

SVEUČILIŠTE U RIJECI, EKONOMSKI FAKULTET
DOKTORSKI STUDIJ EKONOMIJE I POSLOVNE EKONOMIJE
I. Filipovića 4, 51 000 Rijeka

Referada za poslijediplomske studije i doktorate
U Rijeci, lipanj 2025. godine.

EKONOMSKI FAKULTET RIJEKA

Primijeno 25-06-2025
Kl. ozn. 643-03/25-05/2
Ur. br. 141-01-25-001
Org. jed. 01

ZAHTJEV ZA OCJENU DOKTORSKOG RADA

Poštovani članovi Fakultetskog vijeća i Povjerenstva za poslijediplomske studije i doktorate, sukladno članku 35. Pravilnika o doktorskom studiju Ekonomija i poslovna ekonomija (pročišćeni tekst), Ekonomskog fakulteta u Rijeci od 20. ožujka 2023. godine podnosim svoj zahtjev za ocjenu doktorskog rada s naslovom ANALYSIS AND ROBUSTNESS OF THE RETURN DISTRIBUTION ESTIMATORS, VOLATILITY AND COVOLATILITY OF STOCK MARKETS BY USING HIGH FREQUENCY DATA kojem prilažem:

1. Indeks
2. Odluka FV o prihvaćanju prijave teme i imenovanje mentora
3. Odluku FV o prihvaćanju prikaza rezultata istraživanja
4. Rješenje o priznavanju ECTS bodova sukladno čl. 27 i 28. Pravilnika o doktorskom studiju
5. Pismenu suglasnost mentora/komentora da rad zadovoljava kriterije doktorskog rada (ispunjava mentor/komentor)
6. 4 spiralno uvezena primjerka doktorskog rada
7. životopis na standardiziranom obrascu u 2 primjerka (Europass)
8. kratak sažetak doktorskog rada (300-500 riječi) te pet ključnih riječi na engleskom i hrvatskom jeziku
9. prošireni sažetak koji se piše na engleskom jeziku ukoliko je rad pisan na hrvatskom odnosno na hrvatskom jeziku ukoliko je rad pisan na engleskom jeziku; ne smije biti kraći od 5000 riječi (sadrži ciljeve, postupke, rezultate i zaključke istraživanja zajedno s tablicama/grafikonima te popisom literature)
10. naslov doktorskog rada na hrvatskom i engleskom jeziku (službena lektura)
11. izvješće o provedenoj provjeri izvornosti doktorske disertacije (TURNITIN obrazac - ispunjava ga mentor/komentor)
12. zapis doktorske disertacije u PDF formatu (jedna datoteka) - poslati mailom

U nadi za vašim pozitivnim očitovanjem srdačno vas pozdravljam,

STUDENT: Maria Čuljak, univ.spec.oec.



MENTOR SA ZAMOLBOM SUGLASAN : Prof. dr. sc. Saša Žiković



KOMENTOR SA ZAMOLBOM SUGLASAN: Prof. dr. sc. Josip Arnerić



Ekonomski fakultet u Rijeci
Ivana Filipovića 4
HR-51000 Rijeka

Rijeka, 2025.

Ekonomski fakultet u Rijeci
Povjerenstvo za PS i doktorate

Predmet: PISMENA SUGLASNOST ZA PREDAJU DOKTORSKOG RADA

Dajemo suglasnost Marii Čuljak, studentu doktorskog studija Ekonomije i poslovne ekonomije za predaju u postupak ocjenjivanja doktorskog rada pod naslovom „**ANALYSIS AND ROBUSTNESS OF THE RETURN DISTRIBUTION ESTIMATORS, VOLATILITY AND COVOLATILITY OF STOCK MARKETS BY USING HIGH FREQUENCY DATA**“.



Mentor: Prof. dr. sc. Saša Žiković



Komentor: Prof. dr. sc. Josip Arnerić

Maria Čuljak, univ. spec. oec.
Freiherr-vom-Stein-Str. 18, Neu- Isenburg, Germany
+49 1520 2122679
culjakmaria1@gmail.com

EKONOMSKI FAKULTET U RIJECI
Ivana Filipovića 4
51000 R i j e k a

Naslov teme doktorskog rada

.. ANALIZA PROCJENITELJA DISTRIBUCIJE PRINOSA, VOLATILNOSTI I KOVOLATILNOSTI DIONIČKIH TRŽIŠTA POMOĆU VISOKOFREKVENTNIH PODATAKA I NJIHOVA OTPORNOST...

(na hrvatskom jeziku)

.. ANALYSIS AND ROBUSTNESS OF THE RETURN DISTRIBUTION ESTIMATORS, VOLATILITY AND COVOLATILITY OF STOCK MARKETS BY USING HIGH FREQUENCY DATA...

(na engleskom jeziku)

Potpis doktoranda

Ime i prezime



Izvješće o provedenoj provjeri izvornosti studentskog rada

Opći podatci o studentu:

Sastavnica	Ekonomski fakultet u Rijeci - EFRI
Studij (zaokružiti ili podebljati)	Preddiplomski / Diplomski / Poslijediplomski
Vrsta studentskog rada (zaokružiti ili podebljati)	Završni / Diplomski / Završni specijalistički / Doktorski
Ime i prezime studenta	Maria Čuljak
JMBAG	231/19

Podaci o radu studenta

Identifikacijski br. podneska	2695362038
-------------------------------	------------

Podudarnost studentskog rada:

PODUDARNOST

Ukupno	19%
Izvori s interneta	4%
Publikacije	15%
Studentski radovi	

Izjava mentora o izvornosti studentskog rada

Mišljenje mentora

Datum izdavanja mišljenja	09.06.2025
Rad zadovoljava uvjete izvornosti	DA / NE
Obrazloženje mentora (po potrebi dodati zasebno)	Podudarnost se odnosi na radove autorice Marije Čuljak koji su uključeni u disertaciju.

Datum
09.06.2025

Potpis mentora



SUMMARY

This doctoral dissertation deals with the field of financial econometrics. Four financial market phenomena are investigated: returns distribution, volatility, cointegration, and safe haven assets using time series analysis and high-frequency data on financial assets.

The main objective is re-examining the safe haven and hedge properties of two currency classes, distinguished by the regulation and centralization level. While the role of a long-term hedge and safe haven during crisis periods, such as COVID, has been explored in the literature for various assets, this dissertation fills a significant gap by utilizing intraday transaction data and addresses numerous issues related to integrated variance and covariance estimation.

By sampling the data so frequently we get more complete information on price movement and trading activity.

The four steps that accompanied the four published papers led to the achievement of the goal – the answer to the main hypothesis: The robust two times scaled estimator is superior to other considered volatility and cointegration estimators. This hypothesis leads to the identification of a safe haven currency in comparison with the general market movements.

We start by examining distribution of returns and finding a data driven benchmark of the “true” density function for major market indices in consideration. Following that, we investigate whether the Robust two times scaled estimator is superior among alternative estimators of volatility by utilizing high-frequency data on a 1 second time scale over a 7-year period. Next we examine potential safe haven asset, cryptocurrencies market by comparing sectoral cryptocurrency portfolios with the benchmark CRIX index. Finally, we determine the best cointegration estimator and identify Swiss Franc as the best performing safe haven currency compared to general market movements and confirm that Bitcoin has the characteristics of safe haven currency.

PROŠIRENI SAŽETAK

Tijekom posljednja dva desetljeća bili smo svjedoci niza tekućih kriza počevši od dot-com balona, globalne financijske krize iz 2008., COVID krize, energetske krize, krize europskog državnog duga, rusko-ukrajinskog rata i krize kineskog sektora nekretnina. Ključno obilježje tih kriza bilo je snažno povećanje korelacija između tržišta i imovine na regionalnoj ili globalnoj razini. Ova karakteristika postaje sveprisutna opasnost koja signalizira rastući učinak globalne financijske zaraze na međunarodnim tržištima. Jasna prisutnost regionalne ili globalne financijske zaraze nema samo praktične implikacije na dnevnu raspodjelu portfelja i strategije zaštite od rizika, već također utječe na načine financijskog upravljanja. Tijekom kriznih razdoblja svi tržišni sudionici skloni su traženju utočišta u valutama koje se smatraju sigurnim utočištima. Oni pretvaraju svoju lokalnu gotovinu u te valute kako bi sačuvali vrijednost. Percipirana sigurnost tih valuta dovodi do povećanja njihove vrijednosti, čak i ako predmetni događaji možda nisu imali značajan utjecaj na tu valutu. Osim američkog dolara, švicarskog franka i japanskog jena koji su već poznati u literaturi kao valute sigurnog utočišta, tj. pouzdane pohrane vrijednosti tijekom nesigurnih ekonomskih vremena, kriptovalute također imaju potencijal djelovati kao imovina utočišta zbog svoje decentralizirane prirode i nedostatka regulacija. O njima se raspravljalo kao o potencijalnom sigurnom utočištu, osobito posljednjih godina kada je njihova popularnost porasla. Kriptovalute nisu vezane ni za jednu državu ili organizaciju, što ih čini manje ranjivima na djelovanja vlada ili geopolitičkih prijetnji. Ovo istraživanje ispituje i zaključuje koja je potencijalna valuta sigurnog utočišta bolja imovina sigurnog utočišta tijekom razdoblja promatranja na temelju definirane referentne vrijednosti Robustnog dvostruko skaliranog procjenitelja kovolatilnosti. Metodologija za određivanje cilja oslanja se na kovolatilnost. Kako bismo došli do zaključaka, podijelili smo naše istraživanje u četiri dijela. Ova doktorska disertacija bavi se područjem financijske ekonometrije, posebno analizom vremenskih serija visokofrekventnih podataka financijske imovine. Podaci visoke frekvencije, promatrani u vrlo kratkim vremenskim intervalima, primjerice svake minute ili svake sekunde, daju potpunije informacije ne samo o kretanju cijena, već i o trgovinskim aktivnostima, što omogućuje bolje razumijevanje pojava na financijskim tržištima, kao što su npr. distribucija prinosa, volatilitet i kovolatilnost. Procjena upravo ovih pojava pomoću visokofrekventnih podataka je način na koji zaključujemo o glavnoj hipotezi ove disertacije. Počinjemo ispitivanjem distribucije prinosa i pronalaženjem referentne vrijednosti "prave" funkcije gustoće za glavne tržišne indekse koji se razmatraju. Nakon toga, istražujemo je li Robustni procjenitelj s dvije skale superioran među alternativnim procjeniteljima volatiliteta korištenjem visokofrekventnih podataka na vremenskoj skali od 1 sekunde tijekom razdoblja od 7 godina. Zatim ispituje potencijalno sigurno utočište, tržište kriptovaluta, uspoređujući sektorske portfelje kriptovaluta s referentnim indeksom tržišta kriptovaluta, CRIX. Naposljetku, utvrđujemo najbolji procjenitelj kovolatilnosti i identificiramo sigurne valute s najboljim rezultatima u usporedbi s općim tržišnim kretanjima. Nakon uvodnog dijela doktorske disertacije slijede poglavlja u kojima su prezentirani sami znanstveni radovi koji čine ovu doktorsku disertaciju i čine zaokruženu logičku cjelinu.

Poglavlje 1. Prediktivna točnost modela određivanja cijena opcija s obzirom na podatke visoke frekvencije.

U prvom dijelu poglavlja, visokofrekventni podaci koriste se za procjenu funkcija gustoće vjerojatnosti za odabrane datume dospjeća europskih put i call opcija s ciljem njihove usporedbe s impliciranim funkcijama gustoće, izvedenim ex-ante (prije datuma dospjeća). Cilj ovog dijela istraživanja je korištenje visokofrekventnih podataka u određivanju snage predviđanja modela za određivanje cijena opcija. Ovdje se koriste visokofrekventni podaci za pružanje referentne funkcije gustoće vjerojatnosti koja se koristi u svrhu usporedbe. Osim visokofrekventnih podataka koji se promatraju svake minute, podaci o put i call opcijama na burzovne indekse CAC (Cotation Assistée en Continu), AEX (Amsterdam Exchange index), MIB (Milano Indice di Borsa) i DAX (Deutscher Aktien index) razmatraju se u ovom dijelu istraživanja. Istraživanje se provodi u dvije faze. Prva faza uključuje procjenu impliciranih funkcija gustoće vjerojatnosti na datum dospjeća korištenjem podataka o opcijama. Druga faza bavi se usporedbom procijenjenih funkcija gustoće vjerojatnosti s referentnom funkcijom gustoće na temelju visokofrekventnih podataka, dobivenom metodom Kernel procjene. Korištenje metode procjene gustoće kernela na promatranim visokofrekventnim podacima u stvarnom vremenu daje aplikativni doprinos i time veliku prednost u odnosu na druge studije koje se uglavnom oslanjaju na podatke simulacije. Korišteni modeli su: Shimkov model, Mixture Log-Normal model i Edgeworthov model ekspanzije. Glavni cilj istraživanja je procijeniti njihovu prediktivnu točnost i odabrati najprikladniji model. Promatrani burzovni indeksi su CAC, AEX, MIB i DAX, odnosno francuski, nizozemski, talijanski i njemački tržišni indeks. Financijski instrumenti koji se koriste su call i put opcije na glavne indekse navedenih financijskih tržišta na kombinacije datuma trgovanja i datuma dospjeća opcija u 2018. godini.

Procjenjujemo implicirane funkcije gustoće vjerojatnosti na datume dospjeća Shimkovog modela, Mixture Log-Normal modela i Edgeworthove ekspanzije. Pružamo rezultate usporedbe između procijenjenih funkcija gustoće vjerojatnosti, dobivenih trima modelima cijena opcija, i referentnih vrijednosti "pravih" funkcija gustoće vjerojatnosti, dobivenih procjenom Kernela korištenjem visokofrekventnih podataka. Za svaki datum dospjeća prikazana je grafička i analitička usporedba. U našem istraživanju implementiramo metode usporedbe izvan uzorka i utvrđujemo prediktivnu točnost. Korištena su dva testa, Diebold-Mariano test i Kolmogorov-Smirnov test. Rezultati su dostupni za sve kombinacije odabranih datuma trgovanja i isteka. Iz grafičkih rezultata očito je da je procjena gustoće kernela dovoljno točna da se može koristiti kao referentna vrijednost za usporedbu izvan uzorka i da uglavnom Shimkov model najbolje odgovara "pravoj" gustoći. Ovaj rezultat je od velikog interesa za investicijsku industriju kako bi analitičari znali koji model određivanja cijena opcija koristiti pri procjeni tržišnih očekivanja.

U većini slučajeva odbacujemo nultu hipotezu Kolmogorov-Smirnovljevog testa da procijenjene gustoće vjerojatnosti potječu iz "prave" funkcije gustoće. Nulta hipoteza je odbijena na razini značajnosti od 5% u većini slučajeva osim za DAX indeks na datum trgovanja 23. ožujka 2018. i

datum dospjeća 21. rujna 2018. To znači da su funkcija gustoće vjerojatnosti implicirana Shimkovim modelom i "prava" funkcija gustoće dobivena Kernelovim procjeniteljem iste.

Diebold-Mariano test se koristi za testiranje nulte hipoteze da promatrani modeli cijena koji imaju istu sposobnost predviđanja. U primjeru AEX dioničkog indeksa na datum dospjeća 17. kolovoza 2018. i datum trgovanja 22. lipnja 2018. odbačena je nulta hipoteza na razini značajnosti od 5%. U jednakom broju slučajeva pokazalo se da Mixture Log-Normal model, Shimkov model i Edgeworthov model ekspanzije imaju istu prognostičku točnost, tj. nismo odbacili nultu hipotezu na razini značajnosti od 5%. Važno je naglasiti da su u slučaju DAX tržišnog indeksa na datum trgovanja 22. lipnja 2018. i datum isteka 20. srpnja 2018. svi modeli imali istu prognostičku točnost. Iz perspektive da Kernel procjenitelj pruža referentnu funkciju gustoće vjerojatnosti, može se zaključiti da je model Shimko najbolji model izvan uzorka u usporedbi s "pravom" gustoćom. Štoviše, nulta hipoteza Kolmogorovo-Smirnovljevog testa odbačena je u većini slučajeva za sve tržišne indekse i sve kombinacije datuma trgovanja i isteka. Rezultati Diebold-Mariano testa nisu odbacili nultu hipotezu koja implicira da modeli imaju istu prediktivnu točnost. Prema grafičkim prikazima i Kolmogorov-Smirnov testu možemo zaključiti da Shimkov model najbolju prognostičku točnost.

Ovo istraživanje pridonosi postojećoj literaturi na dva načina: prvenstveno za pronalaženje referentne vrijednosti "prave" funkcije gustoće korištenjem visokofrekventnih podataka pomoću Kernel procjenitelja te određivanje točnosti predviđanja modela cijena opcija. Usporedba referentne funkcije gustoće s procijenjenim funkcijama vjerojatnosti daje primjenjive rezultate za tržišne sudionike i financijska regulatorna javna tijela.

Poglavlje 2. Je li Jump Robust Two Times Scaled Estimator superioran među konkurentima ostvarene volatilnosti?

U drugom dijelu disertacije procjenjuje se integrirana varijanca odabranih burzovnih indeksa korištenjem visokofrekventnih podataka. Radi se o varijanci prinosa financijske imovine, odnosno standardnoj devijaciji prinosa koja se poistovjećuje spojmom volatilnosti. Istražujemo je li robusni procjenitelj s dvostrukom skalom superioran među alternativnim procjeniteljima integrirane varijance korištenjem visokofrekventnih podataka na vremenskoj skali od 1 sekunde tijekom razdoblja od 7 godina. Razmatraju se dvije skupine procjenitelja, onih koji su otporni na mikrostrukturni šum i procjenitelji otporni na cijenovne skokove. Rad procjenitelja testiran je na burzovnim indeksima razvijenih europskih zemalja. Analizirani indeksi su likvidni, njima se učestalo trguje i pokazuju intenzivnu unutardnevnu aktivnost. Optimalna učestalost uzorkovanja svakog procjenitelja određena je s obzirom na kompromis između njegove pristranosti i varijance te je pojedinačno prilagođena značajkama svakog burzovnog indeksa. Osim testa transformacije integrala vjerojatnosti (PIT) i Mincer-Zarnowitzeve regresije, ovisnost o gornjem repu Gumbelove kopule smatra se prikladnom mjerom za usporedbu procjenitelja. Nadmoćnost robusnog procjenitelja s dvostrukom skalom dokazana je za sva analizirana tržišta s obzirom na optimalnu

učestalost uzorkovanja. U ovom radu razmatraju se visokofrekventni podaci razvijenih burzi Njemačke, Italije, Francuske i Velike Britanije na frekvenciji uzorkovanja od 1 sekunde. Kako bi se definirala optimalna frekvencija uzorkovanja koristi se srednje kvadratna pogreška (RMSE) predloženog procjenitelja.

Nakon izračuna realiziranih procjenitelja volatilnosti i $RTSRV_t^{\Delta,k,\theta}$ provode se tri metode usporedbe kako bi se odredilo koji procjenitelj volatilnosti najbolje odgovara referentnoj vrijednosti. Ove tri metode usporedbe su Mincer-Zarnowitzeva regresija, PIT test i ovisnost o gornjem repu Gumbelove kopule. Mincer-Zarnowitzeva regresija temelji se na ukupnoj izvedbi realiziranih modela volatilnosti. Proveden je PIT test kao postupak prilagodbe gustoće kako bi se ispitalo kako se ispitani realizirani procjenitelji volatilnosti ponašaju u usporedbi s $RTSRV_t^{\Delta,k,\theta}$. Korištena je ovisnost gornjeg repa jer ispituje što se događa u ekstremnim vrijednostima.

$RTSRV_t^{\Delta,k,\theta}$ je definiran kao referentna vrijednost jer je potvrđeno da je $RTSRV_t^{\Delta,k,\theta}$ otporan na mikrostrukturne šumove, cjenovne skokove i nesinkrono trgovanje.

Svaka metoda usporedbe uključuje prilagođavanje sedam procjenitelja volatilnosti referentnoj vrijednosti ($RTSRV_t^{\Delta,k,\theta}$). Optimalna učestalost uzorkovanja odabrana je za svako europsko tržište, na temelju minimiziranja srednje kvadratne pogreške (RMSE). Za izračun realizirane volatilnosti predlaže se korištenje prinosa koji se uzorkuju što je češće moguće. Međutim, ako je frekvencija uzorkovanja veća, to dovodi do problema s pristranošću zbog mikrostrukturnog šuma. Potreban je kompromis između pristranosti i učinkovitosti pri određivanju učestalosti uzorkovanja. Mora se uspostaviti optimalna učestalost uzorkovanja za promatrano financijsko tržište kako bi se smanjila pristranost, ali kako bi procjenitelj volatilnosti i dalje ostao učinkovit. U prisustvu skokova također će biti pristranosti u praktičnim primjenama procjenitelja koji nisu otporni na cjenovne skokove. Dakle, to će imati učinak na učestalost uzorkovanja na koju također utječu tržišna struktura, likvidnost i mikrostrukturni šum. Optimalna učestalost uzorkovanja utvrđena je za svako europsko tržište. Za Njemačku je to 20 sekundi, za UK je 30 sekundi, za Italiju je 10 sekundi i za Francusku je 13 sekundi. Minimiziranjem RMSE u odnosu na broj poduzoraka, dobiva se optimalna učestalost uzorkovanja.

Rezultati PIT testa i Mincer Zarnowitz regresije za usporedbu realiziranih procjenitelja volatilnosti pokazuju da RV_t^{Δ} , $TSRV_t^{\Delta,k}$, $ARV_t^{\Delta,k}$ i $HYRV_t^{\Delta}$ slabije podnose stres i cjenovne skokove. Stoga rezultati ne daju jasan odgovor koji procjenitelj najbolje odgovara referentnoj vrijednosti. U tom slučaju, ovisnost o gornjem repu je povoljna metoda za korištenje jer uzima u obzir ekstremne vrijednosti. Prvo je korištena Mincer-Zarnowitzeva regresija gdje je testirano koliko dobro procjenitelji volatilnosti odgovaraju $RTSRV_t^{\Delta,k,\theta}$.

Za četiri europska tržišta i sedam procjenitelja volatilnosti nulta hipoteza je odbačena na razini značajnosti od 5%. To je pokazalo kako se sedam promatranih procjenitelja volatilnosti ne podudara s $RTSRV_t^{\Delta,k,\theta}$. Test integralne transformacije vjerojatnosti (PIT) korišten je kako bi se

provjerilo je li razlika između $RTSRV_t^{\Delta,k,\theta}$ i drugih konkurentskih procjenitelja volatiliteti ravnomjerno raspoređena. Za sva europska tržišta i sve procjenitelje volatiliteti nulta hipoteza je odbačena na razini značajnosti od 5%. Ovo istraživanje koristi koeficijent ovisnosti o gornjem repu, rezultat funkcije Gumbelove kopule. Kada je fokus interesa gornji rep distribucije, on se koristi u svrhu usporedbe. Iako Mincer-Zarnowitzeva regresija i PIT test nisu pokazali prednost određenog procjenitelja, koristi se ovisnost gornjeg repa. Rezultati pokazuju da za Italiju, Njemačku i Ujedinjeno Kraljevstvo $RTSRV_t^{\Delta,k,\theta}$ postoji najveća ovisnost o gornjem repu s $MedRV_t^{\Delta}$, $MinRV_t^{\Delta}$ i BPV_t^{Δ} procjeniteljima volatiliteti. Među svim konkurentskim procjeniteljima, samo su oni otporni na cjenovne skokove i proizveli gotovo slične procjene volatiliteti kao $RTSRV_t^{\Delta,k,\theta}$. U slučaju Francuske, $RTSRV_t^{\Delta,k,\theta}$ najbolje odgovara, $TSRV_t^{\Delta,k}$, BPV_t^{Δ} i $ARV_t^{\Delta,k}$ procjeniteljima $MedRV_t^{\Delta}$ volatiliteti. Budući da je $TSRV_t^{\Delta,k}$ otporan na mikrostrukturni šum, nije iznenađenje da su procjene jednako dobre kao $RTSRV_t^{\Delta,k,\theta}$.

Zbog neuvjerljivih rezultata Mincer-Zarnowitzevog i PIT testa, uvedena je ovisnost gornjeg repa jer ispituje događaje u repovima, tj. ekstremne vrijednosti. Rezultati su pokazali da je medijanizirani blok od tri prinosa ($MedRV_t^{\Delta}$) imao najbližnje rezultate referentnoj vrijednosti ($RTSRV_t^{\Delta,k,\theta}$) za Italiju, Njemačku i UK. Za Francusku ($TSRV_t^{\Delta,k}$) procjenitelj realizirane volatiliteti bio je najbližnji (približno jednak) referentnoj vrijednosti. Budući da je medijanizirani blok od tri povrata ($MedRV_t^{\Delta}$) robustan samo na cjenovne skokove, zaključujemo da su talijanska, njemačka i britanska financijska tržišta više kontaminirana cjenovnim skokovima nego mikrostrukturnim šumom na odabranim frekvencijama uzorkovanja. Francusko financijsko tržište više je kontaminirano mikrostrukturnim šumom nego cjenovnim skokovima. Ovo istraživanje doprinosi postojećoj literaturi na nekoliko načina. Glavni rezultat razmatra odabir optimalne frekvencije u korist referenog procjenitelja na svakom tržištu pojedinačno, istovremeno osiguravajući otpornost na cjenovne skokove. Ovo istraživanje pridonosi prethodnim istraživanjima jer postoji vrlo malo studija koje uzimaju u obzir izračune realiziranih procjenitelja volatiliteti na razvijenim europskim tržištima. Novost je i korištenje kombinacije triju testova: Mincer-Zarnowitz regresije, PIT testa i testa ovisnosti gornjeg repa unutar Gumbelove kopule gdje se rezultati daju za svako od promatranih razvijenih europskih tržišta. Rezultati su važni financijskim analitičarima i investitorima jer daju preporuku koji realizirani procjenitelj volatiliteti koristiti za promatrane tržišne indekse. Dodatni doprinos je i utvrđena optimalna učestalost uzorkovanja za svako od promatranih razvijenih europskih tržišta.

Poglavlje 3. Prednosti sektorske optimizacije portfelja kriptovaluta.

U trećem dijelu ove disertacije formalno će se identificirati i opisati prednosti optimizacije portfelja sektorske klasifikacije kriptovaluta i njegove izvedbe. Formirat će se šest ciljeva optimizacije: MinVar, MinCVaR, MaxSR, MaxSTARR, MaxUT i MaxMean. Dobivene portfelje uspoređujemo s prinosom CRIX indeksa (koji predstavlja kripto tržište) u istom razdoblju. Naši

rezultati pokazuju da je pet od šest portfeljnih strategija imalo bolje rezultate ako su uključiva le sektorske kriptovalute, i to iz sektora financijskih, deviznih i poslovnih usluga.

Za potrebe ove studije upotrijebili smo javno dostupne dnevne podatke o cijenama za ukupno 65 kriptovaluta prikupljene sa web stranice Coinmarketcap - CMC platforme. Kako bi se testirala korisnost sektorske podjele kriptovaluta, postojeći portfelj koji se sastoji od 50 najboljih kriptovaluta prema tržišnoj kapitalizaciji uključuje dodatnih 15 kriptovaluta, 5 vodećih kriptovaluta prema svakom od tri vodeća sektora upotrebe prema tržišnoj kapitalizaciji: financijskih, deviznih i poslovnih usluga. Sektorske kriptovalute koje su ušle među prvih 50 prema tržišnoj kapitalizaciji isključene su i zamijenjene sljedećim upotrebnim tokenom prema veličini tržišne kapitalizacije u odgovarajućem sektoru. Formiramo višestruke portfelje s različitim ciljevima optimizacije minimiziranja rizika, maksimiziranja povrata i maksimiziranja omjera povrata i rizika. Naši ciljevi optimizacije su sljedeći: minimalna varijanca (MinVar), minimalni CVaR (MinCVaR), maksimiziranje oštrog omjera (MaxSR), maksimiziranje stabilnog omjera povrata prilagođenog repu (MaxSTARR), maksimiziranje funkcije korisnosti (MaxUT) i maksimiziranje srednjeg povrata (MaxMean). Kako bismo ispitali prednosti analiziranja tržišta kriptovaluta kroz sektorsku podjelu, provodimo istraživanje u dva koraka. Prvi korak je formiranje i testiranje performansi portfelja čije komponente čine prvih 50 kriptovaluta prema tržišnoj kapitalizaciji. U drugom koraku, dodatnih 15 sektorskih kriptovaluta uključeno je u postojeći skup podataka. Kako bi se postiglo uključivanje sektorskih kriptovaluta u portfelj, u drugom koraku stvara se linearno grupno ograničenje pri čemu se 20% ukupne alokacije portfelja mora rasporediti na sektorske kriptovalute prema ciljevima optimizacije. Optimizacija se provodi izvan uzorka (backtesting), s istim parametrima za svaki cilj optimizacije.

Dobivene empirijske rezultate prezentiramo i interpretiramo u dvije faze. U prvoj fazi, rezultati se pregledavaju i interpretiraju komparativnom metodom između modela raspodjele imovine prema početnom odabiru komponenti portfelja. Osim toga, uspjeh određene strategije ocjenjuje se provedbom mjera izvedbe koje uključuju CRIX indeks kao referentnu vrijednost za kripto tržište tijekom razdoblja promatranja. U drugoj fazi, rezultati modela raspodjele uspoređuju se i tumače između portfelja kako bi se utvrdile prednosti podjele i optimizacije kriptovaluta prema njihovim odgovarajućim sektorima. Pokazalo se da, u slučaju stagnacije tržišta kriptovaluta, svaki od promatranih portfelja u prosjeku ostvaruje veće prinose od prinosa tržišta. Očekivano, najveću prosječnu alfu ostvario je MaxMean portfelj. S druge strane, valja istaknuti da je najveći godišnji geometrijski prinos, kao i kumulativni prinos u ukupnom razdoblju, ostvario portfelj s ciljem optimizacije minimiziranja CVaR-a. Stoga zaključujemo da se očekuje da će najbolje vrijednosti mjera izvedbe biti povezane s MinCVaR portfeljem.

U usporedbi s CRIX indeksom, svi implementirani optimizacijski ciljevi ostvarili su veći kumulativni povrat u istom razdoblju promatranja.

Uključivanjem dodatnih 15 sektorskih kriptovaluta koje u početku ne bi bile odabrane kao sastavnica portfelja prema njihovoj tržišnoj kapitalizaciji, rezultati se razlikuju po svim mjerama. Značajna razlika između ostvarenog geometrijskog prinosa MaxMean-S portfelja i CRIX indeksa, u usporedbi sa standardnom devijacijom aktivne premije koja je iznimno niska zbog podjednake volatilnosti između promatranih ulaganja, također je utjecala na visoko pozitivan Information ratio. U drugom redu najbolje veličine svih performansi, osim mjera rizika, postignut je portfeljem koji maksimizira omjer povrata i rizika izražen kao CVaR.

Najmanju standardnu devijaciju ostvarila je strategija optimizacije MaxSR-S, pri čemu je standardna devijacija MinVar-S portfelja bila nešto viša. U usporedbi s CRIX indeksom, svi optimizacijski ciljevi ostvarili su veći kumulativni povrat u istom razdoblju promatranja. Također je vrijedno istaknuti da su samo dvije strategije MaxUT-S i MaxMean-S postigle veću standardnu devijaciju od CRIX indeksa. Osim toga, svi su portfelji tijekom istog razdoblja ostvarili su viši Sharpeov omjer od CRIX indeksa.

Portfelji s dodatnim kriptovalutama u prosjeku ostvaruju više povrata od portfelja bez sektorskih komponenti. Geometrijski povrat ima iste odnose. Samo MinVar-S portfelj ima niži povrat od povrata portfelja bez sektorske kriptovalute, čime se potvrđuje naš nalaz i logika da postoje prednosti u tretiranju tržišta kriptovaluta kroz sektorsku pripadnost. Što se tiče rizika, četiri strategije koje uključuju sektorske kriptovalute postigle su nižu standardnu devijaciju od portfelja bez njih. Međutim, viši rizik je nadoknađen višim ostvarenim povratom, što implicira veći Sharpeov omjer. Uključivanje sektorskih kriptovaluta također je dovelo do povećanja kumulativnog povrata za sve strategije osim MinVar-S portfelja. Primjenom strategije maksimiziranja povrata i razmatranjem sektorskih kriptovaluta kao komponenti portfelja, bilo je moguće postići kumulativni povrat veći za 105% tijekom promatranog razdoblja od iste strategije koja ne uzima u obzir sektorske kriptovalute. Značajan porast kumulativnog prinosa također je ostvario MaxSTARR-S portfelj od 0,91 ili 69% u usporedbi s MaxSTARR-om. Uključivanje dodatnih sektorskih kriptovaluta u postojeće portfelje doprinosi poboljšanju performansi portfelja u usporedbi s tržištem koje predstavlja CRIX indeks. S obzirom na sve navedeno, može se zaključiti da je pet od šest portfelja kreiranih prema različitim optimizacijskim ciljevima postiglo bolje rezultate ako promatraju kriptovalute kroz sektorsku klasifikaciju (financijske, devizne i poslovne usluge). Ovakvi rezultati značajno pridonose istraživanju mogućnosti ulaganja na tržištu kriptovaluta i sektorskoj segmentaciji tržišta kriptovaluta. Osim toga, pozitivni rezultati upućuju na još dva zapažanja iz kojih je potrebno izvesti određene zaključke. Ako se kriptovaluta Litecoin koristi isključivo kao sredstvo plaćanja, usporedba Litecoina s decentraliziranom računalnom platformom poput Etheruma i jednako tretiranje te dvije imovine u kontekstu mogućnosti ulaganja jednostavno nije praktično ili čak nemoguće, a to potvrđuju i naši rezultati. U blockchain ekonomijama poput Etheruma, tokeni kao vrsta kriptovalute mogu se stvoriti kako bi pružili drugu svrhu i korisnost u praktičnoj primjeni proizvoda i usluge. Ova situacija dovela je do znatno boljih rezultata portfelja kada su uključene sektorske kriptovalute. Na tržištu kriptovaluta početak 2020. i 2019. obilježen je porastom vrijednosti utilization tokena, što je u određenoj mjeri

predstavljalo Decentralized Finance - DeFi. Nijedna od 15 dodatnih kriptovaluta (tokena) odabranih po sektoru nije bila među 50 najboljih prema CMC-u, tako da nisu uzete u obzir u prethodnim studijama. Prethodni istraživački radovi smatrali su kriptovalute homogenom imovinom i oslanjali su se isključivo na opći algoritam optimizacije tržišta pri odabiru komponenti portfelja. Takav pristup podrazumijeva konsenzus o veličini ravnotežnog očekivanog povrata odabranih kriptovaluta. No, ranije se pokazalo da takav povrat niti ne postoji zbog nepostojanja odgovarajućeg vrednovanja, odnosno intrinzične vrijednosti kriptovaluta. Naše zaključke podupiru portfelji s dodatnim sektorskim kriptovalutama. U skladu s dobivenim rezultatima, naši nalazi naglašavaju korisnost i nužnost promatranja tržišta kriptovaluta po sektorskoj pripadnosti s ciljem pronalaska potencijalno "podcijenjenih" kriptovaluta. Ako su komponente portfelja odabrane isključivo prema tržišnoj kapitalizaciji, to bi značilo da su te kriptovalute već postigle vrijednost koja ih čini potencijalnom komponentom portfelja. Mogućnost rasta cijene takve kriptovalute svakako je puno manja od mogućnosti rasta kriptovalute koja je po tržišnoj kapitalizaciji znatno niže rangirana. Sektorski gledano, pojavljuju se kriptovalute s puno nižom tržišnom kapitalizacijom te ih investitori mogu lakše uočiti. Gledajući ukupnu kapitalizaciju sektora, lakše je uočiti i identificirati trenutne trendove na tržištu kriptovaluta, kao što je bio trend rasta DeFi kriptovaluta u 2019.

Rezultati sugeriraju da portfelji u kojima je 20% alokacije dodijeljeno kriptovalutama niže tržišne kapitalizacije postižu veće vrijednosti u svim implementiranim mjerama izvedbe u pet od šest optimizacijskih strategija. Može se zaključiti da je tržište kriptovaluta poželjno i potrebno promatrati kroz njihovu vrstu ili korisnost, a takav pristup se može postići kategorizacijom kriptovaluta u njihove sektore. Potencijalni ulagači, a posebno upravitelji portfelja, ne bi trebali razmatrati kriptovalute samo na temelju njihove tržišne kapitalizacije. Kriptovalute imaju karakteristike i mogućnosti koje ih definiraju prema njihovoj nominalnoj namjeni. Sukladno tome, upravitelji portfelja se potiču da prilikom izgradnje portfelja razmatraju kriptovalute prema njihovim karakteristikama (vrsti i namjeni koju pružaju) kako bi eliminirali svoj podređeni položaj i doprinijeli uspješnosti portfelja na tržištu kriptovaluta.

Glavni cilj našeg istraživanja bio je identificirati i opisati konstrukciju portfelja kreiranog prema različitim ciljevima optimizacije. Sastavni dijelovi ovih portfelja su kriptovalute kao nova vrsta imovine i po prvi puta kategorizirane u sektore koji će biti uključeni kao potencijalni kandidati za izgradnju portfelja. Predstavljeni rezultati sugeriraju da 20% alokacije portfelja dodijeljenog prema sektorskoj klasifikaciji kriptovaluta, pruža priliku za postizanje boljih mjera performansi portfelja u pet od šest optimizacijskih strategija. U našem istraživanju zaključeno je da sektorska klasifikacija identificira kriptovalute s većim potencijalom tržišnog rasta, kao i povećanjem diversifikacije i smanjenjem rizika portfelja. Ovo je novost i obogaćuje noviju literaturu o brzo rastućoj temi kriptovaluta. Vrijedan je za investitore i regulatore, ali posebno za upravitelje portfelja, tijekom praktične provedbe našeg istraživanja koje sugerira razmatranje kriptovaluta kao potencijalnih sastavnih dijelova portfelja kroz njihovu vrstu i vrijednost.

Poglavlje 4. Testiranje valuta sigurnih utočišta korištenjem benchmark realiziranog procjenitelja kovarijance.

U četvrtom i posljednjem poglavlju disertacije u kojem su prezentirani znanstveni radovi ispitali smo tri FX valute (američki dolar, švicarski franak i japanski jen) i Bitcoin u vremenskom periodu od 1 minute od lipnja 2013. do svibnja 2022. Studija je provedena u dvije faze. Prvo, korišteni je simulacija visokofrekventnih podataka kako bi se odredilo koji realizirani procjenitelj kovarijance ima najbolju izvedbu. Drugo, najbolji procjenitelj kovarijance, robusni procjenitelj s dvostrukom skalom, primjenjuje se na stvarne podatke visoke frekvencije, uspoređujući promatrane valute s tržištem dionica. Ovo istraživanje stoga daje dva doprinosa literaturi. Prvo, utvrđuje najbolji procjenitelj kovarijance i drugo, utvrđuje sigurne valute s najboljim rezultatima u usporedbi s općim tržišnim kretanjima. U trenutnoj literaturi ne postoji strogi konsenzus o superiornosti realiziranog procjenitelja kovarijance, pa će rezultati ovog istraživanja dati važan doprinos jer će sugerirati koji su procjenitelji prikladni za svako analizirano tržište i kako adresirati problem mikrostrukturnog šuma, cjenovnih skokova i asinkronih podataka, koji su usko povezani s odabirom optimalnih frekvencija uzorkovanja. Ne postoji konsenzus o tome koja je imovina bolje sigurno utočište, posebno u pogledu kriptovaluta kao što je Bitcoin. Odgovor ćemo dati u ovom istraživanju. Jedan od glavnih ciljeva ove studije je odrediti najbolji procjenitelj kovarijance za sinkronizirane i nesinkronizirane podatke visoke frekvencije. Prema rezultatima simulacijske studije, najbolji procjenitelj kovarijance koristi se za stvarni skup podataka visoke frekvencije.

Specifični ciljevi ove studije su:

- a. Za ispitivanje procjenitelja kovarijance ($rBPCov_t^\Delta$, $rCov_t^\Delta$, $rHYCov_t^{\Delta,\theta}$, $rThresholdCov_t^{k,h}$, $rTSCov_t^{\Delta,k}$ i $rRTSCov_t^{\Delta,k,\theta}$) za sinkronizirane i nesinkronizirane visokofrekventne podatke.
- b. Za usporedbu performansi procjenitelja kovarijancije na temelju mjera prilagodbe, tj. relativne pristranosti i srednje kvadratne pogreške (RMSE) za obje simulacije sinkroniziranih i nesinkroniziranih visokofrekventnih podataka.
- c. Ispitati utjecaj skokova na model na svih šest procjenitelja kovarijancije za sinkronizirane i nesinkronizirane visokofrekventne podatke.
- d. Koristeći dobivene rezultate o procjeniteljima kovarijance na empirijskim visokofrekventnim podacima, istražujemo koja je vrsta imovine bolje sigurno utočište. Negativna korelacija s općim tržištem ukazuje na karakteristike sigurnog utočišta.

Prvi cilj ovog rada je istražiti i odrediti najučinkovitiji procjenitelj kovarijance na temelju visokofrekventnih podataka. Naše istraživanje predstavlja dvofazni pristup za procjenu točnosti svakog procjenitelja. Prvo, koristimo simulaciju kako bismo pružili sveobuhvatnu procjenu točnosti svakog procjenitelja. Ovaj pristup osigurava da rezultati nisu pristrani i pouzdani. Drugo,

koristimo zaključke izvedene iz rezultata simulacije za analizu visokofrekventnih na empirijskim podacima. Kako bismo osigurali točnost naših simulacija, slijedimo metodologiju postojećih istraživanja. Simuliramo za razdoblje od $S = 100$ dana s frekvencijom od 1 sekunde. Dizajn simulacije omogućuje nam da usporedimo izvedbu svakog procjenitelja u različitim scenarijima i da identificiramo potencijalne pristranosti ili ograničenja u njihovoj točnosti. Time su rezultati našeg istraživanja robusni i pouzdani.

Šest realiziranih procjenitelja kovarijance ispitano je u ovom istraživačkom radu kako bi se odredilo koji se može koristiti kao referentna vrijednost. Prag kovarijance ($rThresholdCov^{k,h}_t$) procjenitelj uključuje univarijatna pravila za otkrivanje skokova kako bi ublažio utjecaj skokova na procjenu kovarijance. ($rCov_t^\Delta$) procjenitelj je robusan na mikrostrukturni šum ovisno o frekvenciji uzorkovanja. Skokovi cijena kontaminiraju procjene s $rCov_t^\Delta$. Stoga su uvedene modifikacije, kao što je Realized bipower procjenitelj ($rBPCov_t^\Delta$). Prednost $rBPCov_t^\Delta$ je u tome što pruža dosljednu procjenu stvarne kovarijance, čak i u prisustvu cjenovnih skokova. Otporan je na cjenovne skokove, ali još uvijek na njega utječu mikrostrukturni šum i nelinearne ovisnosti između povrata imovine. Kako bi se izbjegao nedostatak podataka, ali i dalje ostao nepristran i asimptotski dosljedan procjenitelj, uveden je procjenitelj dvostruke kovarijance ($rTSCov_t^{\Delta,k}$). Stoga je otporan na mikrostrukturni šum i uključivanjem faktora skaliranja u procjenama, pristranost se može smanjiti. Budući da nije otporan na cjenovne skokove, uvedena je modifikacija. $rTSCov_t^{\Delta,k}$ Robusni procjenitelj dvostruke kovarijance ($rRTSCov_t^{\Delta,k,\theta}$) robusna je verzija procjenitelja dvostruke kovarijance. Posljednja realizirana procjena kovarijance za usporedbu je Hayashi-Yoshida procjena kovarijance ($rHYCov_t^{\Delta,\theta}$) koju su predstavili Hayashi i Yoshida u 2005. godini. U prvom dijelu ovog istraživanja analiziraju se realizirani procjenitelji kovarijance na temelju simuliranih visokofrekventnih podataka. Učestalost simuliranih podataka je 1 sekunda za $S = 100$ dana. Najprije se sinkronizirani visokofrekventni podaci koriste za analizu točnosti procjenitelja. Sinkronizirano znači da su podaci korišteni odmah nakon simulacije bez prilagođavanja učestalosti između dvije vremenske serije X_1 i X_2 korištenjem zadane frekvencije od 1 sekunde između promatranja. Relativna pristranost i srednja kvadratna pogreška izračunavaju se za svaki procjenitelj kako bi se izmjerila točnost kako se koristi u recentnoj literaturi. Najmanju relativnu pristranost imao je robusni procjenitelj s dvostrukom skalom ($rRTSCov_t^{\Delta,k,\theta}$) u slučaju kada u simuliranim podacima nije bilo skokova. U prisustvu skokova, vrijednosti relativne pristranosti se povećavaju pokazujući da se točnost procjenitelja smanjuje. Kada u simuliranim visokofrekventnim podacima nema skokova, rezultati pokazuju da je pristranost manja s procjeniteljima $rBPCov_t^\Delta$, $rCov_t^\Delta$, $rHYCov_t^{\Delta,\theta}$ i $rThresholdCov_t^{k,h}$. Robustan dvostruki procjenitelj ($rRTSCov_t^{\Delta,k,\theta}$) koji je robusan na skokove cijena nije pokazao puno povećanja pristranosti bez obzira na intenzitet skokova u simuliranim podacima.

Na relativnu pristranost utječu skokovi, budući da se procjene relativne pristranosti povećavaju s povećanjem ili uključivanjem skokova za obje simulacije sinkroniziranih i nesinkroniziranih visokofrekventnih podataka. Nesinkronost visokofrekventnih podataka koju razmatramo su dvije

neovisne sheme uzorkovanja Poissonovog procesa za generiranje serije stvarnih opažanja. Nema dokaza da uključivanje skokova poboljšava procjenitelje kovarijance u smislu snižavanja RMSE-a, kao što se vidi u sinkroniziranim i nesinkroniziranim visokofrekventnim podacima, RMSE procjenitelja kovarijance se povećava kako su skokovi uključeni u model. Analizirali smo šest procjenitelja kovarijance koji su $rBPCov_t^\Delta$, $rCov_t^\Delta$, $rHYCov_t^{\Delta,\theta}$, $rThresholdCov_t^{k,h}$, $rTSCov_t^{\Delta,k}$ i $rRTSCov_t^{\Delta,k,\theta}$ za sinkronizirane i nesinkronizirane visokofrekventne podatke. Naši rezultati simulacije nesinkroniziranih visokofrekventnih podataka pokazuju da $rRTSCov_t^{\Delta,k,\theta}$ je to najbolji procjenitelj kovarijance budući da ima najmanju relativnu pristranost za sve slučajeve (s ili bez skokova).

Dok za rezultate simulacije sinkroniziranih visokofrekventnih podataka, $rRTSCov_t^{\Delta,k,\theta}$ ima najmanju relativnu pristranost u usporedbi s drugim procjeniteljima kovarijance sa ili bez skokova. Ovaj rezultat podupire našu hipotezu budući da je pridruženi RMSE $rRTSCov_t^{\Delta,k,\theta}$ manji u usporedbi s RMSE drugih procjenitelja kovarijance jer su skokovi uključeni u model. Ovi rezultati pokazuju da $rRTSCov_t^{\Delta,k,\theta}$ nadmoćan u odnosu na druge procjenitelje kovarijance te ga nadalje koristimo kao referentnu vrijednost.

Procijenili smo udio negativne korelacije korištenjem Robustnog dva puta skaliranog procjenitelja koji je pokazatelj koja je imovina "više" sigurna među promatranim valutama "sigurnog utočišta". Negativna korelacija ukazuje na karakteristike sigurnog utočišta kao što je pokazano u recentnoj literaturi. Rezultati su pokazali da je Bitcoin imao 49,35% procijenjene negativne korelacije s općim tržištem u promatranom razdoblju, a japanski jen 29,79%. Američki dolar je imao 46,06%, a švicarski franak je imao najveći procijenjeni udio od 50,46%. Ova procijenjena negativna korelacija jasno pokazuje da su Bitcoin i švicarski franak imali najznačajnije suprotno kretanje u odnosu na opće tržište u promatranom razdoblju od lipnja 2013. do svibnja 2022. Ovi su rezultati novost u novijoj literaturi zbog upotrebe referentnog realiziranog procjenitelja kovarijance. Kako bismo odredili karakteristike sigurnog utočišta iz procijenjene negativne korelacije za svaku promatranu valutu, dodatno istražujemo pomoću hi-kvadrat testa i jednostranog Z-testa. Nema statističkih dokaza koji bi mogli zaključiti da se omjeri međusobno razlikuju. To nam pokazuje da sve ispitane valute imaju karakteristike valute sigurnog utočišta. Nadalje, posebno smo bili zainteresirani za utvrđivanje je li procijenjeni udio negativne korelacije za svaku valutu značajno veći od vrijednosti nulte hipoteze. Proveli smo jednostrani Z-test za svaku promatranu valutu na razini značajnosti od 5%. Švicarski franak pokazuje najbolje karakteristike sigurnog utočišta među konkurentskim alternativnim valutama. Zaključci ove studije pružaju vrijedne smjernice za upravitelje portfelja, kreatora regulatornih politika te male ulagače.

Ova procjena može dati jasnu perspektivu o makro implikacijama kriptovaluta odlučuje li domaće institucije regulirati njihov status kako bi zaštitile suverene valute. Rašireno prihvaćanje kriptovaluta moglo bi smanjiti učinkovitost monetarne politike dugoročno, ali povećati dostupnost i upotrebljivost za male ulagače.

Zaključak doktorske disertacije

Od početka 21. stoljeća izgradnja optimalnih portfelja i zaštita od tržišnih rizika postali su sve izazovnije zadatak. Svjedoci smo niza geopolitičkih i tržišnih kriza. Dubina i kontinuitet kriza u velikoj je mjeri posljedica veće povezanosti između tržišta i snažnog porasta korelacija između tržišta i imovine na regionalnoj ili globalnoj razini. Ove karakteristike znak su da tržište kapitala postaje istinski globalizirano i međusobno povezano. Globalna međupovezanost smanjuje mogućnosti diversifikacije vlastitih ulaganja čime se eliminira mogućnost učinkovitih strategija zaštite. Ovo vrlo nestabilno okruženje i stalno prisutni strah od učinka financijske zaraze ključni su pokretač povećanog interesa za imovinu sigurnog utočišta. Imovina sigurnog utočišta privlačna je kao tema istraživanja zbog svoje posebne karakteristike pružanja sigurne luke u vrijeme financijskih kriza.

U našem istraživanju usredotočeni smo na posebnu klasu imovine sigurnog utočišta, a to su valute sigurnog utočišta i najpoznatija digitalna imovina/valuta Bitcoin. Konkretno, ispitujemo koja je potencijalna valuta sigurnog utočišta najbolja imovina sigurnog utočišta tijekom razdoblja promatranja na temelju definirane referentne vrijednosti Robustnog dvostruko skaliranog procjenitelja kovolatilnosti. Robustan dvostruki procjenitelj kovarijance koji je predložio Zhang u 2011. godini, je opetovano vrlo pozitivno ocijenjen u novijoj literaturi, ali nije napravljena sveobuhvatna usporedba između realiziranih procjenitelja kovarijance da bi se odredilo koji ima najbolju točnost. Upotrijebili smo studiju visokofrekventne simulacije i analizirali smanjenu relativnu pristranost i RMSE, što je pokazalo superiornost Zhangovog robusnog procjenitelja kovarijance. Osim toga, upotrijebili smo referentni procjenitelj kako bismo odredili koja valuta ima najbolje karakteristike sigurnog utočišta tijekom dugog vremenskog razdoblja od lipnja 2013. do svibnja 2022., što uključuje razdoblja ozbiljnih tržišnih kriza.

Naši rezultati pokazuju da kriptovalute, posebice Bitcoin, pokazuju karakteristike valute sigurnog utočišta u usporedbi s uspostavljenim valutama sigurnog utočišta. Naša analiza pokazuje da Bitcoin i švicarski franak nadmašuju japanski jen i američki dolar u pogledu karakteristika sigurnog utočišta, budući da imaju višu procijenjenu negativnu korelaciju s općim tržištem. Valuta sigurnog utočišta s najboljom izvedbom je švicarski franak, koristeći procijenjenu korelaciju s referentnim procjeniteljem. Sva su istraživanja provedena na temelju visokofrekventnih podataka koji pomažu u određivanju, prvo, referentne vrijednosti procjenitelja volatilnosti Robustnog dvostruko skaliranog procjenitelja i drugo, referentne vrijednosti procjenitelja kovolatilnosti. Osim toga, ispitali smo potencijalnu imovinu sigurnog utočišta, portfelje kriptovaluta kako bismo odredili mogućnosti ulaganja, i za vrijeme tržišnih kriza. Naši rezultati pokazuju da je pet od šest portfeljnih strategija imalo bolje rezultate ako su uključivale sektorske kriptovalute, i to iz sektora financijskih, deviznih i poslovnih usluga. Također, rezultati ovog istraživanja pružaju uvid malim ulagačima u mogućnosti ulaganja uvođenjem kriptovaluta u njihove portfelje. Daljnja istraživanja trebala bi istražiti zaštitu portfelja s kriptovalutama za razliku od fiat valuta.

KEYWORDS

Keywords: High-frequency observations, Realized Volatility, Microstructure Noise, Price Jumps, Sampling Frequency, Cryptocurrency, Portfolio Optimization, Sectoral Classification, Investments, Safe haven, Realized Covariance

Ključne riječi: Visokofrekventna promatranja, Realizirana volatilnost, Mikrostrukturni šum, Cijenovni skokovi, Učestalost uzorkovanja, Kriptovaluta, Optimizacija portfelja, Sektorska klasifikacija, Ulaganja, Sigurno utočište, Realizirana kovarijanca



KLASA: 643-03/22-03/01
URBROJ: 2170-57-07-22-005

Rijeka, 20. travnja 2022. godine

Temeljem članka 65. Pravilnika o studijima Sveučilišta u Rijeci te članka 11. Pravilnika o poslijediplomskom sveučilišnom doktorskom studiju ekonomije i poslovne ekonomije Ekonomskog fakulteta u Rijeci, Fakultetsko vijeće Ekonomskog fakulteta u Rijeci na 264. sjednici održanoj 19. travnja 2022. godine donijelo je

ODLUKU

Prihvaća se tema doktorske disertacije doktorandice Marie Čuljak, univ. spec. oec., pod naslovom

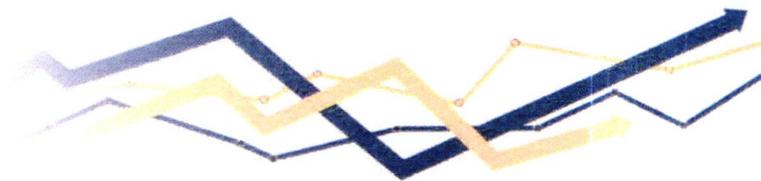
„Analiza procjenitelja distribucije prinosa, volatilnosti i kovolatilnosti dioničkih tržišta pomoću visokofrekventnih podataka i njihova otpornost“.



Prof. dr. sc. Alen Host

DOSTAVITI:

1. Maria Čuljak, univ. spec. oec.
2. mentoru i komentoru
3. pismohrana



KLASA. 643-03/24-04/01
URBROJ: 141-07-24-002

Rijeka, 21. svibnja 2024. godine

Temeljem čl. 11. i čl. 34 Pravilnika o doktorskom studiju Ekonomija i poslovna ekonomija Ekonomskog fakulteta u Rijeci, Fakultetsko vijeće Ekonomskog fakulteta u Rijeci na 301. sjednici održanoj 20. svibnja 2024. godine donijelo je

O D L U K U

Prihvća se prikaz rezultata istraživanja dokorskog rada doktorandice Marije Čuljak, univ. spec. oec., pod naslovom:

„Analysis and Robustness of Estimators of the Distribution of Returns, Volatility and Covolatility of Stock Markets using High Frequency Data“.



DEKAN:

Prof. dr. sc. Saša Drezgić

DOSTAVITI:

1. doktorandici
2. mentoru i komentoru
3. pismohrana



Sveučilišna avenija 4
51 000 Rijeka
Hrvatska

SVEUČILIŠTE U RIJECI
Filozofski fakultet

tel. (051) 265-600 | (051) 265-602
dekanat@ffri.hr
www.ffri.uniri.hr

EKONOMSKI FAKULTET RIJEKA

KLASA: 643-01/22-01/50
URBROJ: 2170-24-09-22-1

U Rijeci 28. lipnja 2022.

Primljeno	28. 06. 2022
Kl. ozn.	643-03 / 22 - 12 / 19
Ur. br.	2170-57 - 01 - 22 - 001
Org. jed.	01

POTVRDNICA

Potvrđujem da je predloženi naslov doktorskoga rada

Analiza i otpornost procjenitelja distribucije prinosa, volatilnosti i kovolatilnosti dioničkih tržišta pomoću visokofrekventnih podataka

pristupnice Marije Čuljak, univ. spec. oec.

u skladu s normama hrvatskoga standardnog jezika.

izv. prof. dr. sc. Mihaela Matešić

ovlaštena lektorica

SVEUČILIŠTE U RIJECI

Filozofski fakultet



Sveučilišna avenija 4
51 000 Rijeka
Hrvatska

tel. (051) 265-600 | (051) 265-602
dekanat@ffri.hr
www.ffri.uniri.hr

KLASA: 643-01/24-01/92

URBROJ: 2170-1-41-01-24-1

U Rijeci, 06.12.2024.

EKONOMSKI FAKULTET RIJEKA

Primljeno	06.12.2024
Kl. ozn.	643-01/24-12/14
Ur. br.	141-01-24-001
Org. jed.	01

POTVRDA

Potvrđujem da je lektorirani naslov doktorskog rada doktorandice Marije Culjak,

Analysis and Robustness of the Return Distribution Estimators, Volatility and Covolatility of Stock Markets by Using High Frequency Data

u skladu s normom engleskog standardnog jezika.

Jadranka Kim Musa

MA Jadranka Kim Musa, visa lektorica

Klasa: 643-03/19 -19 / 5
Ur. br. 2170-57/19 -19/74

Rijeka, 31. listopada 2019.

Na temelju članka 28. Pravilnika o poslijediplomskom sveučilišnom studiju (doktorskom studiju) Ekonomija i poslovna ekonomija Ekonomskog fakulteta u Rijeci, povodom zahtjeva doktorandice Marie Čuljak, Povjerenstvo za poslijediplomske studije i doktorate je na 315. sjednici održanoj dana 28. listopada 2019. donijelo slijedeću

ODLUKU

O PRIZNAVANJU ECTS BODOVA

1. Povjerenstvo je na temelju zahtjeva i dokumenata priloženih uz zahtjev utvrdilo da je doktorandica Maria Čuljak na Ekonomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu završila sveučilišni poslijediplomski specijalistički studij Statističke metode za ekonomske analize i prognoziranje.
2. Povjerenstvo je utvrdilo da na temelju završenog poslijediplomskog studija navedenog u točki 1. ove odluke doktorandica posjeduje kompetencije ekvivalentne kompetencijama koje se steču završetkom poslijediplomskog specijalističkog studija u Republici Hrvatskoj.
3. Sukladno iznesenom doktorandici Marii Čuljak priznaje se 60 ECTS bodova na poslijediplomskom sveučilišnom studiju (doktorskom studiju) Ekonomija i poslovna ekonomija Ekonomskog fakulteta u Rijeci.

Predsjednica Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Helena Blazić



MARIA CULJAK

13th May 1990 • Freiherr-vom-Stein-Str. 18 • 63263 Neu-Isenburg, Germany •
(+49)1520 2122679 • culjakmaria1@gmail.com • maria.culjak@db.com

PhD candidate with a strong academic background and research focus, particularly in financial technology with 10 years of work experience. Co-founder of BOTIK, a high-performing automated crypto trading bots, recognized for innovation and results. Passionate crypto enthusiast with hands-on experience in IT and finance sectors.

WORK EXPERIENCE

DEUTSCHE BANK AG – GROUP AUDIT

Frankfurt am Main, Germany

Business Management Senior Analyst

Jan 2023 - present

- **GFMS Governance Team**
- Covers all three pillars of the GA GFMS Team: Access Management, Release Management, and Change Request Management
- Automated and designed Access and Change Management processes via a SharePoint form with Power Automate, improving tracking and user-friendliness for 50%
- Managing and chairs the Business Requirements Forum, shaping requirements and aligning with stakeholders, significantly improving the system and user experience of GFMS
- Developed automated test scripts for GFMS releases, enhancing error detection in UAT and user experience for 25%
- Demonstrated drive for innovation, client focus, and collaboration across the Bank
- Business Management Team cross divisional experience in TDI

BOTIK

Zagreb, Croatia

Management Board

Jan 2024 - present

- **BOTIK platform and App for trading with cryptocurrencies botik.ai**
- Software solutions for enhanced asset management through a range of trading disciplines
- Trading strategies based on published research papers
- Automated Trading: BOTIK provides fully automated trading services, maximizing portfolio optimization objectives through algorithmic trading
- Quantitative Strategies: The platform offers various strategies, including Optim (optimization-focused), Hybrid (combining optimization with risk management), and TA Systems (technical analysis-based)
- Risk Management: BOTIK includes systematic risk control properties to enhance security and minimize potential losses
- User Dashboard: Users have access to a comprehensive dashboard with performance metrics and trading data

HUMBOLDT UNIVERSITY, SCHOOL OF BUSINESS AND ECONOMICS

Berlin, Germany

Research Associate

Oct 2020 – Dec 2021

- **International Research Training Group 1792 – High Dimensional Nonstationary Time Series**
- Managing CRIX team and Product Owner of the CRIX's App
- Managed the sale of CRIX IP to AIF Royalton Partners
- Research on finding the best volatility estimator of cryptocurrencies based on high-frequency data
- Working on QuantLet <https://quantnet.hu-berlin.de/>

CROATIAN FINANCIAL SERVICES SUPERVISORY AGENCY (HANFA)

Zagreb, Croatia

Analyst

Nov 2018 – Sep 2020

Jan 2022 – Nov 2022

- **Systemic Risks and Consumer Protection Division - Systemic Risks Department**
- Statistical analysis and forecasting – Investment funds, Capital market, Pension funds, Insurance market, time series analysis (removing trend, seasonality) – ARMA, ARIMA, neural networks forecasting
- Calculating CoVaR and GaR indicators on market indices
- Preparation of documentation for decisions on Boards of Supervisory (ESMA; EIOPA) regarding systemic risks
- Preparation of analysis and report on financing small and medium enterprises on Croatian capital market; Progress market (multilateral trading facility)
- Creating BI reports from internal database – Statistics on bonds trading, Top investors, Investment funds portfolio, Capital market transactions and orders, OTC trading
- Using Bloomberg terminal on daily basis for data extraction and analysis

- Risk Based Supervision project, European Commission - Structural Reform Support Service
- Complete analysis of Croatian capital market for HANFA's standard presentation
- Modeling volatility using EWMA and GARCH models
- Stress testing, VAR methodology for investment sentiment index and Principal component analysis

CROATIAN FINANCIAL SERVICES SUPERVISORY AGENCY (HANFA)

Zagreb, Croatia
Oct 2015 – Nov 2018

Expert Associate

- **Information Technology Department**
- Administrating and development of Data management system – SharePoint
- Creating views for reporting – Microsoft SQL Server Management Studio
- Creating and improving XSD schemas for daily reporting on transactions and orders; XSD schemas for quarterly calculations on stocks and bonds (ESMA reporting)
- **Capital Market division - Supervision and Risk Analysis Department**
- Analyzing stocks and bond market on daily, weekly and monthly basis
- Creating reports for further analysis regarding orders, transactions, top investors and corporate actions
- Team member on projects FIRDS, RDS, Transparency regarding MIFID II implementation
- Supervision of Zagreb Stock Exchange
- Creating and improving xml schemas for daily reporting on transactions and orders as well as quarterly reporting on equity and non-equity quantitative data

DEUTSCHE BANK AG – GLOBAL CHIEF INVESTMENT OFFICE

Frankfurt am Main, Germany

Investment Strategy Intern

Jul 2014 – Oct 2014

- Improved daily and weekly reporting on Investment Portfolios – added new Risk indicators (VaR, Volatility Analysis) and automatized the procedure implementing ReTIS database time series
- Bloomberg Quant Strategy for Equities – helped the team with an additional information for fund management, resulting with an Equity allocation increase in the “Growth” portfolio
- European Government Bonds research for CORPORATE BANKING & SECURITIES division in collaboration with Dr. Vicente Jakas – resulting with a research paper “*Affine Term Structure and State Space Model Applied to Non-core European Government Bonds*”

MeDILS- MEDITERRANEAN INSTITUTE FOR LIFE SCIENCES

Split, Croatia

Volunteer

Jul 2013 – Aug 2013

- Organized and participated in a summer science school “Summer Science Factory” – the project won a Google RISE Award (2013)

UNIVERSITY OF ZAGREB, FACULTY OF SCIENCE

Zagreb, Croatia

Student Teaching Assistant at Department of Mathematics

Jan 2012 – Jan 2015

- Consulted and helped numerous students with their organizational skills and difficulties in studies
- Held lectures in undergraduate and graduate courses, by semesters: Euclidean Spaces (Fall 2014, 2013), Mathematics outside Mathematics (Spring 2014, 2013), Applied Mathematical Analysis (Fall 2013), Probability and Statistics (Spring 2013), Constructive Geometry (Spring 2012)

EDUCATION

UNIVERSITY OF RIJEKA, FACULTY OF ECONOMICS AND BUSINESS

Rijeka, Croatia

PhD Candidate, Big Data in Finance

Mar 2019 – present

- European Commission Horizon 2020 Fintech project
- Financial and Social Aspects of Developments and Liberalization in EU Energy Markets project
- Scientific research paper “*Predictive Accuracy Analysis of Option Pricing Models Using High Frequency Data*”
- Presenter at “International Scientific Conference Economics of Digital Transformation (EDT) DIGITOMICS” on “*How accurately stock market expectations can be predicted?*”
- Research interest in Forecasting volatility using high frequency data
- H2020 FINTECH workshops – Lecturer at “Big Data Analytics Knowledge Exchange Platform” at Deutsche Bundesbank, Frankfurt am Main, Germany
- Guest researcher at Humboldt University, Berlin, Germany
- Scientific research paper “*Sectoral Cryptocurrency Portfolio Optimization*”

UNIVERSITY OF ZAGREB, FACULTY OF ECONOMICS AND BUSINESS

Zagreb, Croatia

Univ. spec. oec. Statistical Methods in Economic Analysis and Forecasting

Jan 2018 – Oct 2019

- Research using economic data – inferential and descriptive statistics, forecasting using ARMA models and neural networks, modeling volatility using GARCH models

- Solving quantitative problems regarding quantitative and qualitative variables – cluster and factor analysis
- Passed additional semester economic courses – Macroeconomics, Microeconomics and Methodology of scientific-research work; 5,0 GPA
- Published scientific-research paper “*The Impact of a Takeover Bid on the Capital Market Efficiency*”

UNIVERSITY OF ZAGREB, FACULTY OF SCIENCE

Zagreb, Croatia

M.Sc. Mathematical Statistics and Probability

Oct 2013 – Sept 2015

Focus in Quantitative Finance and Actuarial sciences

- Econometric Analysis of all major Global Markets ETFs and Futures – top of the class in Econometric courses
- Survival Analysis and Predictive Modeling project on a population of people that have diabetes – discovered anomalies in medicine distribution
- Board member of student science society organization PRIMUS – held lectures, workshops and organized charity events

UNIVERSITY OF ZAGREB, FACULTY OF SCIENCE

Zagreb, Croatia

B.Sc. Mathematics and Mathematics education

Oct 2009 – Jan 2013

- Investment Portfolio Optimization project, supervisor Prof. Lavoslav Čaklović – Interior point methods for solving linear and nonlinear convex problems
- Visualization research resulting with published paper, supervisor Prof. Mirko Polonijo – “*Isometries in Escher’s work*” (available online https://grad.hr/hdgg/kog_stranica/kog17/koga17.htm)
- European Commission’s popularization of science project “European Explorer’s Night 2013” – organized and participated

CLEVELAND STATE UNIVERSITY

Cleveland, OH

Bachelor of Science student in Mathematics

Sept 2008 – Sept 2009

- Full Tuition Scholar
- Dean’s List Award (May, 2009) – academic excellence
- Member of Cleveland State Swimming & Diving Team – Horizon League finalist

COMPUTER SKILLS

Programming languages & software:

- MATLAB (university projects, Deutsche Bank projects, work analysis)
- Stata (research paper on Government Bonds)
- SAS - Statistical Analysis Software (university projects)
- R studio (university projects, work analysis)
- Python (university projects, work analysis, Deutsche Bank projects)
- SQL/MySQL (database projects, work analysis)

Operating systems skills:

- Linux/Windows (university and personal usage)

Other technical skills:

- JIRA and Confluence (Deutsche Bank projects)
- SharePoint Power Automate (Deutsche Bank projects)
- Copilot (AI prompts)
- Microsoft Office - Word, Excel (VBA, Data Analysis, PowerPivot), PowerPoint
- Bloomberg Terminal (Deutsche Bank projects, Quant Strategy seminars)
- ReTIS - Deutsche Bank database system
- LaTeX (document markup language - numerous projects)
- Hadoop (big data analytics project)

PAPERS

- *Isometries in Escher's Work*; Author: Maria Čuljak, mag. math.; published paper; KoG - Scientific and Professional Journal of Croatian Society for Geometry and Graphics for Geometry, Applied Geometry and Computer Graphics; 2013.
- *The Impact of a Takeover Bid on the Capital Market Efficiency*; Authors: Anita Knezović, PhD, Maria Čuljak, mag. math.; scientific published paper; UTMS Journal of Economics, 2018.
- *Predictive Accuracy Analysis of Option Pricing Models Using High Frequency Data*; Authors: Josip Arnerić, PhD, Maria Čuljak, mag. math., univ. spec. oec.; scientific published paper; Mathematics Journal
- *Benefits of Sectoral Cryptocurrency Portfolio Optimization*; Authors: Maria Čuljak, mag.math., univ.spec. oec., Saša Žiković, PhD, Bojan Tomić; scientific published paper; Research in International Business and Finance Journal
- *A Realized Covariance Approach in Reexamining Crypto and FX currencies as Safe Havens and Hedges*; Authors Maria Čuljak, mag.math., univ.spec. oec., Saša Žiković, PhD, Josip Arneric, PhD; Gazi Salah Uddin, PhD; scientific paper prepared for publishing

CONFERENCES

- Zagreb – Financial Center - Zagreb, 2017. (Participant)
- AI2FUTURE – Artificial Intelligence Future - Zagreb, 2018. (Participant)
- Awakening of Capital Market - Zagreb, 2018. (Participant)
- InvestCro: Is Croatia ready for new investments? - Zagreb, 2019. (Participant)
- InvestCro: Investment possibilities in Croatia – Zagreb, 2019. (Participant)
- International Scientific Conference Economics of Digital Transformation (EDT) DIGITOMICS – Opatija, 2019. (Presenter)
- AI2FUTURE – Artificial Intelligence Future - Zagreb, 2019. (Participant)
- International Scientific Conference Economics of Digital Transformation (EDT) DIGITOMICS – Opatija, 2020. (Presenter)
- Blockchain and Cryptocurrency B2C Conference – Greece 2023. (Presenter)
- Blockchain and Cryptocurrency B2C Conference – Tenerife 2024. (Presenter)

LANGUAGE

- Croatian (native speaker)
- English (native speaker)
- German (intermediate proficiency)

SAŽETAK

Tema doktorske disertacije je iz područja financijske ekonometrije. Istražuju se četiri fenomena financijskog tržišta: distribucija prinosa, volatilnost, kovolatilnost te imovina sigurnog utočišta pomoću analize vremenskih serija i visokofrekventnih podataka financijske imovine.

Glavni cilj je preispitivanje svojstava sigurnog utočišta i zaštite dviju vrsta valuta koje se razlikuju po razini regulacije i centralizacije. Dok je uloga dugoročne zaštite i sigurnog utočišta tijekom kriznih razdoblja, kao što je COVID, istražena u literaturi za različitu imovinu, ova disertacija popunjava značajnu prazninu korištenjem podataka o unutardnevnim transakcijama i bavi se brojnim pitanjima povezanima s integriranom varijancom i procjenom kovarijance.

Tako čestim uzorkovanjem podataka dobivamo potpunije informacije o kretanju cijena i trgovinskoj aktivnosti.

Četiri koraka koja su pratila četiri objavljena rada dovela su do ostvarenja cilja – odgovora na glavnu hipotezu: Robusni procjenitelj s dvije skale je superioran u odnosu na druge razmatrane procjenitelje volatilnosti i kovolatilnosti. Ta hipoteza vodi do identifikacije sigurne valute u usporedbi s tržišnim kretanjima.

Počinjemo ispitivanjem distribucije prinosa i pronalaženjem referentne vrijednosti "prave" funkcije gustoće za glavne tržišne indekse koji se razmatraju. Nakon toga, istražujemo je li Robusni procjenitelj s dvije skale superioran među alternativnim procjeniteljima volatilnosti korištenjem visokofrekventnih podataka na vremenskoj skali od 1 sekunde tijekom razdoblja od 7 godina. U trećem koraku ispitujemo potencijalno sigurno utočište, tržište kriptovaluta, uspoređujući sektorske portfelje kriptovaluta s referentnim indeksom CRIX. Na kraju, utvrđujemo najbolji procjenitelj kovolatilnosti i identificiramo švicarski franak kao najbolju sigurnu valutu s najboljim rezultatima u usporedbi s općim tržišnim kretanjima i potvrđujemo da Bitcoin ima karakteristike sigurne valute.