu vrstu imovina. S druge strane, kriptovalute se mogu smatrati zaštitom protiv rastuće inflacije u vrijeme kada opada kupovna moć dolara (Dyhrberg, 2016). Međutim, između ožujka 2022. i srpnja 2023. FED je podigao kamatne stope za više od pet postotnih bodova, dok se u isto vrijeme FTX, glavna burza derivata kriptovaluta, suočila sa značajnim izazovima, što je kulminiralo dramatičnim kolapsom u studenome 2022. godine. To je simultano dovelo do veće negativne korelacije u kriznom razdoblju između USD i kriptovaluta. S druge strane, u koronakrizi dogodilo se suprotno, tj. jačalo je povjerenje i ulaganje u BTC, dok je USD počeo slabjeti kao odgovor na implementaciju monetarne i fiskalne politike bez presedana u borbi protiv ekonomskih posljedica koronakrize. Negativne korelacije između ovih parova imovina sugeriraju da su iste zaštita u mirnim te sigurna utočišta u kriznim vremenima.

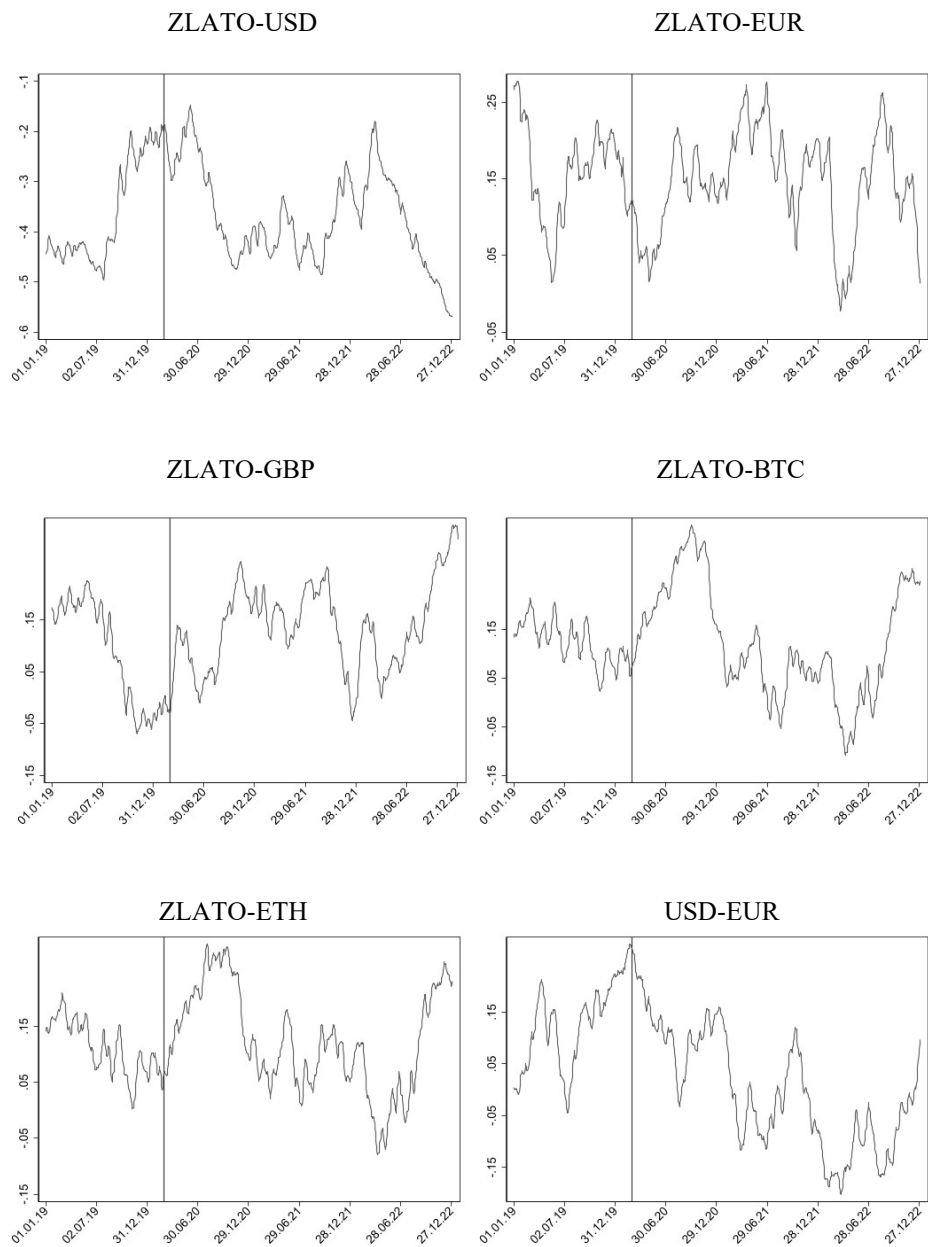
Tablica 5. Deskriptivna statistika za dinamičke korelacije iz DCC-t-MGARCH (1,1) modela te testiranje zaraze i prelijevanja

	ZLATO-USD	ZLATO-EUR	ZLATO-GBP	ZLATO-BTC	ZLATO-ETH	USD-EUR	USD-GBP	USD-BTC	USD-ETH	EUR-GBP	EUR-BTC	EUR-ETH	GBP-BTC	GBP-ETH	BTC-ETH
1.1.2019-27.2.2020															
μ	-0.363	0.156	0.085	0.122	0.111	0.126	-0.837	-0.113	-0.106	-0.474	0.019	-0.001	0.059	0.078	0.738
σ	0.101	0.059	0.098	0.042	0.046	0.081	0.029	0.055	0.061	0.057	0.054	0.047	0.046	0.051	0.026
X_{\min}	-0.495	0.015	-0.069	0.021	0.002	-0.044	-0.877	-0.231	-0.224	-0.571	-0.083	-0.118	-0.045	-0.043	0.657
X_{\max}	-0.186	0.277	0.226	0.213	0.209	0.281	-0.772	0.013	0.052	-0.350	0.141	0.118	0.153	0.187	0.788
α_3	0.52	-0.30	-0.19	-0.16	-0.11	-0.22	0.76	0.004	0.51	0.31	0.11	-0.04	-0.44	-0.34	-0.35
α_4	1.57	2.74	1.38	2.49	2.17	2.12	2.33	2.51	2.97	1.95	2.29	2.81	2.43	2.76	3.17
28.2.2020-1.1.2023															
μ	-0.368	0.144	0.137	0.122	0.122	-0.004	-0.819	-0.168	-0.161	-0.381	0.027	0.059	0.149	0.139	0.728
σ	0.095	0.066	0.082	0.114	0.091	0.112	0.036	0.091	0.075	0.094	0.065	0.058	0.082	0.074	0.048
X_{\min}	-0.568	-0.022	-0.043	-0.109	-0.079	-0.202	-0.873	-0.382	-0.335	-0.572	-0.134	-0.067	-0.044	-0.041	0.582
X_{\max}	-0.147	0.277	0.332	0.362	0.296	0.273	-0.696	-0.007	-0.007	-0.190	0.159	0.203	0.332	0.293	0.791
α_3	0.27	-0.43	0.10	0.25	0.06	0.26	1.27	-0.37	-0.07	0.05	-0.26	0.03	-0.11	-0.25	-0.63
α_4	2.36	2.60	2.47	2.15	2.20	2.11	4.33	2.27	2.14	2.09	2.47	2.25	2.40	2.39	2.50
KOLMOGOROV-SMIRNOV (KS) TEST															
1	0.21***	0.02	0.31***	0.26***	0.14***	0.00	0.28***	0.00	0.00	0.44***	0.12***	0.43***	0.58***	0.46***	0.15***
2	-0.13***	-0.13***	0.00	-0.27***	-0.13***	-0.50***	0.00	-0.32***	-0.33***	-0.01	-0.06	0.00	0.00	0.00	-0.24***
KS	0.21***	0.13***	0.31***	0.27***	0.12***	0.50***	0.28***	0.32***	0.33***	0.44***	0.12***	0.43***	0.58***	0.46***	0.24***
DIEBOLD-YILMAZ INDEKS PRELIJEVANJA															
ka**	3.56	2.68	3.18	2.61	2.31	5.42	20.90	0.67	0.61	6.41	0.02	0.02	0.32	0.39	21.41
iz**	2.55	1.52	1.58	8.52	7.55	3.97	17.71	12.96	11.68	7.49	6.04	6.25	8.96	9.17	21.54
neto	1.01	1.16	1.59	-5.91	-5.24	1.44	2.19	-12.3	-11.1	-1.08	-6.02	-6.23	-8.64	-8.78	-0.13

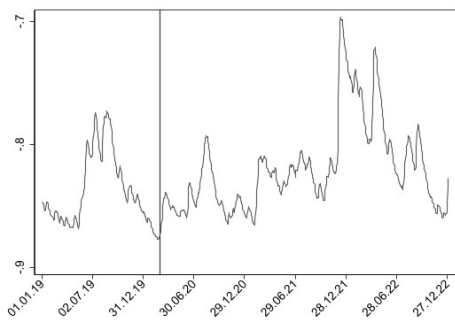
Napomena: * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$.

Izvor: izračuni autora u STATA BE 18.5.

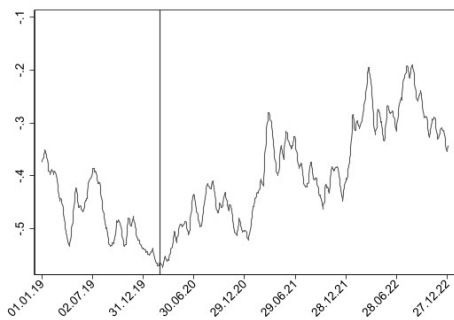
Slika 1. Dinamičke uvjetne korelacije iz DCC-t-MGARCH (1,1) modela



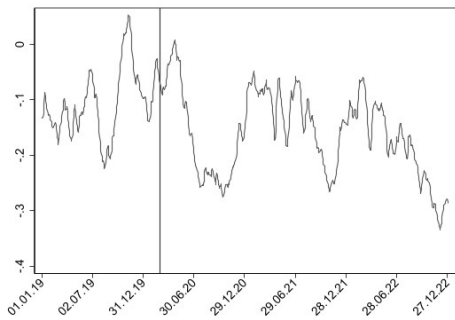
USD-GBP



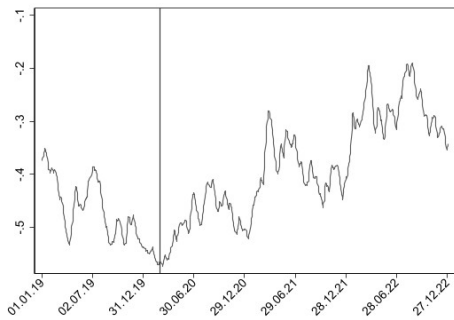
USD-BTC



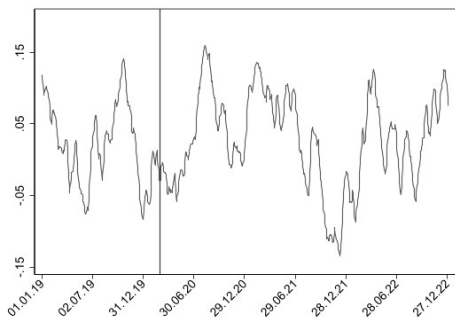
USD-ETH



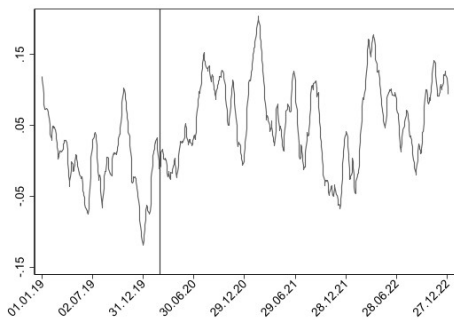
EUR-GBP

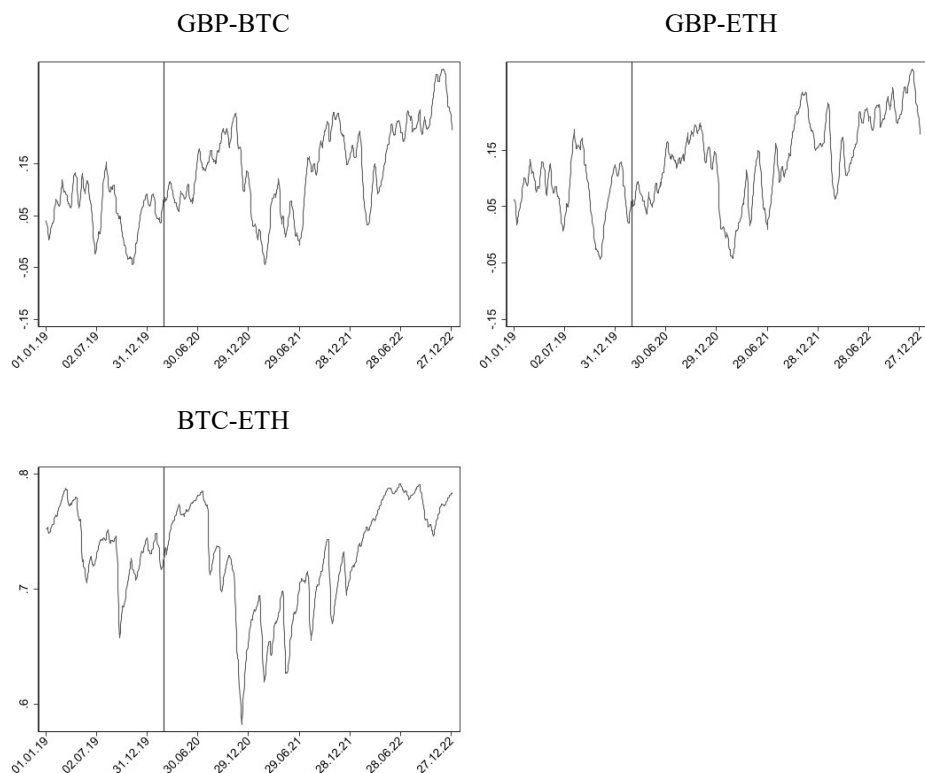


EUR-BTC



EUR-ETH





Izvor: izračuni autora u STATA BE 18.5.

Između ostalih parova imovina zabilježene su pozitivne korelacije koje su ostale nepromijenjene u prosjeku uz mnogo veću disperziju u kriznim razdobljima, kao i uz promjenu u asimetriji i zaobljenosti, sugerirajući i veći rizik te veću vjerojatnost ekstrema (zlato-EUR, zlato-BTC, zlato-ETH, EUR-BTC, EUR-ETH, BTC-ETH). U paru USD-EUR zabilježene su promjene s pozitivnih korelacija u blago negativne, čime se potvrđuje svojstvo zaštite ovih valuta u kriznim vremenima, dok se pozitivne i jače izražene korelacije mogu uočiti u parova zlato-GBP, GBP-BTC i GBP-ETH, stoga se samo u potonjih može ispitivati učinak zaraze. U početku pandemije cijene zlata porasle su kao sigurno utočište, dok je GBP iskusio volatilitnost. Međutim, kako je pandemija napredovala, bilo je trenutaka u kojima su obje imovine imale koristi od raspoložnja investitora za smanjenje rizika. Na kraju 2022. godine i zlato i GBP osjetili su značajan pad. U isto je vrijeme USD značajno ojačao zbog povećanja kamatnih stopa FED-a, što je učinilo zlato skupljim i smanjilo potražnju. Osim toga, oporavak na ostalim tržištima krajem 2022. godine smanjio je potražnju za sigurnim utočištem kao što je zlato te usmjerilo investitore k tržištima kapitala. U isto vrijeme, što je već spomenuto, Velika Britanija suočila se s političkom nestabilnosti te sporim

odgovorima monetarne politike, što je još dodatno oslabjelo GBP. Konačno, odnos GBP i kriptovaluta sličan je te je unatoč inicijalnom padu i volatilnosti na obama tržištima u koronakrizi, BTC imao koristi zbog pojačanog interesa za alternativnim oblicima imovine, kao i zbog statusa sigurnog utočišta, dok je GBP počeo jačati pod utjecajem nade u oporavak gospodarstva. BTC je također u periodima ratnih previranja ojačao zbog percipirane uloge pohrane vrijednosti i zaštite od inflacije. Međutim, značajniji porast korelacija u posljednjem razdoblju može se pripisati nepovjerenju investitora na obama tržištima.

Visoke pozitivne korelacije ukazuju na slično ponašanje kriptovaluta i u kriznim i u pretkriznim razdobljima, međutim, parovi imovina koje imaju slabu pozitivnu korelaciju, a naročito EUR-BTC te EUR-ETH, mogu se smatrati diverzifikatorima u bilo kojem vremenskom trenutku, dok se GBP-BTC i GBP-ETH mogu smatrati diverzifikatorima samo u mirnom razdoblju. Slično zaključuju i Bouri i sur. (2016).

Rezultati druge linije testa dvosmjernog KS testa za parove imovina ukazuju da za parove zlato-GBP, USD-GBP, EUR-GBP, EUR-BTC, EUR-ETH, GBP-BTC i GBP-ETH krizno razdoblje stohastički dominira u pretkriznom razdoblju, no samo za parove u kojih je ujedno prisutna pozitivna korelacija, koja je jače izražena u kriznom razdoblju, rezultati KS testa upućuju na prisutnost zaraze (zlato-GBP, EUR-BTC, EUR-ETH, GBP-BTC, GBP-ETH). U ostalih parova vidljiva je razlika u distribucijama, ali ne i učinak zaraze. Parovi GBP-BTC i GBP-ETH imaju najveću razliku u distribucijama, tj. imaju najizraženiju zarazu.

Konačno, zlato je u odnosu na USD, EUR i GBP relativno neovisno jer su vrijednosti DY indeksa relativno male, iako pokazuje svojstvo blagog prijenosa volatilnosti. Međutim, zlato je neto primatelj volatilnosti iz kriptovaluta. Slično je i USD neto prijenosnik šokova na EUR i GBP, no neto primatelj volatilnosti iz kriptovaluta. EUR je neto primatelj volatilnosti iz GBP i kriptovaluta. Par BTC-ETH pokazuje dvosmjernu vezu prelijevanja volatilnosti. Osim u parovima, DY indeks izračunat je i za sve imovine zajedno (Tablica 6.), pokazujući ponovno da se kriptovalute ponašaju kao prijenosnici šokova na druge imovine. Međutim, kako se pokazalo u koronakrizi, kriptovalute su neto prijenosnici pozitivnih šokova, dok se kriza uzrokovana ratnim zbivanjima dogodila u isto vrijeme kad i pad tržišta kriptovaluta, potaknut poteškoćama unutar kriptotržišta, čime se indeks prelijevanja s kriptovaluta na ostala tržišta povećao, kao i DY indeks između svih tržišta općenito. Ukupan efekt prelijevanja iznosi 45,86%, što sugerira da je nešto manje od pola volatilnosti na ovim tržištima posljedica međuovisnosti tržišta zlata, valuta i kriptovaluta. Dinamički indeks prelijevanja pokazuje izraženije vrijednosti u koronakrizi, kao i u ratnim zbivanjima. Pri tome su se u pandemiji kriptovalute pozitivno prelijevale na ostala tržišta, dok je suprotan odnos zabilježen u ratnim zbivanjima.

Bouri i sur. (2016) zaključuju da BTC nije učinkovita zaštita, već isključivo sredstvo za diverzifikaciju, što je u skladu s rezultatima za BTC u odnosu na GBP, ali u suprotnosti s nalazima koji ukazuju da BTC ima svojstva zaštite i

sigurnog utočišta prema USD te svojstva zaštite prema EUR. Slično, Cocco i sur. (2022) nisu pronašli dokaze da BTC djeluje kao sigurno utočište prema USD, što također ukazuje na razlike u rezultatima. Antoniadis i sur. (2018) te Wang i sur. (2022) ističu negativnu povezanost BTC s USD, što implicira da BTC može djelovati kao zaštita u određenim uvjetima, što se potvrđuje u ovom radu. Mokni i Ajmi (2021) potvrđuju postojanje dvosmjerne negativne uzročne veze između digitalnih valuta i USD, podupirući tvrdnju da BTC i ETH mogu poslužiti kao zaštita ili sigurno utočište u turbulentnim vremenima. S druge strane, Almansour i sur. (2020) zaključuju da pri 10% signifikantnosti GBP ima negativan utjecaj na BTC, što je u suprotnosti s ovim istraživanjem. No, svoj rezultat opravdavaju potencijalnim zajedničkim faktorima koji su utjecali i na GBP i na BTC, naročito za vrijeme Brexita, kada su neki investitori investirali radije u BTC, što u ovom periodu nije slučaj. Konačno, i ovo istraživanje pokazuje učinak prelijevanja s kriptovaluta na ostale imovine, kao i Guo i sur. (2021) te Elsayed i sur. (2022), no potrebno je razlučiti pozitivne i negativne efekte prelijevanja. Također, zlato se pokazalo sigurnim utočištem za USD te zaštitom za EUR, dok s kriptovalutama pokazuje usporediva svojstva kao u Bhuiyan i sur. (2023).

Tablica 6. Diebold-Yilmaz generalizirani indeks prelijevanja za sve imovine zajedno

	ZLATO	USD	EUR	GBP	BTC	ETH	„od“
ZLATO	11,17	0,46	0,21	0,24	2,47	2,11	5,49
USD	0,47	6,93	0,41	4,21	2,46	2,18	9,73
EUR	0,48	1,03	10,46	1,65	1,48	4,51	6,20
GBP	0,39	4,97	0,79	7,29	1,58	1,63	9,37
BTC	0,54	0,11	0,01	0,05	9,09	6,86	7,57
ETH	0,47	1,10	0,004	0,06	6,86	9,18	4,78
„ka“	2,36	6,67	1,42	6,21	14,85	14,32	45,86
Ukupan	13,55	13,61	11,89	13,1	14,85	14,32	100
Neto	-3,13	-3,06	-4,78	-3,16	7,28	6,84	

Izvor: izračuni autora u RStudio uz korištenje paketom spillover

5. ZAKLJUČAK

Cilj je ovog rada kvantificirati povezanost te učinke prelijevanja i zaraze između kriptovaluta, zlata i fiat valuta, kao i istražiti njihove dinamične odnose. DCC-MGARCH metodologija omogućila je analizu vremenski promjenjivih korelacija. KS test korišten je za testiranje efekta zaraze, a efekt prelijevanja istražen je uz DY indeks. Prije pandemije, BTC i ETH imali su negativnu korelaciju s USD, djelujući kao zaštita koja se zadržala tijekom pandemije, čime se potvrđuje i njihovo svojstvo sigurnog utočišta tijekom tržišnih stresova, ponašajući se slično

kao i zlato. U odnosu na GBP djelovali su kao diverzifikatori s pozitivnim, ali nesavršenim korelacijama. U odnosu na EUR korelacija je ostala blizu nuli, što ih čini zaštitom i sigurnim utočištem. Zaraza je potvrđena KS testom za sve valute s GBP te za EUR-BTC, s najizraženijom zarazom pri GBP-BTC i GBP-ETH. Kriptovalute se, međutim, pokazuju kao neto prijenosnici volatilnosti na sva valutna tržišta na temelju DY indeksa. Rezultati ističu različite uloge kriptovaluta u portfelju investitora, ovisno o specifičnim tržišnim uvjetima i valutnim parovima, naglašavajući važnost praćenja volatilnosti i međuovisnosti. Rezultati upozoravaju investitore i upravitelje portfelja koji razmišljaju o uključivanju kriptovaluta u svoje portfelje kao sredstva diverzifikacije da uzmu u obzir globalne geopolitičke uvjete i druge nesigurnosti pri odabiru svojih investicijskih alata i trajanja ulaganja. Iako su neki učinci zaraze potvrđeni, potrebna su daljnja istraživanja kako bi se dublje razumjeli mehanizmi prijenosa šokova i dinamika među ovim tržištima, otvarajući prostor za dodatna istraživanja koja bi mogla pružiti daljnje uvide i pomoći u oblikovanju budućih politika i strategija.

Doprinosi autora: Konceptualizacija, T. Š. i K. L.; metodologija, T. Š. i K. L.; software, T. Š. i K. L.; validacija, T. Š. i K. L.; formalna analiza, T. Š. i K. L.; istraživanje, T. Š. i K. L.; resursi, T. Š. i K. L.; čuvanje podataka, T. Š. i K. L.; pisanje – priprema izvorne radne verzije, K. L.; pisanje – pregled i priređivanje, T. Š. i K. L.; vizualizacija, T. Š. i K. L.; nadzor, T. Š.; upravljanje projektom, -; financiranje, -.

Financiranje: Istraživanje prikazano u rukopisu nije dobilo nikakva sredstva iz vanjskih izvora financiranja.

Sukob interesa: Nema.

Napomena: Ovaj rad proizašao je iz diplomskog rada *Učinak zaraze između fiat valuta i kriptovaluta* koji je pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Tee Šestanović izradila Klara Luketa, univ. mag. oec. na Ekonomskom fakultetu Sveučilišta u Splitu.

LITERATURA

Ahmad, W., Bhanumurthy, N. R., & Sehgal, S. (2014). The Eurozone crisis and its contagion effects on the European stock markets. *Studies in Economics and Finance*, 31 (3), 325-352. <https://doi.org/10.1108/SEF-01-2014-0001>

Almansour, B. Y., Almansour, A. Y., & In'airat, M. (2020). The Impact Of Exchange Rates On Bitcoin Returns: Further Evidence From A Time Series Framework. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 9 (2), 4577-4581.

Aljinović, Z., Šestanović, T., & Škrabić Perić, B. (2022). A New Evidence of the Relationship between Cryptocurrencies and other Assets from the COVID- 19 Crisis. *Ekonomický časopis*, 70 (7-8), 603-621. <https://doi.org/10.31577/ekoncas.2022.07-8.03>

Ampountolas, A. (2023). The Effect of COVID-19 on Cryptocurrencies and the Stock Market Volatility: A Two-Stage DCC-EGARCH Model Analysis. *Journal of Risk and Financial Management*, 16 (1), 25. <https://doi.org/10.3390/jrfm16010025>

- Antoniadis, I., Sariannidis, N., & Koutsas, S. (2018). The effect of Bitcoin prices on US Dollar Index price. *Springer Proceedings in Business and Economics*, 511-521. https://doi.org/10.1007/978-3-030-02194-8_34
- Arnerić, J., & Mateljan, M. (2019). Analiza međuovisnosti tržišta kapitala i tržišta kriptovaluta. *Ekonomika misao i praksa*, 28 (2), 449-465.
- Bai, J., & Perron, P. (2003). Computation and analysis of multiple structural change models. *Journal of Applied Econometrics*, 18 (1), 1-22. <https://doi.org/10.1002/jae.659>
- Baur, D. G., Dimpfl, T., & Kuck, K. (2018). Bitcoin, gold and the US dollar – A replication and extension. *Finance Research Letters*, 25, 103-110. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2017.10.012>
- Bhuiyan, R. A., Husain, A., & Zhang, C. (2023). Diversification Evidence of Bitcoin and Gold from Wavelet Analysis. *Financial Innovation*, 9, 100. <https://doi.org/10.1186/s40854-023-00495-1>
- Boffelli, S., & Urga, G. (2016). *Financial Econometrics Using Stata*. A Stata Press Publication.
- Bouri, E., Molnár, P., Azzi, G., Roubaud, D., & Hagfors, L. I. (2016). On the hedge and safe haven properties of Bitcoin: Is it really more than a diversifier?. *Finance Research Letters*, 20, 192-198. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2016.09.025>
- Cocco, L., Tonelli, R., & Marchesi, M. (2022). Bitcoin as a safe haven during COVID-19 disease. *Future Internet*, 14 (4), 98. <https://doi.org/10.3390/fi14040098>
- Diebold, F. X., & Yilmaz, K. (2012). Better to Give than to Receive: Predictive Directional Measurement of Volatility Spillovers. *International Journal of Forecasting*, 28 (1), 57-66. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2011.02.006>
- Dyhrberg, A. H. (2016). Bitcoin, gold and the dollar – A GARCH volatility analysis. *Finance Research Letters*, 16, 85-92. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2015.10.008>
- Elsayed, A. H., Gozgor, G., & Lau, C. K. M. (2022). Causality and dynamic spillovers among cryptocurrencies and currency markets. *International Journal of Finance & Economics*, 27, 2026-2040. <https://doi.org/10.1002/ijfe.2257>
- Engle, R. F. (2002). Dynamic Conditional Correlation: A Simple Class of Multivariate Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity Models. *Journal of Business & Economic Statistics*, 20 (3), 339-350. <https://doi.org/10.1198/073500102288618487>
- Engle, R. F., & Sheppard, K. (2001). Theoretical and Empirical Properties of Dynamic Conditional Correlation Multivariate GARCH. *National Bureau of Economic Research*, Working Paper No. 8554, October. <https://doi.org/10.3386/w8554>
- Ferreira, P., & Pereira, É. (2019). Contagion Effect in Cryptocurrency Market. *Journal of Risk and Financial Management*, 12 (3), 115. <https://doi.org/10.3390/jrfm12030115>
- Forbes, K. J., & Rigobón, R. (2002). No contagion, only interdependence: Measuring stock market comovements. *The Journal of Finance*, 57 (5), 2223-2261. <https://doi.org/10.1111/0022-1082.00494>
- Guo, X., Lu, F., & Wei, Y. (2021). Capture the contagion network of Bitcoin – Evidence from pre and mid COVID-19. *Research in International Business and Finance*, 58, 101484. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2021.101484>
- Hsu, S.-H., Sheu, C., & Yoon, J. (2021). Risk spillovers between cryptocurrencies and traditional currencies and gold under different global economic conditions. *North American Journal of Economics and Finance*, 57, 101443. <https://doi.org/10.1016/j.najef.2021.101443>
- IMF (2023). The United Kingdom, International Monetary Fund, IMF Country Report No. 23/253. <https://doi.org/10.5089/9798400248658.002>
- Janson, N., & Karoubi, B. (2021). The Bitcoin: To be or not to be a real currency?. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 82, 312-319. <https://doi.org/10.1016/j.qref.2021.09.005>

Ji, X., Wang, S., Xiao, H., Bu, N., & Lin, X. (2022). Contagion Effect of Financial Markets in Crisis: An Analysis Based on the DCC–MGARCH Model. *Mathematics*, 10 (11), 1819. <https://doi.org/10.3390/math10111819>

Jiang, S., Zhou, J., & Qiu, S. (2023). Is there any correlation between digital currency price fluctuation? Based on the DCC-GARCH and wavelet coherence analysis. *Economic Research – Ekonomska Istraživanja*, 36 (2), 2134901. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2022.2134901>

Luketa, K. (2024). *Učinak zaraze između fiat valuta i kriptovaluta* (diplomski rad, Ekonomski fakultet u Splitu).

Mokni, K., & Ajmi, A. N. (2021). Cryptocurrencies vs. US dollar: Evidence from causality in quantiles analysis. *Economic Analysis and Policy*, 69, 238-252. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2020.12.011>

Palazzi, R. B., Júnior, G. D. S. R., & Klotzle, M. C. (2021). The dynamic relationship between bitcoin and the foreign exchange market: A nonlinear approach to test causality between bitcoin and currencies. *Finance Research Letters*, 42, 101893. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2020.101893>

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, 57. <https://doi.org/10.1007/s43546-022-00219-0>

Stavroyiannis, S. (2018). A note on the Nelson-Cao inequality constraints in the GJR-GARCH model: is there a leverage effect?. *International Journal of Economics and Business Research*, 16 (4), 442-452. <https://doi.org/10.1504/IJEER.2018.095345>

Tiwari, A. K., Adewuyi, A. O., Albulescu, C. T., & Wohar, M. E. (2020). Empirical evidence of extreme dependence and contagion risk between main cryptocurrencies. *The North American Journal of Economics and Finance*, 51. <https://doi.org/10.1016/j.najef.2019.101083>

Tran, T. B. N. (2018). Contagion Risks in Emerging Stock Markets: New Evidence from Asia and Latin America. *Journal of Risk and Financial Management*, 11 (4), 89. <https://doi.org/10.3390/jrfm11040089>

Tse, Y. K., & Tsui, A. K. C. (2002). A Multivariate Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity Model With Time-Varying Correlations. *Journal of Business & Economic Statistics*, 20 (3), 351-362. <https://doi.org/10.1198/073500102288618496>

Wang, P., Liu, X., & Wu, S. (2022). Dynamic Linkage between Bitcoin and Traditional Financial Assets: A Comparative Analysis of Different Time Frequencies. *Entropy*, 24, 1565. <https://doi.org/10.3390/e24111565>

Wang, D., Li, P. & Huang, L. (2022). Time-frequency volatility spillovers between major international financial markets during the COVID-19 pandemic. *Finance Research Letters*, 46 (A). <https://doi.org/10.1016/j.frl.2021.102244>

Xu, Q, Zhang, Y., & Zhang, Z. (2021). Tail-risk spillovers in cryptocurrency markets. *Finance Research Letters*, 38, 101453. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2020.101453>

Yang, C., Wang, X., & Gao, W. (2022). Is Bitcoin a better hedging and safe-haven investment than traditional assets against currencies? Evidence from the time-frequency domain approach. *North American Journal do Economics and Finance*, 62, 101747. <https://doi.org/10.1016/j.najef.2022.101747>

Tea Šestanović, PhD

Associate Professor

University of Split, Faculty of Economics, Business and Tourism

Department of Quantitative Methods, Split

E-mail: tea.sestanovic@efst.hr

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6279-6070>***Klara Luketa, univ. mag. oec.***

OTP banka d. d., Retail Credit Risk Department

Approval and Supervision Department, Credit Risk Specialist, Split

E-mail: klara.luketa@otpbanka.hr

Orcid: <https://orcid.org/0009-0005-2029-7440>**SAFE HAVEN OR SOURCE OF CONTAGION?
ANALYZING THE MUTUAL INFLUENCE OF
CURRENCIES, CRYPTOCURRENCIES AND GOLD
DURING MARKET TURBULENCE*****Abstract***

This paper investigates the phenomenon of financial contagion and spillover effects, as well as their interconnections, focusing on the relationships between cryptocurrencies (Bitcoin and Ethereum), gold, and fiat currencies (US dollar, euro, and British pound). Using the DCC-MGARCH model over the period January 1, 2019 – January 1, 2023, the study analyzes the dynamic conditional correlations of returns, while the Kolmogorov-Smirnov (KS) test is employed to examine the presence of contagion in the context of the COVID crisis and the Ukraine war crisis. The Diebold-Yilmaz (DY) index is used to assess spillover effects. The results indicate that before the pandemic, Bitcoin and Ethereum had a weak negative correlation with the US dollar, acting as hedging assets, while during the pandemic, they became safe havens. Their correlation with the euro remained close to zero, reinforcing their role as hedging instruments. In relation to the British pound, they exhibited weak positive correlations, making them diversifiers. KS tests revealed a strong presence of contagion for cryptocurrencies and the British pound, while the DY index indicates significant volatility spillover from cryptocurrencies to all currency markets.

Keywords: *financial contagion, cryptocurrencies, fiat currencies, DCC-MGARCH, spillover*

JEL classification: *G01, G15, E44, C58, F31*

