

Karmen Vrhar*
Vladimir Arčabić**

JEL klasifikacija: C32, C52, G15, Q02
Prethodno priopćenje
<https://doi.org/10.32910/ep.74.3.5>

PRELIJEVANJA VOLATILNOSTI IZMEĐU TRŽIŠTA DOBARA I FINANCIJSKIH TRŽIŠTA

Rad analizira prelijevanja volatilnosti cijena između tržišta dobara i financijskih tržišta u svrhu istraživanja međusobne povezanosti i integracije tržišta te njihovog potencijala pri diverzifikaciji rizika portfelja. U radu su analizirane cijene zlata i srebra, cijene nafte te devizni tečajevi eura i britanske funte te je korištena Diebold-Yilmaz metodologija indeksa prelijevanja za visokofrekventne tjedne podatke od 1988. do 2020. godine. Utvrđeno je kako su ukupna prelijevanja među dobrima i deviznim tečajevima 25.7% te se indeks prelijevanja volatilnosti tijekom analiziranog perioda kreće većinom između 25% i 50% s ekstremima tijekom globalne financijske krize i za vrijeme pandemije COVIDa-19. To ukazuje na snažnu integraciju tržišta dobara i financijskih tržišta, pogotovo u kriznim razdobljima. Također, rezultati rada sugeriraju da su kretanja cijene srebra pod najmanjim utjecajem prelijevanja s ostalih tržišta te stoga srebro može poslužiti pri diverzifikaciji

* K. Vrhar, mag.oec., Polaznica doktorskog studija na Ekonomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu; Voditeljica Erasmus projekata na Učilištu Jantar u Splitu; Vanjska suradnica na Ekonomskom fakultetu Sveučilišta u Splitu; Vanjska suradnica na Visokoj školi za inspekcijski i kadrovski menadžment u Splitu (e-mail: kvrhar@net.efzg.hr).

** V. Arčabić, dr.sc., izvanredni profesor, Sveučilište u Zagrebu, Ekonomski (e-mail: varcabic@efzg.hr). Rad je primljen u uredništvo 18.03.2021. godine, a prihvaćen je za objavu 25.10.2021. godine.

Rad je nastao kao rezultat pristupnog rada pristupnice Karmen Vrhar na kolegiju Teme iz primijenjene makroekonomije na doktorskome studiju Ekonomije i poslovne ekonomije na Ekonomskom fakultetu u Zagrebu.

Ovaj rad je sufinancirala Hrvatska zaklada za znanost projektom IP-2019-04-4500 i projektom UIP-2017-05-6785.

rizika. Doprinos rada postojećoj literaturi je sljedeći: Prvo, analizom transmissijskih procesa pokazana su značajna prelijevanja volatilnosti između tržišta roba i deviznih tečajeva, što ukazuje na postojanje integracije između različitih tržišta. Također, analizira se dugi vremenski period te dinamička analiza pokazuje pojačana prelijevanja volatilnosti u periodima globalnih kriza. Drugo, rezultati analize mogu pomoći profesionalnim prognostičarima pri prognoziranju te financijskim analitičarima za pružanje sveobuhvatne investicijske analize. Menadžeri i investitori tako mogu dizajnirati optimalne instrumente zaštite od neželjenih kretanja na financijskim tržištima i tržištima dobara. Investitori imaju koristi od diverzifikacije portfelja, a informacijski sadržaj dobiven analizom prelijevanja volatilnosti može se koristiti za procjenu potencijalnih determinanti budućih povrata prilagođenih riziku, što bi im pomoglo u donošenju odluka o ulaganju.

Ključne riječi: *zlato i srebro, nafta, devizni tečaj, indeks prelijevanja, VAR model*

1. UVOD

Zbog sveprisutnog trenda financijske globalizacije i jačanja integracije svjetskih tržišta dobara te financijskih tržišta tijekom posljednjih godina, razumijevanje transmissijskih mehanizama, naročito međusobnog prelijevanja volatilnosti, ključno je za razumijevanje međusobne povezanosti navedenih tržišta (Gabauer, 2020).

Analiza prelijevanja volatilnosti između različitih tržišta ima višestruku važnost. Iz makroekonomske perspektive, zbog globalne financijske krize, dužničke krize u eurozoni, i pandemije COVIDa-19, mnogi nositelji ekonomske politike pokazali su veću zainteresiranost za povezanost različitih tržišta i posljedične efekte na ekonomiju (Jeong i Park, 2018). Iz mikroekonomske perspektive, portfolio menadžeri i investitori žele znati kako postići veću diverzifikaciju portfelja i odabrati optimalnu strategiju za upravljanje rizikom (Boon i Ielpo, 2014). Navedeno izaziva potrebu za istraživanjem alternativnih ulaganja kako bi se diverzificirao rizik povezan s financijskim tržištima. Bai i Green (2010) te Shah i Dar (2021) pokazuju da je diverzifikacija moguća između imovina kod kojih postoji relativno mala međusobna povezanost.

Cilj ovog rada je analizirati prelijevanja volatilnosti između plemenitih metala (zlato, srebro), sirove nafte (WTI, Brent) te deviznih tečajeva (EUR/USD, GBP/USD) da bi se istražila povezanost tržišta te istražio potencijal navedenih imovina za diverzifikaciju portfelja radi smanjenja rizika ulaganja. Korištenjem visoko frekventnih tjednih podataka od 1. siječnja 1988. do 28. kolovoza 2020. analizirana

su ukupna i neto preljevanja volatilnosti. U tu svrhu se primjenjuje metodologija indeksa preljevanja koju su razvili Diebold i Yilmaz (2009, 2012), bazirana na generaliziranom VAR modelu. Indeks preljevanja volatilnosti koji pokazuje da se 25% do 50% varijacija u volatilnosti analiziranih tržišta može objasniti preljevanjem što ukazuje na značajnu integraciju tržišta. Također, analizom pojedinačnih preljevanja volatilnosti može se pokazati da imovine koje su pretežno neto pošiljatelji, odnosno koje su pod najmanjim utjecajem preljevanja volatilnosti, imaju dobar potencijal diverzifikacije rizika portfelja.

Ekonometrijski modeli koji se najčešće koriste za analizu preljevanja volatilnosti su multivarijantni generalizirani modeli uvjetne heteroskedastičnosti – *MGARCH* (engl. *Multivariate Generalised Autoregressive Conditional Heteroscedasticity*) i modeli vektorske autoregresije – *VAR* (engl. *Vector Autoregressive*). Međutim, Diebold i Yilmaz (2009, 2012) predlažu indeks preljevanja volatilnosti unutar VAR modela te pružaju mogućnost detaljnijeg pregleda preljevanja volatilnosti korištenjem statičke i dinamičke analize bazirane na generaliziranoj dekompoziciji varijance prognostičkih grešaka (engl. *Generalized Forecast Error Variance Decomposition – GFEVD*) pa se navedena metodologija koristi u ovom radu.

Rad je strukturiran na sljedeći način: Nakon uvodnog dijela slijedi pregled literature u kojem su navedene stilizirane činjenice i dosadašnji empirijski nalazi o navedenoj problematici. Treći dio rada predstavlja detaljan opis podataka i Diebold-Yilmaz metodologije. U četvrtom dijelu rada predstavljeni su rezultati empirijske analize preljevanja volatilnosti između tržišta dobara i finansijskih tržišta, dok su u petom dijelu sumirani najvažniji zaključci.

2. PREGLED LITERATURE

Analiza odnosa između plemenitih metala i nafte široko je rasprostranjena u empirijskoj literaturi (npr. Sari i sur., 2010, Dilts i Kim, 2011, Robinson, 2019). Mnogi faktori utječu na volatilnost cijena nafte i zlata, a za razliku od klasičnih imovina na finansijskom tržištu (dionice i obveznice), ponašanje tržišnih cijena dobara ima drukčije karakteristike jer na ponudu i potražnju dobara utječu razni procesi (Diebold i sur., 2017). Zlato se smatra tradicionalnim sigurnim utočištem (engl. *safe haven*) za vrijeme ekonomske i finansijske krize, a volatilnost zlata je niža od drugih sirovina, čak i u slučaju naglog pada cijene. S druge strane, nafta je volatilnija te podložnija utjecaju globalnih ekonomskih fluktuacija i geopolitičkih procesa (Li i Su, 2020). Dugoročna povezanost cijena zlata i nafte ukazuje na postojanje zaštitnog mehanizma od fluktuacija u vrijednosti dolara. Povećanje cijene nafte kreira inflatorne pritiske potičući investiranje u zlato koje služi kao

instrument zaštite od inflacije, a cijene nafte tada mogu biti dobri prediktori cijene zlata, i obratno (Narayan i sur., 2010). Isti zaključak donose Chang i Le (2012) naglašavajući da za investitore koji imaju imovinu denominiranu u dolarima u portfelju, nafta i zlato mogu biti bliski supstituti za zaštitu od fluktuacija u vrijednosti dolara.

Postoji sličan trend u kretanju cijena zlata i nafte jer na njih utječu zajednički faktori (tečaj dolara, ekonomske osnove, simultani geopolitički procesi). Promjene u cijeni nafte mogu nastati zbog inflacije, krize, promjena u tečaju i/ili zbog recesije te svi ti faktori utječu i na zlato što objašnjava pozitivnu korelaciju između kretanja njihovih cijena (Zhang i Wei, 2010, Dilts i Kim, 2011, Patanè i sur., 2017, Robinson, 2019). Međutim, kada se cijene zlata mijenjaju zbog promjena u potražnji za nakitom, gomilanja zlatnih rezervi i/ili korištenja zlata kao investicijske imovine, efekt na naftu je vrlo slab (Sari i sur., 2010). Osim toga, cijena zlata pozitivno reagira na šokove u cijeni nafte i negativno na šokove u tečaju dolara, ali reakcije su trenutne i brzo iščezavaju. To dokazuje ažurnost informacija o promjenama cijene nafte i vrijednosti dolara pa ostala tržišta mogu brzo reagirati na njihova kretanja (Chang i Le, 2011). Analiza cijena plemenitih metala (zlato, srebro, platina i paladij) također pokazuje da cijene značajno, ali samo privremeno, reagiraju na šok u bilo kojoj drugoj cijeni metala, nafte i deviznom tečaju (Sari i sur., 2010).

Većina roba i sirovina denominirane su u američkim dolarima pa jačanje dolara dovodi do pada njihovih cijena i obratno. Međutim, u nekolicini istraživanja nije potvrđena dugoročna veza između dolara i cijena zlata i nafte (Sujit i Kumar, 2011, Zhang, 2013). Također, analize VAR modela pokazuju da šok u deviznom tečaju nema značajan utjecaj na promjenu cijene zlata (Robinson, 2019, Sujit i Kumar, 2011) i nafte (Sujit i Kumar, 2011, Fernandez-Perez i sur., 2017), te da tečaj dolara slabo, ali bolje, objašnjava varijacije u cijeni zlata nego u cijeni nafte. S druge strane, na tečaj dolara utječu tržišne cijene dobara. Sujit i Kumar (2011) pokazuju da zlato objašnjava 9%, a nafta 7% (Brent) i 3% (WTI) varijacija u tečaju dolara, a Robinson (2019) da zlato objašnjava čak 55% varijacija u tečaju dolara. Basher i sur. (2012) zaključuju da pozitivan šok u cijeni nafte ima snažan utjecaj na smanjenje tečaja dolara u kratkom roku, dok Fernandez-Perez i sur. (2017) dobivaju dvojake rezultate ali ipak zaključuju da postoji značajan efekt zlata i srebra na tečaj dolara.

U prethodnim istraživanjima analizira se realni efektivni tečaj dolara, ali još od uvođenja eura na financijska tržišta 1999. i sve intenzivnijeg jačanja eurozone, euro postaje druga najvažnija valuta, stoga često autori u analizi koriste samo bilateralni tečaj EUR/USD. Patanè i sur. (2017) zaključuju da cijene nafte mogu dati značajne informacije o očekivanom kretanju tečaja EUR/USD dok Houcine i sur. (2020) zaključuju da EUR/USD uzrokuje kretanje cijena nafte u Grangerovom smislu, ali ne i obratno, te ne pronalaze uzročnu vezu između tečaja i cijene zlata.

Sari i sur. (2010) zaključuju da postoji kratkoročan, snažan utjecaj šokova u deviznom tečaju na promjene cijena metala i nafte ali u dugom roku EUR/USD skoro uopće ne objašnjava varijacije u cijeni nafte, iako objašnjava 9% varijacija u cijeni zlata te 7% u cijeni srebra.

Prethodna istraživanja ne dovode do jednoznačnih rezultata, ali može se zaključiti da su različita tržišta međusobno povezana, stoga i prelijevanje između njih nije neznatno. U svrhu detaljnije analize njihovih uloga u međusobnom prelijevanju volatilnosti, moguće je koristiti naprednije GARCH modele i Diebold-Yilmaz metodologiju. Diebold-Yilmaz metodologija dosta je zastupljena u empirijskoj literaturi (npr. Louzis, 2013, Awartani i Maghyreh, 2013, Liow, 2015), ali većina navedenih istraživanja analizira prelijevanja unutar zasebnih tržišta te rjeđe povezuju više različitih tržišta. Odnosno, autori analiziraju tržište dobara (Chevallier i Ielpo, 2013), plemenitih metala (Batten i sur., 2014, Kang i Yoon, 2016), obveznica (Antonakakis i Vergos, 2013), dionica (Baruník i sur., 2016), devizno tržište (Greenwood-Nimmo i sur., 2016, Dao i sur., 2019). Međutim, postoji mali broj istraživanja koja analiziraju prelijevanja volatilnosti između različitih vrsta tržišta (Antonakakis i Kizys, 2015, Awartani i sur., 2016, Bagheri i Ebrahimi, 2020, Shah i Dar, 2021). Također, u analizama se često koristi samo tečaj dolara, ali rjeđe ostali tečajevi valutnih parova. Najčešće se analizira zlato, ali ne i ostali plemeniti metali te se uglavnom analizira samo WTI, ali ne i Brent cijena nafte.

U ovom radu analiziraju se prelijevanja volatilnosti između više različitih tržišta pomoću Diebold-Yilmaz (2012) metodologije, a u nastavku se može izdvojiti nekoliko najrelevantnijih radova povezanih s ovim istraživanjem koji su koristili navedenu metodologiju.

Analiza tržišta plemenitih metala pokazuje da je ono slabo integrirano i ukupna prelijevanja volatilnosti iznose 18%, a značajnija prelijevanja volatilnosti uočavaju se samo između zlata i srebra međusobno (Batten i sur., 2014). To uočavaju i Antonakakis i Kizys (2015) koji u svoju analizu osim plemenitih metala uključuju naftu i devizne tečajeve te zaključuju da ukupno prelijevanje volatilnosti iznosi 25,7%, najveći neto pošiljatelji prelijevanja volatilnosti su zlato (3,89%) i CHF/USD (6,19%), a najveći neto primatelji nafta (-7,9%) i EUR/USD (-3,39%). Analiza prelijevanja volatilnosti između nafte i više različitih deviznih tečajeva pokazuje da ukupno prelijevanje volatilnosti iznosi 72,96%, najveći neto pošiljatelji su EUR/USD (11,53%) i nafta (8,69%), a EUR/USD je osjetljiviji na fluktuacije u cijeni nafte nego ostali tečajevi (Singh i sur., 2018). U analizi tržišta dobara (tržište kukuruza, soje, pšenice, zlata, srebra i nafte) uz tržište dionica i tečaj EUR/USD, najveći neto pošiljatelji prelijevanja su nafta (55%) i zlato (41%), srebro je uvjerljivo najveći primatelj (-70%), a ukupno prelijevanje volatilnosti iznosi 27,5% (Awartani i sur., 2016). Istu analizu su nedavno izvršili Shah i Dar (2021) bez tečaja EUR/USD te su analizom obuhvatili i razdoblje pandemije Covid-19. Tada

ukupno prelijevanje volatilnosti iznosi 35,81%, a rezultati pokazuju da sva analizirana tržišta imaju podjednaku ulogu pošiljatelja i primatelja ali jedino je srebro neto pošiljatelj prelijevanja (0,94%). Analizom velikog broja tržišta (tržišta dionica, obveznica, sirove nafte, zlata, deviznih tečajeva, kriptovaluta) može se uočiti koliko je snažna povezanost između njih jer se u prosjeku čak 52,09% varijacija u volatilnosti svih analiziranih tržišta može objasniti prelijevanjem (Bagheri i Ebrahimi, 2020) gdje je najveći neto pošiljatelj cijena WTI nafte (1,63%), a zlato je u ovom slučaju neto primatelj (-0,17%).

Pregled literature ukazuje na manjak empirijskih istraživanja koja stavljaju naglasak na prelijevanje volatilnosti između različitih deviznih tečajeva, zlata, srebra i nafte, za što je izrazito prikladna metodologija indeksa prelijevanja Diebolda i Yilmaza (2012).

3. PODACI I METODOLOGIJA

3.1. Podaci

U empirijskoj analizi koriste se tjedni podaci od 01. siječnja 1988. do 28. kolovoza 2020. (1705 promatranja): cijene zlata u dolarima po troy unci (engl. *Gold Spot Prices (USD per troy ounce)*) preuzete od *World Gold Council*¹, cijene srebra u dolarima po unci (engl. *Silver Spot Prices (USD per ounce)*) preuzete od *Investing.com*², WTI cijene nafte u dolarima po barelu (engl. *West Texas Intermediate Spot Prices, Cushing, Oklahoma center (USD per Barrel)*) i Brent cijene nafte u dolarima po barelu (engl. *Europe Brent Spot Prices (USD per Barrel)*) preuzete od *U.S. Energy Information Administration (EIA)*³ te devizni tečajevi EUR/USD i GBP/USD preuzeti s *Investing.com*. Kao što su predložili Hedi Arouri i Khuong Nguyen (2010), u ovoj se studiji koriste tjedni podaci jer se smatra da možda bolje bilježe interakciju promjena analiziranih cijena od dnevnih ili mjesečnih podataka. S jedne strane, upotreba tjednih podataka u analizi umjesto dnevnih podataka može smanjiti potencijalne pristranosti koje mogu nastati, poput nesinkroničnosti dana trgovanja i kupovno-prodajne cjenovne razlike u dnevnim podacima. S druge strane, mjesečni dani mogu imati utjecaja na asimetriju u odgovorima na šokove cijena nafte. Obje referentne cijene nafte – WTI (američko tržište) i Brent (europsko tržište) uključene su u analizu da bi se dobili sveobuhvatniji rezultati. Tjedne

¹ World Gold Council dostupno na: <https://www.gold.org/goldhub/data/gold-prices>.

² Investing.com dostupno na: <https://www.investing.com/currencies/xag-usd>.

³ U.S. Energy Information Administration dostupno na: www.eia.gov.

cijene nafte izračunava EIA pomoću dnevnih cijena (engl. *daily closing spot prices*) računajući njihov nevagani prosjek za taj tjedan.

Za analizu prelijevanja, volatilnost je za sve varijable izračunata kao apsolutna vrijednost povrata (engl. *Absolute Returns*) koja predstavlja alternativu standardnoj devijaciji. Mjera je popularna u empirijskim istraživanjima (npr. Khalifa i sur., 2011, Antonakakis i Kizys, 2015) i jedna je od najčešće korištenih akademskih definicija volatilnosti. Može se primijeniti za podatke bilo koje frekvencije (unutar-dnevne, dnevne, tjedne, mjesečne, kvartalne, godišnje), pruža najstabilnije rezultate s obzirom na različite veličine uzoraka, a izračunava se na sljedeći način:

$$\sigma_t = |R_t| = |p_t - p_{t-1}|$$

gdje je σ_t uvjetna standardna devijacija u vremenu t , R_t je povrat za vremenski period između $t - 1$ i t , a p_t i p_{t-1} su prirodni logaritmi cijena u periodima t i $t - 1$. Stacionarnost svih serija je testirana ADF testom koji je pokazao da su sve varijable stacionarne pri razini značajnosti od 1%.

3.2. Metodologija

U ovom istraživanju primjenjuje se Diebold i Yilmaz (2012) metodologija bazirana na VAR modelu. Diebold i Yilmaz (2009) prvo predstavljaju procjenu ukupnog indeksa prelijevanja dok Diebold i Yilmaz (2012) proširuju svoj prijašnji rad „input-output“ dekompozicijom ukupnih prelijevanja na prelijevanja *od* i *prema* svakoj od varijabli, omogućavajući identifikaciju glavnih primatelja i pošiljatelja šokova. Koriste generaliziranu dekompoziciju varijance (Koop i sur., 1996, Pesaran i Shin, 1998) za razliku od prijašnjeg rada u kojem su koristili Cholesky ortogonalizaciju. Slijedeći rad Diebold i Yilmaz (2012), procjenjuje se VAR model u općem obliku:

$$Y_t = \sum_{i=1}^p \Phi_i Y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (1)$$

gdje je Y_t vektor stupac ($N \times 1$) endogenih varijabli, Φ_i je $N \times N$ matrica koeficijenta i ε_t je $N \times 1$ vektor inovacija (grešaka regresije) s $E(\varepsilon_t) = \mathbf{0}$ i $E(\varepsilon_t, \varepsilon_t') = \Sigma = (\sigma_{ij})$. U VAR modelu je značajna analiza dekompozicije varijance koja pokazuje koliko varijance varijable može biti objašnjeno svojim i šokovima drugih varijabli u istom modelu. Ključna dinamika sustava prikazana je prethodnim modelom u obliku pomičnih prosjeka:

$$Y_t = \sum_{i=0}^{\infty} A_i \varepsilon_{t-i} \quad (2)$$

gdje $N \times N$ matrica koeficijenata A_i predstavlja rekurziju $A_i = \Phi_1 A_{i-1} + \Phi_2 A_{i-2} + \dots + \Phi_p A_{i-p}$. Također, A_0 je $N \times N$ jedinična matrica i $A_i = \mathbf{0}$ za $i < 0$.

Analiza preljevanja provodi se pomoću generalizirane dekompozicije varijance prognostičkih grešaka VAR modela (2). Standardna metoda za dekompoziciju varijance je Cholesky ortogonalizacija (Sims, 1980) gdje je poredak varijabli ključan, međutim, generalizirana dekompozicija varijance eliminira ovisnost rezultata o poretku varijabli. Upravo je generalizirana dekompozicija ključna za procjenu modela u ovome slučaju gdje nije moguće odrediti teorijski opravdan poredak varijabli u modelu. Pesaran i Shin (1998) definiraju H koraka unaprijed generalizirane dekompozicije varijanci prognostičkih grešaka (engl. *H-step-ahead forecast error variance decompositions*):

$$\theta_{ij}^g(H) = \frac{\sigma_{ii}^{-1} \sum_{h=0}^{H-1} (e_i A_h \sum e_j)^2}{\sum_{h=0}^{H-1} (e_i A_h \sum e_i)} \quad (3)$$

gdje je \sum matrica varijanci za vektor grešaka ε , σ_{ii} je standardna devijacija greške relacije *i-te* jednadžbe, a e_i vektor koji ima jedinicu na mjestu *i-tog* elementu i nulu na ostalim. Za izračun indeksa preljevanja (engl. *Spillover Index*), svaki element matrice dekompozicije varijance normaliziran je sa sumom retka:

$$\tilde{\theta}_{ij}^g(H) = \frac{\theta_{ij}^g(H)}{\sum_{j=1}^N \theta_{ij}^g(H)} \text{ pa je } \sum_{j=1}^N \tilde{\theta}_{ij}^g(H) = 1 \text{ i } \sum_{i,j=1}^N \tilde{\theta}_{ij}^g(H) = N.$$

Navedeno omogućava računanje **ukupnog indeksa preljevanja volatilnosti** (engl. *Total Volatility Spillover Index*):

$$TS(H) = \frac{\sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^N \tilde{\theta}_{ij}^g(H)}{\sum_{i,j=1}^N \tilde{\theta}_{ij}^g(H)} \times 100 = \frac{\sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^N \tilde{\theta}_{ij}^g(H)}{N} \times 100 \quad (4)$$

Ukupni indeks preljevanja mjeri udio preljevanja volatilnosti šokova na sve varijable u ukupnoj varijanci prognostičkih grešaka odnosno objašnjava koliko se varijacija u volatilnosti svih analiziranih varijabli može objasniti preljevanjem.

Ovaj pristup omogućuje identifikaciju pošiljatelja i primatelja preljevanja volatilnosti. Mjere se usmjerena (direktna) preljevanja volatilnosti (engl. *Directional Volatility Spillovers*) koja prima varijabla i od svih drugih varijabli j :

$$DS_{i \leftarrow j}(H) = \frac{\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N \tilde{\theta}_{ij}^g(H)}{\sum_{j=1}^N \tilde{\theta}_{ij}^g(H)} \times 100 \quad (5)$$

Također, mjere se prelijevanja volatilnosti koja šalje varijabla i prema svim drugim varijablama j :

$$DS_{i \rightarrow j}(H) = \frac{\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N \tilde{\theta}_{ji}^g(H)}{\sum_{j=1}^N \tilde{\theta}_{ji}^g(H)} \times 100 \quad (6)$$

Konačno, možemo izračunati **neto prelijevanja volatilnosti** (engl. *Net Volatility Spillover*) koje šalje svaka pojedina varijabla i prema svim drugim varijablama j :

$$NS_i(H) = DS_{i \rightarrow j}(H) - DS_{i \leftarrow j}(H) \quad (7)$$

Neto prelijevanja volatilnosti predstavljaju razliku između ukupnih šokova volatilnosti prenesenih na druge varijable i ukupnih šokova volatilnosti primljenih od drugih varijabli te pokazuju koje varijable su neto pošiljatelji, a koje neto primatelji prelijevanja.

Procijenjeni VAR model sadrži 6 varijabli, a optimalan broj pomaka određen je pomoću Akaike informacijskog kriterija (AIC) i iznosi 8. Pri tom broju pomaka ne postoji problem autokorelacije reziduala što je testirano s multivarijantnim Q testom.⁴ Provjera robusnosti promatra osjetljivost rezultata na različite pomake od 2 do 12.

Diebold-Yilmaz (2012) metodologija ima nekoliko značajnih prednosti. Prvo, rezultati ne ovise o poretku varijabli. Drugo, omogućava mjerenje prelijevanja volatilnosti između više dobara na jednom i između različitih tržišta tijekom vremena. Treće, omogućava mjerenje prijenosa šokova i volatilnosti među tržištima u oba smjera te ukupni agregirani utjecaj što pruža više informacija o međusobnim prelijevanjima.

⁴ Proveden je test autokorelacije i normalnosti reziduala VAR modela. Testovi su pokazali da ne postoji problem autokorelacije, ali također ukazuje na činjenicu da reziduali nisu normalno distribuirani. Međutim, kao što su pokazali Lanne i Lütkepohl (2010), normalnost distribucije reziduala nije nužna za procjenu VAR modela.

4. REZULTATI

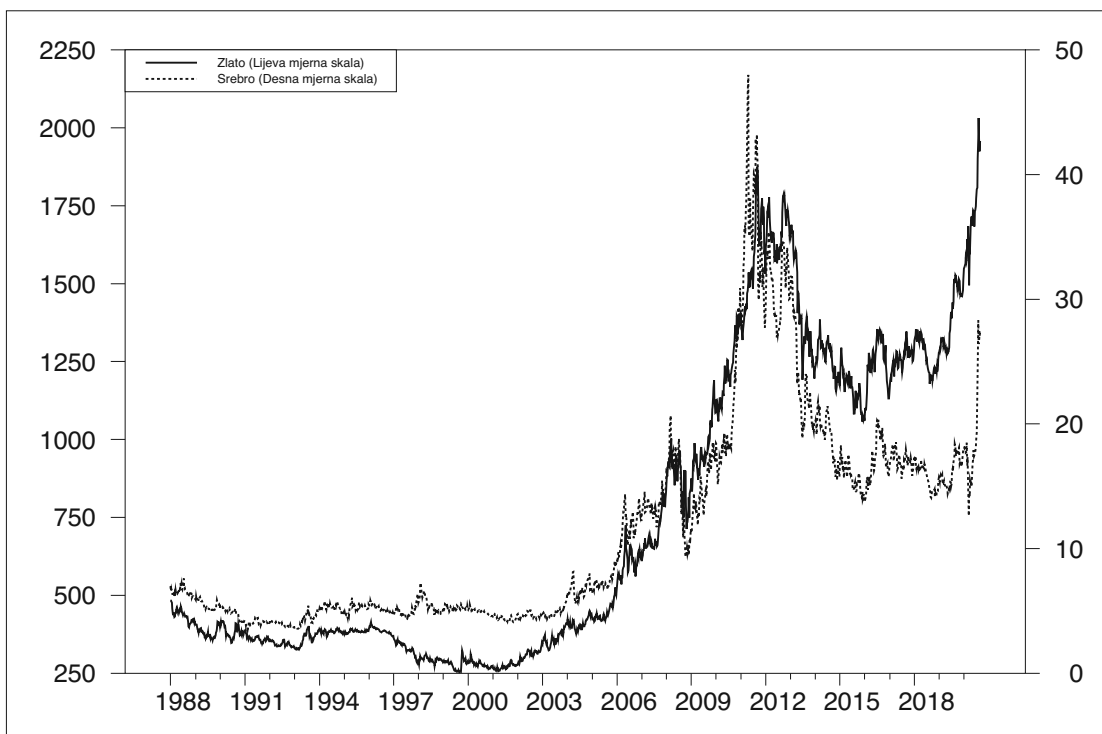
4.1. Volatilnosti analiziranih dobara i deviznih tečajeva

Generalizirani VAR model baziran na Diebold i Yilmaz (2012) metodologiji korišten je za analizu preljevanja volatilnosti između zlata, srebra, sirove nafte (WTI, Brent) i deviznih tečajeva (EUR/USD, GBP/USD). Tjedne volatilnosti varijabli izražene su kao apsolutne vrijednosti povrata, a najveću prosječnu volatilnost ima nafta (WTI 3.38% i Brent 3.32%) te najmanju devizni tečajevi (EUR/USD 1.05% i GBP/USD 1.02%). Volatilnost WTI nafte najviše odstupa od svog prosjeka (6.5%), a volatilnost deviznih tečajeva najmanje (0.9%) te je raspon varijacije uvjerljivo najveći kod WTI nafte.

U nastavku su grafički prikazana kretanja vremenskih serija.

Slika 1.

CIJENE ZLATA I SREBRA (U AMERIČKIM DOLARIMA (\$) PO UNCI)

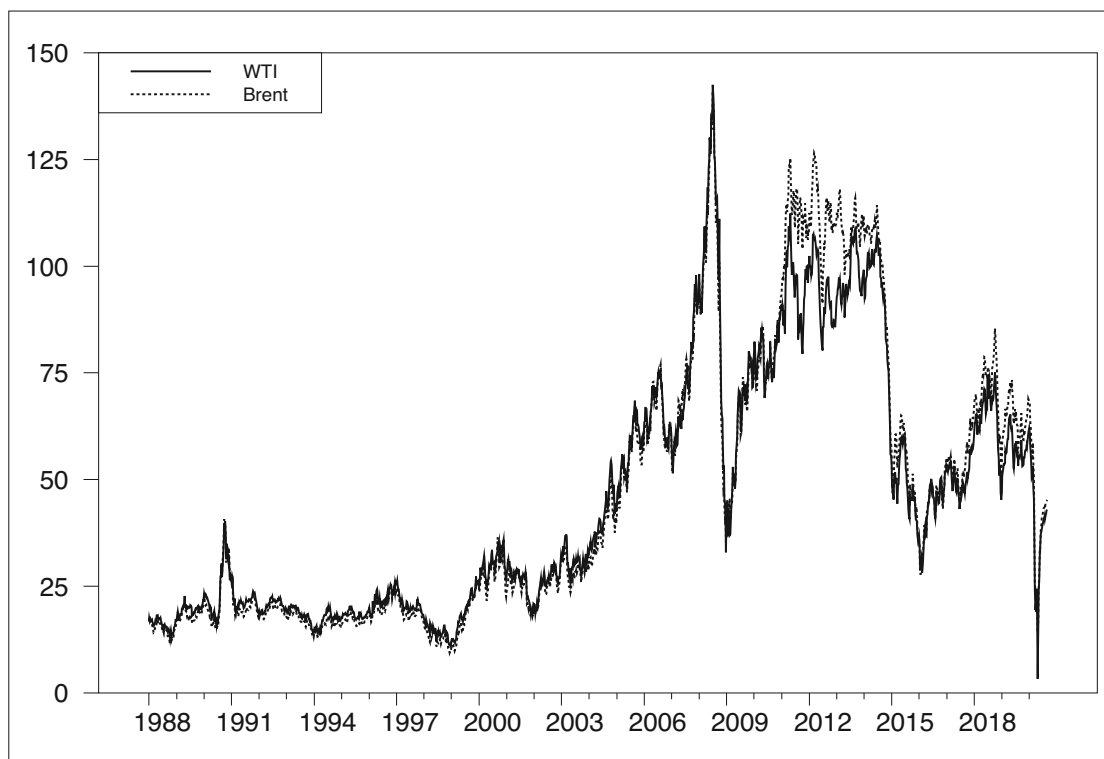


Izvor: autori

Slika 1. prikazuje kretanje cijena plemenitih metala u razdoblju od 01. siječnja 1988. do 28. kolovoza 2020. Cijene su relativno stabilne do 2003. godine nakon čega slijedi ubrzani rast uzrokovan ekspanzijom poslovnog ciklusa globalne ekonomije od 2003.-2008., rastućom potražnjom popraćenom sa sporim odgovorima opskrbe te deprecijacijom dolara. Cijene dosežu vrhunac u 2011. nakon čega slijedi negativan trend do 2016. godine kada je cijena srebra iznosila manje od \$14, a zlata oko \$1000. Značajniji rast započeo je 2019. godine kada je američka središnja banka počela smanjivati kamatne stope, a oštar uspon cijene nastavio se i u 2020. godini kada je globalna situacija uzrokovana pandemijom koronavirusa povećala potražnju za plemenitim metalima koji su poznati kao sigurno utočište u razdobljima ekonomske neizvjesnosti. Cijena zlata raste do rekordne razine preko \$2000 početkom kolovoza 2020. godine. Cijena srebra pratila je kretanje cijene zlata, ali se još uvijek kreće oko 50-tak posto ispod svoje rekordne razine.

Slika 2.

CIJENE SIROVE NAFTE – WTI, BRENT (U AMERIČKIM DOLARIMA (\$) PO BARELU)

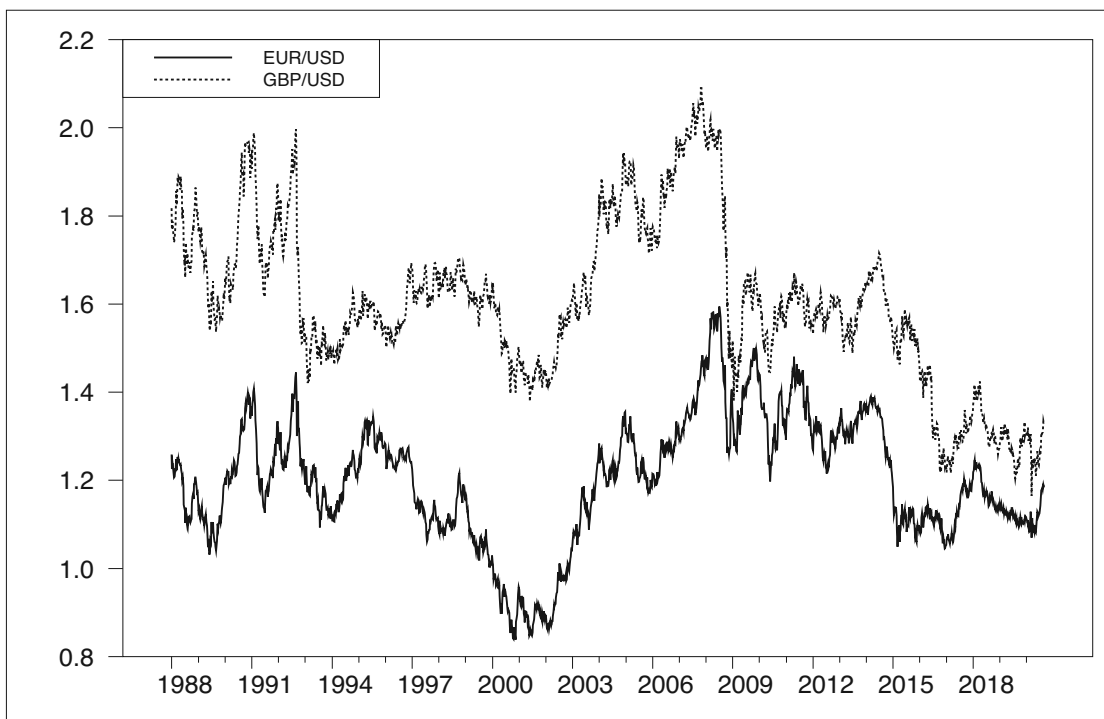


Izvor: autori

Slika 2. prikazuje kretanje cijena WTI i Brent nafte u analiziranom razdoblju. Cijene su relativno stabilne do 2003. nakon čega slijedi ekspanzija do 2008. godine kada nafta skoro dostiže cijenu od \$150. Financijska kriza 2008. godine uzrokovala je nagli pad cijene na približno \$35 uz relativno brzi oporavak sve do 2014. godine. Između 2014. i 2016. godine, globalna ekonomija suočava se s najdužim padom cijene nafte u modernoj povijesti koji je potaknut zasićenjem ponude zbog ogromnih ulaganja u istraživanje i proizvodnju nafte te promjene OPEC-inih politika. Krajem 2016. započinje stabilan rast sve do pojave koronavirusa (COVIDa-19) u Kini krajem 2019. godine. Gašenje gospodarstava, putnih pravaca i obustava transporta uzrokuju katastrofalnu neravnotežu između prekomjerne količine nafte i najvećeg pada potražnje tijekom 25 godina, uz pad cijene WTI nafte ispod \$20 po barelu koja krajem travnja 2020. u jednom danu pada sa približno \$20 na \$-37.63. To predstavlja prvu negativnu vrijednost i najveći jednodnevni pad cijene nafte u povijesti. Brent cijena nafte prati kretanje WTI nafte ali je stabilnija pa nije doživjela toliki pad cijene i cijena nije prešla ispod nule. Nakon travnja, globalna potražnja za naftom malo se oporavila pa su cijene porasle te se u kolovozu 2020. kreću oko \$40.

Slika 3.

DEVIZNI TEČAJEVI (EUR/USD, GBP/USD)



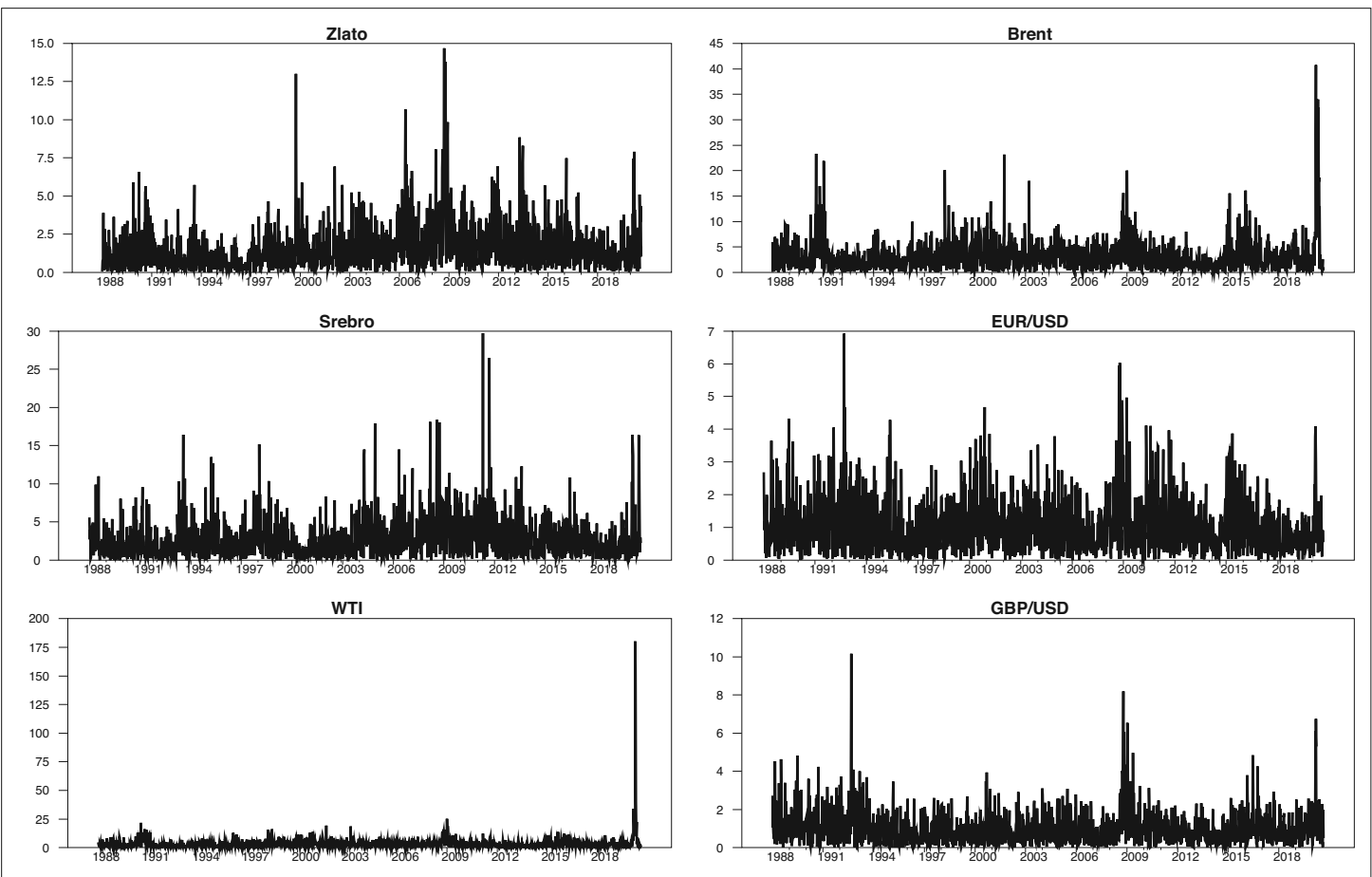
Izvor: autori

Slika 3. prikazuje kretanje deviznih tečajeva eura i britanske funte u razdoblju od 01. siječnja 1988. do 28. kolovoza 2020. EUR/USD i GBP/USD su pozitivno korelirani, a tu kretanje američkog dolara ima veliku ulogu. Također, s obzirom da indeks američkog dolara predstavlja vrijednost dolara u odnosu na košaricu šest glavnih stranih valuta u kojoj euro ima najveći udio (58%), između indeksa američkog dolara i tečaja eura postoji jaka negativna korelacija. S druge strane, deprecijacija tečaja dolara pridonosi jačanju cijena zlata i nafte budući da robe denominirane u dolarima čini jeftinijima za kupce koji kupuju sa snažnijim valutama.

Na slikama 4. i 5. u nastavku grafički su prikazana kretanja tjednih volatilnosti dobara i deviznih tečajeva te pripadajućih stopa povrata.

Slika 4.

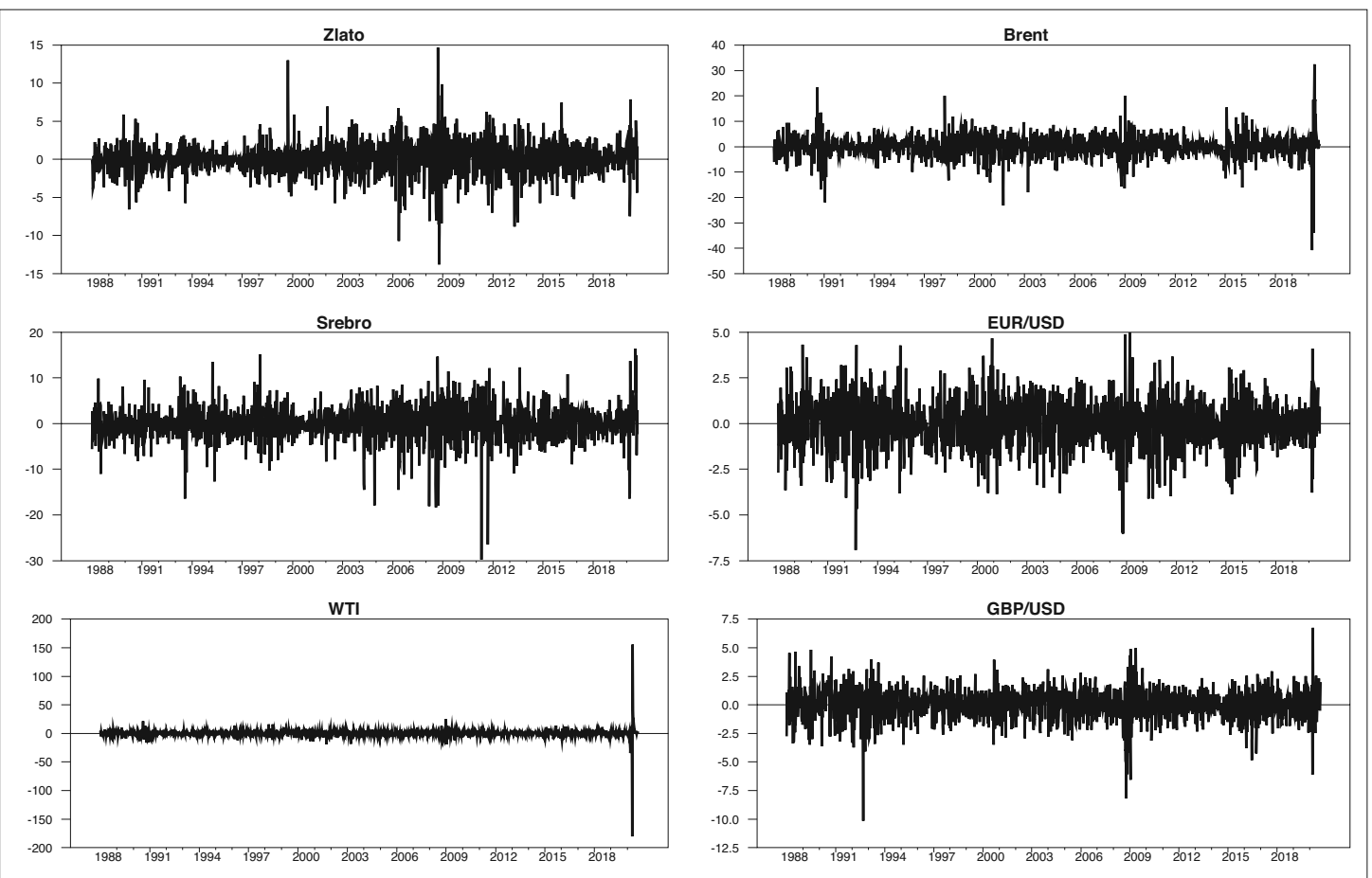
TJEDNE VOLATILNOSTI U POSTOCIMA (%)



Izvor: autori

Slika 5.

STOPE POVRATA (%)



Izvor: autori

Volatilnost zlata kreće se između 2.5% i 7.5% s ekstremom od 15% tijekom globalne krize 2008./2009., a srebra između 5% i 15%. s ekstremom od 30% u 2011. godini. Prosječna tjedna volatilnost zlata u promatranom razdoblju iznosi 1,56%, a srebra 2,69%, a prosječna stopa prinosa za zlato i srebro približno je jednaka i iznosi 0,08%. Nafta je ipak volatilnija i kreće se između 5% i 25% te doseže vrhunac u 2020. godini kada je tjedna volatilnost WTI nafte u travnju prešla 175%, a Brent nafte 40%. Devizni tečajevi su stabilniji i manje volatilniji te se volatilnost tečaja eura kreće između 1% i 5%, a tečaja britanske funte između 2% i 4%. Kretanja volatilnosti potvrđuju prethodno opisana događanja na globalnim tržištima.

4.2. Rezultati prelijevanja volatilnosti

U nastavku slijede rezultati prelijevanja volatilnosti. Rezultati generalizirane dekompozicije varijance prognostičkih grešaka prikazani su u nastavku, s prognostičkim horizontom od 1, 2 i 24 tjedna (6 mjeseci).

Tablica 2.

GENERALIZIRANE DEKOMPOZICIJE VARIJANCI (GFEVD)

Generalizirana dekompozicija varijance za volatilnost zlata							
Tjedni	Std. greška	Zlato	Srebro	WTI	BRENT	EUR/USD	GBP/USD
1	0.01202806	99.612	0.104	0.013	0.060	0.206	0.005
2	0.01422178	73.146	21.527	0.019	0.339	2.552	2.416
24	0.01558250	68.275	24.777	0.342	0.908	2.812	2.886
Generalizirana dekompozicija varijance za volatilnost srebra							
Tjedni	Std. greška	Zlato	Srebro	WTI	BRENT	EUR/USD	GBP/USD
1	0.02627777	0.099	94.483	0.002	0.177	2.967	2.274
2	0.02647958	0.105	93.672	0.018	0.199	3.065	2.941
24	0.02780424	1.677	91.049	0.221	0.908	3.162	2.983
Generalizirana dekompozicija varijance za volatilnost WTI nafte							
Tjedni	Std. greška	Zlato	Srebro	WTI	BRENT	EUR/USD	GBP/USD
1	0.05310466	0.010	0.001	79.802	20.022	0.152	0.012
2	0.05993666	0.009	0.066	81.591	18.176	0.121	0.036
24	0.07130294	0.893	4.416	60.188	27.931	0.990	5.582

Generalizirana dekompozicija varijance za volatilnost Brent nafte							
Tjedni	Std. greška	Zlato	Srebro	WTI	BRENT	EUR/USD	GBP/USD
1	0.03183516	0.048	0.148	19.980	79.277	0.468	0.168
2	0.03258177	0.186	1.114	20.713	77.141	0.449	0.398
24	0.03703432	1.081	3.073	20.215	72.547	1.093	1.990
Generalizirana dekompozicija varijance za volatilnost EUR/USD tečaja							
Tjedni	Std. greška	Zlato	Srebro	WTI	BRENT	EUR/USD	GBP/USD
1	0.00929653	0.165	2.506	0.152	0.472	79.810	16.895
2	0.00935295	0.244	2.642	0.182	0.704	79.244	16.984
24	0.00969686	0.597	3.372	0.388	1.412	76.957	17.274
Generalizirana dekompozicija varijance za volatilnost GBP/USD tečaja							
Tjedni	Std. greška	Zlato	Srebro	WTI	BRENT	EUR/USD	GBP/USD
1	0.00946656	0.004	1.944	0.012	0.172	17.098	80.770
2	0.00958057	0.041	1.984	0.015	0.563	17.130	80.267
24	0.01004302	1.131	3.322	0.143	0.896	17.830	76.679

Izvor: Izračun autora

Tablica 2. prikazuje dekompozicije varijanci za volatilnost zlata, srebra, nafte i deviznih tečajeva. Plemeniti metali i nafta kratkoročno su pod vrlo malim utjecajem preljevanja volatilnosti jer zlato, srebro i nafta pokazuju vrlo visoke postotke varijacije objašnjene vlastitim promjenama. Tako u prvom tjednu nakon šoka zlato objašnjava 99% svoje varijacije, srebro 95% dok WTI i Brent cijene nafte oko 80% varijacije. Rezultati za duže razdoblje od 24 tjedna jasno pokazuju kako su za objašnjavanje varijacije cijena zlata važna preljevanja volatilnosti srebra (25%), ali i deviznih tečajeva. Srebro je s druge strane najstabilnije po tom pitanju, jer se nakon 6 mjeseci i dalje 91% varijacije u cijeni srebra može objasniti vlastitim šokovima. Preljevanja šokova zlata i deviznih tečajeva imaju ograničenu važnost za objašnjavanje varijacije cijene srebra. Dekompozicija varijance cijena nafte pokazuje da su nakon šest mjeseci najznačajnija preljevanja između WTI i Brent cijene nafte, dok volatilnost tečaja GBP/USD objašnjava oko 5% varijacije WTI nafte, a srebro oko 4%. S druge strane, vidljiva su značajna preljevanja među deviznim tečajevima eura i britanske funte, jer su već u prvom tjednu nakon nastanka šoka preljevanja volatilnosti tečajeva prilično značajna. U prvom tjednu nakon nastanka šoka, oko 17% varijacije tečaja EUR/USD se može objasniti tečajem GBP/USD i obratno. Međutim, čak i nakon šest mjeseci tečajevi samostalno objašnjavaju oko 77% vlastite varijacije.

Tablica 3. predstavlja tablicu preljevanja volatilnosti u kojoj je prikazan ukupni indeks preljevanja volatilnosti i njegova „input-output“ dekompozicija na

usmjerena prelijevanja. U retku neto prelijevanja izračunata je razlika između prelijevanja usmjerenih prema drugima i prelijevanja primljena od drugih.

Tablica 3.

PRELIJEVANJA TJEDNIH VOLATILNOSTI

	Zlato	Srebro	WTI	BRENT	EUR/ USD	GBP/ USD	Od drugih
Zlato	68.28	24.78	0.34	0.91	2.81	2.89	31.7
Srebro	1.68	91.05	0.22	0.91	3.16	2.98	9.0
WTI	0.89	4.42	60.19	27.93	0.99	5.58	39.8
BRENT	1.08	3.07	20.22	72.55	1.09	1.99	27.5
EUR/USD	0.60	3.37	0.39	1.41	76.96	17.27	23.0
GBP/USD	1.13	3.32	0.14	0.90	17.83	76.68	23.3
Prema drugima	5.4	39.0	21.3	32.1	25.9	30.7	154.3
Uključujući vlastite	73.7	130.0	81.5	104.6	102.8	107.4	25.7%
Neto prelijevanja	-26.3	30.0	-18.5	4.6	2.9	7.4	

Izvor: Izračun autora

Rezultati u tablici 3. pokazuju da ukupno prelijevanje volatilnosti iznosi 25.7%, odnosno da se u prosjeku 26% varijacija u volatilnosti svih analiziranih cijena dobara (zlata, srebra, nafte i deviznih tečajeva) može objasniti prelijevanjem.

Analiza ukupnih prelijevanja usmjerenih prema drugima pokazuje da su najveći pošiljatelji srebro (39%) i Brent nafta (32.1%), a najmanji WTI nafta (21.3%) i zlato (5.4%). Također, ukupna prelijevanja primljena od drugih najveća su kod WTI nafte (39.8%) i zlata (31.7%), a najmanja kod srebra (9%).

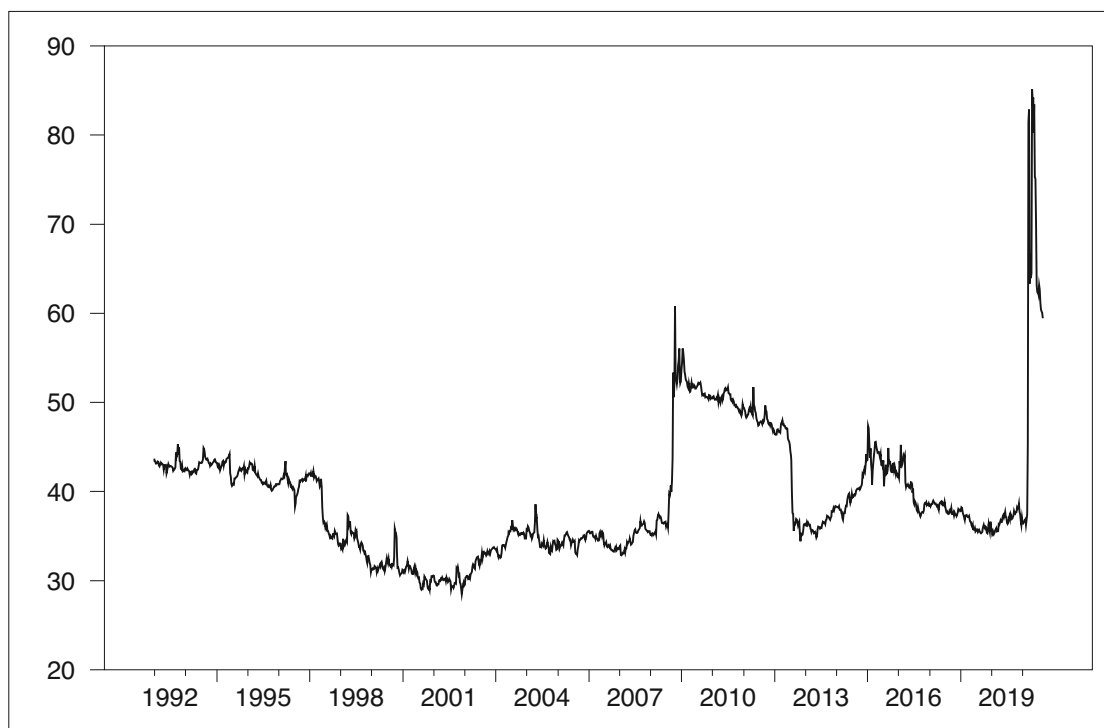
Analiza neto prelijevanja volatilnosti pokazuje da su najveći neto pošiljatelji srebro (30%) i GBP/USD (7.4%), a najveći neto primatelji zlato (-26.3%) i WTI nafta (-18.5%). Očigledno se kretanja na tržištu srebra dosta značajno prelijevaju na ostala dobra, posebice zlato te na njega najmanje utječu prelijevanja sa ostalih tržišta, na što ukazuje rezultat da je srebro najveći neto pošiljatelj od svih. Iz toga proizlazi zaključak da srebro može služiti kao važna imovina za diverzifikaciju rizika portfelja koji se sastoji od plemenitih metala, deviznih tečajeva i nafte. Dobiveni rezultati mogu se usporediti s istraživanjima koji su analizirali slična tržišta, pa

tako Antonakakis i Kizys (2015) također zaključuju da ukupno prelijevanje volatilnosti iznosi 25,7%, Awartani i sur. (2016) 27,5%, Shah i Dar (2021) zaključuju da iznosi 35,81% te Bagheri i Ebrahimi (2020) 52,09%. Međutim, pojedini zaključci o neto pošiljateljima i primateljima su u suprotnosti s navedenim istraživanjima. Dok Antonakakis i Kizys (2015) također zaključuju da je nafta najveći primatelj volatilnosti, Awartani i sur. (2016) te Bagheri i Ebrahimi (2020) zaključuju da je najveći pošiljatelj. Također, Antonakakis i Kizys (2015) te Awartani i sur. (2010) zaključuju da je zlato neto pošiljatelj, što je u suprotnosti s rezultatima ovog rada, dok s druge strane Bagheri i Ebrahimi (2020) te Shah i Dar (2021) zaključuju da je neto primatelj. Srebro je uvjerljivo najveći neto pošiljatelj u ovom radu, dok Awartani i sur. (2016) dolaze do potpuno suprotnog zaključka. S druge strane, Antonakakis i Kizys (2015) te Bagheri i Ebrahimi (2020) zaključuju da je srebro neto pošiljatelj, a Shah i Dar (2021) da je srebro čak jedini neto pošiljatelj među analiziranim tržištima iako je neto prelijevanje malo (0,94%).

Slike 6. i 7. u nastavku prikazuju dinamičke prijenose volatilnosti kroz vrijeme bazirane na analizi pomičnih prosjeka, pri čemu se promatra prosjek 200 tjedana.

Slika 6.

UKUPNO PRELIJEVANJE VOLATILNOSTI



Izvor: autori

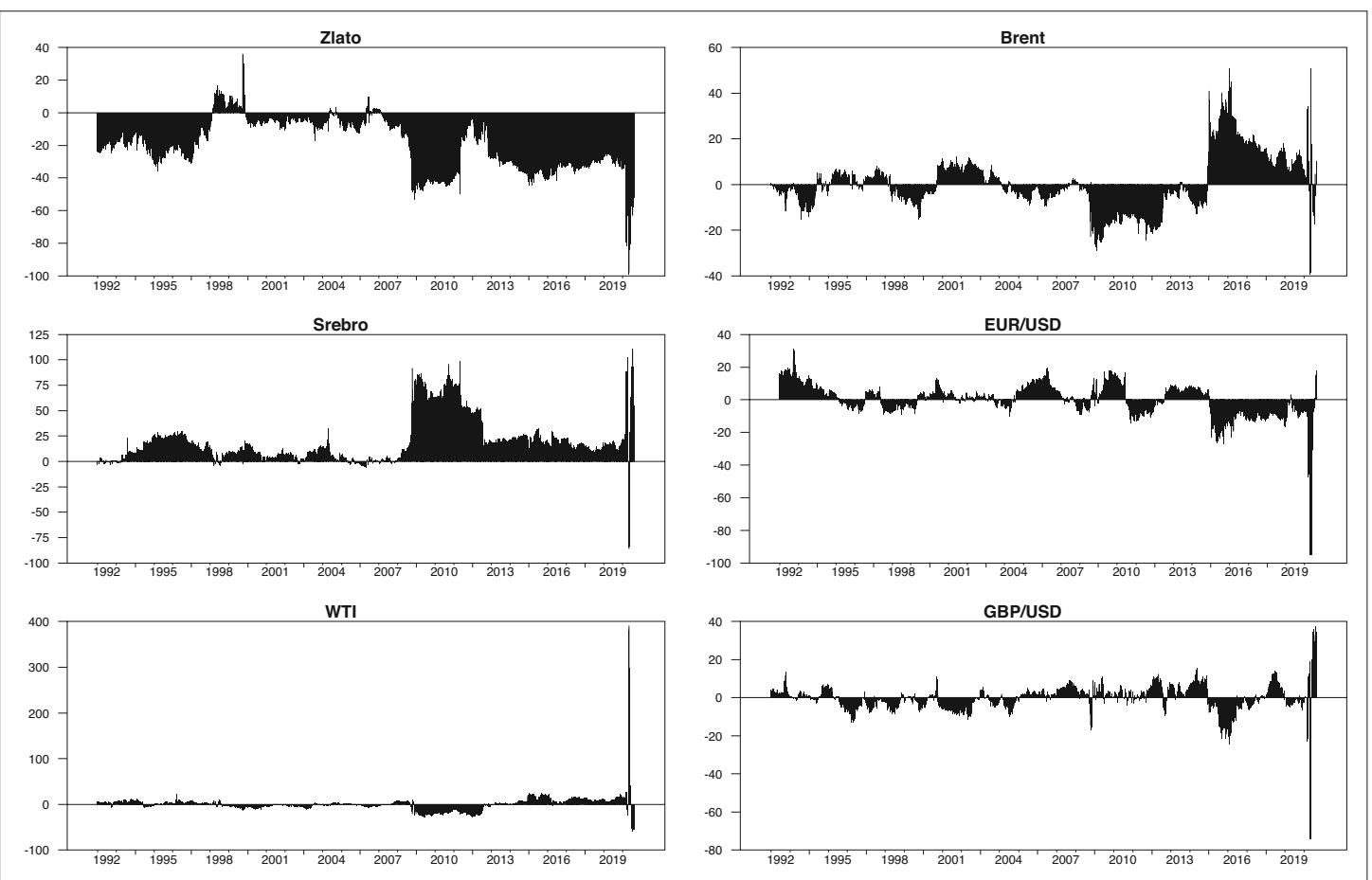
Na slici 6. je prikazano ukupno preljevanje volatilnosti koje se tijekom analiziranog perioda kreće između 30% i 50% uz značajni skok vidljiv tijekom globalne finansijske krize i dužničke krize u eurozoni kada je ukupno preljevanje iznosilo oko 60% nakon čega se stabiliziralo sve do 2020. godine. Od početka 2020. do kolovoza 2020. godine, za vrijeme pandemije COVIDa-19, ukupno preljevanje volatilnosti imalo je oštri skok na više od 80%. Navedeno pokazuje da postoji poprilična integracija različitih tržišta, pogotovo u razdobljima ekonomske nestabilnosti.

Prikaz neto preljevanja volatilnosti kroz vrijeme na slici 7. u nastavku može razjasniti dobivene rezultate u prethodno prikazanoj tablici preljevanja volatilnosti. Vidljivo je da je u analiziranom razdoblju srebro uvjerljivo najveći i najkonzistentniji neto pošiljatelj dok je zlato većinom neto primatelj preljevanja volatilnosti. Također, WTI i Brent nafta naizmjenično imaju uloge pošiljatelja i primatelja volatilnosti dok nakon 2015. preuzimaju pretežno ulogu pošiljatelja.

Također, slika 8. u nastavku prikazuje neto preljevanja volatilnosti između svih parova koja pruža uvid u detaljniju analizu preljevanja. Zlato je najveći neto primatelj preljevanja, a ovdje je vidljivo da je to najočitije u odnosu sa srebrom, EUR/USD i GBP/USD gdje su oni većinom pošiljatelji preljevanja. Srebro je većinom pošiljatelj u odnosu sa zlatom te su preljevanja sa deviznih tržišta značajno manja nego kod zlata. Izražajna uloga neto primatelja WTI i Brent nafte u odnosu sa EUR/USD i GBP/USD vidljiva je neposredno nakon finansijske krize 2008. godine s iznimkom od posljednjih par godina te je u 2020. godini za vrijeme pandemije COVIDa-19 vidljivo značajno preljevanje volatilnosti nafte na sva ostala tržišta.

Slika 7.

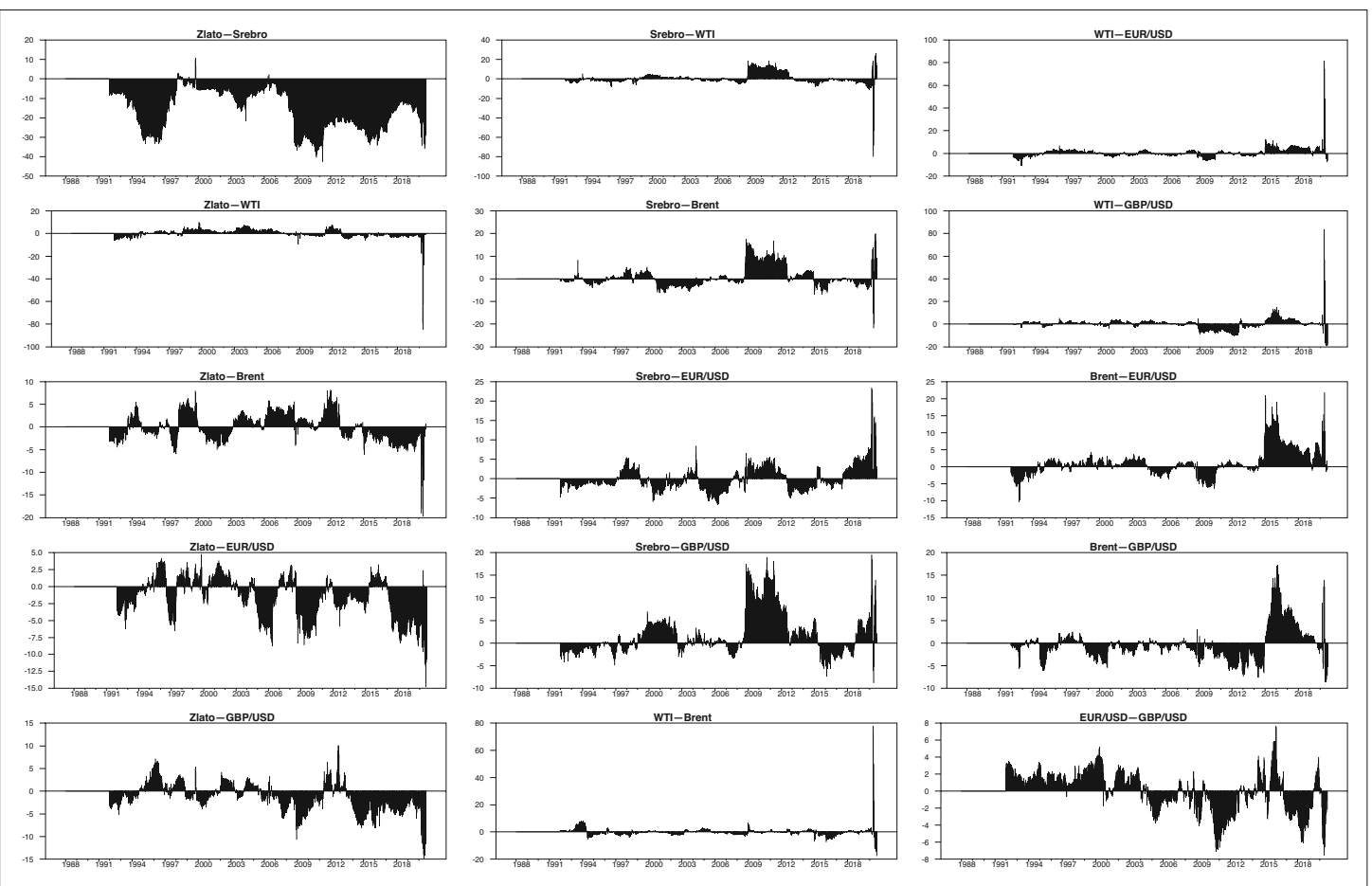
NETO PREILJEVANJA VOLATILNOSTI



Izvor: autori

Slika 8.

NETO MEDUSOBNA PRELJEVANJA VOLATILNOSTI



Izvor: autori

4.3. Provjera robusnosti dobivenih rezultata

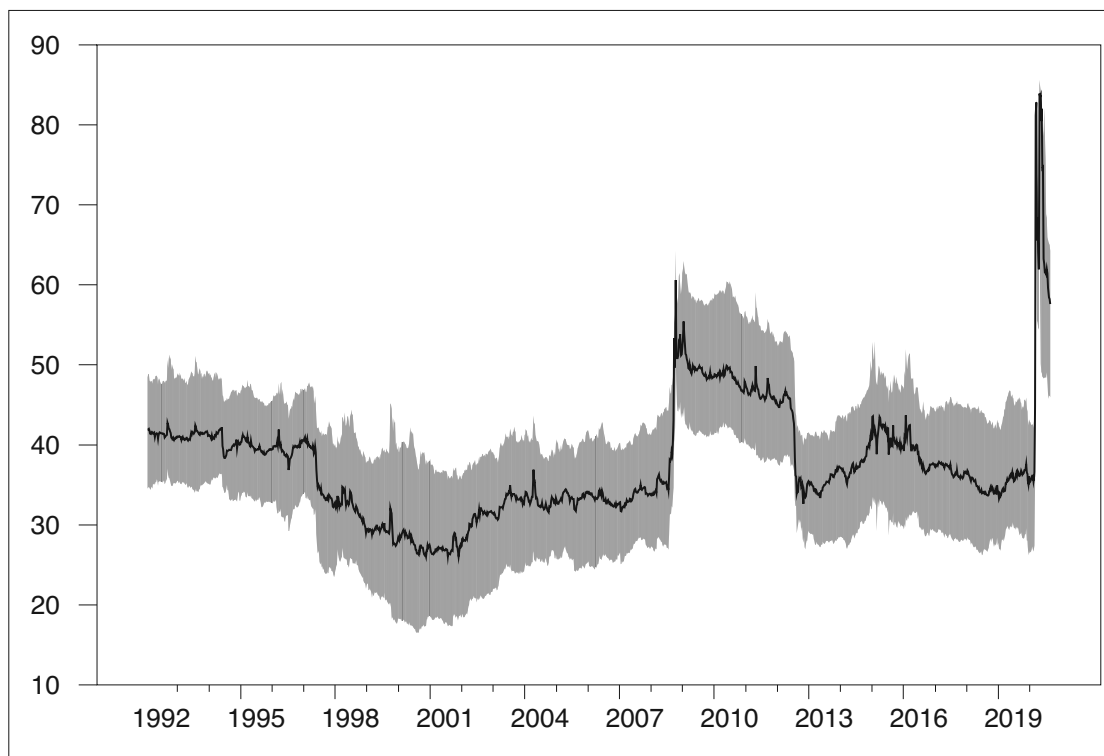
Analiza osjetljivosti ukupnog indeksa prelijevanja napravljena je u odnosu na odabir pomaka u VAR modelu računanjem indeksa prelijevanja za pomake 2 do 12 s istim horizontom prognoze (24). Isto tako, procjenjuje se analiza osjetljivosti ukupnog indeksa prelijevanja na odabir horizonta prognoze računanjem indeksa prelijevanja za horizont od 4 tjedna (mjesec dana) do 24 tjedna (šest mjeseci) VAR modela sa 8 pomaka.

Slika 9.

ANALIZA OSJETLJIVOSTI INDEKSA PRELIJEVANJA NA ODABIR POMAKA U VAR MODELU

Broj pomaka: 2-12

Horizont: 24 tjedna



Izvor: autori

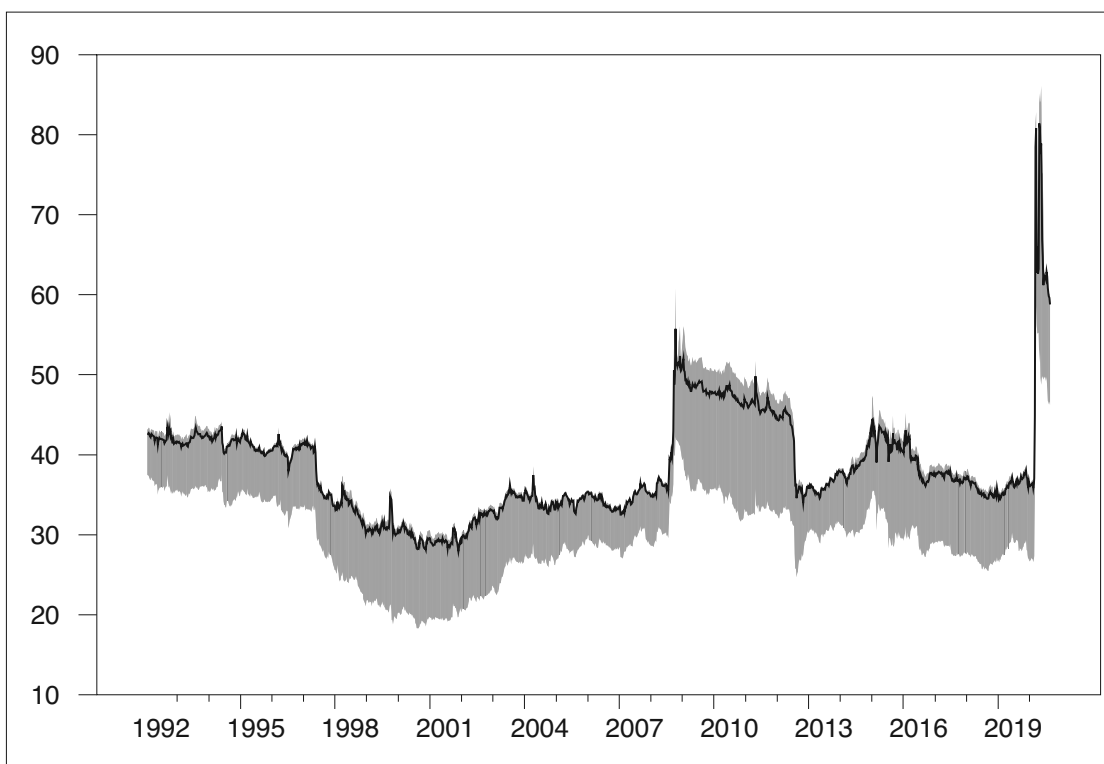
Analiza osjetljivosti pokazuje da indeks ukupnog prelijevanja nije osjetljiv na odabir broja pomaka (slika 9), jer su prikazani intervali pouzdanosti u razumnom rasponu oko vrijednosti dobivene VAR modelom sa osam pomaka. Također, raspon intervala pouzdanosti se značajnije ne mijenja kroz vrijeme.

Slika 10.

ANALIZA OSJETLJIVOSTI INDEKSA PRELIJEVANJA NA ODABIR HORIZONTA PROGNOZE

Horizont: 4-24 tjedna

Broj pomaka: 8



Izvor: autori

Analiza osjetljivosti pokazuje da indeks ukupnog prelijevanja nije osjetljiv na odabir prognostičkog horizonta (slika 10.), osim tijekom perioda globalne financijske krize i dužničke krize u eurozoni kada je interval procjene nešto širi.

Treća provjera robusnosti je dodavanje sinus i kosinus funkcije u obliku fleksibilne Fourierove funkcije koja služi kako bi kontrolirala za nepoznat broj po-

stepenih strukturnih prekida. Stoga se ova provjera robusnosti odnosi na analizu osjetljivosti na strukturne prekide. Korištenje Fourierove funkcije popularizirano je u radovima Enders i Lee (2012) te Becker i sur. (2006) koji razvijaju testove jediničnog korijena kao i Banerjee i sur. (2017) gdje se Fourierova funkcija koristi pri testiranju kointegracije. Arčabić i Škrinjarić (2021) proširuju Diebold i Yilmaz (2012) indeks preljevanja s Fourierovom funkcijom kako bi kontrolirali za strukturne prekide u analizi preljevanja poslovnih ciklusa.

VAR model je modificiran na način da se deterministički član koji se u izvornom obliku sastoji od konstante proširi s fleksibilnom Fourierovom funkcijom sljedećeg oblika:

$$d(t) = \gamma_0 + \sum_{f=1}^q \gamma_{1,f} \sin\left(\frac{2\pi ft}{T}\right) + \sum_{f=1}^q \gamma_{2,f} \cos\left(\frac{2\pi ft}{T}\right) \quad (8)$$

gdje je f pojedinačna frekvencija Fourierove funkcije $f = 1, 2, \dots, 5$, dok je $q = 2, 3, \dots, 5$ kumulativna frekvencija, odnosno broj pojedinačnih frekvencija uključenih u model. Oznake t i T predstavljaju redom određeno promatranje i ukupan broj promatranja. Koeficijenti γ_0 , $\gamma_{1,f}$ i $\gamma_{2,f}$ su koeficijenti iz VAR modela procijenjeni OLS metodom. Oni omogućavaju Fourierovoj funkciji da se prilagodi podacima te na taj način kontrolira za strukturne prekide. U slučaju bez Fourierove funkcije svi koeficijenti osim γ_0 su jednaki 0 te tada deterministički član VAR modela sadrži samo konstantu.

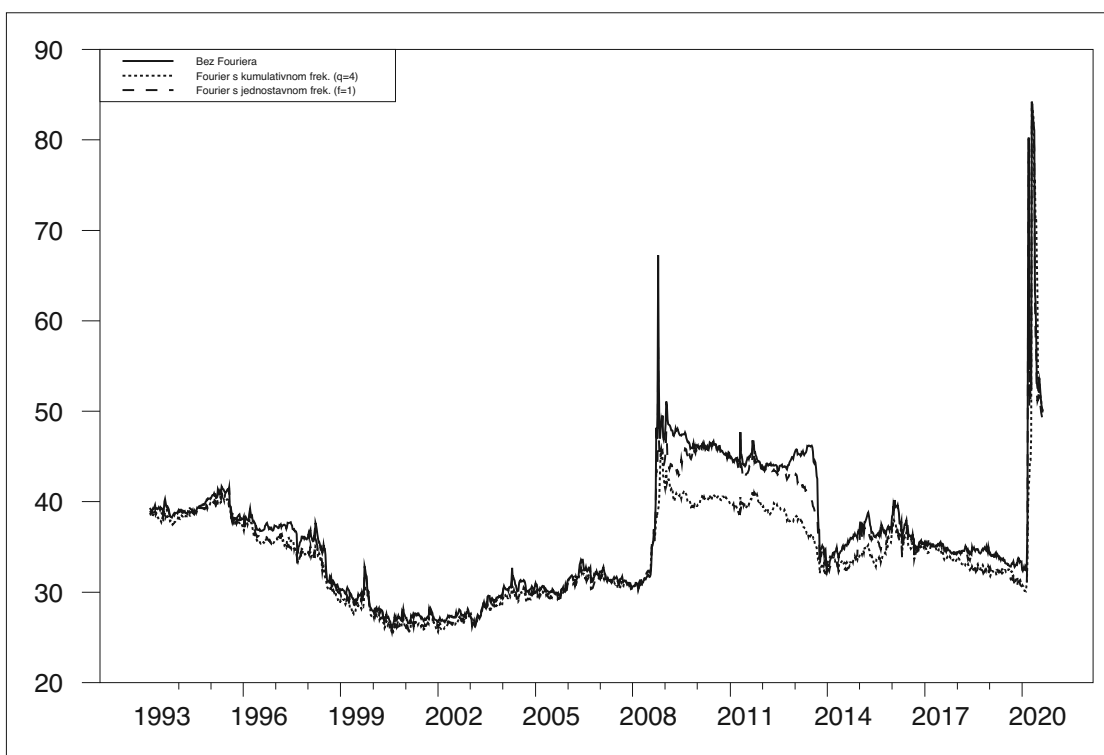
Korištenjem Akaikeovog informacijskog kriterija, ustanovljeno je kako se preferira model s jednostavnom frekvencijom 1 te s kumulativnom frekvencijom 4 dok Schwarzov informacijski kriterij preferira model bez dodane Fourierove funkcije. Na slici 11. su prikazana tri indeksa preljevanja, originalni bez Fourierove funkcije, onaj s kumulativnom Fourierovom funkcijom ($q = 4$), te indeks s jednostavnom Fourierovom funkcijom ($f = 1$).

Slika 11.

ANALIZA OSJETLJIVOSTI INDEKSA PRELIJEVANJA
NA DODAVANJE FOURIEROVE FUNKCIJE

Horizont: 24 tjedna

Broj pomaka: 8



Izvor: autori

Rezultati pokazuju kako nema značajnije razlike između tri modela osim tijekom perioda globalne finansijske krize i dužničke krize u eurozoni (2008. – 2012.). Modeli s Fourierovom funkcijom u tom periodu kontroliraju za izražene strukturne prekide te zbog toga ukazuju na znatno manja preljevanja u odnosu na originalni indeks koji ignorira strukturne prekide. Razlika je posebno uočljiva kod modela s kumulativnom Fourierovom funkcijom koji izrazito dobro kontrolira strukturni prekid izazvan dvama uzastopnim recesijama te ukazuje na manja prosječna preljevanja šokova u tom periodu. Budući da ostatak promatranog perioda nema značajnijih razlika između tri modela, može se zaključiti kako je indeks preljevanja robustan.

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu su analizirana prelijevanja volatilnosti između zlata, srebra, sirove nafte (WTI, Brent) te deviznih tečajeva EUR/USD i GBP/USD u razdoblju od 01. siječnja 1988. do 28. kolovoza 2020. Generalizirani VAR model baziran na Diebold i Yilmaz (2012) metodologiji korišten je za izračun ukupnih, usmjerenih (direktnih) i neto prelijevanja volatilnosti. Rezultati analize pokazuju da ukupno prelijevanje tjednih volatilnosti iznosi 25.7%, što znači da se u prosjeku 25.7% varijacije volatilnosti svih analiziranih tržišta (zlata, srebra, nafte i deviznih tečajeva) može objasniti prelijevanjem, ali se preostalih 74.3% objašnjava vlastitim šokovima. Međutim, dinamičkom analizom prelijevanja kroz vrijeme može se primijetiti da tijekom kriznih razdoblja (kao što su globalna financijska kriza, dužnička kriza u eurozoni te razdoblje pandemije COVIDa-19), prelijevanja iznose i preko 60% pa se može zaključiti da je povezanost tržišta u navedenim periodima još veća čime se dokazuje da postoji dobra integracija između tržišta. Empirijski rezultati pokazuju i da je najveći neto pošiljatelj srebro i da na njega najmanje utječu prelijevanja sa financijskih tržišta. S obzirom na to, može se zaključiti da srebro predstavlja važnu imovinu i ima dobar potencijal pri diverzifikaciji rizika u dužem vremenskom periodu, iako zlato bolje čuva vrijednost u vremenima recesija i manje je volatilnije u odnosu na srebro. Također, prelijevanja volatilnosti tečaja EUR/USD na cijene dobara kroz vrijeme nisu neznatna što se može objasniti utjecaju aprecijacijskih i deprecijacijskih kretanja američkog dolara koji su obuhvaćeni deviznim tečajem EUR/USD. Međutim, analiza pokazuje da je prelijevanje volatilnosti tečaja ipak veće za cijenu zlata nego srebra. Zaključno, portfelji koji se sastoje od financijskih imovina, plemenitih metala te ostalih dobara mogu se povezati s nižim rizikom ulaganja, a u tom slučaju je važno odabrati imovine koje mogu dodatno smanjiti rizik. S obzirom na to, navedeni rezultati imaju korisne implikacije za investitore pri njihovom odabiru imovina u portfelju te sugeriraju da bi srebro bilo značajno za diverzifikaciju.

Istraživanje se može proširiti analizom diverzifikacijskog potencijala većeg raspona dobara i financijskih imovina, kao što su ostali plemeniti metali, dionice, obveznice i kriptovalute. Također, sudionici na tržištu su heterogeni s obzirom na vremenski horizont donošenja investicijskih odluka pa bi bilo korisno istražiti perzistentnost šokova između ovih tržišta analizom različitih frekvencija.

LITERATURA

1. Antonakakis, N. i Vergos, K. (2013). Sovereign bond yield spillovers in the Euro zone during the financial and debt crisis. *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 26, 258-272.
2. Antonakakis, N. i Kizys, R. (2015). Dynamic spillovers between commodity and currency markets, *International Review of Financial Analysis*, 41, 303-319.
3. Arčabić, V. i Škrinjarić, T. (2021). Sharing is caring: Spillovers and synchronization of business cycles in the European Union. *Economic Modelling*, 96, 25-39.
4. Hedi Aroui, M. E. i Khuong Nguyen, D. (2010). Oil prices, stock markets and portfolio investment: Evidence from sector analysis in Europe over the last decade. *Energy Policy*, 38(8), 4528–4539. doi:10.1016/j.enpol.2010.04.007
5. Awartani, B. i Maghyreh, A. I. (2013). Dynamic spillovers between oil and stock markets in the Gulf Cooperation Council Countries. *Energy Economics*, 36, 28-42.
6. Awartani, B., Aktham, M. i Cherif, G. (2016). The connectedness between crude oil and financial markets: Evidence from implied volatility indices. *Journal of Commodity Markets*, 4(1), 56–69. doi:10.1016/j.jcomm.2016.11.002
7. Bagheri, E. i Ebrahimi, S.B. (2020). Estimating Network Connectedness of Financial Markets and Commodities. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 29, 572-589.
8. Banerjee, P., Arčabić, V. i Lee, H. (2017). Fourier ADL cointegration test to approximate smooth breaks with new evidence from crude oil market. *Economic Modelling*, 67, 114-124.
9. Baruník, J., Kočenda, E. i Vácha, L. (2016). Asymmetric connectedness on the US stock market: Bad and good volatility spillovers. *Journal of Financial Markets*, 27, 55-78.
10. Basher S. A., Haug A. i Sadorsky P. (2012). Oil prices, exchange rates and emerging stock market. *Energy Economics*, 34(1), 227-240.
11. Batten, J. A., Ciner, C. i Lucey, B. M. (2014). Which precious metals spill over on which, when and why? Some evidence. *Applied Economics Letters*, 22(6), 466–473.
12. Becker, R., Enders, W. i Lee, J. (2006). A stationarity test in the presence of an unknown number of smooth breaks. *Journal of Time Series Analysis*, 27(3), 381-409.

13. Boon L.N. i Ielpo F. (2014). Determining the maximum number of uncorrelated strategies in a global portfolio. *Journal of Alternative Investments*, 16(4), 8.
14. Chang, Y. i Le, T. H. (2011). Oil and gold prices: Correlation or causation?. *Economic Growth Centre Working Paper Series 1102*, Nanyang Technological University, School of Social Sciences, Economic Growth Centre.
15. Chang, Y. i Le, T. H. (2012). Oil Price Shocks and Gold Returns. *International Economics*, 131, 71-104.
16. Chevallier, J. i Ielpo, F. (2013). Volatility spillovers in commodity markets, *Applied Economics Letters*, 20(13), 1211-1227, doi: 10.1080/13504851.2013.799748
17. Dao T. M., McGroarty F. i Urquhart A. (2019). The Brexit vote and currency markets. *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 59, 153-164.
18. Diebold, F. i Yilmaz, K. (2009). Measuring financial asset return and volatility spillovers, with application to global equity markets. *Economic Journal*, 119(534), 158–171.
19. Diebold, F. X. i Yilmaz, K. (2012). Better to give than to receive: Predictive directional measurement of volatility spillovers. *International Journal of Forecasting*, 28(1), 57–66.
20. Diebold, F. X., Liu, L. i Yilmaz, K. (2017). Commodity Connectedness. *National Bureau of Economic Research*. doi: 10.3386/w23685
21. Dilts, D. A. i Kim, M. H. (2011). The Relationship of the value of the Dollar, and the Prices of Gold and Oil: A Tale of Asset Risk. *Economics Bulletin*, 31(2), 1151-1162.
22. Enders, W. i Lee, J. (2012). A unit root test using a Fourier series to approximate smooth breaks. *Oxford bulletin of Economics and Statistics*, 74(4), 574-599.
23. Fernandez-Perez, A., Frijns, B. i Tourani-Rad, A. (2017). Precious metals, oil and the exchange rate: Contemporaneous spillovers, *Applied Economics*, 49, 3863-3879.
24. Gabauer, D. (2020). Volatility Impulse Response Analysis for DCC-GARCH Models: The Role of Volatility Transmission Mechanisms. *Journal of Forecasting*. doi:10.1002/for.2648
25. Greenwood-Nimmo M., Nguyen V. H. i Rafferty B. (2016). Risk and return spillovers among the G10 currencies. *Journal of Financial Markets*, 31, 43-62.
26. Houcine, B., Zouheyr, G., Abdessalam, B., Youcef, H. i Hanane, A. (2020). The Relationship between Crude Oil Prices, EUR/USD Exchange Rate and Gold Prices, *International Journal of Energy Economics and Policy*, 10(5), 234-242.

27. Jeong D. i Park S. (2018). The more connected, the better? Impact of connectedness on volatility and price discovery in the Korean financial sector, *Managerial Finance*, 44(1), 46-73.
28. Kang, S. H. i Yoon, S.-M. (2016). Dynamic spillovers between Shanghai and London nonferrous metal futures markets. *Finance Research Letters*, 19, 181–188. doi:10.1016/j.frl.2016.07.010
29. Khalifa, A., Miao, H. i Ramchander, S. (2011). Return distributions and volatility forecasting in metal futures markets: Evidence from gold, silver, and copper. *Journal of Futures Markets*, 31 (1), 55–80.
30. Koop, G., Pesaran, M. H. i Potter, S. M. (1996). Impulse response analysis in nonlinear multivariate models. *Journal of Econometrics*, 74, 119–147.
31. Lanne, M., & Lütkepohl, H. (2010). Structural vector autoregressions with nonnormal residuals. *Journal of Business & Economic Statistics*, 28(1), 159-168.
32. Li, Z. i Su, Y. (2020). Dynamic Spillovers Between International Crude Oil Market and China's Commodity Sectors: Evidence From Time-Frequency Perspective of Stochastic Volatility. *Frontiers in Energy Research*, 8. doi:10.3389/fenrg.2020.00045
33. Liow, K. H. (2015). Volatility spillover dynamics and relationship across G7 financial markets, *The North American Journal of Economics and Finance*, 33, 328-365. doi: 10.1016/j.najef.2015.06.003
34. Louzis, D. P. (2013). Measuring return and volatility spillovers in euro area financial markets, *Working Papers 154*, Bank of Greece.
35. Narayan, P. K., Narayan, S. i Zheng, X. (2010). Gold and oil futures markets: Are markets efficient? *Applied Energy*, 87(10), 3299-3303. doi:10.1016/j.apenergy.2010.03.020
36. Patanè, M., Tedesco, M. i Zedda, S. (2017). Dynamic Relationship of Commodities prices and EUR/USD exchange rate trends in the recent past. *Modern Economy*. 8(8), 995-1004.
37. Pesaran, M. H. i Shin, Y. (1998). Generalized impulse response analysis in linear multivariate models. *Economics Letters*, 58, 17–29.
38. Robinson, Z. (2019). Revisiting gold price behaviour: a structural VAR. *Mineral Economics*. 32, 365-372.
39. Sari, R., Hammoudeh, S. i Soytas, U. (2010). Dynamics of oil price, precious metal prices, and exchange rate. *Energy Economics*, 32, 351-362.
40. Shah, A. A., & Dar, A. B. (2021). Exploring diversification opportunities across commodities and financial markets: Evidence from time-frequency based spillovers. *Resources Policy*, 74, 102317. doi:10.1016/j.resourpol.2021.102317

41. Sims, C.A. (1980). Macroeconomics and reality. *Econometrica*, 48, 1-48.
42. Singh V. K., Nishant S. i Kumar P. (2018). Dynamic and directional network connectedness of crude oil and currencies: Evidence from implied volatility. *Energy Economics*, 76, 48-63.
43. Sujit K. S. i Kumar, R. (2011). Study on dynamic relationship among gold price, oil price, exchange rate and stock market returns, *International Journal of Applied Business and Economic Research*, 9(2), 145-165.
44. Zhang, Y.-J. i Wei, Y.-M. (2010). The crude oil market and the gold market: Evidence for cointegration, causality and price discovery. *Resources Policy*, 35(3), 168-177.
45. Zhang, Y. (2013). The Links between the Price of Oil and the Value of US Dollar. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 3(4), 341-351. doi:10.1016/j.resourpol.2010.05.003

VOLATILITY SPILLOVERS BETWEEN COMMODITY AND FINANCIAL MARKETS

Summary

The paper analyzes price volatility spillovers between commodity and financial markets in order to investigate the interconnectedness and market integration and their potential in portfolio risk diversification. The paper analyzes gold and silver prices, oil prices, and the exchange rates of the Euro and British pound using the Diebold-Yilmaz spillover index methodology for high-frequency weekly data from 1988 to 2020. The total spillovers between commodities and exchange rates were found to be 25.7% and the volatility spillover index during the analyzed period mostly ranged between 25% and 50% with extremes during the global financial crisis and during the COVID-19 pandemic. This indicates a strong integration of commodity and financial markets, especially in crisis periods. Also, the results of the work suggest that silver price movements are least affected by spillovers from other markets and therefore silver can be used to diversify risks. The contribution of the paper to the existing literature is as follows: Firstly, the analysis of transmission processes showed significant volatility spillovers between commodity markets and exchange rates, indicating the existence of integration between different markets. Furthermore, a long period of time is analyzed and the dynamic analysis shows intensified volatility spillovers in global crises periods. Secondly, the results of the analysis can help professional forecasters in forecasting and financial analysts to provide a comprehensive investment analysis. Managers and investors can thus design optimal protection instruments against unwanted movements in the financial and commodity markets. Investors benefit from portfolio diversification, and the information content obtained from volatility spillover analysis can be used to assess potential determinants of future risk-adjusted returns, which would help them make investment decisions.

Keywords: gold and silver, crude oil, exchange rate, spillover index, VAR model