

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

Majandusteaduskond

Johannes Kustav Viise

**AKTSIATURU VOLATIILSUSE ÜLEKANDUMINE VENE-
UKRAINA SÕJA ESKALEERUMISE AJAL**

Magistritöö

Õppekava Ärirahandus ja Majandusarvestus, peeriala Ärirahandus

Juhendaja: Kaido Kepp, MA

Tallinn 2022

Deklareerin, et olen koostanud magistritöö iseseisvalt ja olen viidanud kõikidele selle koostamisel kasutatud teiste autorite töödele, olulistele seisukohtadele ja andmetele, ning ei ole esitanud sama tööd varasemalt ainepunktide saamiseks.

Töö pikkuseks on 11224 sõna sissejuhatusest kuni kokkuvõtte lõpuni.

Johannes Kustav Viise

(kuupäev)

SISUKORD

LÜHIKOKKUVÕTE	5
SISSEJUHATUS	6
1. SÕJA MÕJU VOLATIILSUSELE	9
1.1. Volatiilsus, selle mõõtmine ja stiliseeritud faktid	10
1.2. Varahindade volatiilsuse ülekandumise teoreetiline käsitlus	13
1.3. Volatiilsuse mudelid	16
1.3.1. ARMA	17
1.3.2. ARCH	19
1.3.3. GARCH	21
1.3.4. MGARCH	22
1.4. Varasemad empiirilised uuringud	25
1.4.1. Varasemad empiirilised uuringud volatiilsuse ülekandumisest	25
1.4.2. Varasemad empiirilised uuringud volatiilsusest Vene-Ukraina sõja ajal	30
2. ANDMED JA METOODIKA	33
2.1. Andmed	34
2.2. Mudeli eeldus	36
2.2.1. Statsionaarsus	36
2.2.2. Autokorrelatsioon	36
2.2.3. Normaaljaotus	37
2.2.4. Heteroskedastiivsus	38
2.3. Mudeli spetsifikatsioon	38
2.4. Mudeli parameetrite hindamine	39
2.5. Mudeli diagnostika	40
3. EMPIIRILISE UURINGU TULEMUSED	41
3.1. Eelduste testimine	41
3.1.1. Statsionaarsus	41
3.1.2. Autokorrelatsioon	43
3.1.3. Normaaljaotus	44
3.1.4. Heteroskedastiivsus	44
3.2. Volatiilsuse mudeli hindamine	45
3.3. Volatiilsuse korrelatsioonimudeli testimine	45

3.4. Järeldused	48
KOKKUVÕTE	49
SUMMARY	51
KASUTATUD ALLIKATE LOETELU	54
Lisa 1. Lihflitsents	59

LÜHIKOKKUVÕTE

Käesoleva töö eesmärk on välja selgitada, kas Vene-Ukraina sõja eskaleerumisel 2022. aastal esines suurenenud volatiilsus ning kas globaalsete aktsiaturgude vahel toimus volatiilsuse ülekandumine, mis võiks huvi pakkuda globaalsele investorile, kelle jaoks on oluline mõista, kuidas erinevad sündmused võiksid mõjutada portfelli. Varasemad empiirilised uurimused viitavad sellele, et geopoliitilistel sündmustel on oluline mõju finantsturgudele. Uurimuses modelleeritakse Saksa, Inglise, Prantsuse, Jaapani ja ülemaailmse aktsiaindeksi volatiilsust kasutades mitmemõõtmelist GARCH mudelit, mille abil saab kirjeldada indeksite vahelisi dünaamilisi korrelatsioone. Analüüsi tulemused näitavad, et volatiilsus suurenes kõikide vaatluse all olevate indeksite puhul ning dünaamilised korrelatsioonid Euroopa indeksite ja ülemaailmse indeksi vahel olid sõja eskaleerumist hõlmaval perioodil suuremad kui sõja eskaleerumise eelsel perioodil. Jaapani aktsiaindeksi koosliikumine teiste indeksitega ei muutunud.

Võtmesõnad: DCC MGARCH, volatiilsus, volatiilsuse ülekandumine, CAC, DAX, FTSE 100, Nikkei 225, MSCI World

SISSEJUHATUS

Hiljuti eskaleerunud sõjategevus Ukrainas on tekitanud ebakindlust erinevates ühiskonna valdkondades. Finantsturud on Vene-Ukraina sõja perioodil kogunud suurenenud volatiilsust ja negatiivset mõju varahindades. Negatiivne mõju süvenes alates 2022. aasta 24ndast veebruarist ehk pärast konflikti olulist eskaleerumist. Empiirilist materjali sõja eskaleerumisel esinenud negatiivsest mõjust indeksele tootlusele on esimesena dokumenteerinud Boungou ja Yatié (2022). Sõjast eskaleerumisel suurenenud volatiilsust toormeturul on täheldanud Fang ja Shao (2022) ning Vene rubla volatiilsust sel perioodil on modelleerinud Lyócsa ja Plíhal (2022). Suurenenud volatiilsus on tekitanud huvi investorite hulgas, kelle jaoks on oluline hajutada portfelle selliselt, et volatiilsuse mõju oleks minimaalne. Suure mõjusfääriga sõda on tekitanud vajadust mõista volatiilsust varasemast veelgi paremini nende jaoks, kes soovivad juhtida riske ning oma varasid hajutada.

Aktsiaturgude volatiilsuse ennustamisest on teadusmaailmas viimastel aastatel järjest rohkem tehtud uurimusi. Hea aktsiaportfelli koostamisel on eesmärk riske maandada nii palju kui võimalik. Markowitzi (1952) teooria kohaselt on investori portfelli risk võrdeline selles olevate varade hindade kõikumisega, mistõttu on võimalik riskide minimeerida läbi adekvaatse diversifitseerimise ehk hajutamise, mille puhul jälgitakse, et investeeritavad varad ning neid mõjutavad tegurid ei oleks liialt omavahel korrelatsioonis. Valdavalt hajutatakse investeringuid erinevate sektorite ja tööstuste vahel, aga ka firmade, varaklasside ning ka geograafiliste asukohtade vahel, lootuses kaitsta end sel viisil volatiilsuse eest. Sellega soovitakse moodustada portfelli, millel on optimaalne suhe riski ja tootlikkuse osas. Volatiilsuse edukas ennustamine annaks seejuures ehk eelise turuosaliste ees. Selleks, et seda edukalt teha, oleks kasulik teada, milline on volatiilsus globaalsetel turgudel erinevate geopoliitiliste sündmuste korral.

Suured muutused ühiskonnas on endaga kaasa toonud järjest suuremal määral globaliseerumise. Majanduslikult on see kasulik olnud tervele maailmale, sest globaliseerumine on teinud lihtsamaks riikidevahelise koostöö ning seega teinud kogu maailma majanduse efektiivsemaks. Suuremal

määral kogu maailma majanduse koos toimimine on endaga kaasa toonud nii positiivseid kui ka negatiivseid mõjusid. Riigid on tänu liberaalsematele hoiakutele saanud parema juurdepääsu erinevatele turgudele ning seejuures kasvatada oma majanduse mahtu järjest kasumlikumalt. Samas aga on see paraku teinud ka riigid haavatavamaks erinevatele šokkidele ja kriisidele, sest suurem seotus tingib mitte ainult positiivsete, vaid ka negatiivsete mõjude efektiivsema leviku. Selgelt väljendub see finantsturgudel, mis reageerivad erinevatele globaalsetele sündmustele hoolimata geograafilisest asukohast.

Üldiselt kasutatakse erinevate majandusandmete analüüsimiseks ja kirjeldamiseks statistilisi töövahendeid, muuhulgas ka ökonomeetrilisi mudeleid, mille abil on võimalik analüüsida esmajoones lineaarse iseloomuga andmestikke, et teha vastavaid järeldusi majanduslike toimingute jaoks, kuid sukeldudes sügavamale ökonoomikat puudutavatesse teemadesse, siis saab ilmsiks tõsiasi, et tihtipeale on vaja kasutada ka veidi keerulisemaid lahendusi kui tavapäraseid lineaarseid mudeleid. Majanduses toimivate finantsturgude volatiilsuse modelleerimiseks ja kirjeldamiseks on vaja analüüsida aegridu, mis ei ole lineaarse iseloomuga. Brooks (2008, 380) toob välja lineaarsete mudelite nõrkuseks erinevad asjaolud. Üheks neist on võimetus selgitada finantsaegridade tendentsi erineda normaaljaotusest. Lisaks kipub volatiilsus kuhjuma ja püsima ning finantsvara hindade tõusudel ja langustel on erinev mõju volatiilsusele. Volatiilsuse analüüsimiseks, prognoosimiseks ja kirjeldamiseks kasutatakse üldistatud autoregressiivse tingliku heteroskedastiivuse (*Generalized autoregressive conditional heteroscedasticity* - GARCH) mudeleid, mille esialgse variandi esitas Bollerslev 1986ndal aastal ning sellele on järgnevalt lisandunud hulgaliselt edasiarendusi.

Varasemad uuringud näitavad, et erinevad ülemaailmsed ja lokaalsed sõjad on suuremal või vähemal määral mõjutanud erinevate finantsturgude (sealhulgas aktsiaturgude) volatiilsust. Lisaks on uuringud paljastanud paljudel juhtudel turgude volatiilsuse ülekandumist teistele turgudele. Seni on vähe teada, kas Euroopas puhkenud Venemaa ja Ukraina vaheline sõda on suurel määral mõjutanud Euroopa aktsiaturgude volatiilsuse ülekandumist globaalsetele turgudele.

Uurimustöö jooksul vaadeldakse Vene-Ukraina sõja eskaleerumise järgsel perioodil suurenenud volatiilsust erinevates geograafilistes piirkondades ning uuritakse, kas toimub volatiilsuse ülekandumine globaalsete aktsiaturgude vahel. Selle abil võiks olla investoritel võimalik teha portfelli juhtimisel ja varade hajutamisel paremaid otsuseid võttes arvesse potentsiaalseid riske, mis võivad kaasneda globaalsete konfliktidega.

Töö eesmärk on välja selgitada, kas aktsiaturgude volatiilsus on suurenenud Vene-Ukraina sõja eskaleerumisel ning kas globaalsete aktsiaturgude vahel toimub volatiilsuse ülekandumine.

Uurimisküsimused

- 1) Kas globaalsete aktsiaindeksite volatiilsus on suurenenud Vene-Ukraina sõja eskaleerumisel?
- 2) Kas Vene-Ukraina sõja eskaleerumise järel toimub volatiilsuse ülekandumine globaalsete aktsiaindeksite vahel?

Hüpoteesid

- 1) Vene-Ukraina sõja eskaleerumise järel on oluliselt suurenenud volatiilsus nii Euroopa kui ka teistel olulistel globaalsetel aktsiaturgudel
- 2) Vene-Ukraina sõja eskaleerumise järgsel perioodil on toimunud aktsiaturgude volatiilsuse oluline ülekandumine

Töös on kasutatud vabalt kättesaadavaid andmeid erinevate globaalsete indeksite päevaste sulgemishindade kohta. Kasutatud andmed on pärit veebilehelt Yahoo Finance. Vene-Ukraina sõjast tekkinud volatiilsuse ülekandumise kirjeldamiseks on võetud Euroopa indeksid CAC, DAX ja FTSE 100, mis koosnevad vastavalt Prantsuse-, Saksa- ja Inglismaa päritoluga aktsiatest ning globaalsete indeksite hulgast on võetud veel Jaapani Nikkei 225 ja MSCI World indeksid.

Magistritöö koosneb kolmest peatükist. Esimeses peatükis vaadeldakse, mis võiks olla sõja mõju volatiilsusele. Selle jaoks antakse esmalt ülevaade volatiilsusest, selle definitsioonist, mõõtmisest ja ka volatiilsuse ülekandumisest. Leitakse sobiv volatiilsusmudel, mille abil võiks volatiilsuse ülekandumist tuvastada ja kvantitatiivselt defineerida, et saavutada töö eesmärk. Tehakse selgeks, kuidas varasemalt on volatiilsuse ülekandumist tuvastatud erinevate sündmuste ajal ning antakse ülevaade ka senisest empiirilisest materjalist Vene-Ukraina sõja kontekstis. Teine peatükk kajastab andmete ja meetodika tutvustust, kus toetudes teoreetilisele käsitlusele toodaks välja volatiilsusmudeli eeldused, spetsifikatsioon, parameetrite hindamismeetod ja mudeli diagnostika. Kolmandas peatükis on empiirilise uuringu tulemused, kus antakse ülevaade eelduste testimise tulemustest, mudeli hindamisest ja on välja toodud järeldused. Töö võiks pakkuda huvi investoritele, kelle portfellis esineb globaalseid finantsvarasid ja kes soovivad mõista volatiilsuse olemust geopoliitiliste sündmuste ajal.

1. SÕJA MÕJU VOLATIILSUSELE

Venemaa ja Ukraina vaheline relvakonflikt on üks väga paljudest sõjalistest sündmustest, mis on maailma ajaloos aset leidnud. Sõjad on üldiselt suurel määral mõjutanud ühiskonna ja maailmakorralduse käekäiku, tekitades eelkõige laialdaselt ebamugavust ning problemaatilisust elustandardites. Sõjad on takistanud ühiskonna normaalset toimimist ning selles osalevad inividid on sunnitud keskenduma madalaastmelistele põhivajadustele nagu füüsiline enesekaitse, piiratud ressursside hankimine ning ülemäärase stressiga toimetulemine. Sellistes tingimustes on väga keeruline tegeleda produktiivsete tegevustega. Seetõttu on pidanud sõdade tõttu ka finantsturud kannatama. Näiteid on lausa teisest maailmasõjast, kus Briti aktsiaturg sai tugevalt kannatada, liikudes korrelatsioonis vastavalt sõjast saabuvatele uudistele - halvemad uudised tõid endaga kaasa negatiivseid tulemusi (Hudson ja Uquhart 2015). Sõjaliste kriiside ajal on esinenud ka juhtumeid, kus mõne riigi majanduse produktiivsus on kasvanud tänu sõjatööstusele nagu näiteks USA Teise Maailmasõja ajal, kuid see on olnud pigem seetõttu, et peamine sõjategevus toimus võõrriikide territooriumitel ning sellistel juhtudel, kus riikide, mille territooriumil toimub sõjategevus on finantsturgudele olnud mõju pigem negatiivne (Schneider ja Troeger 2006).

Vene-Ukraina sõja mõju paremaks mõistmiseks on magistritöö autor uurinud artikleid, mis on käsitletud varasemaid sarnaseid sündmusi ning nende mõjusid finantsturgude tootlustele ja volatiilsusele ning kuna tänapäeval kasutatavad ajaloolised majandusandmed ulatuvad harva kaugemale kui 20. sajand, siis seetõttu ei ole Vene-Ukraina sõjalise konflikti mõju kirjeldamiseks autor keskendunud konfliktidele, mis ulatuksid liialt kaugemale minevikku. Kuna magistritöö kirjutamise hetkel ei ole ilmunud palju empiirilist materjali Vene-Ukraina sõja kohta, on magistritöö autor lähenenud probleemile selliselt, et on uuritud kuidas on sõdade ajal käitunud finantsturud ja nende volatiilsus ning ka seda, kuidas toimub volatiilsuse ülekandumine üleüldiselt ja ka (sõjaliste) kriiside ajal. Sõjast tingitud negatiivne mõju majandusele kajastub enamasti aktsiaturgudel langenud varahindade ning suurenenud volatiilsuse näol. Kuna suurenenud volatiilsus on investorite jaoks negatiivne mõjutegur finantsilisele kindlusele, on oluline esmalt mõista volatiilsuse olemust, selle mõõtmist ning sellega seonduvaid stiliseeritud fakte.

1.1. Volatiilsus, selle mõõtmine ja stiliseeritud faktid

Volatiilsus viitab mingi teadmata muutuja kõikide võimalike väärtuste hajuvusele. Finantsmaailmas mõeldakse volatiilsuse all valdavalt mingi vaatluse all oleva varahinna kõikumist teatud perioodi jooksul, ning seetõttu mida suurem on hajuvus, seda suurem on eeldatav teadmatust ja ebakindlus, sest varahinna suur kõikumine näitab investorite ebakindlust ja määramatust investeeringu tulevaste rahavoogude tänase väärtuse osas, mis võib erineda olenevalt makromajanduslikest faktoritest aga ka konkreetse investeeringu mikroökonomilistest muutustest.

Kui investeerida täna mingisse finantsvarasse, tuleks mingil ettemääratud hetkel tulevikus selle pealt saadavat tulu lugeda juhuslikuks muutujaks. Kui selle vara tootlused paigutada ajateljega graafikule, illustreerib sakiline võnkuv nähtus volatiilsust ehk ebakindlust. Selline liikumine kajastab nii soovitud elemente, nagu üllatavalt suuri tootluseid kui ka mittesoovitud, ehk tootlusi, mis on keskmisest tunduvalt madalamad. On üldtuntud tõsiasi, et investeeringuga võib tuleneda loodetust kehvem tootlus, mis tõestab, et investeerimine võib olla riskantne ja mistõttu tihtipeale peetakse volatiilsust ning riski samaväärseteks. Kuid volatiilsus on seotud rohkem teadmatuse ja ebakindlusega ning riski definitsioon rõhutab pigem mittesoovitud tulemusi. Kuna volatiilsus võib olla kaasnenud ka soovitud tulemustega, siis on riski ja volatiilsuse võrdsustamine ebaõige, kuid sellegipoolest vajalik mõõduvahend riskide hindamiseks. (Poon 2005).

Statistiliselt mõõdetakse volatiilsust valimi standardhälvega (valem 1.1), mille abil on üsna lihtne kirjeldada varahinna kõikumist ümber keskväärtuse. (Poon 2005).

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{T-1} \sum_{t=1}^T (r_t - \mu)^2} \quad (1.1)$$

kus

σ - valimi standardhälve,

r_t - tootlus ajahetkel t ,

μ - valimi keskväärtus,

T - valimi maht.

Volatiilsuse mõõtmiseks on lisaks veel mitmeid teisi erinevaid võimalusi, millede erinevus tuleneb peamiselt prognooside täpsusest. Finantsandmete hajuvuse kirjeldamisele on võimalik läheneda

mitut erinevat viisi, mis on muutunud viimaste kümnendite jooksul paremaks, kuna püütakse antud mudelitest saada paremini prognoositavad finantsandmeid. Enne kui kõrgsageduslikud andmed laialdaselt kättesaadavaks said, mõõtsid paljud teadlased volatiilsust kasutades igapäevaste tulude ruute ja absoluutset tulu, mis arvutati turu päevase sulgemishinna alusel. Tänu infotehnoloogia kiirele arengule on viimastel aastakümnetel kõrgsageduslikud andmed muutunud hõlpsasti kättesaadavaks ja annavad seeläbi täpsema volatiilsuse mõõtmise tulemusi. (Poon 2005).

Volatiilsuse hindamiseks on võimalik kasutada volatiilsuse hindaja puhver-ruudus tootlust. Selleks, et saada igapäevaste tootluste ruutude seeria, tuleb võtta vaadeldud tulude veerud ning iga vaatlus ruudustada. Tootluste ruudud igal ajahetkel esindavad igapäevase volatiilsuse hinnangut. Seda kasutatakse valdavalt standardse autoregressiivse mudeli puhul. (Brooks 2008, 386)

Mitmetel statistilistel põhjustel eelistatakse varahindade aegridadega otse mitte töötada, nii et töötlemata hinnaread teisendatakse tavaliselt tootluste aegridadeks. Muuseas on tootlustel hea omadus, et vahet ei ole, mis alloleva ühikuga on tegemist, sest tootluste puhul mõeldakse protsendilist juurdekasvu. Tootluse arvutamiseks hindade seeriast kasutatakse kahte meetodit: lihtsa tulumäära või logaritmilise tulumäära arvutamine. Viimast kasutatakse selleks, et seda saab tõlgendada pideva tulumäärana, mille puhul vaatluste sagedus ei ole oluline, mistõttu on võimalik üksteisega võrrelda mitmeid erinevaid finantsvarasid, olenemata sagedusest. Lihtsad tulumäärad on leitud valemiga 1.2 ja logaritmiliste tulumäärad on leitud valemiga 1.3. (Tsay 2005, 3-5)

$$R_t = \frac{p_t - p_{t-1}}{p_{t-1}} 100\% \quad (1.2)$$

kus

R_t – tootlus ajahetkel t ,

p_t – vara hind ajahetkel t .

$$r_t = \ln\left(\frac{p_t}{p_{t-1}}\right) 100\% \quad (1.3)$$

kus

r_t – tootlus ajahetkel t ,

p_t – vara hind ajahetkel t .

Kuigi volatiilsuse uurimiseks kasutatakse ka mitmeid teisi võimalikke variante ja meetodeid olenevalt andmete sagedusest ja tüübist, keskendub autor käesolevas magistritöös peaaugjalikult logaritmiliste tulumäärade kasutamisele volatiilsuse uurimiseks ja selgitamiseks.

Aastakümnete jooksul on tänu volatiilsuse põhjalikule uurimisele jõutud erinevate stiliseeritud faktideni, mida on korduva esinemise puhul tõestatud olema üldlevinud tunnused finantsvarade hindade volatiilsuse modelleerimise juures.

De Bondt ja Thaler (1985) olid esimesed, kes täheldasid, et finantsvarade hindade volatiilsus liigub alati tagasi ajaloolisele pikaajalisele keskmisele tasemele. Seda fenomeni, et peale positiivseid ja negatiivseid šokke taanduvad kõrgendatud volatiilsusega perioodilt tootlused alati tagasi šokile eelnenud perioodi ning pikaajalisele keskmisele tasemele, on hiljem dokumenteerinud ka Fama ja French (1988) ning ka Engle ja Patton (2001), mistõttu peetakse seda üldtuntud volatiilsuse omaduse kirjeldavaks faktiks. Sarnaselt ka keskmisest madalama volatiilsusega perioodil hakkab mingil hetkel volatiilsuse tase tõusma, et jõuda tagasi mingile ajaloolisele keskmisele tasemele.

Finantsaegridade juures on tihtipeale võimalik märgata volatiilsuse kuhjumist, kus kõrge volatiilsusega perioodidele järgnevad samuti kõrge volatiilsusega perioodid. Seda on dokumenteerinud esimesena Mandelbrot (1963) ja hiljem ka Fama (1965). Nad leidsid, et mõlemas suunas toimuvatele suurtele hinnamuutustele järgnevad sageli suured hinnamuutused ja väikestele väikesed. Volatiilsuse kuhjumist on kinnitatud hilisemates uuringutes ka teiste poolt nagu näiteks Chou (1988), Schwerti (1989) ja Baillie, Bollerslev ja Mikkelsen (1996). Volatiilsuse kuhjumine eeldab, et mingil perioodil märgatud volatiilsus mõjutab olulisel määral tulevase volatiilsuse ootusi (Engle, Patton 2001, 239). Seetõttu on teoreetiliselt võimalik volatiilsust ka ennustada, kasutades selleks ökonomeetrilisi mudeleid ja mineviku andmeid.

Finantsaegridade volatiilsuse veel üks üldtuntud omadus on asümmeetriline reaktsioon hinnašokkidele, ehk erinev reaktsioon positiivsetele ja negatiivsetele uudistele. Esimesena kirjeldas seda nähtust Black (1976), hiljem ka Christie (1982). Asümmeetrilise volatiilsuse nähtus on finantsaegridade volatiilsuse tendents olla langevatel turgudel suurem kui tõusvatel turgudel, mis tähendab, et varahindade languse puhul on mõõdetud volatiilsus suurem kui sama suure hinnatõusu puhul. Põhjuseks on toodud, et asümmeetriline reaktsioon volatiilsusele on tingitud finantsvõimendusest, sest ettevõtte aktsia hinna langedes selle võla ja omakapitali suhe suureneb, suurendades tulumäära volatiilsust aktsiaomanike jaoks. Teiseks põhjuseks tuuakse seda, et

varahinna volatiilsuse suurenemise puhul väheneb riskikartlike investorite nõudlus selle vara vastu, surudes varahinna nõudluse ja pakkumise ekviliibriumi allapoole. (Engle, Patton 2001, 239). Hiljem aga on selgunud, et ka ilma võimenduseta esineb volatiilsuse asümmeetrilisus ning tegelik põhjus peitub mujal (Hens ja Steude 2009). Dzieliński et al. (2018) pakuvad, et volatiilsuse asümmeetria põhjuseks võib olla investorite käitumuslik eripära. Nimelt kuna suurem volatiilsuse asümmeetrilisus esineb eelkõige neil aktsiatel, millel lasub suurem tähelepanu, võib asümmeetrilisus tekkida investorite eriarvamustest ning tähelepanu kui faktori olulisuse määr on sedavõrd suurem aktsiatel, millel on madal institutsionaalne osalus või mille vabalt kättesaadav info on vastuoluline. Asümmeetriline volatiilsus hinnašokkidele võib olla seletatav ka käitumusliku rahandusega. Kuna inimpsühholoogia valdkonnas on täheldatud, et kaotusvalu on suurem kui võidurõõm, siis investorite puhul võib olla tõenäoline, et hindade languse korral on ülereageerimise efekti esinemine ning sellest tekkinud volatiilsus tõenäolisem kui hinnatõusude perioodidel (Kenton 2022). Talpsepp ja Rieger (2010) on leidnud, et tugev mõju volatiilsuse asümmeetriaile on majandusliku arengu tasemel ning turukapitalisatsiooni ja majanduse kogutoodangu suhtel. Lisaks said nad samuti kinnitust, et suurema hulga turuosaliste ja analüütikute suurema tähelepanu olemasolul esineb suurenenud volatiilsuse asümmeetria.

Volatiilsuse puhul on üldtuntud faktiks veel see, et finantsaegread ei allu normaaljaotusele, ehk nende jaotuses esinevad “jämedad sabad”, mis tähendab, et võrreldes normaaljaotusega esineb ekstreemseid nähtusi rohkem. Esimene, kes pakkus välja, et normaaljaotus ei ole piisav kirjeldamiseks spekulatiivsete hindade varieeruvust oli Mandelbrot (1963). Hiljem Engle ja Patton (2001) on selgitanud, et finantsvarade tulumäärade juures püstakuse kordaja jääb vahemiku 4 kuni 50, viidates äärmisele abnormsusele, sest normaaljaotuse puhul jääb püstakuse kordaja 3 juurde.

1.2. Varahindade volatiilsuse ülekandumise teoreetiline käsitlus

Vaatamata laiapõhjalisele teoreetilisele ja empiirilisele kajastatusele ei ole endiselt ühtset definitsiooni ülekandumise efekti identifitseerimiseks. Majanduskirjanduses on aga aja jooksul pakutud majanduslike mõjurite ülekandumise kui finantsnakkuse kontseptsioonile üksteisest veidi erinevaid definitsioone. (Kuusk & Paas 2013)

Kõige laiem definitsioon kirjeldab finantsnakkust kui šokkide transmissiooni riikide vahel, ehk lihtsamini riikidevahelise ülekandumise efekti. Erinevalt teistest on selle definitsiooni järgi

peamiseks leviku kanaliks fundamentaalsed seosed, ja seetõttu nimetatavad Calvo ja Reinhart (1996) seda fundamentaalpõhiseks nakkuseks. On mitu võimalust, kuidas see ülekandumine tekib. Esiteks, kui kahel majandusel on väga integreeritud kapitaliturud, siis kanduvad suuremat riiki tabanud šokid varadega kauplemise kaudu kiiresti üle väiksemale. Teiseks mängivad sealjuures kaubandusmustrid ja kokkulepped šoki edasikandumises suurt rolli, sest turgudel, kus suurem riik konkureerib väiksemate naabritega, on viimastel suhteliselt ebasoodsas olukorras suurenenud surve konkurentsivõime taastamiseks, surudes hindasid allapoole. Kolmandaks on suuremad riigid välisinvestorile paremini kättesaadavad, kuna aktsiaturud ja finantsturud on sageli arenenumad - usalduse kasvades piirkonna vastu otsitakse seal ka teisi investeerimisvõimalusi ja portfelli laieneb selle piirkonna riikide valik. Neljandaks on oluline roll ülekandumise puhul ka suuritel finantsinstitutsioonidel, kes tegutsevad väiksematel turgudel ning šokiolukorras soovivad müüa vähelikviidseid varasid, surudes varahindasid allapoole ning edendades sellega negatiivse šoki süvenemist. Viimaks on majanduskasv rõhutanud tehnoloogiliste tegurite ja poliitilise ebastabiilsuse rolli riikidevahelises finantsnakkuses. (Calvo ja Reinhart 1996)

Finantsnakkuse teise definitsiooni järgi ei pea riikidevahelise ülekandumise efekti tekkimiseks olema fundamentaalseid nagu esimese puhul. Makromajanduslike näitajate volatiilsus ei ole kaugeltki nii suur kui finantsvara volatiilsus, mistõttu Masson (1999) defineerib finantsnakkust kui šokkide ülekandumist ilma makromajanduslike muutusteta. Edwards (2002) samuti kinnitab, et finantsnakkus kui ülekandumise efekt on justkui liigne ühesliikumine (ingl k excess co-movement), mis tekib nn “karjakäitumisest” ning esineb ka olenemata fundamentaalsete majanduslike näitajate muutusest ja ühistest šokkidest finantsturgudel.

Kõige piiravama definitsiooni kohaselt finantsnakkus ei tähenda mitte ainult seda, et toimub šokkide ülekandumine riikide vahel, vaid need ülekandumised peavad olema kriiside ning rahulikumate perioodide ajal erinevad. See välistab turgude pideva suure koosliikumise. Kui kriisid kanduvad edasi stabiilsete fundamentaalsete seoste kaudu, mõjutavad need ainult nõrkade majandusnäitajatega riike ja head fundamentaalnäitajad võivad pakkuda kaitset. Teisest küljest, kui agentide irratsionaalne käitumine spekulatiivsete rünnakute, finantspaanika või karjakäitumise näol on edasikanduvaks jõuks, võib see isegi heade põhinäitajatega riike tõsiselt mõjutada. Esimesel juhul on meil ainult vastastikune sõltuvus, mitte aga riikidevaheline nakkus, teisel juhul aga tõeline nakkus. (Kuusk & Paas 2013)

Riikidevahelise volatiilsuse ülekandumise all mõeldakse, et varahindade volatiilsus ühel turul põhjustab hilinenud mõju varahindade volatiilsusele teisel turul (Hassan et al. 2019). Engle et al (1990) on uurinud volatiilsuse ülekandumise kahte varianti: kuumalained ja meteoriidisajud. Kuumalainete all mõeldakse, et volatiilsusel esineb ainult riigipõhine autokorrelatsioon, mis tähendab, et volatiilsuse kuhjumine toimub riigipõhiselt, ehk näiteks kõrgenenud volatiilsusega perioodile järgneb samuti kõrge volatiilsusega periood ainult riigi- või turusiseselt. Vastukaaluks kuumalainete hüpoteesile on meteoriidisaju hüpotees, mille puhul päevasiseste varahindade kõikumised ei püsi ühe riigi piires, vaid liiguvad ühelt turult teisele, olenemata geograafilisest kaugusest. Empiirilised uuringud enamasti leiavad, et tõendid on üldiselt kuumalaine hüpoteesi vastu. Baillie ja Bollerslev (1991) on leidnud, et vahetuskursside volatiilsuse tugev järjestikune ajast sõltuva volatiilsuse korrelatsioon üle maailma näib olevat kooskõlas meteoriisaju hüpoteesiga.

Šokkide ülekandumist saab tuvastada läbi korrelatsioonide ning nende muutumise. Varahaldus ning riskijuhtimine sõltub suurel määral korrelatsioonidest. Selleks et saavutada portfelli, milles olevad varad on võimalikult suurel määral hajutatud, on vaja teada esmalt varadevahelisi korrelatsioone. Korrelatsioonide leidmiseks kasutatakse nii lihtsamaid meetodeid, nagu jooksev ajalooline korrelatsioon ja eksponentsiaalne silumine kui ka keerulisemaid meetodeid, nagu mitmemõõtmelise üldistatud autoregressiivse tingliku heteroskedastiivsuse (MGARCH) mudeli erinevaid variante (Engle 2002).

Tingliku korrelatsiooni juhusliku suuruste r_1 ja r_2 vahel defineeritakse valemiga 1.4, kus investeerimisportfelli varade vaheline kovariatsioon on jagatud varade standardhälvete korrutisega (Engle 2002):

$$\rho_{1,2,t} = \frac{E_{t-1}(r_{1,t}r_{2,t})}{\sqrt{E_{t-1}(r_{1,t}^2)E_{t-1}(r_{2,t}^2)}} \quad (1.4)$$

kus

E – keskväärtus,

$r_{1,2}$ – kahe vara juhuslikud suurused.

Selle definitsiooni järgi saadakse tinglik korrelatsioon lähtudes ajaloolistest andmetest, ehk andmetest, mis on pärit eelnevatest perioodidest, mis oma olemuselt ei pruugi olla täiesti täpne,

kuid on sellest hoolimata väga laialdaselt kasutatav lahendus. Tõenäosusteooria reeglite kohaselt peab sel viisil arvatud korrelatsioon jääma vahemikku -1 kuni 1. (Engle 2002)

Kui aga lähtuda sellest, et korrelatsioonid ajas muutuvad, on tarvis volatiilsuse modelleerimiseks kasutada Engle ja Sheppardi (2001) poolt väljapakutud dünaamilise tingliku korrelatsiooni üldistatud autoregressiivse tingliku heteroskedastiivsuse ehk DCC-GARCH mudelit.

Dünaamilise tingliku korrelatsiooni mudeli korrelatsiooni maatriksi leidmiseks kasutatakse eksponentsiaalset silujat, mille puhul kasutatakse korrelatsiooni arvutamisel ajas vähenevaid kaalusid kasutades parameetrit λ , ehk omistatakse väiksem kaal varasematele väärtustele, mis on tänasel hetkel vähem informatiivsed eeldades, et varade korrelatsioone mõjutavad tegurid ajas muutuvad. Seda aga mida valida λ väärtuseks ei saa andmetest lähtudes otsustada. Engle kirjutab, et RiskMetrics™ kasutab kõikide varade puhul λ väärtuseks 0.94. Võrreldes tavalise tingliku korrelatsiooniga mängivad sel puhul suuremat rolli hilisemad ajaloolised väärtused ning seeläbi vähendatakse varasemate väärtuste mõju korrelatsioonidele saades seeläbi ehk täpsemad hinnangud investeerimisportfellis olevate investeeringute korrelatsioonidele. Ka selle puhul jääb korrelatsiooni väärtus -1 ja 1 vahele. Eksponentsiaalse siluja on defineeritud valemiga 1.5. (Engle 2002)

$$\hat{\rho}_{1,2,t} = \frac{\sum_{s=1}^{t-1} \lambda^{t-s-1} r_{1,s} r_{2,s}}{\sqrt{(\sum_{s=1}^{t-1} \lambda^{t-s-1} r_{1,t}^2)(\sum_{s=1}^{t-1} \lambda^{t-s-1} r_{2,t}^2)}} \quad (1.5)$$

kus

λ – parameeter,

$r_{1,2}$ – kahe vara juhuslikud suurused.

1.3. Volatiilsuse mudelid

Tuginedes varasemale teoreetilisele käsitlele on volatiilsuse ülekandumise tuvastamise ja kvantifitseerimise jaoks vaja kasutada mudelit, mis oleks võimeline modelleerima ja prognoosima volatiilsust, vaadeldavate varade korrelatsioone ning nende muutumist.

Volatiilsuse prognoosimine on oluline sisend paljude finantsturul osalejate jaoks, kelle puhul on tähtis volatiilsuse prognooside kasutamine eelkõige rahalisel eesmärgil. Näiteid mudelite abil volatiilsuse prognooside kasutajatest on paljude erinevate osapoolte näol nagu riskijuhid, optsioonidega kauplejad, portfellihaldurid ja turutegijad. Riskijuhi jaoks on oluline teada, millise tõenäosusega tema hallatav portfell tulevikus võib kaotada väärtust. Optsioonikaupleja huvi on saada selgust, milline võib volatiilsuse tase olla optsiooni eluea jooksul. Portfellihaldur võib lähtuvalt eeldatavast volatiilsuse prognoositavast kõrgenemisest sooritada müügitehingu, et vältida negatiivseid tagajärgi investeerimisportfellile. Turutegija võib finantsvara ostu- ja müüginoteeringute hindade vahemiku laiemaks muuta juhul, kui on alust arvata, et finantsvara jaoks on prognoositav tuleviku periood tunduvalt volatiilsem. Seega peaaegu kõik volatiilsusmudelite finantsilised väljundid on seotud tulevaste tootluste prognoosimisega, volatiilsete perioodide kas vältimise või selle pealt kasu lõikamisega. (Engle, Patton 2001)

Tulenevalt asjaolust, et volatiilsuse prognoosimise abil on võimalik finantsmaailmas suurendada tulusid või vähemalt vähendada investeringutega kaasnevaid riske, on volatiilsusmudeleid koostöös teadusmaailmaga laialdaselt uuritud. Volatiilsusmudeleid klassifitseeritakse üldiselt kahte klassi. Esimest tüüpi volatiilsusmudelite peamine eripära on, et tinglik dispersioon formuleeritakse otse vaadeldavate tootluste funktsioonina. Nende puhul on kõige tüüpilisemaks näideteks ARCH ja GARCH mudelid. Teist tüüpi volatiilsusmudelid ei ole ainult vaadeldavate väärtuste funktsioonid. Neid võib nimetada latentse volatiilsuse mudeliteks. Latentseid volatiilsusmudeleid saab üles ehitada juhuslike ajahetkede ja juhuslike amplituudidega, struktuursete katkestustega, mitmete tegurite, hüpete ja paksu sabaga jaotustega, fraktaalide ja multifraktaalide ning üldiste mittelineaarsuste tüüpidega. Selliseid mudeleid on võimalik küll simuleerida, kuid neid on väga raske reaalsuses prognoosimiseks kasutada. (Engle, Patton 2001)

Vene-Ukraina sõja eskaleerumise ajal esinenud volatiilsuse ülekandumise tabamiseks kasutatakse volatiilsusmudelit, mis oleks võimeline volatiilsust modelleerima ning ka prognoosima. Autor on vaadelnud erinevaid ökonomeetrilisi mudeleid, et teha selgeks, milline on sobiv eesmärgi saavutamiseks.

1.3.1. ARMA

Autoregressiivse libiseva keskmise (Autoregressive moving average - ARMA) mudeli abil modelleeritakse aegridu eesmärgiga selgitada finantsaegridu võttes arvesse erinevaid aegridade stiliseeritud fakte nagu ajaloo keskmisele tasemele pöördumine ja erinevate šokkide mõju

tootlusele, mis on ehk tingitud erinevatest sündumustest, mille hulka võiks arvata ka erinevad sõjad. (Aquan 2017)

Autoregressiivsete volatiilsusmudelite puhul võetakse vaadeldavateks andmeteks finantsvara sulgemishindade alusel arvutatud tootlused, mida kasutatakse volatiilsuse mõõdupuuna. Taoliste autoregressiivsete (või ARMA) mudelite hindamise jaoks rakendatakse standardset Box-Jenkins tüüpi metodoloogiat. Olenevalt eesmärgiks kasutatakse hinnangu saamiseks erinevaid sisendeid. Kui eesmärk on saavutada hinnang päevasele volatiilsusele, siis on kasutatud logaritmitud päevasiseseid kõrgeid ning madalaid hindu või päevaste tootluste ruute. Standardset autoregressiivset mudelit hinnatakse harilikku vähimruutude meetodi (OLS) või suurima tõepära meetodi abil. ARMA protsessi omadused on kombinatsioon autoregressiivse (AR) ja liikuva keskmise (MA) osade omadustest. Osalise autokorrelatsiooni funktsioon (PACF) on selles kontekstis eriti kasulik. Ainuüksi autokorrelatsiooni funktsioon (ACF) suudab eristada puhast autoregressiivset ja puhast liikutavat keskmist protsessi. ARMA protsessil on aga geomeetriliselt kahanev ACF, nagu ka puhtal AR-protsessil. Seega on PACF kasulik AR(p) protsessi ja ARMA(p, q) protsessi eristamiseks – esimesel on geomeetriliselt kahanev autokorrelatsioonifunktsioon, kuid PACF, mis katkeb pärast p viiteaega nullini, samas kui viimasel on nii autokorrelatsiooni kui ka osalise autokorrelatsiooni funktsioonid, mis vähenevad geomeetriliselt. (Brooks 2008)

Statsionaarsete Gaussi mitme muutujaga juhuslike nullkeskmise protsesside iseloomustamiseks ja simuleerimiseks kasutatakse AR- ja MA-komponentide sama järku ARMA mudeleid. ARMA mudelite koefitsientmaatriksid määratakse nii, et simuleeritud protsessil oleks ettenähtud korrelatsioonifunktsiooni maatriks. Selle saavutamiseks kasutatakse kaheastmelist vähimruutude meetodit. Nii loodud ARMA esitus võimaldab põhimõtteliselt genereerida lõpmatu pikkusega funktsioone sellise kiiruse ja arvutusrežiimiga, et isegi näidisfunktsioonide genereerimine reaajas on hõlpsasti saavutatav. (Samaras et al. 1985)

Kombineerides AR(p) ja MA(q) mudeleid, saadakse ARMA(p, q) mudel. Selline mudel väidab, et mõne seeria y hetkeväärtus sõltub lineaarselt selle iseenda varasematest väärtustest pluss valge müra vealiikme praeguse ja eelmiste väärtuste kombinatsioonist. Mudelit võib kirjeldada valemiga 1.6 (Shumway & Stoffer 2000):

$$X_t = \varepsilon_t + \sum_{i=1}^p \varphi_i X_{t-1} + \sum_{i=1}^q \theta_i \varepsilon_{t-1} \quad (1.6)$$

kus

ε_t – valge müra

φ – vealiige

θ – parameeter

Muude ARMA rakenduste ja sellega seotud juhuslike protsesside abil on näiteid ka finantsmaailmast väljaspool valdkondadest. Skalaarseid ARMA mudeleid on kasutatud, et iseloomustada ja simuleerida kõikuvate tuulekiiruste ajalugu, nii et nende ajalooliste andmete abil on võimalik reprodutseerida mõõdetud turbulentsispektreid. Lisaks veel on võimalik ookeani lainepinna tõusu kirjeldamiseks ja simuleerimiseks kasutada skalaarseid AR, MA ja ARMA mudeleid. Selleks kasutatakse vähimruutude protseduuri, mille puhul parameetrid määratakse kindlaks nii, et ARMA mudelitest tuletatud aegriidade spektri ja sihtspektri spektri vahelise erinevuse ruutude summa minimeeritakse mitmel sagedusel. Chang et al. (1979) uuringus iseloomustati ning simuleeriti maavärina maapinna liikumiste tõenäosust kui skalaarset juhuslikku protsessi, milleks kasutati ARMA parameetrite määramiseks vähimruudu protseduure. Sel juhul hõlmasid vähimruutude protseduurid lisaks võimsusspektritele peamiselt selliseid ajadomeeni koguseid nagu valimi- ja osalise autokorrelatsiooni funktsioonid. (Samaras et al. 1985)

ARMA mudeli juures aga on käesoleva töö eesmärgi saavutamise juures puuduseks, et ei ole võimalik võtta arvesse kõiki stiliseeritud fakte. Finantsaegriidade puhul on omane, et tihtipeale esinevad perioodid, mil volatiilsus on väiksem ning esineb ka perioode, mil volatiilsus on mõnda aega suurem. Seda “kuhjumist” ARMA mudelitega tabada ei saa.

1.3.2. ARCH

Standardsed autoregressiivsed mudelid eeldavad, et jääkliikmete dispersioon on konstante, ehk et esineb homoskedastiivsus. Finantsaegriidade puhul on aga väga ebatõenäoline, et jääkliikmete dispersioon on konstantne, sest volatiilsus ajas pidevalt muutub. Selle puhul oleks vaja kasutada mudelit, mis arvestaks ka jääkliikmete dispersiooni või volatiilsuse muutumisega ajas. Autoregressiivne tingliku heteroskedastiivsuse mudel (ARCH - autoregressive conditionally heteroscedastic) on mittelineaarne mudel, mida kasutatakse rahanduses laialdaselt. ARCH mudel ei eelda, et dispersioon on ajas konstantne, vaid võtab arvesse selle muutumise, olles pisut parem kui ARMA mudel finantsaegriidade analüüsimisel. Volatiilsus esineb vahel “hüpetena”, mis tekib järsult. Finantsaegriidade puhul on tavaline, et normaalsele, keskmiste väärtustega perioodile

järgnevad volatiilsemad, suurema dispersioonidega perioodid. Pikaajalisele suhteliselt rahulikule volatiilsperioodile on omased, suhteliselt väikesed positiivsed ja negatiivsed tulud. Suurema volatiilsusega perioodidele on omane asjaolu, et lühikese aja jooksul esineb palju suuri positiivseid ja suuri negatiivseid tootlusi, mistõttu väidetakse tihtipeale, et volatiilsus on autokorrelatsioonis, ehk sõltub iseenda eelmistest väärtustest. Finantsvarade tootluste modelleerimiseks kasutatakse seetõttu ARCH mudeleid, mille puhul on võimalik arvesse võtta tinglikku dispersiooni. (Brooks 2008, 386-387)

Engle (1982) oli esimene, kes pakkus välja ARCH arch mudeli, mille puhul kasutas päevaseid tootlusi, et hinnata volatiilsust. ARCH mudel on toodud valemitega 1.7, 1.8 ja 1.9 (Poon 2005, 37):

$$r_t = \mu + \varepsilon_t, \quad (1.7)$$

$$\varepsilon_t = \sqrt{\sigma_t^2} z_t \quad (1.8)$$

$$\sigma_t^2 = \omega + \sum_{j=1}^q \alpha_j \varepsilon_{t-j}^2 \quad (1.9)$$

kus

r_t - varade tootlused ajahetkel t ,

μ - keskmine tootlus,

σ_t^2 - varade tootluste tinglik dispersioon,

ε_t - jääkliige,

ω - pikaajaline keskmine dispersioon.

ARCH regressioonimudelil on mitmesuguseid omadusi, mis teeb selle ökonomeetriliste rakenduste jaoks kasulikuks. Finantsprognoose tehes on selle ennustamise võime periooditi erinev. Erinevate prognoositavate perioodidega on seotud loomupärane määramatus või juhuslikkus, mis varieerub aja jooksul väga palju. Suurte ja väikeste vealiikmete hajuvusega perioodid kipuvad aja jooksul ühtekokku kuhjuma, mis muudab ARCH mudeli kasutamise võrreldes ARMA mudeliga kasulikumaks, kui arvestada, et prognoositav dispersioon võib aja jooksul muutuda ja seda aitavad ennustada eelmiste perioodide vealiikmed. Kuna finantsmaailmas peetakse lihtsamate eelduste kohaselt finantsvarade portfelle tootlusmäärade eeldatavate keskmiste ja variatsioonide funktsioonidena, siis seetõttu kõik muutused varade nõudluses peavad olema seotud muutustega eeldatavates keskmistes ja tootlusmäärade erinevustes. Kui eeldatakse, et keskmine järgib

standardset regressiooni- või aegridade mudelit, piiratakse dispersioon kohe aja jooksul konstantseks. Eksogeense muutuja kasutamine dispersiooni muutuste selgitamiseks ei ole tavaliselt asjakohane. ARCH regressioonimudel on ligikaudsem arvestus keerukamale regressioonile, millel on mitte-ARCH ebakõlad. ARCHi spetsifikatsioon võib siis olla mõjutatud hinnangulisest mudelist välja jäetud muutujate mõjust. ARCH-efekti olemasolu tõlgendatakse kui tõendit väärspetsifikatsioonist kas välja jäetud muutujate või struktuurimuutuste tõttu. Kui see on nii, võib ARCH olla parem lähendus tegelikkusele kui ebakõlade kohta standardsete eelduste tegemine, kuid parem oleks proovida leida väljajäetud muutuja või määrata struktuurimuutuse olemus. (Engle 1982)

Tinglik dispersiooni väärtus peab alati olema kindlasti positiivne, sest negatiivne dispersioon mistahes ajahetkel oleks seosetu. Tingliku dispersiooni võrrandi muutujad on kõik viitaegade ruudud ja seega ei saa olla juba definitsiooni järgi negatiivsed. Tagamaks, et need oleksid alati positiivseid tingliku dispersiooni hinnanguid, peavad kõik tingliku dispersiooni koefitsiendid tavaliselt olema mittenegatiivsed. Kui üks või mitu koefitsienti omandavad negatiivse väärtuse, oleks selle koefitsiendiga seotud piisavalt suure viiteaja ruuduga innovatsiooni liikme korral tingliku dispersiooni mudeli sobitatud väärtus negatiivne, mis annaks seosetu tulemuse. Üldisemalt peaksid ARCH mudeli puhul kõik koefitsiendid olema mittenegatiivsed. ARCH-i abil on võimalik luua raamistik, millega saab analüüsida ja arendada finantsaegridade volatiilsuse mõõtmiseks mudeleid. ARCH mudeleid on kasutatakse aja jooksul järjest vähem, kuna nende kasutamisega on seotud mitmeid limitatsioone. Esiteks on keeruline otsustada, mille järgi peaks valima viitaegade arvu. Selle puhul üks lähenemisviis on tõepära testi kasutamine, kuigi kindlaks tehtud parimat lähenemisviisi pole. Teiseks vealiikmete ruutude viitaegade arv, mis on vajalik tingliku dispersiooni kogu sõltuvuse tabamiseks, võib olla väga suur. Selle tulemuseks oleks suur tingliku dispersiooni mudel, mis oleks väga kohmakas. Kolmandaks mida rohkem kasutatakse parameetreid tinglikus dispersioonivõrrandis, seda suurem on tõenäosus, et võib esineda ühel või mitmel parameetril negatiivsed hinnangulised väärtused, mille puhul rikutakse mittenegatiivsuse piirangut. Selleks, et adresseerida ARCH mudeli puudujääke esitas Bollerslev (1986) üldistatud ARCH ehk GARCH mudeli, mis lahendab mõned neist probleemidest. (Brooks 2008, 389-392)

1.3.3. GARCH

GARCH mudel, mille pakkus Bollerslev 1986ndal aastal, on ARCH laiendus, mille abil on võimalik vältida erinevaid probleeme, mis viimase rakendamise puhul esinevad. Erinevalt ARCH-

ist kasutatakse GARCH-i mudeleid praktikas väga laialdaselt. GARCH-mudel puhul sõltub tinglik dispersioon oma eelmistest väärtustest. GARCH mudel on antud valemiga 1.10 (Poon 2005, 38):

$$\sigma_t^2 = \omega + \sum_{i=1}^p \beta_i \sigma_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^q \alpha_j \varepsilon_{t-j}^2 \quad (1.10)$$

kus

σ_t^2 - varade tootluste tinglik dispersioon,

ε_t - jääkliige,

ω - pikaajaline keskmine dispersioon.

Kuna volatiilsus ajas kipub kuhjuma, mis tähendab, et suure volatiilsusega perioodile järgnevad tavaliselt suure volatiilsusega perioodid ning väikestele väikestele. Et volatiilsuse kuhjumist paremini ökonomeetrilise mudeliga tabada ja modelleerida tekib vajadus ARCH mudelile leida laiendus. Lisaks on GARCH laialdasemalt kasutuses veel seetõttu, et see võimaldab ARCH mudeliga võrreldes võrrandit kirjutada palju lühemalt ning efektiivsemalt ning on väiksem tõenäosus rikkuda mittenegatiivsuse piirangut. Näiteks GARCH(1,1) mudel võimaldab dispersiooni mõjutada ainult jääkliikme viitaegade ruuduga, jättes täielikult tähelepanuta selle jääkliikme märgi. (Brooks 2008, 392)

ARCH ja GARCH mudelite väljatöötamise peamiseks motivatsiooniks oli kirjeldada finantsvara tootluste volatiilsust ning selle volatiilsuse aja jooksul püsimist. Pärast GARCH mudeli kasutusele võtmist on pakutud mitmeid erinevaid järgmisi laiendusi. Kuigi GARCH mudel hõlmab finantsaegridade peamiseid omadusi, nagu volatiilsuse kuhjumine, ajaloolisele keskmisele pöördumine ja leptokurtoos ehk ekstreemsete nähtuste normaaljaotusest sagedasem esinemine, esineb ka tavalise GARCH mudeli puhul kitsaskoht, mis takitastab saavutada käesoleva töö raames püstitatud eesmärgi. Tavalise GARCH mudeli abil ei ole võimalik vaadelda vaatluse all olevate varade korrelatsioonide dünaamikat, mis on vajalik aktsiaturu volatiilsuse ülekandumise fenomeni kirjeldamiseks.

1.3.4. MGARCH

Finantsvara haldamises ja ülekandumise tuvastamises on korrelatsioonid võtmetähtsusega. Korrelatsioonide tundmine ja teadmine, kuidas seda nähtust määratleda, on väga suur osa investeerimisportfelli loomise ja haldamise protsessist. Varade hajutamise puhul on investori huvi

kombineerida erinevaid varasid ja varaklasse, mille vahel on võimalikult väike korrelatsioon, ehk et neid mõjutavad faktorid oleksid võimalikult vähe üksteisest sõltuvad. Ülekandumise efekti tabamiseks on vaja tabada ka korrelatsioonide muutuseid. Optimaalne portfelli nõuab ka tootluste kovariatsioonimatriksi prognoose. Samuti on vaja tänase portfelli seisuhulka ja ka kõikide varade tootluste standardhälvete kovariatsioonimatriksi kalkuleerimist. Sellised funktsioonid hõlmavad endas tavaliselt suurte kovariatsioonimatriksite hindamist ja prognoosimist. Sellised variandid korrelatsioonide määramise puhul on vajalik läheneda keerukamate võtetega kasutades ökonomeetrilisi vahendeid nagu mitme muutujaga volatiilsuse mudelid.

Finantsvarade hindade lühiajaline dünaamika heteroskedastiivsust on põhjalikult dokumenteeritud. Selleks, et paremini mõista ülekandumise fenomeniga seotud korrelatsioonide muutumist on vaja modelleerida mitmeid erinevaid vaatluse all olevaid finantsvarasid. Mitme finantsvara sidususe modelleerimiseks vaja aga mitme muutujaga heteroskedastilist aegridade mudelit, mis oleksid võimalised korrelatsioonide dünaamikat kvantitatiivselt kirjeldama. Selliseid ökonomeetrilisi mudeleid saab üldiselt kasutada palju laiemas kontekstis kui ühe muutujaga mudeleid, mis annab võimaluse teha järeldusi laiemas kontekstis. Üks selline mitme muutujaga aegridade mudel on pideva tingliku korrelatsiooni üldistatud autoregressiivse tingliku heteroskedastiivsuse (CCC-GARCH) mudel, mida kasutatakse majanduslike muutujate modelleerimiseks, eriti kõrge volatiilsuse karakteristikutega aktsiahindade andmetes, mille hulgas on heterogeensed hajuvused. CCC-GARCH on mitme muutujaga GARCH mudelitest kõige lihtsam mudel, mille abil on võimalik vaadelda erinevate finantsvarade omavahelist dünaamikat - tinglikku dispersiooni ja korrelatsioone. Selle puhul aga eeldatakse, et finantsvarade tootluste tinglik korrelatsioon püsib ajas muutumatuna ning tinglik standardhälve on ajas muutuv. (Bollerslev 1990)

CCC MGARCH mudeli üldkuju on antud valemitega 1.11, 1.12 ja 1.13 (Sauga 2022):

$$y_t = \Gamma x_t + u_t \tag{1.11}$$

$$u_t = H_t^{1/2} v_t \tag{1.12}$$

$$H_t = D_t^{1/2} R_t D_t^{1/2} \tag{1.13}$$

kus

y_t – $m \times 1$ mõõtmeline sõltuvate tunnuste vektor,

Γ – $m \times k$ mõõtmeline parameetrite matriks,

x_t – $k \times 1$ mõõtmeline sõltumatute tunnuste vektor, võib sisaldada y_t viitaegu,
 $H_t^{1/2}$ – tingliku kovariatsiooni maatriksi H Cholesky faktor,
 v_t – $m \times 1$ mõõtmeline juhuslike šokkide vektor, mis on i.i.d,
 R – ajas invariantsete korrelatsioonikordajate maatriks, kus korrelatsioonikordajad,
 on leitud standardiseeritud jääkide vahel.

Konstantse tingliku korrelatsiooni mitme muutujaga GARCH spetsifikatsioon, kus iga vara jaoks hinnatakse ühemõõtmelisi GARCH mudeleid ja seejärel korrelatsioonimaatriksit, kasutades standardset suletud vormi suurima tõepära korrelatsiooni hinnangut, kasutades teisendatud jääke. Konstantse korrelatsiooni eeldus muudab suure mudeli hindamise mugavamaks ja tagab, et hinnang on mittenegatiivne, nõudes lihtsalt, et iga ühemõõtmeline tingimuslik dispersioon oleks nullist erinev ja korrelatsioonimaatriks oleks täisjärguline. Siiski ei paku konstantse korrelatsiooni hindaja, nagu välja pakutud, meetodit järjepidevate standardvigade konstrueerimiseks, kasutades mitmeastmelist hindamisprotsessi. Hiljem on aga selgunud, et korrelatsioonid ajas muutuvad, mistõttu Engle (2001) esitas CCC GARCH mudelile laienduse, mille tingliku korrelatsiooni element on dünaamiline, millest tuleneb ka selle nimetus: dünaamilise tingliku korrelatsiooni üldistatud autoregressiivse tingliku heteroskedastiivsuse (DCC GARCH) mudel. DCC GARCH mudelit saab kasutada suurte ajas muutuvate kovariatsioonimaatriksite hindamiseks. See mitme muutujaga GARCH mudelite klass erineb teistest spetsifikatsioonidest selle poolest, et iga vara seeria jaoks hinnatakse ühemõõtmelisi GARCH mudeleid ja seejärel, kasutades esimesest etapist tulenevaid standardiseeritud jääke, hinnatakse ajaliselt muutuvat korrelatsioonimaatriksit lihtsa spetsifikatsiooni abil. See parameetrite määramine säilitab ühemõõtmeliste GARCH mudelite lihtsa tõlgendamise hõlpsasti arvutatava korrelatsioonihinnanguga. See mitmeastmeline hinnang nõuab parameetrite standardvigade muutmist, kuid iga ühemuutuja GARCH mudeli Bollerslev-Wooldridge standardvead jäävad järjepidevaks ja muuta tuleb ainult korrelatsioonihinnangu parameetrite asümptootilist kovariatsiooni. (Engle ja Patton 2001)

DCC MGARCH mudeli üldkuju on antud valemitega 1.14, 1.15, 1.16, 1.17 ja 1.18 (Sauga 2022):

$$y_t = \Gamma x_t + u_t \quad (1.14)$$

$$u_t = H_t^{1/2} v_t \quad (1.15)$$

$$H_t = D_t^{1/2} R_t D_t^{1/2} \quad (1.16)$$

$$R_t = \text{diag}(Q_t)^{-1/2} Q_t \text{diag}(Q_t)^{-1/2} \quad (1.17)$$

$$Q_t = (1 - \lambda_1 - \lambda_2) R + \lambda_1 \tilde{u}_{t-1} \tilde{u}_{t-1}^T + \lambda_2 Q_{t-1} \quad (1.18)$$

kus

y_t – $m \times 1$ mõõtmeline sõltuvate tunnuste vektor,

Γ – $m \times k$ mõõtmeline parameetrite maatriks,

x_t – $k \times 1$ mõõtmeline sõltumatute tunnuste vektor, võib sisaldada y_t viitaegu,

$H_t^{1/2}$ – tingliku kovariatsiooni maatriksi H Cholesky faktor,

v_t – $m \times 1$ mõõtmeline juhuslike šokkide vektor, mis on i.i.d,

R – ajas invariantsete korrelatsioonikordajate maatriks, kus korrelatsioonikordajad, on leitud standardiseeritud jääkide vahel,

\tilde{u}_t – $m \times 1$ mõõtmeline standardiseeritud jääkliikmete vektor.

1.4. Varasemad empiirilised uuringud

Erinevatel kriisidel, nii sõjalistel kui ka mittesõjalistel, on ajalooliselt olnud suur mõju erinevatele finantsturgudele. Selliste perioodide poolt mõjutatud tootluste ja volatiilsuse, ning ka ülekandumise kohta on koostatud mitmeid erinevaid empiirilisi uurimusi lähenedes probleemile mitmesuguste meetodiliste võtete ja ökonomeetriliste mudelitega. Teadusmaailmas ei ole palju empiirilisi uuringuid Vene-Ukraina sõja mõjust finantsturgudele ning praktiliselt puudub empiirika Vene-Ukraina sõja eskaleerumisel esinenud aktsiaturu volatiilsuse ülekandumisest. Varasemalt on uuritud, kuidas sarnased sõjalised kriisid on mõjutanud finantsturge ning samuti on uuritud ka volatiilsuse ülekandumist nii sõjalistel kui mittesõjalistel perioodidel. Autor on teinud ülevaate varasematest empiirilistest töödest, kus volatiilsuse ülekandumisele on lähenetud erinevalt. Ülevaade on ka sellest empiirikast, mida on siiani teada Vene-Ukraina sõjalise konfliktiga mõjust finantsturgudele.

1.4.1. Varasemad empiirilised uuringud volatiilsuse ülekandumisest

Järjest enam globaliseeruv maailmas on ka finantsturud rohkem integreeritud, mille tulemusena on mõjutatud ka riikidevaheline volatiilsus. Seda, et arenevate turgude volatiilsus on arenenud maailma turgude omast erinev, täheldasid Bekaert ja Harvey (1997), kes uurisid kapitalihinna ning investeringute väärtuste hindamise jaoks arenevate piirkondade volatiilsust. Nad leidsid, et turgude liberaliseerimise korral korrelatsioon lokaalse ning maailmaturu vahel suureneb, kuid volatiilsus selle tõttu ei suurene. Cordella ja Rojas (2017) on kokku pannud finantsilise globaliseerumise indeksi võttes aluseks laiapõhjalise riikide valimi aastatel 1992-2016. Sarnase uurimuse tegid ka Esqueda et al. (2012), kes uurisid aktsiate tootluste beeta volatiilsust arenevates

riikides aastatel 1995 kuni 2007 ning samuti leidsid mingil määral kinnitust, et finantsiline integratsioon vähendab volatiilsust arenevate maade turgudel. Muuhulgas ei leidnud nad, et näiliselt väiksem risk suurendaks aktsiate kauplemise käivet. Nende uuringute tulemuste põhjal saab kinnitust finantsnakkuse kui ülekandumise kolmas definitsioon, mille kohaselt rohkem globaliseerunud riikide finantsturud on rahulikel, vaikesel perioodidel väiksema volatiilsusega kui vähem integreeritud riikidel ning finantsglobaliseerumine suurendab volatiilsust tormilistel aegadel.

Globaliseerumise ning regionaalse integratsiooni mõjuulatust aktsiaturgude vastastikuse sõltuvuse suurenemisel uuris Baele (2005). Täpsemalt oli eesmärk kvantifitseerida volatiilsuse ülekandumise ulatust ja ajas muutumise olemust. Autor vaatles, kuidas kandub USA ja Euroopa kogu finantsturgude volatiilsus Euroopa kohalikele turgudele. Kuna paljud Euroopa riigid on erinevatel aegadel läbinud majandusliku, finantsilise ja rahapoliitilise integratsiooni, siis vaatluse alla koondati 13 kohalikku Euroopa finantsturgu. Ajaliselt muutuva integratsiooni arvesse võtmiseks kasutati režiimivahetusega GARCH mudelit, mis võimaldab šokisensitiivsusel aja jooksul muutuda. Autor leidis, et režiimivahetused on nii statistiliselt kui ka majanduslikult olulised ning ka et nii Euroopa kui ka USA šokkide ülekandumise intensiivsus kasvas 1980. ja 1990. aastatel märkimisväärselt, kuigi tõus on märgatavam Euroopa ülekandumise puhul. Šoki ülekandumise intensiivsus kasvas kõige tugevamalt 1980. aastate teisel poolel ja 1990. aastate esimesel poolel. Autor pakub, et nähtavasti suurenenud kaubanduse integratsioon, aktsiaturgude areng ja madal inflatsioon aitavad kaasa Euroopa šokkide ülekandumise intensiivsuse suurenemisele. Samuti leiti tõendeid selle kohta, et sellistel perioodidel, kus kogu maailmaturg kogeb suurenenud volatiilsust levivad šokid USA turult mitmetele kohalikele Euroopa aktsiaturgudele.

Ülemaailmse turu volatiilsus kandub üle ka kohalikele turgudele, kuid seda vastavalt sellele kui integreeritud on piirkond globaalsete turgudega. Muharam et al. (2019) uurisid volatiilsust, mis kandub ülemaailmselt turult üle kümnele Aasia ja Ida-Euroopa aktsiaturule ning piirkonna suurematelt aktsiaturgudelt ülejäänud aktsiaturgudele, võttes arvesse nende integratsiooniastet. Volatiilsuse ülekandumise hindamiseks rakendasid nad AR-GARCH-M(p,q) mudelit ja lisasid sinna juurde ka dünaamilise tingliku korrelatsiooni (DCC) mudeli, et määrata vaatluse all olevate turgude integratsiooniastet või selle dünaamikat aja jooksul. Võeti igakuised turuindeksite andmed ajavahemikus maist 2002 kuni märtsini 2018 5 turult Aasiast, 5 Ida-Euroopa turult ning maailmaturu andmed. Lisaks analüüsiti volatiilsuse ülekandumist ülemaailmse finantskriisi

perioodil, 1. maist 2008 kuni 29. maini 2009. Tulemused näitavad, et volatiilsuse ülekandumine maailma ja peamistelt piirkondlikelt turgudelt kodumaistele aktsiaturgudele on sõltuv integratsiooni astmest. Täpsemalt, segmenteeritud aktsiaturgudel ei levi maailma ja piirkondlike suuremate turgude volatiilsus. Seevastu integreeritud kohalikud aktsiaturud võivad kogeda volatiilsuse ülekandumist, mis kehtib nii kriisiolude kui ka kogu perioodi kohta.

Kapitaliturgude kasvavat vastastikust sõltuvust on uurinud Meluzin et al. (2016), kes panid tähele, et see on muutumas oluliseks teguriks, mis mõjutab riskijuhtimise protsessi nii makro- kui ka mikromajanduslikul tasandil. Uuring viidi läbi aastate 2004-2015 kohta kasutades DCC-GARCH mudelit, millega modelleeriti Saksamaa, Poola ja Balti riikide kapitaliturgude vastastikuste sõltuvust. Analüüs näitas, et Saksamaa kapitaliturg avaldas teistele turgudele märkimisväärset mõju. Läbiviidud uuring võimaldas välja selgitada ühelt poolt Balti riikide ja Poola kapitaliturgude ning teiselt poolt Saksamaa kapitaliturgude vastastikuste sõltuvuste olemust.

Ladina-Ameerika näitel tuvastasid volatiilsuse ülekandumist Santamaria et al. (2017), kes arvutasid ülekandumise indeksid finantsvarade tootlustest. Nende sõnul võimaldab DCC-GARCH raamistiku abil paremini mõista finantstulu liikumist volatiilsuse ülekandumise raamistikus. Autorid modelleerisid Ameerika Ühendriikide ja nelja Ladina-Ameerika riigi börsiindeksit, mille tulemused näitavad, et Brasiilia on enamikel valimi perioodidel neto volatiilsuse andja, samas kui Tšiili, Colombia ja Mehhiko on enamjaolt volatiilsuse vastuvõtjad. 2008. aasta III kvartali ja 2012. aasta II kvartali vahel on ülekandumise-indeks oluliselt kõrgem ning šokkide levik Ameerika Ühendriikidest Ladina-Ameerikasse suurenes finantskriisi ajal oluliselt.

Celik (2012) testis DCC-GARCH mudeliga ülekandumise olemasolu mitme areneva ja arenenud riigi valuutaturgude vahel 2008nda aasta finantskriisi ajal. Analüüsi tulemusena leidis autor tõendeid ülekandumise kohta ning ka et enamjaolt mõjutas finantskriisi leviku mõju arenevaid turge.

Bozma ja Başar (2018) uurisid Türgi, Rumeenia, Poola, Ungari ja Ukraina aktsiaturu volatiilsust VAR (1)-M-GARCH mudeli abil. Enne mille rakendamist taheti Johanseni kointegratsiooni meetodil maksimaalse tõenäopära hinnangu abil kindlaks teha, kas börside vahel on pikaajaline seos. Johanseni kointegratsiooni meetod näitas, et aktsiaturgude vahel pikaajaline seos on tõepoolest olemas. Aktsiaturgude volatiilsust uuriti VAR (1) -M-GARCH-BEKK mudeli abil. Tulemused näitasid, et Türgi aktsiaturu tinglikku dispersiooni mõjutavad selle lühiajalised šokid

ja pikaajaline volatiilsus, ning lisaks mõjutavad ka lühiajalised šokid ja pikaajaline volatiilsus, mis on toimunud hoopis Poola ja Ungari aktsiaturgudel. Lisaks mõjutab Türgi tinglikku dispersiooni Rumeenia aktsiaturu pikaajaline volatiilsus.

Esineb ka uuringuid, kus ülekandumist ei tuvastatud. Hassan et al. (2019) kasutasid GARCH mudelid, et uurida volatiilsuse ülekandumist KSE100 ja S&P500 indeksite vahel. Eesmärk oli selgeks teha, kuidas ühe turu volatiilsus võib mõjutada teist ja vastupidi ning seetõttu rakendati EGARCH mudelit ja täheldati on selgeid tõendeid selle kohta, et KSE100 ja S&P500 indeksi volatiilsuse šokkidel on asümmeetriline ja püsiv mõju. Kuid uuringust on hoopis näha, et ühe turu aktsiate tootluse šokid ei kandu üle teisele, mistõttu on näha, et nende kahe aktsiaturu vahel ei esine ülekandumise efekti.

Charfeddine ja Refai (2019) uurisid poliitilise ja majanduskriisi mõju aktsiaturgude vahelisele sõltuvusele ja volatiilsuse ülekandumisele ning kasutasid selle modelleerimiseks erinevaid ökonomeetrilisi mudelid nagu DCC, ADCC ja cADCC-GARCH mudelid. Valimisse võeti erinevaid naftariigid: Saudi Araabia, Araabia Ühendemiraadid, Bahrein, Kuveit ja Omaan, et uurida nende riikidevahelisi kriise ning selgitada nende kriiside mõju aktsiaturgude dünaamilisele tinglikule korrelatsioonile, mis saadi mitmemõõtmelise GARCH mudeli hindamisel. Lisaks tavalisele DCC mudelile kasutati erinevate aktsiaturgude volatiilsuse ülekandumise ja seotustaseme hindamiseks staatilist ja dünaamilist volatiilsuse ülekandumist, mille on välja töötanud Diebold ja Yilmaz (2012), Diebold ja Yilmaz (2014).

Smales (2021) vaatles, kuidas geopoliitilised sündmused on mõjutanud energiaressursside nõudlust ja pakkumist. Uuringus kasutati mitmeid erinevaid ökonomeetrilisi tööriistu nagu näiteks vähimruutude meetod (*ordinary least squares* - OLS), ühemõõtmeline GARCH(1,1), prooviti ka EGARCH(1,1), mitmemõõtmelisi GARCH mudelid nagu BEKK, CCC ja DCC mudelid, millest viimane osutus soosituimaks arvestades geopoliitilise riski mõju ja naftavarude tulude korrelatsiooni suuruse dünaamilist olemust. Kasutades Caldara ja Iacoviello (2018) geopoliitilist riskiindeksit, oli võimalik tuvastada, et geopoliitiline risk mängib olulist rolli nii naftahinna volatiilsuse kui ka mingil määral aktsiaturgude volatiilsuse juures. Geopoliitilise riski mõju ja naftavarude tulude korrelatsiooni suuruse dünaamilise olemuse modelleerimiseks kasutati DCC GARCH mudelit.

Volatiilsuse ülekandumise kohta toormeturul kriiside ajal on uuringu teinud ka Zavadzka et al. (2020), kes uurisid toornafta hetke- ja futuuride hindade volatiilsuse mustreid nelja suurema kriisi ajal, mis mõjutasid väga olulisel määral toornafta turgu: Esimene Lahesõda 1990/91, Aasia finantskriis 1997/98, USA terrorirünnak 2001 ja ülemaailmne finantskriis 2008/9. Valitud kriiside tekkepõhjused olid väga erinevad, ning seetõttu oli nende puhul naftaturu osalejatel kriiside mõju kohalt erinevad järeldused. Tulemused näitavad selgelt suuremat volatiilsuse taset kriiside ajal, mis olid otseselt seotud nafta pakkumise/nõudluse häiretega ja suuremat volatiilsuse püsivust finants/majanduskriiside ajal, mis näitab, et volatiilsuse püsimine on põhiline probleem, kui ebakindlus tuleneb ülemaailmsest majandus- ja finantsebastabiilsusest. Selles uuringus toornafta hindade prognoosimiseks kasutatud ühemõõtmelised mudelid on Bollerslevi (1986) esitatud üldistatud autoregressiivne tinglik heteroskedastilisus (GARCH), Zakoiani (1994) Threshold GARCH (T-GARCH) mudel ja tavalised vähimruutude (OLS) regressioon, mida kasutatakse siis, kui seerias puudub ARCH-efekt.

Volatiilsust ning selle ülekandumist COVID-19 pandeemiast tingitud riikide sulgemise ning tootmise aeglustumise ajal on uurinud Özdemir (2022), kes uuris finantsturgude dünaamilisi mehhanisme volatiilsuse ülekandumisel kaheksa peamise krüptovaluuta tootluse, nimelt Bitcoin, Ethereum, Stellar, Ripple, Tether, Cardano, Litecoin ja Eos vahel 17. novembrist 2019 kuni 25. jaanuarini 2021. Selleks, et mõista, kas krüptovaluutaturgudel on olnud äärmuslik kõikumine, kasutatakse kolme erinevat meetodit, nimelt EGARCH, DCC-GARCH ja wavelet. Tulemus näitas, et kolm krüptovaluutaturgu (st Bitcoin, Ethereum ja Litecoin) on valimiperioodi jooksul väga kõikuvad ja üksteisest sõltuvad. See tulemus tähendab, et igasugune šokk ühel turul sunnib investoreid teisel turul tegutsema samas suunas ja põhjustab seega kaudselt volatiilsuse ülekandumist neil turgudel. Lõpuks, finantsriski arvutamiseks kasutati kahte meetodit – nimelt riskiväärtust (VaR) ja tinglikku riskiväärtust (CVaR) – kasutatakse koos kahe täiendava aktsiaindeksiga (Shanghai koondindeks ja S&P 500). Corbet et al. (2021) on sarnase uurimuse teinud, kuid COVID-19 pandeemiast tekkinud volatiilsus arvutati tuginedes DCC-GARCH mudeli abil saadud kovariatsiooni maatriksist. Ülekandumise modelleermiseks kasutati aja- ja sageduspõhiste ajas muutuvate parameetrite vektori autoregressiooni (TVP-VAR – Time-varying parameter vector autoregression) mudelit.

Finantsvarahindade ja nende volatiilsuse lühiajalist sõltuvust on uurinud Hamao et al. (1990), kes analüüsisid aktsiaturgude hinnasuhete uurimiseks peamiste aktsiaindeksite igapäevaseid avamis- ja sulgemishindu. Kasutades autoregressiivse tingliku heteroskedastilise (ARCH) mudelit

täheldasid nad hindade volatiilsuse ülekandumise kohta ülemaailmsete peamiste aktsiaturgude vahel.

Varasemast empiirikast kajastub fakt, et volatiilsuse modelleerimine on teadusmaailmas populaarne teema ning millele on lähenetud mitmel erineval viisil, mistõttu leidub palju erinevaid volatiilsuse prognoosimiseks kasutatavaid mudeleid. Volatiilsuse ülekandumist saab tuvastada mitmete erinevate mudelite abil. Lisaks on võimalik tuvastada lisaks lihtsale ülekandumise efektile ka ülekandumise direktsiooni, ehk kas volatiilsust emiteeritakse või võetakse vastu. Muuhulgas saab tuvastada ka kui suurel määral see toimub, ehk kas volatiilsuse andmine või vastuvõtmine toimub märkimisväärses ulatuses või mitte. Selleks kasutatakse erinevaid volatiilsusmudeleid nagu režiimivahetusega ja standardseid GARCH mudeleid ja ka TVP-VAR mudeleid. Lähtuvalt varasematest töödest on autor seadnud hüpoteesi, et Vene-Ukraina sõjast tekkinud volatiilsus kandub üle globaalsetele turgudele olulisel määral. Autori järeldus varasemast empiirikast selle töö kontekstis on, et sõjalise kriisi ajal suurenenud volatiilsust ja selle ülekandumist on võimalik tuvastada mitmemõõtmeliste GARCH-tüüpi mudelite abil.

1.4.2. Varasemad empiirilised uuringud volatiilsusest Vene-Ukraina sõja ajal

Vene-Ukraina konflikti mõjust finantsturgudele on teinud uurimuse Hoffmann ja Neuekirch (2017). Nad analüüsisid relvakonflikti mõju aktsiate tootlustele Venemaal ja Ukrainas ajavahemikul 21. november 2013 kuni 29. september 2014, kasutades EGARCH(1,1) mudelit ning nelja indikaatorit (de-)eskalatsiooni astme määramiseks. Nad leidsid, et konflikti eskaleerumine mõjutab negatiivselt mõlema riigi aktsiaturge proportsionaalselt. Uuring näitab, et eskalatsiooni tõustes aktsiate tootlus langeb Ukrainas veidi rohkem kui Venemaa aktsiaturul. Kokkuvõttes mõjutab Vene-Ukraina konflikt mõlemal riigi aktsiaturge oluliselt.

Üks esimesi empiirilisi uuringuid 2022. aastal eskaleerunud Vene-Ukraina sõjast on tehtud Bougias et al. (2022) poolt, kes kasutasid Merton struktuurimudelit, et hinnata Euroopa ettevõtete varade väärtuste dünaamikat. Kasutades aktsiahindade andmeid leiti, et sõja eskaleerumine tõi kaasa ettevõtete aktsiahindade languse ja kõrgenenud volatiilsuse varahindades. Sõja eskaleerumise tõttu vähenes Euroopa ettevõtete bilanss ning nende 1-aastane maksejõuetuse tõenäosus suurenes. Varade ja aktsiate tulude regressioonanalüüs ning maksejõuetuse tõenäosuse muutused viitavad sellele, et need mõjud on tugevamad selliste ettevõtete puhul, mis teenivad suurel määral oma müügitulu Venemaalt.

Wang et al. (2022) on kasutanud TVP-VAR meetodit Vene-Ukraina sõja ajal toimunud tootluse ja volatiilsuse ülekandumise hindamiseks toormeturul. Tulemus näitas, et ülekandumine suurenes oluliselt, ületades isegi pandeemia ajal nähtud taset. TVP-VAR ülekandumise võrgustik võimaldab tuvastada, millised varad on volatiilsuse vastuvõtjad või edasikandjad ja milline on üksteise mõjutus. Sõjalise kriisi eskaleerumise ajal muutus toormete roll volatiilsuse ülekandumise süsteemides. Toornaftast sai neto volatiilsuse andja, samas kui nisust ja sojaubadest saavad ülekandumise neto vastuvõtjad. Hõbe, kuld, vask, plaatina, alumiinium ja suhkur muutuvad volatiilsuse andjateks.

TVP-VAR meetodit on kasutanud ka Umar (2022) uurimaks Vene-Ukraina konflikti eskaleerumisel geopoliitiliste riskide mõju Venemaale, Euroopa finantsturgudele ja globaalsetele tooraineturgudele, mille vahelist dünaamilist seost mõõdeti TVP-VAR lähenemisviisi abil. Empiirilised leiud näitavad, et nende varade suhe on konflikti tõttu muutunud, Euroopa aktsiad ja Venemaa võlakirjad on šokkide edasikandjad ja konflikt mõjutab tulusid ja nende vahelist volatiilsuse seost vastavalt lühi- ja pikaajaliste sageduste osas.

Fang ja Shao (2022) mõõtsid Vene-Ukraina sõja mõju toormeturgude volatiilsusele ning milliseid kanaleid pidi see mõju avaldub. Dünaamilise volatiilsus modelleerimiseks kasutati GJR-GARCH mudelit seetõttu, et sellega on võimalik tabada võimendusefekti, ehk asümmeetrisust, kus langusele järgneb volatiilsuse suurenemine. Volatiilsuse ülekandumise tabamiseks loodi VAR mudeli abil volatiilsusindeks, millega loodi volatiilsusriski ülekandumise indeks. Tulemus näitab, et Vene-Ukraina konflikti teravnemine suurendab oluliselt põllumajandus-, metalli- ja energiaturgude volatiilsust. Konflikt mõjutab neid turge nii majandus- kui ka finantskanalite kaudu. Majanduskanalite osas võib öelda, et pärast konflikti eskaleerumist mida suurem on Venemaa poolt eksporditava kauba osa maailmaturust, seda suurem on selle kauba volatiilsusrisk. Finantskanalite osas võimendavad Vene-Ukraina sõja mõju investorite paanika ja suuremate keskpankade rahapoliitika.

Varasemast empiirikast Vene-Ukraina sõja kohta kajastub, et on sõja eskaleerumise ajal on olnud selgelt märkimisväärne muutus toormeturu volatiilsuses ja ka rubla valuutakursi volatiilsuses. Tuginedes ka varasematele töödele muude sõjaliste ja mittesõjaliste kriiside kohta on alust autoril järeldada, et ka sellel konflikti teravnemise järel pärast 24. veebruari 2022 võib olla suur aktsiaturgude volatiilsuse suurenemine. Samuti on alust järeldada, et võib toimuda ka volatiilsuse ülekandumine globaalsete finantsturgude vahel.

Lähtuvalt varasematest empiirilistest teostest, seab autor hüpoteesid, et Vene-Ukraina konflikti eskaleerumise ajal on olulisel määral suurenenud aktsiaturgude volatiilsus ja on toimunud ka volatiilsuse ülekandumine globaalsete turgude vahel. Selleks, et kirjeldada Vene-Ukraina konflikti eskaleerumise ajal aktsiaturu ülekandumise efekti, kasutatakse GARCH mudeli mitmemõõtmelisi laiendusi CCC ja DCC MGARCH, mille abil saab kirjeldada finantsvaradevaheliste korrelatsioone ja nende dünaamikat.

2. ANDMED JA METOODIKA

Lähtudes varasemast empiirikast, mis on käsitletud nii varasemaid geopoliitilisi, sõjalisi kui ka mittesõjalisi kriise ning ka empiirikast, mis on määratlenud 2022. aasta Vene-Ukraina sõjalise kriisi eskaleerumise ajal toimunud muutusi toormeturgudel ja valuutakurssides, järeltab magistritöö autor, et selle konflikti eskaleerumise ajal on toimunud märkimisväärne muutus finantsturgudel. Selleks, et tuvastada, kas tähelepanuväärne muutus esineb ka aktsiaturul, on autor töö koostamise jaoks võtnud vaatluse alla aktsiaindeksid, mille puhul teostatakse volatiilsuse ja indekse vahelise korrelatsiooni analüüs. Analüüsi abil saab hinnata sõja eskaleerumise järgsel perioodil toimunud muutuste ulatust aktsiaturgude volatiilsuses ning saab hinnata ka globaalsete aktsiaturgude vahel toimunud volatiilsuse ülekandumise olulisust. Vaatluse alla kuuluvate aktsiaindeksite tootlused on peegeldus erinevate piirkondade majanduslikust olukorrast ja nende finantstervisest. Lähtuvalt varasematest empiirilistest ja teoreetilistest uurimustest otsustas töö autor et finantsvara tootluste volatiilsuse ja selle ülekandumise tuvastamiseks võiks kasutada dünaamilise tingliku korrelatsiooni üldistatud autoregressiivse tingliku heteroskedastiivsuse mudelit, mille rakendamisel lähtutakse Box-Jenkinsi metodoloogiast.

Box-Jenkinsi metoodikat, mida kasutatakse ARMA mudelite konstrueerimiseks, saab kasutada ka ARCH tüüpi mudelite puhul (Brooks 2008, 392). Box ja Jenkins (1976) olid esimesed, kes lähenesid ARMA mudeli hindamisele süstemaatiliselt. Nende lähenemisviis koosneb kolmest etapist. Esimeses etapis mudeli identifitseerimisel määratakse andmete dünaamiliste tunnuste abil mudeli järgud. Kõige sobivama spetsifikatsiooni määramiseks kasutatakse graafilisi protseduure - autokorrelatsiooni (ACF) ja osalise autokorrelatsiooni funktsiooni (PACF) graafikute abil. Teises etapis hinnatakse esimeses etapis määratletud mudeli parameetrid, mida saab teha, olenevalt mudelist, vähimruutude või maksimaalse tõepära meetodi abil. Kolmas etapp hõlmab mudeli kontrollimist, ehk kindlaksmääramist, kas määratud ja hinnanguline mudel on piisav. (Brooks 2008, 231).

Tsay (2005) on välja toonud varade tootluste aegrea volatiilsusmudeli loomise protsessi, mis koosneb neljast etapist: 1) keskmise võrrandi määramine, 2) ARCH-efektide tuvastamine keskmise võrrandi jääkide testimisega, 3) volatiilsusmudeli täpsustamine, kui ARCH-efektid on statistiliselt olulised ning keskmise ja volatiilsuse võrrandite hindamine, 4) paigaldatud mudeli kontroll. Engle (2002) on DCC mudeli puhul toonud välja, et kõik modelleeritavad varad korrelatsioonimaatriksis järgivad ühe muutujaga ARMA-GARCH protsessi ja Tsay (2005) välja toodud loomise protsess sisuliselt kattub Box-Jenkins metodoloogiaga.

2.1. Andmed

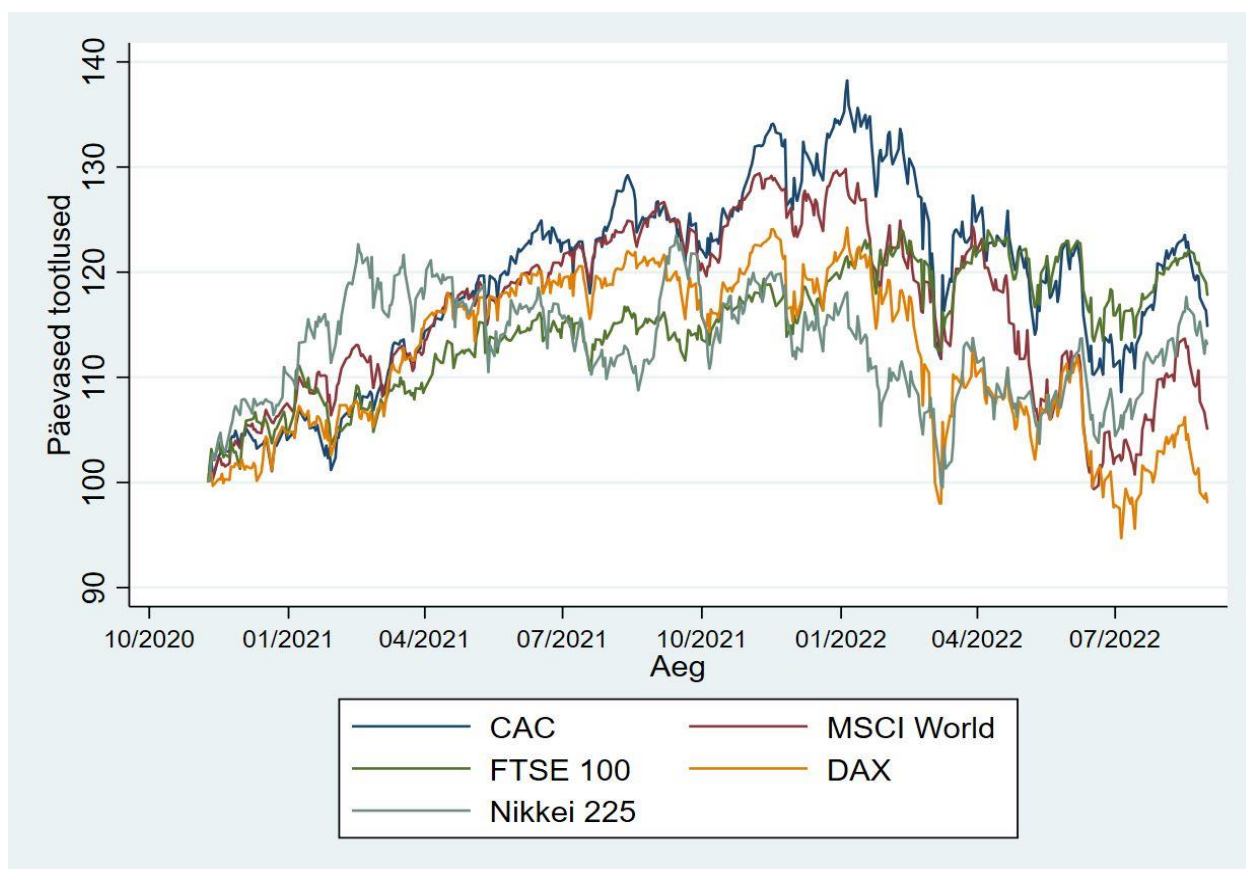
Selleks, et globaalne investor saaks aimu Vene-Ukraina sõjalise konflikti eskaleerumise ajal toimunud muutustest oma portfellis, oleks vaja mõista, kuidas on selle konflikti eskalatsiooni ajal toimunud muutused maailma aktsiaindeksites. Vene-Ukraina sõjalise konflikti peamised tegevuspaigad jäävad Ukraina piiridesse, mistõttu Ukraina enda aktsiaturgu vaadelda ei ole võimalik, sest pärast sõjategevuse eskaleerumisest 24ndal veebruaril 2022. aastal on aktsiaturg olnud suletud järgnevatel kuudel. Selge on aga, et konflikti eskaleerumisest on mõjutatud suuremal või vähemal määral kõik Euroopa riigid. Selleks, et saada ülevaade Euroopa majandusest kui tervikust, võetakse vaatluse alla mitmete aktsiaturgude indeksid.

Euroopa majanduse olulisemad mõjutajad on suured riigid nagu Saksamaa, Suurbritannia, Prantsusmaa. Nende riikide majandust peegeldavad vastavad aktsiaturgude indeksid DAX, FTSE, CAC. Lähtuvalt varasemast empiirikast on tähelepanuväärsete sündmuste ajal Euroopa riikide majandused suurte muutuste küüsis, mida kajastavad vastavalt nende aktsiaturgude indeksite tootlused. Selleks, et hinnata Vene-Ukraina sõja eskaleerumise ajal toimunud muutusi ka globaalsetel turgudel on magistritöö autor võtnud ülemaailmset aktsiaturgu kajastama MSCI World aktsiaindeksi. Lisaks on võetud vaatluse alla ka Jaapani aktsiaturu indeks Nikkei 225, et näha, kuidas sel perioodil volatiilsus ja selle ülekandumine on muutunud ka Euroopast kaugematel turgudel. Et vältida koroonaviiruse pandeemiast tingitud mõju aktsiaturgudele, mis oli selgelt suurema mõjuga aktsiate volatiilsusele, on vaatluse perioodi alguseks võetud 9. november 2020, mil koroonaviiruse pandeemiast tingitud volatiilsus oli taandunud tagasi ajaloolisele keskmisele tasemele. Vaadeldud on kahte perioodi, mis algavad mõlemad samal hetkel, millest üks periood lõpeb 24. veebruar 2022, mil sõjaline tegevus eskaleerus ning teine periood lõpeb 31. august 2022,

mil sõja alguse mõju oli aktsiahindadesse juba täielikult sisse hinnastatud. Andmed aktsiaindeksite sulgemishindade kohta on vabalt kättesaadavad Yahoo Finance finantsveebilehelt.

Magistritöö eesmärk on hinnata, millisel määral suurenes Euroopa aktsiaturgude volatiilsus Vene-Ukraina sõjalise konflikti eskaleerumisel ning kas sel perioodil esines aktsiaturgude vaheline volatiilsuse ülekandumine. Seetõttu on vaatluse alla võetud suuremate Euroopa riikide aktsiaindeksid perioodil, mis ei ole vahetult pärast koroonaviiruse pandeemia algust, et vältida selle mõju segamist vaadeldavale perioodile. Perioodi alguseks on 9. november 2020, mil aktsiaindeksite volatiilsus oli lähedal ajaloolisele keskmisele tasemele.

Riigipühade tõttu suletud aktsiaturgude indeksite väärtused puuduvad - eeskujuna vastavalt Engle ja Sheppard (2002) uurimusele, kus puuduvate väärtustega päevi ei arvestata ja võetakse sellest eelnev päev, millel väärtus on olemas. Aktsiaindeksite päevased tootlused on toodud alloleval joonisel 1.



Joonis 1. CAC, DAX, FTSE 100, MSCI World ja Nikkei 225 indeksite päevased tootlused ajavahemikul 09.11.2020-31.08.2022

Allikas: (Autori koostatud)

2.2. Mudeli eeldus

2.2.1. Statsionaarsus

Aegridade analüüsimise puhul on peamine eeldus, et andmed on statsionaarsed. Statsionaarsel protsessil on omadus, et keskväärtuse, dispersiooni ja autokorrelatsiooni struktuur ajas ei muutu. Statsionaarsuse all mõeldakse peamiselt aegrida, millel puudub trend ja hooajaline kõikumine, on ajas pidev dispersioon ja autokorrelatsiooni struktuur. Täielikult statsionaarseid aegridu reaalsuses ei esine, seega eeldatakse enamasti nõrka statsionaarsust (Tsay 2005, 25). On mitmeid põhjuseid miks statsionaarsus on oluline. Seeria statsionaarsus või mittestatsionaarsus võib selle käitumist ja omadusi tugevalt mõjutada. Statsionaarse aegrea puhul kaovad šokid järk-järgult, mittestatsionaarse puhul aga jäävad lõpmatult püsima. Mittestatsionaarsete andmete kasutamine võib viia võltsregressioonideni. Kui mittestatsionaarsetele andmetele rakendatakse standardseid regressioonitehnikaid, võib lõpptulemuseks olla regressioon, mis näeb standardsete mõõtmiste järgi hea välja, kuid on tegelikult väärtusetu. Kui regressioonimudelid kasutatavad muutujad ei ole statsionaarsed, siis saab väita, et asümptootilise analüüsi standardeeldused ei kehti (Brooks 2008, 319).

Seda, kas aegrea andmestik on statsionaarne või mitte, tehakse kindlaks ühikjuure testiga, mis on toodud välja valemiga 2.1. Nullhüpoteesi defineeritakse üldiselt kui ühikjuure olemasolu ja alternatiivne hüpotees on statsionaarsus. Ülaltoodud testid kehtivad ainult siis, kui jääkliikmed u_t on valge müra. (Brooks 2008, 329)

$$\Delta y_t = \psi y_{t-1} + \sum_{i=1}^p \alpha_i \Delta y_{t-i} + u_t \quad (2.1)$$

kus

α – parameter,

ψ – parameeter,

u_t – jääkliige ajahetkel t .

2.2.2. Autokorrelatsioon

Mudeli adekvaatse spetsifikatsiooni leidmiseks tuleks analüüsida aegridade väärtuste sõltuvust. Ajalist sõltuvust aegreas uuritakse tavaliselt korrelogrammiga, mis kuvab autokorrelatsiooni funktsiooni (ACF) ja osalise autokorrelatsiooni funktsiooni (PACF) koefitsiente. Korrelogrammiga on näha aegrea autokorrelatsiooni, mille abil saab visuaalselt hinnata

autokorrelatsiooni struktuuri. ACF ja PACF olulisuse hindamiseks võib kasutada Ljung-Box Q-statistikat, mis on välja toodud valemiga 2.2 (Brooks 2008, 209):

$$Q^* = T(T + 2) \sum_{k=1}^m \frac{\hat{r}_k^2}{T-k} \sim \chi_m^2 \quad (2.2)$$

kus

χ – korrelatsioonikoefitsient,

T – vaatluste arv,

m – vabadusastmete arv,

k – viiteaeg.

Selle meetodi kohaselt testitakse hüpoteesi, et kõik korrelatsiooni koefitsientide viiteajad on samaaegselt nullid ja kui mõni autokorrelatsiooni koefitsientidest on statistiliselt oluline, lükatakse hüpotees tagasi. Selles testis nullhüpotees väidab, et kõik autokorrelatsiooni koefitsiendid on nullid, seega tuleks aktsepteerida alternatiivset hüpoteesi, kui mõni koefitsient on statistiliselt oluline (Brooks 2008, 210).

2.2.3. Normaaljaotus

Enne andmete analüüsi on mõistlik uurida nende jaotust, et mudeli parameetreid täpsemalt hinnata. Jaotust määratletakse tavaliselt kahe mõõdiku, püstakuse- ja asümmeetriakordaja järgi. Asümmeetriakordaja on sümmeetria mõõdik seeriaste jaotuses selle keskmise väärtuse ümber. Finantsaegridade jaotus on tavaliselt asümmeetriline. Seevastu normaaljaotusel on asümmeetriakoefitsient null, kuna see on sümmeetriline keskmise suhtes ning asümmeetria puudub. Püstakuse kordaja mõõdab, kui paksud on jaotuste sabad. Paksude või “rasvaste” sabade puhul on püstakuse kordaja suurem kui normaaljaotuse puhul. Normaaljaotuse puhul on püstakuse kordaja väärtus 3, mis finantsaegridade puhul on vähetõenäoline. Enamasti on finantsaegridade puhul püstakuse kordaja suurem ning seega ei allu normaaljaotusele. Bera ja Jarque (1981) pakkusid välja testi, mis põhineb ideel, et kui aegrida allub normaaljaotusele, siis on selle püstakuse kordaja ja asümmeetriakoefitsient võrdne nulliga. Bera-Jarque'i teststatistikut kirjeldab valem 2.3 (Brooks 2008, 161-163):

$$W = T \left[\frac{b_1^2}{6} + \frac{(b_2-3)^2}{24} \right] \quad (2.3)$$

kus

b_1 – valimi asümmeetriakordaja,

b_2 – valimi püstakuse kordaja.

2.2.4. Heteroskedastiivsus

Juhuslike muutujate jada on homoskedastiline, kui kõik selle juhuslikud suurused on konstantse dispersiooniga. Finantsaegridade kontekstis on ebatõenäoline, et vigade dispersioon on ajas konstantne. Kui vigade dispersioon ei ole konstantne, on tegemist heteroskedastiivsusega. Seetõttu on mõttekas finantsaegridade modelleerimisel kasutada mudelit, mis ei eelda, et dispersioon on konstantne ja mis kirjeldab, kuidas vigade dispersioon aja muutub. (Brooks 2008, 386)

Tingliku heteroskedastiivsuse ehk ARCH efekti kontrollimiseks kasutatakse ruudus aegrida. Selle jaoks on võimalik kasutada kahte testi. Esimene test on tavapärase Ljung-Box Q-statistik ruudus seeriale, mille nullhüpoteesi korral esimesed viiteajad ruudus aegreal on nullid. Teine test tingliku heteroskedastiivsuse jaoks on Lagrange kordaja test, mida on kirjeldatud valemiga 2.4. See test on võrdne tavalise F-statistikuga lineaarse regressiooni $\alpha_i = 0$ ($i = 1, \dots, m$) testimiseks. (Tsay 2005, 101)

$$\alpha_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \alpha_{t-1}^2 + \dots + \alpha_m \alpha_{t-m}^2 + e_t, \quad t = m + 1, \dots, T \quad (2.4)$$

kus

e_t – vealiige,

m – eelnevalt määratletud positiivne täisarv,

T – valimi suurus.

2.3. Mudeli spetsifikatsioon

Kuigi finantsteooria kohaselt ei ole mudeli viitaegade seadmisel piirangut mingeid piiranguid, võib suure hulga viitaegade lisamine mudelisse tekitada olukorra, kus parameetrid on statistiliselt mitteolulised ning teisest küljest liiga väike viitaegade arv võib tuua kaasa sobimatu spetsifikatsiooni, millega pole võimalik protsessi õigesti tabada. Üldiselt peetakse finantsteaduses GARCH(1,1) mudelit piisavaks peaaegu kõigil juhtudel. Hansen ja Lunde (2005) ei leidnud tõendeid selle kohta, et GARCH(1,1) oleks kuidagi kehvem teistest mudelitest ning ühel juhul oli selle prognoosimise võime selgelt parem.

Mudeli sobiva vormi tuvastamiseks võib kasutada korrelogrammi, kuid see on subjektiivne meetod, lisaks võivad andmed esineda muustrites, mis raskendab andmete genereeritud protsessi ära tundmist. See muudab autokorrelatsiooni funktsiooni graafikuid raskesti tõlgendatavaks ja seega on mudelit keeruline spetsifitseerida. Graafilise analüüsiga seotud subjektiivsus saab eemaldada, kui kasutatakse informatsioonikriteeriume.

Informatsioonikriteeriumid hõlmavad endas kahte faktorit: terminit, mis on ruutude jääksumma (ingl. k *residual sum of squares* (RSS)) funktsioon, ja teatud trahvi kriteeriumi parameetrite lisamisest tekkinud vabadusastme kaotamise tõttu. Seetõttu avaldab mudelile uue muutuja või täiendava viiteaja lisamine informatsioonikriteeriumitele konkureerivaid mõjusid: RSS langeb ja trahvi kriteeriumi väärtus suureneb. Selle meetodi põhiidee on valida hulk parameetreid, mis minimeerivad informatsioonikriteeriumi väärtust, seega on parimal määratletud mudelil madalaim informatsioonikriteeriumi väärtus. Madalama väärtuse saamiseks peaks RSS-i langus olema piisav, et kaaluda üles trahvi kriteeriumi väärtuse suurenemine. Kriteeriume on mitu, kõige populaarsemad on Akaike informatsioonikriteerium (AIC) (valem 2.5), Schwartzi Bayesi informatsioonikriteerium (SBIC) (valem 2.6) ja Hannan-Quinni kriteerium (HQIC) (valem 2.7). Korrigeeritud R^2 saab kasutada ka informatsioonikriteeriumina, kuid see valib tavaliselt ainult suurimad mudelid. (Brooks 2008, 232-233):

$$AIC = \ln(\sigma^2) + \frac{2k}{T} \quad (2.5)$$

$$SBIC = \ln(\sigma^2) + \frac{k}{T} \ln T \quad (2.6)$$

$$HQIC = \ln(\sigma^2) + \frac{2k}{T} \ln(\ln(T)) \quad (2.7)$$

kus

σ^2 – jääkliikmete dispersioon,

k – parameetrite arv,

T – valimi suurus.

2.4. Mudeli parameetrite hindamine

DCC-MGARCH mudelit hinnatakse kahes etapis. Esimeses etapis hinnatakse GARCH mudelit ning teises korrelatsiooni hinnanguid. (Engle 2002)

Kuna ARCH-tüüpi mudelid ei ole lineaarsed, siis vähimruutude meetodit ei ole võimalik rakendada GARCH mudeli rakendamisel. Sellel on mitmeid põhjuseid, kuid peamiselt seetõttu, et vähimruutude meetod vähendab ruutude jääksummat, mis on mõjutatud tingliku keskvaartuse parameetritest, kuid mitte tinglikust dispersioonist, mistõttu ruutude jääksumma minimeerimine ei ole mõistlik tegevus. Selleks, et GARCH-tüüpi mudelite parameetreid hinnata, on vaja rakendada maksimaalse tõepära hindamise meetodit. Selle meetodi puhul leitakse tegelike andmete alusel parameetrite kõige tõenäolisemad väärtused. Täpsemalt luuakse logaritmilise tõepärafunktsioon ja otsitakse parameetrite väärtusi, mis seda maksimeeriks. (Brooks 2008, 395)

Logaritmilist tõepära saab kirjutada volatiilsuse osa ja korrelatsiooni osa summana (Engle 2002):

$$L(\theta, \phi) = L_v(\theta) + L_c(\theta, \phi) \quad (2.8)$$

Volatiilsuse termin on (Engle 2002):

$$L_v(\theta) = -\frac{1}{2} \sum_t (n \log(2\pi) + \log|D_t|^2 + r_t' D_t^{-2} r_t) \quad (2.9)$$

ja korrelatsiooni komponent on (Engle 2002):

$$L_c(\theta, \phi) = -\frac{1}{2} \sum_t (\log|R_t| + \varepsilon_t' R_t^{-1} \varepsilon_t - \varepsilon_t' \varepsilon_t) \quad (2.10)$$

Tõenäosuse volatiilsusosa on ilmselt üksikute GARCHi tõenäosuste summa, mis maksimeeritakse ühiselt iga termini eraldi maksimeerimisega. (Engle 2002)

$$L_v(\theta) = -\frac{1}{2} \sum_t \sum_{i=1}^n \left(\log(2\pi) + \log(h_{i,t}) + \frac{r_{i,t}^2}{h_{i,t}} \right) \quad (2.11)$$

Teist tõepära osa kasutatakse korrelatsiooni parameetrite hindamiseks. Kuna ruudus jäägid ei sõltu nendest parameetritest, ei sisesta need esimest järku tingimusi ja neid saab ignoreerida. (Engle 2002)

2.5. Mudeli diagnostika

Mudeli diagnostika etapis tehakse kindlaks, kas määratud ja hinnanguline mudel on piisav. Box ja Jenkins soovivad kahte meetodit: liigsobitamine ja jääkliikmete analüüs. Liigsobitamine hõlmab suurema mudeli tahtlikku paigaldamist, kui on vaja esimeses etapis tuvastatud andmete dünaamika tabamiseks. Kui esimeses etapis määratletud mudel on piisav, on mudelile lisatud lisatingimused tähtsusetud. Jääkliikmete analüüs hõlmab jääkide kontrollimist lineaarse sõltuvuse tõendite suhtes, mille olemasolu viitab sellele, et algselt määratud mudel ei olnud andmete omaduste hõivamiseks piisav. Kasutada võib ACF, PACF või Ljung-Box teste. (Brooks 2008, 231)

3. EMPIIRILISE UURINGU TULEMUSED

3.1. Eelduste testimine

3.1.1. Statsionaarsus

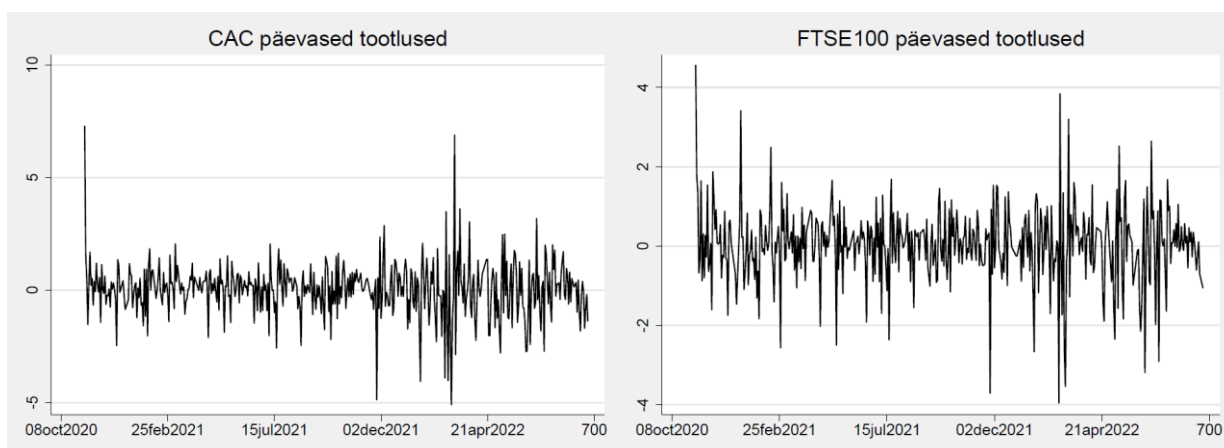
Finantsaegridade analüüsimise jaoks on vaja, et vaadeldav andmestik oleks statsionaarne. Indeksite päevased sulgemishinnad näitavad aga aja jooksul selgelt trendi ning sellisel kujul ei ole tegemist statsionaarsete aegridadega. Selleks, et oleks võimalik neid andmeid ikkagi kasutada on vaja leida logaritmilised tulumäärad, sest sellega tagatakse statsionaarsus, mille läbi on võimalik andmeid analüüsida ja omavahel võrrelda. Finantsaegridade analüüsimiseks kasutatakse tarkvara Stata. Logaritmilised tulumäärad leitakse valemiga 3.1.

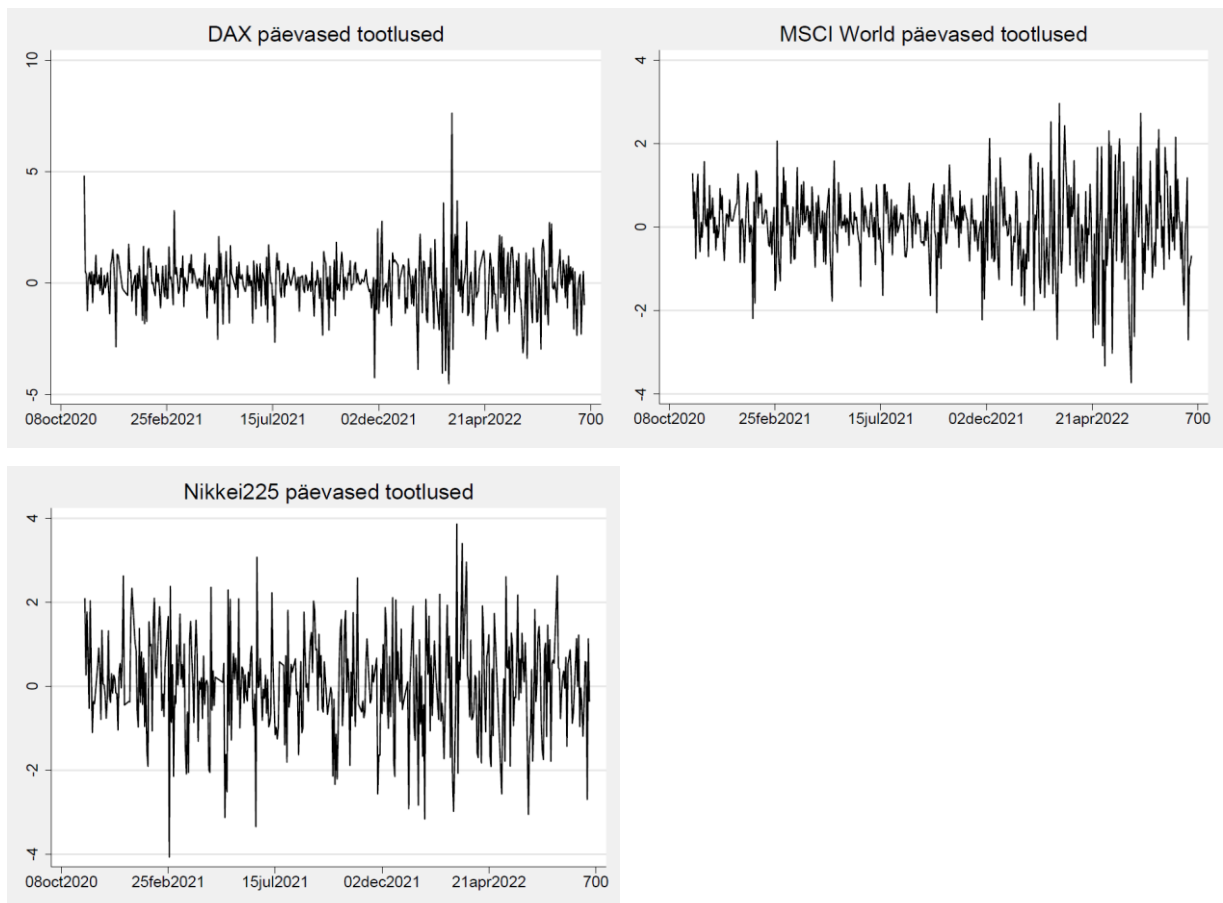
$$LRET = 100 \times \ln\left(\frac{y_t}{y_{t-1}}\right) \quad (3.1)$$

kus

y_t – indeksi sulgemishind päeval t

y_{t-1} – indeksi sulgemishind päevale t eelneval päeval





Joonis 2. CAC, DAX, FTSE 100, MSCI World ja Nikkei 225 indeksite päevased tootlused vahemikus 09.11.2020-31.08.2022

Allikas: Autori arvutused

Jooniselt 2 on võimalik visuaalsel vaatlusel näha, et alates 24ndast veebruarist 2022, mil toimus Vene-Ukraina sõja oluline eskaleerumine, on aktsiaindeksite volatiilsus märkimisväärselt kõrgem võrreldes varasema perioodiga. Kusjuures on võimalik täheldada ka asjaolu, et Prantsuse-, Saksa- ja Inglismaa aktsiaindeksite volatiilsuse järsk tõus on toimunud peaaegu üheaegselt, kuid Jaapani ning maailma aktsiate indeks veebruaris 2022 samasugust volatiilsuse järsku kõrgenemist ei näita. Sellegipoolest ajaloolise keskmise tasemest kõrgemat volatiilsust näeb kõikide vaatluse all olevate indeksite puhul.

Jooniselt 2 on võimalik näha aegridu, mida võib visuaalsel vaatlusel pidada statsionaarseteks. Lisaks on võimalik täheldada ka volatiilsuse kuhjumist, mis tähendab, et madalama volatiilsusega perioodidele järgnevad madalama volatiilsusega perioodid ning kõrgenenud volatiilsusega perioodidele järgnevad kõrgema volatiilsusega perioodid. Nagu selgus teoreetilisest käsitlusest, kõiguvad aktsiaindeksite tulumäärad ümber ajaloolise keskmise taseme.

Selleks, et täiesti kindel olla aegridade statsionaarsuses on võimalik kasutada ühikjuure testi, mille läbi saab andmete statsionaarsuse kohta anda kvantitatiivse hinnangu. Statistikatarkvaraga Stata läbi viidud ADF ühikjuure testi tulemused on välja toodud allolevas tabelis 1.

Tabel 1. ADF ühikjuure testi tulemused

	CAC	MSCI World	FTSE 100	DAX	Nikkei 225
Teststatistik	-22.311	-19.473	-22.041	-22.538	-20.960
P-väärtus	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Allikas: autori arvutused andmeanalüüsi tarkvaras Stata

Ühikjuure testi tulemused on statistiliselt olulised, seega saab nullhüpoteesi lükata tagasi ning vastu võtta sisuka hüpoteesi, mis kinnitab, et aegread on statsionaarsed.

3.1.2. Autokorrelatsioon

Indeksite tootluste autokorrelatsiooni esinemise tuvastamiseks kasutatakse portmanteau testi, mis on Ljung-Box testi lihtsustus, mis on omakorda Box-Pierce'i testi täiustatud versioon. Testi tulemused on välja toodud allolevas tabelis 2.

Tabel 2. Ljung-Box portmanteau autokorrelatsiooni test

Järgud	CAC	MSCI World	FTSE 100	DAX	Nikkei 225
1	0.1266 (0.7720)	6.8665 (0.0088)	1.7209 (0.1896)	0.4730 (0.4916)	0.2263 (0.6343)
5	9.9367 (0.0771)	39.3746 (0.0000)	6.3698 (0.2719)	11.0397 (0.0506)	4.9719 (0.4193)
10	32.0842 (0.0004)	134.4864 (0.0000)	39.5271 (0.0000)	40.4195 (0.0000)	12.7540 (0.2378)
15	42.4782 (0.0002)	160.3732 (0.0000)	51.1351 (0.0000)	50.3631 (0.0000)	22.7201 (0.0903)
20	52.7751 (0.0001)	167.3586 (0.0000)	59.8257 (0.0000)	61.2248 (0.0000)	31.6741 (0.0469)
25	56.3613 (0.00003)	169.7798 (0.0000)	66.9786 (0.0000)	66.3716 (0.0000)	32.8189 (0.01357)

Allikas: autori arvutused andmeanalüüsi tarkvaras Stata

Kõikide indeksite puhul esineb autokorrelatsioon - MSCIWorld puhul alates 1. järgust, CAC, FTSE 100 ja DAX puhul alates 10ndast järgust ning Nikkei 225 puhul sõltuvad vaatluse väärtused 25. järku viitaegadest.

3.1.3. Normaaljaotus

Tabelis 3 on välja toodud aktsiaindeksite päevaste tootluste kirjeldav statistika, mille abil on võimalik paremini kvantitatiivselt seletada vaadeldavate andmete omadusi nagu näiteks aritmeetiline keskmine, standardhälve, dispersioon, asümmeetriakordaja ja püstakuse kordaja. Teoriast lähtuvalt alluvad finantsaegread teatud stiliseeritud faktidele. Aktsiaindeksite tulumäärade aritmeetilised keskmised on nullilähedased, mis viitab sellele, et aktsiaindeksite hindade volatiilsus kõigub ümber teatud ajaloolise keskmise taseme. Asümmeetriakordaja on kõigil juhtudel nullist erinev, mis viitab sellele, et tegemist ei ole normaaljaotusega, sest jaotused ei ole sümmeetrilised. Valimi püstakuse kordajad on suuremad kui 3, mis viitab sellele, et tegemist on väga püstakate jaotustega, mis tähendab, et jaotusel on “rasvased” sabad, ehk ekstreemseid nähtusi esineb võrreldes normaaljaotusega rohkem.

Tabel 3. Aktsiaindeksite päevaste tootluste kirjeldav statistika

	CAC	MSCI World	FTSE 100	DAX	Nikkei 225
Vaatluste arv	463	471	444	455	422
Aritmeetiline keskmine	0,042289	0,01469	0,0320513	-0,0019552	0,0256746
Standardhälve	1,205401	0,9536495	0,9670271	1,221624	1,205605
Dispersioon	1,452993	0,9094474	0,9351413	1,492366	1,453485
Asümmeetriakordaja	0,2778906	-0,3854614	-0,2008766	0,1880444	-0,1343696
Püstakuse kordaja	9,141439	4,403391	6,366752	7,533226	3,370451

Allikas: autori arvutused andmeanalüüsi tarkvaras Stata

3.1.4. Heteroskedastiivsus

ARCH efekti tuvastamiseks kasutatakse Lagrange'i kordaja (LM) testi. ARCH LM testi puhul tuvastatakse tootluste jääkides ARCH-efekte, mis võib viidata heteroskedastiivsusele. Testi tulemused on välja toodud allolevas tabelis 4..

Tabel 4. Lagrange'i kordaja testi tulemused ja olulisuse tõenäosused

Järgud	CAC	MSCI World	FTSE 100	DAX	Nikkei 225
1	4.38 (0.036)	74.17 (0.000)	12.11 (0.000)	0.24 (0.622)	145.39 (0.000)
2	26.86 (0.000)	206.98 (0.000)	16.58 (0.000)	11.46 (0.003)	77.15 (0.000)
3	100.69 (0.000)	214.55 (0.000)	95.85 (0.000)	58.81 (0.000)	58.96 (0.000)
4	126.93 (0.000)	216.48 (0.000)	100.52 (0.000)	81.98 (0.000)	53.39 (0.000)
5	125.30 (0.000)	216.14 (0.000)	99.33 (0.000)	80.40 (0.000)	66.73 (0.000)

Allikas: autori arvutused andmeanalüüsi tarkvaras Stata

Lagrange'i kordaja ARCH-test olulisuse nivool 0,05 kuni 5 viiteajaga lükkab ümber nullhüpoteesi, mis väidab, et tulumäärades puuduvad ARCH-efektid. See tähendab, et ARCH-efektid on olemas ja tulumäärade dispersioonid on heteroskedastiivsed. Seeõttu on GARCH mudeli kasutamine põhjendatud kirjeldamaks tulumäärade ajas muutuvat volatiilsust.

3.2. Volatiilsuse mudeli hindamine

Volatiilsuse mudeli keskväertuse mudel on õigesti spetsifitseeritud kui standardiseeritud jääkliikmed moodustavad valge müra, mida saab uurida standardiseeritud jääkliikmete korrelogrammilt. Sarnaselt keskväertuse mudelile on tingliku keskväertuse mudel õigesti spetsifitseeritud juhul, kui standardiseeritud vigade ruudud moodustavad valge müra, mis viitab sellele, et kogu dispersiooni mudelisse panemine on õnnestunud. Seda saab uurida standardiseeritud jääkliikmete ruutude korrelogrammilt. Keskväertuse mudeli ja tingliku keskväertuse mudeli õige spetsifikatsiooni hindamiseks viiakse läbi Portmanteau valge müra test. (Bauwens 2006)

Tabel 5. Portmanteau valge müra testi tulemused

	Standardiseeritud jääkliikmed	Standardiseeritud jääkliikmete ruudud
Q-statistik	36.9764	43.4023
Olulisuse tõenäosus	0.6071	0.3284

Allikas: autori arvutused andmeanalüüsi tarkvaras Stata

Tabelis 5. toodud testi tulemused näitavad, et standardiseeritud jäägid moodustavad valge müra, sest viiteajani 40 vastav Q-statistiku olulisuse tõenäosus on statistiliselt mitteoluline ning seega esineb valge müra, mistõttu on keskväertuse mudel õigesti spetsifitseeritud.

3.3. Volatiilsuse korrelatsioonimudeli testimine

Engle ja Sheppardi (2001) konstantse korrelatsiooni testi tulemuste põhjal saab konstantse korrelatsiooni nullhüpoteesi ümber lükata, sest korrelatsioon on ajas muutuv ning ei ole konstantne ehk püsiv. Seetõttu tuleb vastu võtta alternatiivne hüpotees, ehk korrelatsioonid ajas muutuvad. Lisaks kuna indekseid vahel esineb korrelatsioon, on DCC GARCH mudeli kasutamine põhjendatud.

DCC MGARCH mudeli puhul on tinglike korrelatsioonikordajate maatriks $R_t = \text{diag}(Q_t)^{-1/2} Q_t \text{diag}(Q_t)^{-1/2}$, kus ajas muutuv maatriks $Q_t = (1 - \lambda_1 - \lambda_2)R + \lambda_1 \tilde{u}_{t-1} \tilde{u}_{t-1}^T + \lambda_2 Q_{t-1}$. Kaalud λ_1 ja λ_2 on parameetrid, mis määravad ära tinglike kvaasikorrelatsioonikordajate dünaamika, on mittenegatiivsed ja rahuldavad tingimust $0 \leq \lambda_1 + \lambda_2 < 1$. Parameetrid λ_1 ja λ_2 on toodud allolevas tabelis 6, kust on näha, et λ_2 väärtus on palju suurem võrreldes λ_1 väärtusega, mis viitab sellele, et tinglikud kovariatsioonid sõltuvad rohkem oma eelmistest väärtustest Q_{t-1} , mitte niivõrd eelmise perioodi šokkidest. (Bauwens 2006)

Tabel 6. Kaalude λ_1 ja λ_2 koefitsiendid ja olulisuse tõenäosused nivool 0,05

Parameeter	Koefitsient	P-väärtus
λ_1	0.0393392	0.002
λ_2	0.7209106	0.000

Allikas: autori arvutused tarkvaras Stata

DCC MGARCH mudeli kasutamist saab põhjendada viies läbi kitsenduse test. Testides DCC mudelit kasutades lineaarseid kitsendusi, saab mudelit efektiivselt käsitleda kui CCC mudelit, millel puudub dünaamiline element. Testides tingimust, kus on peale pandud kitsendus, kus $\lambda_1 = \lambda_2 = 0$, on nullhüpoteesi puhul järeldus, et kitsenduse võib peale panna, mille korral saab kasutada hoopis konstantse tingliku korrelatsiooni mudelit ehk CCC. (Bauwens 2006)

Läbiviidud testi tulemused on allolevas tabelis 7, kus on kirjas kitsenduse tingimus, hii-ruut ning olulisuse tõenäosus p.

Tabel 7. Kitsenduse testi tulemused ja olulisuse tõenäosus nivool 0,05

Kitsendus	χ^2	P-väärtus
$\lambda^1 = \lambda^2 = 0$	174.19	0.0000

Allikas: autori arvutused tarkvaras Stata

Test on statistiliselt oluline, mistõttu saab nullhüpoteesi ümber lükata. Test näitab, et kui λ_1 ja λ_2 oleksid võrdelised nulliga, siis mudeli võimekus halveneks olulisel määral. Testist saab järeldada, et antud kontekstis on DCC mudel oluliselt parem kui CCC mudel.

Dünaamilise tingliku korrelatsiooni üldistatud autoregressiivse tingliku heteroskedastiivsuse mudeli tulemustest saadud aktsiaindeksite logaritmiliste tulumäärade volatiilsuste dünaamilised tinglikud statistiliselt olulised korrelatsioonid on välja toodud allolevates tabelites 8 ja 9.

Tabel 8. Aktsiaindeksite vahelised volatiilsuste keskmised dünaamilised tinglikud korrelatsioonid perioodil 9.11.2020-24.02.2022:

	CAC	MSCIWorld	FTSE100	DAX	Nikkei225
CAC	1,0000000				
MSCIWorld	0,6464146	1,0000000			
FTSE100	0,7916377	0,5721916	1,0000000		
DAX	0,8915257	0,6367885	0,7443664	1,0000000	
Nikkei225	0,3381819	0,3677764	0,3613569	0,3187555	1,0000000

Allikas: autori arvutused tarkvaraga Stata

Tabelist 8 on näha, et kõikide indeksite vahel esineb positiivne korrelatsioon. Eriti tugev korrelatsioon on Saksamaa DAX indeksi ning Prantsuse CAC indeksi vahel. Üsna tugev korrelatsioon esineb ka Inglismaa FTSE 100 ja Prantsusmaa CAC indeksite vahel. Mõõdukam korrelatsioon esineb maailma aktsiate indeksi MSCI World puhul Euroopa aktsiaindeksitega. Kõige väiksem dünaamiline tinglik korrelatsioon on Jaapani Nikkei 225 aktsiaindeksil teiste ülejäänud indeksitega.

Tabel 9. Aktsiaindeksite vahelised volatiilsuste keskmised dünaamilised tinglikud korrelatsioonid perioodil 9.11.2020-31.08.2022:

	CAC	MSCIWorld	FTSE100	DAX	Nikkei225
CAC	1,0000000				
MSCIWorld	0,6868675	1,0000000			
FTSE100	0,8123799	0,6015467	1,0000000		
DAX	0,9209233	0,6910421	0,7745518	1,0000000	
Nikkei225	0,3345075	0,3601668	0,3683513	0,3093091	1,0000000

Allikas: autori arvutused tarkvaraga Stata

Tabelis 9 on näha korrelatsioonimaatriksi, mis hõlmab endas ka perioodi pärast 24ndat veebruari 2022 on võimalik tuvastada suurenenud korrelatsioone kõikide vaatluse all olevate indeksite paaride puhul, millesse ei kuulu Jaapani Nikkei 225 indeks. Eriti on suurenenud MSCI World aktsiaindeksi korrelatsioonid Euroopa indeksitega.

3.4. Järeldused

Aktsiaindeksite päevaste tulumäärade volatiilsus on oluliselt suurenenud pärast 24. veebruari 2022. aastal, mil toimus Vene-Ukraina sõja oluline eskaleerumine. Kõige rohkem on seda võimalik näha Euroopa aktsiaindeksite tulumäärade puhul, vähem aga globaalse MSCI World indeksi puhul ning kõige vähem Jaapani aktsiaindeksi Nikkei 225 puhul. Seega leiab kinnitust hüpotees 1 – Vene-Ukraina sõja eskaleerumise ajal suurenes volatiilsus Euroopa ning teiste globaalsete aktsiaturgude volatiilsus.

Tinglike korrelatsioonide analüüsist saadud tulemused on statistiliselt olulised. Saadud korrelatsioonimaatriksitest on võimalik teha erinevaid järeldusi: Euroopa aktsiaindeksite vahel esineb tugev positiivne korrelatsioon ning seda eriti Saksa- ja Prantsuse aktsiaturgude vahel, mis tundub realistlik tulenevalt geograafilisest ja majanduslikust seotusest. Tugev korrelatsioon esineb ka Prantsuse ja Inglise aktsiaindeksite vahel ning Saksa ja Inglise aktsiaindeksite vahel. MSCI World aktsiaindeks, mis sisaldab endas ka erinevate teiste globaalsete ettevõtete aktsiaid, liigub vaadeldavate perioodide jooksul veidi väiksemas korrelatsioonis Euroopa aktsiaindeksitega kui viimased omavahel. Kõige väiksemas korrelatsioonis teiste vaadeldud aktsiaindeksitega kõiguvad Jaapani aktsiaindeksi tulumäärad.

Vene-Ukraina sõja eskaleerumist hõlmaval perioodil on korrelatsioonid mõnevõrra tugevamad kõikide indeksi vahel, väljaarvatud Jaapani. Aktsiaindeksite volatiilsuse koosliikumine on peale sõja eskaleerumist Euroopa indeksi vahel suurem, kuid eriti tugevalt suureneb MSCI World maailma aktsiaindeksi tulumäärade koosliikumine Euroopa aktsiaindeksitega. Jaapani aktsiaindeks Nikkei 225 on teiste aktsiaindeksite tulumääradega väikeses korrelatsioonis ning sõja eskaleerumise järgselt see ei suurenenud, vaid pigem vähenes mõnevõrra Saksa ja Prantsuse aktsiaindeksitega. Kuusk & Paas (2013) töös on esitatud finantsnakkuse definitsioon, kus ülekandumise efekt esineb sel juhul, kui toimub mitte ainult koosliikumine, vaid koosliikumine suureneb kriiside ajal. Kuna aktsiaturgude volatiilsuses esineb suurenenud koosliikumine kriisi ajal võrreldes kriisieelse perioodiga, siis leiab hüpotees 2 kinnitust, ehk Vene-Ukraina sõjalise konflikti eskaleerumise järgsel perioodil esineb aktsiaturgude vaheline volatiilsuse ülekandumine.

KOKKUVÕTE

Aktsiaturgude volatiilsuse analüüsimine annab võimaluse investoritel oma portfelli riske paremini juhtida. Globaliseerunud maailmas mõjutavad ülemaailmsed sündmused erinevate piirkondade volatiilsust erinevalt. Geopoliitiliste kriiside ajal on varahinnad varasemalt kogenud negatiivseid tootluseid ja suurenenud volatiilsust. Käesoleva töö eesmärk on välja selgitada, milline on aktsiaturgude volatiilsus Vene-Ukraina sõja eskaleerumise ajal ning kas globaalsetele aktsiaturgude vahel toimub volatiilsuse ülekandumine. Vaatluste alguse kuupäevaks võeti 9. nov 2020.

Eesmärgi saavutamiseks tehti ülevaade varasematest sarnastest uurimustest ning jõuti järeldusele, et eesmärgi saavutamiseks on võimalik kasutada DCC MGARCH mudelit, et võrrelda, kuidas muutub indeksite vaheline korrelatsioonimaatriks, kui võrrelda Vene-Ukraina sõja eskaleerumisele eelnevat ja järgnevat perioodi. Mudeli abil valmis kaks korrelatsioonimaatriksi – esimene perioodil 09.11.2020–24.02.2022 ning teine perioodil 09.11.2020–31.08.2022. Statsionaarsed aegread näitavad, et Vene-Ukraina sõja eskaleerumise järgsel perioodil esineb suurenenud volatiilsus kõikide vaatluse all olevate aktsiaindeksite puhul, kuid eriti Euroopa aktsiaindeksite puhul. Korrelatsioonimaatriks, milles vaadeldakse sõja eskaleerumise eelset perioodi näitab, et volatiilsuse koosliikumine on tugev Euroopa riikide aktsiaturgude vahel, väiksem koosliikumine on Euroopa aktsiaindeksite ja globaalse aktsiaindeksi vahel ning väga väike koosliikumine toimub Jaapani aktsiaindeksi vahel Euroopa aktsiaindeksite ja globaalse aktsiaindeksiga. Korrelatsioonimaatriks, mille vaatluse hulka kuulub ka periood, mil toimus Vene-Ukraina sõja eskaleerumine näitab, et aktsiaindeksite tulumäärade kõikumise koosliikumine on suurem ning seda eriti globaalse aktsiaindeksi ja Euroopa aktsiaindeksite vahel. Jaapani aktsiaindeksi tulumäärade korrelatsioon teiste aktsiaindeksitega jäi sel perioodil samaks või vähenes mõnevõrra.

Tulenevalt asjaolust, et volatiilsus oli sel perioodil suurenenud kõikide aktsiaindeksite puhul, leiab kinnitust hüpotees 1. Tuginedes Kuusk & Paas (2013) finantsnakkuse definitsioonile, kus ülekandumise efekt esineb sel juhul, kui aktsiaturud ei liigu lihtsalt koos, vaid koosliikumine

suureneb kriiside ajal, leiab kinnitust hüpotees 2, ehk Vene-Ukraina sõja eskaleerumise ajal esineb aktsiaturu volatiilsuse ülekandumine globaalsete aktsiaturgude vahel.

Ajalooliselt on konfliktsete perioodide ajal finantsturgudel esinenud ebakindlus, mis on endaga kaasa toonud varadele negatiivseid tootluseid ja suurenenud volatiilsust. Negatiivset mõju ja suurenenud volatiilsust finantsvara hindades oli võimalik näha ka Vene-Ukraina sõja eskaleerumisel 2022. aastal. Neid asjaolusid võiks globaalne investor võtta arvesse tulevikus aset leidvate geopoliitiliste sündmuste ajal, et hinnata nende potentsiaalset mõju oma portfellile. Käesoleva magistr töö uurimuse põhjal ei saa aga väita, et vaadeldud volatiilsust ja varahindade langust oleks peamiselt põhjustanud Vene-Ukraina sõja eskaleerumine. Selleks, et tuvastada kõiki finantsturge mõjutanud tegureid ja nende mõju määra aktsiaturgude volatiilsuse suurenemisele ja varahindade langusele oleks vaja ka neid tegureid põhjalikult analüüsida, mis aga ei ole käesoleva töö eesmärk.

SUMMARY

STOCK MARKET VOLATILITY TRANSMISSION DURING THE ESCALATION OF THE RUSSO-UKRAINIAN WAR

Johannes Kustav Viise

The recent escalation of hostilities in Ukraine has created uncertainty in various areas of society. Financial markets have experienced increased volatility and negative impacts on asset prices during the period of the Russian-Ukrainian war. The negative impact worsened from February 24, 2022, i.e. after a significant escalation of the conflict. Bounboua and Yatié (2022) were the first to document empirical material on the negative impact of war escalation on index returns. Fang and Shao (2022) have observed increased volatility in the commodity market during the escalation of the war, and Lyócsa and Plíhal (2022) have modeled the volatility of the Russian ruble during this period. Increased volatility has created interest among investors, for whom it might be important to diversify investment portfolios in such a way that the impact of volatility has minimal negative effect. A war with a large sphere of influence has created a need to understand volatility even better than before for those who want to manage risk and diversify their assets.

In general, statistical tools are used to analyze and describe various economic data, including econometric models, with the help of which it is possible to analyze primarily linear datasets in order to draw appropriate conclusions for economic operations. Often it is necessary to use slightly more complicated solutions than conventional linear models. In order to model and describe the volatility of financial markets operating in the economy, it is necessary to analyze time series, Generalized autoregressive conditional heteroscedasticity (GARCH) models are used to analyze volatility.

Previous studies have shown that various global and local wars have affected the volatility of various financial markets (including stock markets) to a greater or lesser extent. In addition, studies have revealed in many cases the transmission of market volatility to other markets. So far, little is

known whether the escalation of the war between Russia and Ukraine, which broke out in Europe, has had a major impact on the transmission of volatility between the European stock markets and the global markets.

The topic of this research paper encompasses the transmission of increased stock market volatility between global stock markets in the period following the escalation of the Russian-Ukrainian war. With this, investors could make better decisions on portfolio management and asset diversification, taking into account the potential risks that may accompany global conflicts. Analyzing the volatility of stock markets gives investors the opportunity to better manage their portfolio risks. In a globalized world, global events affect the volatility of different regions differently. Asset prices have historically experienced negative returns and increased volatility during geopolitical crises. The purpose of this paper is to find out what the volatility of the stock markets is during the escalation of the Russian-Ukrainian war and whether there is a transfer of volatility between global stock markets.

The objective of this thesis is to find out whether the volatility of stock markets has increased due to the escalation of the Russo-Ukrainian war and whether there is a transfer of volatility between global stock markets. To achieve this objective, two questions have been proposed:

- 1) Has the volatility of global stock indices increased during the escalation of the Russo-Ukrainian war?
- 2) Has there occurred a transmission of volatility between global stock indices following the escalation of the Russo-Ukrainian war?

In addition two hypotheses have been developed:

- 1) In the period following the escalation of the Russian-Ukrainian war, volatility has significantly increased in both European and other important global stock markets
- 2) In the period following the escalation of the Russian-Ukrainian war, there has been a significant transmission of stock market volatility

To achieve the goal, an overview of previous similar studies has been made and it was concluded that to achieve the goal, it is possible to use the DCC MGARCH model to compare how the correlation matrix between the indices have changed when comparing the period before and after the escalation of the Russian-Ukrainian war. To observe the volatility in the period volatility financial data of various stock indices have been extracted: the European indices CAC, DAX and

FTSE 100, which consist of French, German and English stocks, respectively, and the Japanese Nikkei 225 and MSCI World indices. Using the model and financial data freely available on Yahoo finance website, two correlation matrices were prepared - the first for the period 09.11.2020–24.02.2022 and the second for the period 09.11.2020–31.08.2022. Stationary time series show that in the period including the escalation of the Russian-Ukrainian war shows increased volatility for all stock indices under observation, but especially for European stock indices. The correlation matrix, which focuses on the period before the escalation of the war, shows that there is a strong co-movement of volatility between the stock markets of European countries, a smaller co-movement between European stock indices and the global stock index, and a very small co-movement between the Japanese stock index and the European stock indices and the global stock index. The correlation matrix, which also includes the period including the escalation of the Russo-Ukrainian war shows that the co-movement of the fluctuation of the return rates of stock indices is greater, especially between the global stock index and the European stock indices. The correlation of the return rates of the Japanese stock index with other stock indices remained the same or decreased somewhat during this period.

Due to the fact that volatility had increased for all stock indices during this period, hypothesis 1 is confirmed. Based on Kuusk & Paas (2013) definition of financial contagion, where the contagion effect occurs when stock markets do not simply move together, but co-movement increases during crises, hypothesis 2 is confirmed, that is, during the escalation of the Russian-Ukrainian war, there is a transfer of stock market volatility between global stock markets.

Historically, financial markets have experienced uncertainty during periods of conflict, resulting in negative asset returns and increased volatility. The negative impact and increased volatility in financial asset prices could also be seen in the escalation of the Russian-Ukrainian war in 2022. These circumstances could be considered by a global investor during future geopolitical events to assess their potential impact on their portfolio. However, based on the research of this master's thesis, it cannot be claimed that the observed volatility and decline in asset prices was caused by the escalation of the Russian-Ukrainian war. In order to identify the real reasons for what is happening on the financial market, it would be necessary to look at other factors that do not fit into the scope of this work.

KASUTATUD ALLIKATE LOETELU

- Ali, G. (2013). EGARCH, GJR-GARCH, TGARCH, AVGARCH, NGARCH, IGARCH and APARCH Models for Pathogens at Marine Recreational Sites. *Journal of Statistical and Econometric Methods*, 2(3), 57-73.
- Aquan. (2017). Time Series Analysis for Financial Data IV— ARMA Models. Kättesaadav: <https://medium.com/auquan/time-series-analysis-for-finance-arma-models-21695e14c999>.
- Baele, L. (2005). Volatility Spillover Effects in European Equity Markets. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, Vol 40(2), 373-401.
- Baillie, R., & Bollerslev, T. (1991). Intra-Day and Inter-Day Volatility in Foreign Exchange Rates. *Review of Economic Studies*, 58, 565-585.
- Baillie, R.T, Bollerslev, T., Mikkelsen, H. (1996). Fractionally Integrated Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity. *Journal of Econometrics*, 74(1), 3-30.
- Bauwens, L., Laurent, S., & Rombouts, J. V. K. (2006). Multivariate GARCH models: a survey. *Journal of Applied Econometrics*, 21, 79–109.
- Bekaert, G., Harvey, C. (1997). Emerging equity market volatility. *Journal of Finance*, 43(1), 29-77.
- Bera, A. K., Jarque, C. M. (1981) An Efficient Large-Sample Test for Normality of Observations and Regression Residuals. *Australian National University Working Papers in Econometrics*. 40.
- Black, F. (1976). Studies in stock price volatility changes, Proceedings of the 1976 Business Meeting of the Business and Economics Statistics Section, *American Statistical Association*, 177–181.
- Bollerslev, T. (1986). Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity. *Journal of Econometrics*, 31, 307-327.
- Bollerslev, T. (1990). Modelling the Coherence in Short-Run Nominal Exchange Rates: A Multivariate Generalized Arch Model. *The Review of Economics and Statistics*, 72(3), 498-505.
- Bougias, A., Episcopos, A., Leledakis, G. N. (2022). Valuation of European Firms During the Russia-Ukraine War. *Economics Letters*, 218(2022), 110750.

- Boungoua, W., Yatié, A. (2022). The impact of the Ukraine–Russia war on world stock market returns. *Economics Letters*, Vol 215.
- Bozma, G., Başar, S. (2018). Analyzing Volatility Transmissions Between Stock Markets of Turkey, Romania, Poland, Hungary and Ukraine Using M-GARCH Model. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 36(4), 1-15.
- Brooks, C. (2008). *Introductory Econometrics for Finance* (2nd ed.). *New York: Cambridge University Press*.
- Caldara, D., Iacoviello, M. (2018). Measuring geopolitical risk, working paper. *American Economic Review*, 112(4), 1194-1225 .
- Calvo, S., Reinhart, C. (1996). Capital Flows to Latin America: Is There Evidence of Contagion Effects? in *Private Capital Flows to Emerging Markets After the Mexican Crisis* (G. A. Calvo, M. Goldstein and E. Hochreiter, eds.), Institute for International Economics, Washington, D. C.
- Caplan, B. 2002. How does war shock the economy. *Journal of International Money and Finance*, 21(2), 145-62.
- Celik, S. (2012). The more contagion effect on emerging markets: The evidence of DCC-GARCH model. *Economic Modelling*, 29(5), 1946-1959.
- Chang, M. K., Kwiatkowski, J. W., Nau, R. F., Oliver, R. M., Poster, K. S. (1979). ARMA Models for Earthquake Ground Motions, *Operations Research Center Technical Report ORC*, 79(1).
- Charfeddine, L., Refai, H. A. (2019). Political tensions, stock market dependence and volatility spillover: Evidence from the recent intra-GCC crises. *The North American Journal of Economics and Finance*, 50(2019), 101032.
- Chou, R.Y. (1988). Volatility persistence and stock valuations: some empirical evidence using GARCH. *Journal of Applied Econometrics*, 3, 279-294.
- Christie, A. (1982). The stochastic behavior of common stock variance: Value, leverage and interest rate effects. *Journal of Financial Economics*, 10, 407–432.
- Corbet, S., Hou Y. (G.), Hu, Y., Oxley, L., Xu, D. (2021). Pandemic-related financial market volatility spillovers: Evidence from the Chinese COVID-19 epicentre. *International Review of Economics & Finance*, Vol 71, 55-81.
- Cordella, T., Rojas, A. O. (2017). Financial Globalization and Market Volatility: An Empirical Appraisal. *World Bank Policy Research Working Paper No. 8091*.
- De Bondt W, F, M., Thaler, R. (1985). Does the Stock Market Overreact? *The Journal of Finance*, Vol 40(3), 793-805.
- Diebold, F., Yilmaz, K. (2009). Measuring Financial Asset Return and Volatility Spillovers, with Application to Global Equity Markets. *The Economic Journal*, 534(119), 158-171.

- Diebold, F., Yilmaz, K. (2012). Better to give than to receive: Predictive directional measurement of volatility spillovers. *International Journal of Forecasting*, 28, 57-66.
- Diebold, F., Yilmaz, K. (2014). On the network topology of variance decompositions: Measuring the connectedness of financial firms. *Journal of Econometric*, 182(2014), 119-134.
- Dol, M. (2021). Comparison of the GARCH, EGARCH, GJR-GARCH and TGARCH model in times of crisis for the S&P500, NASDAQ and Dow-Jones. Erasmus University Rotterdam.
- Dzieliński, M., Rieger M. O., Talpsepp, T. (2018). Asymmetric attention and volatility asymmetry. *Journal of Empirical Finance*, 45, 59-67.
- Engle, R. F. (1982). Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation. *Econometrica*, 50(4), 987-1007.
- Engle, R. F., Ito, T., & Lin, W. L. (1990). Meteor-Showers or Heat Waves? Heterskedastic Introdaily Volatility in the Foreign Exchange Market. *Econometrics*, 58(3), 525-542.
- Engle, R.F., Sheppard, K. (2001). Theoretical and Empirical Properties of Dynamic Conditional Correlation Multivariate GARCH. *NBER working paper*, 8554.
- Engle, R.F., Patton, A.J. (2001). What good is a volatility model? *Quantitative Finance*, 1, 237-245.
- Engle, R.F. (2002). Dynamic Conditional Correlation – A Simple Class of Multivariate GARCH Models. *Journal of Business an Economic Statistics*, 20(3), 339-350.
- Esqueda, O. A., Assefa, T. A., Mollick, A. V. (2012). Financial Globalization and Stock Market Risk. *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, Vol 22(1), 87-102.
- Fama, E, F. (1965). The Behavior of Stock-Market Prices. *The Journal of Business*, Vol 38(1), 34-105.
- Fama, E, F., French, K, R. (1988). Permanent and Temporary Components of Stock Prices. *Journal of Political Economy*, Vol. 96, no. 2, pp. 246-273.
- Fang, Y., Shao, Z. (2022). The Russia-Ukraine Conflict and Volatility Risk of Commodity Markets. *Finance Research Letters*.
- Glosten, L. R., Jagannathan, R., Runkle, D. E. (1993). On the Relation between the Expected Value and the Volatility of the Nominal Excess Return on Stocks. *The Journal of Finance*, 4 (5), 1779-1801.
- Hamao, Y., Masulis, R. W., Ng, V. K. (1990). Correlations in Price Changes and Volatility across International Stock Markets. *Review of Financial Studies*, 3(2), 281-307.

- Hansen, P. R, Lunde, A. (2005) A Forecast Comparison of Volatility Models: Does Anything Beat a GARCH (1,1)?, *Journal of Applied Econometrics*, 20, 873-89.
- Hassan, M., Ahmad, M. I., Naeem, M. A., Naseem, M. A., Rehman, R. (2019). Examining the Spillover Effect between the KSE100 and the S&P500 Indexes. *Universidad & Empresa*, 21(36), 175-195.
- Hens, T., Steude, S. C. (2009). The leverage effect without leverage. *Finance Research Letters*, 6(2), 83-94.
- Hoffmann, M., Neuenkirch, M. (2017). The pro-Russian conflict and its impact on stock returns in Russia and the Ukraine. *International Economics and Economic Policy*, Vol 14, 61-73.
- Hudson, R., Urquhart, A. (2015). War and stock markets: The effect of World War Two on the British stock market. *International Review of Financial Analysis*, Vol 40, 166-177.
- Kenton, W. (2022). Asymmetric Volatility Phenomenon (AVP). Kättesaadav: <https://www.investopedia.com/terms/a/assymetricvolatility.asp>
- Kuusk, A., Paas, T. (2013). A Meta-Analysis-Based Approach for Examining Financial Contagion with Special Emphasis on CEE Economies. *Eastern European Economics*, 51(3), 71-90.
- Lyócsa, Š., Plíhal, T. (2022). Russia's ruble during the onset of the Russian invasion of Ukraine in early 2022: The role of implied volatility and attention. *Finance Research Letters*, Vol 48.
- Mandelbrot, B. (1963). The Variation of Certain Speculative Prices. *The Journal of Business*, Vol 36(4), 394-419.
- Markowitz, H. (1952). Portfolio Selection. *The Journal of Finance*. 7(1), 77-91.
- Masson, P. (1999). Multiple equilibria, contagion and the emerging market crises. *IMF Working Paper*, 99-164.
- Meluzín, T., Zinecker, M., Pietrzak, M., Faldzinski, M., Balcerzak, A. (2016). Interdependence among Capital Markets of Germany, Poland and Baltic States. *Institute of Economic Research Working Papers*, Nr 36.
- Muharam, H., Wisnu, M., Arfinto, E. D., Najmudin. (2019). Volatility spillovers under difference in the degree of market integration: Evidence from the selected Asian and Eastern European stock markets. *Journal of International Studies*, Vol 12(1), 134-150.
- Nelson, D. B. (1991). Conditional Heteroskedasticity in Asset Returns: A New Approach. *Econometrica*, 59(2), 347-370.
- Ngwakwe, C. (2022). Stock Market Volatility during Rumours of War and Actual War: Case of Russia-Ukraine Conflict. *Acta Universitatis Danubius. Economica*, Vol 18(2), 55-70.

- Poon, S.H. (2005). A Practical Guide to Forecasting Financial Market Volatility. *West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.*
- Samaras, E., Shinozuka, M., Tsurui, A. (1985). ARMA representation of random processes. *Journal of Engineering Mechanics*, 111(3), 449-461.
- Santamaria, S. G., Gomez-Gonzalez, J. E., Hurtado-Guarin, J. L., Melo-Velandia, L. F. (2017). Stock market volatility spillovers: Evidence for Latin America. *Finance Research Letters*, 20, 207-216.
- Sauga, A. (2022). Finantsökonomieetria loengud. Volatiilsuse modelleerimine ja GARCH mudelid.
- Schneider, G., Troeger, V. E. (2006). War and the World Economy: War and the World Economy. *Journal of Conflict Resolution*, Vol 50(5), 623-645.
- Schwert, G.W. (1989). Why Does Stock Market Volatility Change Over Time? *The Journal of Finance*, 44(5), 1115-1153.
- Shumway, R. H., Stoffer, D. S. (2000). Time Series Analysis and Its Applications (3rd ed) Springer.
- Smales, L.A. (2021). Geopolitical risk and volatility spillovers in oil and stock markets. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, Vol 80, 358-366.
- Zakoian, J.-M. (1994). Threshold heteroskedastic models. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 18(5), 931-955.
- Zavadaska, M., Morales, L., Coughlan, J. (2020). Brent crude oil prices volatility during major crises. *Finance Research Letters*, 32(2020), 101078.
- Talpsepp, T., & Rieger, M. O. (2010). Explaining asymmetric volatility around the world. *Journal of Empirical Finance*, 17(5), 938-956.
- Tsay, R. S. (2005). Analysis of Financial Time Series (2nd ed). Hoboken, USA: *John Wiley & Sons*.
- Umar, Z., Polat, O., Choi, S.-Y., Teplova, T. (2022). The impact of the Russia-Ukraine conflict on the connectedness of financial markets. *Finance Research Letters*, 48(2022), 102976.
- Wang, Y. Bouri, E. Fareed, Z. Dai, Y. (2022). Geopolitical risk and the systemic risk in the commodity markets under the war in Ukraine. *Finance Research Letters*, Vol 49.
- Özdemir, O. (2022). Cue the volatility spillover in the cryptocurrency markets during the COVID-19 pandemic: evidence from DCC-GARCH and wavelet analysis. *Financial Innovation*, Vol 8(12).

Lisa 1. Lihtlitsents

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Johannes Kustav Viise

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Aktsiaturu volatiilsuse ülekandumine Vene-Ukraina sõja ajal,

mille juhendaja on Kaido Kepp

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

02.01.2023

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. jq 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.