

Kasper Eloranta

ULTRANOPEA KAUPANKÄYNTI JA SEN VAIKUTUKSET OSAKEMARKKINOIDEN VOLATILITEETTIIN JA TEHOKKAASEEN HINTOJEN MÄÄRÄYTYMISEEN

Kandidaatintyö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Tarkastaja: Tuomas Korhonen
Toukokuu 2021

TIIVISTELMÄ

Kasper Eloranta: Ultranopea kaupankäynti ja sen vaikutukset osakemarkkinoiden volatiliteettiin ja tehokkaaseen hintojen määräytymiseen
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Teknis-taloudellinen kandidaattiohjelma, Tuotantotalouden opintosuunta
Toukokuu 2021

Moderneilla arvopaperimarkkinoilla kaupankäyntiin osallistuu merkittävä määrä erilaisia algoritmeja hyödyntäviä kaupankäyntiohjelmia, jotka seuraavat ja analysoivat markkinoiden liikkeitä jatkuvasti, sekä reagoivat markkinoiden tapahtumiin millisekunneissa mitattavalla viiveellä. Tällaista kaupankäynnin muotoa kutsutaan ultranopeaksi kaupankäynniksi (engl. *high-frequency trading*, *HFT*). Ultranopealla kaupankäynnillä voi olla erittäin radikaaleja vaikutuksia markkinoihin ja niiden toimintaan, kuten toukokuun 6. päivänä vuonna 2010 tapahtuneesta hetkellisestä pörssiromahduksesta havaittiin.

Tässä työssä tutkitaan ultranopean kaupankäynnin vaikutuksia osakemarkkinoihin. Vaikutuksia tutkitaan kahdessa osakemarkkinoiden keskeisessä ominaisuudessa. Ensimmäinen analysoitava ominaisuus on osakemarkkinoiden volatiliteetti, jota mitataan osakkeiden hintamuutosten keskihajonnalla. Volatiliteettiin liittyvä tutkimuskysymys voidaan muotoilla seuraavasti: ”Minkälaisia vaikutuksia ultranopealla kaupankäynnillä on osakkeiden volatiliteettiin?”. Toinen analyysin kohde on hintojen tehokas määräytyminen, jota voidaan mitata käyttämällä erilaisia menetelmiä, joilla arvioidaan, kuinka tehokkaasti osakemarkkinat välittävät uuden markkinainformaation osakkeiden hintoihin. Hintojen tehokkaaseen määräytymiseen liittyvä tutkimuskysymys voidaan muotoilla seuraavasti: ”Minkälaisia vaikutuksia ultranopealla kaupankäynnillä on osakkeiden hintojen tehokkaaseen määräytymiseen?”.

Työ jakautuu neljään lukuun. Johdannossa perustellaan aiheen tärkeys sekä esitellään käytetty tutkimusmetodologia. Toisessa luvussa määritellään työn kannalta relevanteimmat teoreettiset käsitteet ja konseptit. Näihin keskeisimpiin käsitteisiin ja konsepteihin kuuluvat osakemarkkinat ja niiden toiminta, markkinakohina, volatiliteetti, hintojen tehokas määräytyminen, ultranopeiden kaupankävijöiden ominaispiirteet sekä erilaiset ultranopeat kaupankäyntistrategiat. Työn toinen luku toimii esitietona työn kolmannessa luvussa esitettävälle tuloksille. Työn kolmannessa luvussa vastataan yksityiskohtaisesti tutkimuskysymyksiin, kumpaankin omassa alaluvussa. Tutkimuskysymyksiin vastataan analysoidun tieteellisen kirjallisuuden perusteella. Analysoitu aineisto koostui 16 tutkimusartikkelista, joista kolmessa vastattiin molempiin tutkimuskysymyksiin. Neljännessä luvussa tehdään päätelmät työn keskeisimmistä tuloksista ja esitetään jatkotutkimusaiheita.

Ultranopealla kaupankäynnillä on selkeitä vaikutuksia sekä osakemarkkinoiden volatiliteettiin että tehokkaaseen hintojen määräytymiseen. Vaikutukset volatiliteetissa riippuvat toteutettavista ultranopean kaupankäynnin strategioista sekä markkinaolosuhteista. Automatisoidut markkinatakaajat vähentävät lähes kaikissa markkinaolosuhteissa volatiliteettia. Suuntaavien kaupankävijöiden vaikutuksista volatiliteettiin ei voida olla täysin varmoja analysoidun aineiston perusteella. Arbitraasin etsijät todennäköisesti vähentävät volatiliteettia, ja likviditeetin havaitsijat lisäävät sitä. Tutkimuskirjallisuudessa havaitut ultranopean kaupankäynnin aiheuttamat vaikutukset osakkeiden hintojen tehokkaassa määräytymisessä olivat yhtä poikkeusta lukuun ottamatta yhdenmukaisia. Ultranopealla kaupankäynnillä on yleisesti hintojen tehokkaan määräytymisen kannalta markkinoiden laatua parantava vaikutus. Ultranopeat kaupankävijät tuovat markkinoille merkittävästi uutta markkinainformaatiota, eli tehostavat osakkeiden hintojen määräytymistä.

Avainsanat: ultranopea kaupankäynti, HFT, volatiliteetti, hintojen tehokas määräytyminen, markkinakohina, markkinatehokkuus, osakemarkkinat

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ABSTRACT

Kasper Eloranta: High-frequency trading and its impacts on stock markets' volatility and efficient price discovery
Bachelor of Science Thesis
Tampere University
Bachelor's Degree Programme in Industrial Engineering and Management
May 2021

A remarkable amount of different trading programs are operating in the modern securities markets. These programs utilize different and complex trading algorithms to analyze markets continually and react to market events as quickly as possible. This kind of trading is called high-frequency trading (HFT). HFT may have extremely radical implications on markets and their functioning, as observed during the Flash Crash on the 6th of May in 2010.

This paper examines the effects of HFT on the stock markets. The effects are analyzed on two central attributes of stock markets. The first analyzed attribute is stock markets' volatility which is measured as the standard deviation of stock price changes. The volatility-related research question can be stated followingly: "What kind of implications HFT has on stock markets' volatility?". The second subject of analysis is stocks' price discovery and its efficiency which can be measured by using different methods that evaluate how efficiently stock markets reflect new price information into the prices of stocks. The research question related to efficient price discovery can be formatted followingly: "What kind of implications HFT has on stocks' efficient price discovery?".

This paper is in four sections. The relevance of the topic is justified in the first section in which the used research methodology is also described. The second section defines the most relevant theoretical concepts related to this paper. These concepts include stock markets and their functioning, market noise, volatility, efficient price discovery, characteristics of high-frequency trading, and the most common trading strategies utilizing HFT. The second section serves as a prelude to the third section of the paper, in which the results of the paper are discussed. The research questions are answered in the third section, both in their own subsections. This research has been implemented as a literature review, so the research questions will be answered based on the information on the analyzed literature. Analyzed literature that answers the research questions includes 16 scientific articles, from three of which answered both research questions. The fourth section presents conclusions and topics for further research.

High-frequency trading has remarkable implications on stock markets' volatility and efficient price discovery. Executed HFT-strategies and market conditions play a major role in HFT's implications on volatility. Automated market makers decrease volatility in most market conditions. The effects on volatility caused by directional event-based traders cannot be stated in certainty based on the analyzed literature. Arbitrage-seeking HFTs most likely decrease volatility. HFTs that try to detect liquidity on markets increase volatility. The HFT's implications on the efficient price discovery observed by the analyzed literature were one-sided with one exception. HFT has a general effect on efficient price discovery that improves the quality of markets. HFT brings a significant amount of new market information into markets, thus improving the efficient price discovery process.

Keywords: high-frequency trading, HFT, volatility, efficient price discovery, market noise, market efficiency, equity markets

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

ALKUSANAT

Kandidaatintyön tekemisen prosessi on ollut pitkä ja täynnä haasteita, mutta nyt työn valmistuttua voin sanoa sen olleen myös äärimmäisen palkitseva. Aiheen valinnassa minua ohjasi mielenkiinto rahoitusmaailman kompleksisuutta kohtaan sekä palava halu oppia uutta itselle vieraasta aiheesta. Tämän vuoksi valitsinkin itselle haastavan sekä vieraan aiheen, koska uskoin tämänkaltaiseen aiheeseen perehtymisen sekä siitä kirjoittamisen olevan huomattavasti palkitsevampaa kuin ennalta tutun aiheen valitsemisen. Nyt työn valmistuttua voinkin hyvillä mielin sanoa, että tämän työn arvo on paljon muutakin kuin pelkästään 30-sivuinen kirjallisuuskatsaus ultranopean kaupankäynnin ja osakemarkkinoiden kiemuroihin. Tämän työrupeaman aikana olen ennen kaikkea oppinut paljon uutta sekä kehittynyt kirjoittajana ja tieteentekijänä. Mielenkiintoni alaa kohtaan ei suinkaan sammunut työprosessin aikana, vaan ennemminkin kasvoi heränneiden lisäkysymysten muodossa, joiden uskonkin ohjaavan myös tulevia opintoihin ja uraan liittyviä valintojani.

Haluan kiittää erityisesti professori Juho Kanniaista sekä työn ohjaajaa Tuomas Korhosta matkan varrella annetuista ensiarvoisen tärkeistä neuvoista, jotka ohjasivat työtä oikeaan suuntaan ja edesauttoivat sen karkeiksi jääneiden kulmien hiomista. Kiitollisuudenosoituksen ansaitsevat myös opiskelijatoverini antamastaan vertaistuesta sekä muu lähipiirini antamastaan tuesta ja kannustuksesta.

Tampereella, 6.5.2021

Kasper Eloranta

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
1.1 Tutkimusongelma ja työn tavoitteet	1
1.2 Tutkimusmenetelmä	2
1.3 Tutkielman rakenne	3
2. OSAKEMARKKINAT JA ULTRANOPEA KAUPANKÄYNTI	4
2.1 Osakemarkkinoiden toiminta	4
2.2 Markkinakohina	5
2.3 Hintojen tehokas määräytyminen	7
2.4 Ultranopea kaupankäynti	9
2.5 Ultranopean kaupankäynnin strategiat	10
3. ULTRANOPEAN KAUPANKÄYNNIN VAIKUTUKSET OSAKEMARKKINOIHIN ..	13
3.1 Vaikutus volatilitettiin	13
3.2 Vaikutus tehokkaaseen hintojen määräytymiseen	19
4. PÄÄTELMÄT	25
LÄHTEET	28
LIITE A: KUVA 1	31
LIITE B: TAULUKKO 1	32
LIITE C: TAULUKKO 2	33

KUVALUETTELO

Kuva 1.	<i>Osakekurssin käyttäytyminen eri markkinaolosuhteissa osakkeen tuotto-odotusta parantavan informaation tultua julki (mukailtu lähteestä Knüpfer & Puttonen 2018, s. 168, 185).....</i>	31
----------------	--	-----------

LYHENTEET JA MERKINNÄT

EMH	<i>The Efficient Market Hypothesis</i> , tehokkaiden markkinoiden hypoteesi
EPM	<i>Extreme price movement</i> , poikkeuksellisen voimakas hintaliike
HFT	<i>High-frequency trading</i> , ultranopea kaupankäynti, tällä saatetaan viitata myös ultranopeisiin kaupankävijöihin

1. JOHDANTO

1.1 Tutkimusongelma ja työn tavoitteet

Viime vuosikymmeninä tapahtuneet merkittävät edistysaskeleet teknologisessa kehityksessä ovat mahdollistaneet automaation ja erilaisten algoritmien hyödyntämisen osakemarkkinoilla toimimisessa, mikä on kasvattanut kaupankäynnin nopeutta merkittävästi. Tämä muutos on samalla pienentänyt tavallisten, eli ihmisten tekemien toimeksiantojen merkitystä markkinoilla. (Brogaard et al. 2014) Tällaista kaupankäynnin muotoa kutsutaan ultranopeaksi kaupankäynniksi (engl. *high-frequency trading, HFT*), jossa erilaisia kaupankäyntialgoritmeja hyödyntävät kaupankäyntiohjelmat tekevät useita osto- ja myyntitoimeksiantoja sekuntien murto-osien aikana käyttäen erilaisia instrumentteja. Ultranopea kaupankäynti on edesauttanut modernin arvopaperikaupan pirstaloitumista, jonka seurauksena kauppaa käydään entistä useammilla erilaisilla kauppapaikoilla. (Gomber et al. 2011)

Ultranopealla kaupankäynnillä voi olla hyvinkin radikaaleja vaikutuksia markkinaan. Toukokuun 6. päivänä vuonna 2010 automatisoitu kaupankäyntiohjelma asetettiin tekemään yhteensä 75 000 myyntitoimeksiantoa lyhyellä aikavälillä S&P 500 -indeksin futuurisopimuksista, joiden hinta oli karkeasti arvioituna yhteensä 4,1 miljardia Yhdysvaltojen dollaria (Kirilenko et al. 2017). Tätä seurannut, kyseisen instrumentin hinnan äkillinen romahdus, aiheutti markkinoilla ilmennyttä hetkellistä, mutta merkittävää myyntipainetta ja epävarmuutta, joka sai myös muun muassa Dow Jones Industrial Average ja S&P 500 -indeksit rajuun laskuun (Madhavan 2012; Kirilenko et al. 2017).

Vaikka toukokuun 6. päivän tapahtumien eli yleisemmin tunnetun *the Flash Crash* -romahduksen myötä ultranopean kaupankäynnin mahdollinen sääntely onkin noussut esiin akateemisessa keskustelussa (Barrales 2012; Cosme 2019), tulee ultranopean kaupankäynnin vaikutuksia markkinoihin tutkia jatkuvasti. McGowanin (2010) esittelemän arvion mukaan kaupankäyntiohjelmat tekivät vuonna 2006 noin kolmanneksen kaikista osakaupoista Euroopassa ja Yhdysvalloissa. Samassa artikkelissa esitetyn arvion mukaan vuonna 2010 vain 2 % kaikista Yhdysvaltojen markkinoilla toimivista yrityksistä harjoitti ultranopeaa kaupankäyntiä, mutta tämä 2 % vastasi silti 73 %:sta kaikesta osakemarkkinoiden volyyminästä (McGowan 2010). Myös Carrion (2013) on esittänyt vastaavia tulok-

sia: hän tutki yhdysvaltalaisen Nasdaq-pörssin kaupankäyntidataa ja havaitsi, että ultranopeita kaupankävijöitä oli osallisena 68,3 %:ssa dollarimääräisestä kaupankäynnistä kyseisessä datassa. Ultranopea kaupankäynti on siis yleistynyt erittäin nopeasti eikä ole syytä uskoa, että edellä mainitut luvut olisivat ainakaan laskeneet nyt 2020-luvulla.

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on luoda kattava katsaus ultranopeaan kaupankäyntiin ja siihen liittyvään tutkimuskirjallisuuteen sekä tutkia ultranopean kaupankäynnin vaikutuksia osakemarkkinoiden volatiliteettiin ja tehokkaaseen hintojen määräytymiseen. Työn toissijaisena tavoitteena on luoda yleisen tason katsaus osakemarkkinoiden toimintaan, markkinakohinaan ja hinnan määräytymisprosessiin työn toisessa luvussa. Työ pyrkii selvittämään, onko ultranopea kaupankäynti lisännyt tai vähentänyt osakkeiden volatiliteettia osakemarkkinoilla. Ultranopean kaupankäynnin vaikutuksista osakkeiden volatiliteettiin pyritään luomaan käsitystä erilaisissa markkinaolosuhteissa, sillä työssä käytettävässä tutkimuskirjallisuudessa tutkitaan ultranopean kaupankäynnin vaikutuksia volatiliteettiin sekä normaalin että kohonneen epävarmuuden markkinatilanteissa. Tämän lisäksi osa tutkimuskirjallisuudesta tutkii ultranopean kaupankäynnin vaikutuksia osakkeiden volatiliteettiin makroekonomisten uutisten tultua julki. Täten työn ensimmäinen, volatiliteettiin liittyvä tutkimuskysymys voidaan muotoilla seuraavasti: minkälaisia vaikutuksia ultranopealla kaupankäynnillä on osakkeiden volatiliteettiin?

Edellisten tavoitteiden lisäksi työ pyrkii selvittämään, onko ultranopealla kaupankäynnillä vaikutuksia osakkeiden hintojen tehokkaaseen määräytymiseen. Tehokkaiden markkinoiden hypoteesi on käyttökelpoinen työkalu markkinoiden toiminnan mallintamisen approksimoinnissa, mutta markkinat eivät oikeasti ole täydellisen tehokkaat (Malkiel 2003). Tämän vuoksi tässä työssä pyritään selvittämään ultranopean kaupankäynnin vaikutuksia osakkeiden tehokkaaseen hintojen määräytymiseen siitä näkökulmasta, vaikuttaako ultranopea kaupankäynti osakkeiden hintojen keskimääräisten vaihteluvälien asettumiseen uusille hinta-alueille uuden markkinainformaation tultua julki, eli siihen, tehostaako ultranopea kaupankäynti informaation heijastumista arvopaperien hintoihin. Näin ollen työn toinen tutkimuskysymys voidaan muotoilla seuraavasti: minkälaisia vaikutuksia ultranopealla kaupankäynnillä on osakkeiden hintojen tehokkaaseen määräytymiseen?

1.2 Tutkimusmenetelmä

Työ on toteutettu kirjallisuuskatsauksena, eli tutkimuskysymyksiin vastataan hyödyntämällä ulkoista lähdemateriaalia sekä analysoimalla ja yhdistelemällä näiden julkaisujen keskeisimpiä tutkimustuloksia. Tämän tutkimuksen yhteydessä analysoitu lähdeaineisto koostuu korkealaatuisista tieteellisistä artikkeleista. Lähdeaineistoa on haettu sekä Tam-

pereen yliopiston Andor-tietokannasta että Google Scholarista. Lähdeaineiston valinnassa hyödynnettiin Julkaisuforumia priorisoimalla artikkeleita, jotka oli julkaistu korkean luokituksen julkaisuissa. Tämän lisäksi lähdeaineiston osalta pyrittiin varmistamaan, että mahdollisimman suuri osa käytetystä aineistosta on julkaistu työn ohjaajien toimittamasta listasta alan keskeisimmistä julkaisijoista. Osasta haetusta aineistosta löydettiin viittauksien kautta myös muuta käyttökelpoista lähdemateriaalia. Aineistoa valittiin priorisoimalla useasti viitattuja, vertaisarvioituja sekä korkealaatuisissa julkaisuissa julkaistuja tekstejä, jolla pyrittiin varmistamaan mahdollisimman laadukas lähdeaineisto.

Tutkimuksessa käytetty lähdemateriaali on melko tuoretta, sillä alan tutkimus on suhteellisen uutta. Tulososiossa käytetystä aineistosta vanhin oli julkaistu vuonna 2010, ja loput vaihtelevasti 2010-luvun puolenvälin molemmin puolin. Alan tuoreen tutkimuksen takia tulososan aineistoa ei tarvinnut karsia erityisen paljoa, sillä tutkimuskysymyksiin vastaavia julkaisuja oli rajatusti saatavilla. Lähdeaineistoa löydettiin kuitenkin riittävästi kirjallisuuskatsauksen tekemiseen: tutkimuskysymyksiin vastaava tulososion aineisto koostuu kaikkiaan 16 artikkelista, joista kolmessa vastataan molempiin tutkimuskysymyksiin. Tulososion tiedonhakua suoritettiin käyttämällä muun muassa seuraavia hakusanoja: *high-frequency trading*, *algorithmic trading*, *stock volatility*, *price discovery*, *market noise* ja *high-frequency market microstructure* sekä näitä yhdisteltiin käyttämällä Boolean operaattoreita. Työn muissa luvuissa käytettiin myös vanhempia julkaisuja teoreettiseen taustoitukseen ja edellä mainittujen lisäksi muun muassa seuraavia hakusanoja: *the Flash Crash*, *high-frequency trading regulation* ja *The Efficient Market Hypothesis*.

1.3 Tutkielman rakenne

Työn toisessa luvussa käsitellään ultranopeaa kaupankäyntiä sekä sen strategioita ja luodaan teoreettista taustoitusta työn tulososiolle. Ennen ultranopean kaupankäynnin käsittelyä työn toisessa luvussa perehdytään osakemarkkinoiden toimintaan, markkinakohinaan, volatiliteettiin ja hintojen tehokkaaseen määräytymiseen yleisellä tasolla, jotta kolmannessa luvussa esitetyt ultranopean kaupankäynnin aiheuttamia vaikutuksia niissä voidaan ymmärtää paremmin.

Kolmannessa luvussa vastataan työn tutkimuskysymyksiin käytetyn aineiston pohjalta. Tutkimustuloksia havainnollistetaan liitteinä olevissa taulukoissa 1 ja 2, joissa on kootusti esitettynä eri julkaisujen keskeisimmät tulokset. Ensimmäisen tutkimuskysymyksen kannalta keskeisimmät tulokset ovat esitettynä taulukossa 1, ja toisen taulukossa 2. Näiden tulosten pohjalta tehdään johtopäätöksiä, joilla vastataan tutkimuskysymyksiin. Työn neljännessä luvussa esitetään kootusti työn keskeisimmät tulokset ja johtopäätökset sekä esitetään aiheita jatkotutkimukselle.

2. OSAKEMARKKINAT JA ULTRANOPEA KAUPANKÄYNTI

Tässä luvussa kuvataan yksityiskohtaisesti tämän työn kannalta keskeisimmät teoreettiset käsitteet ja konseptit. Ensimmäiseksi tarkastellaan osakemarkkinoita ja niiden toimintaa, jonka jälkeen käsitellään työn kannalta keskeisiä osakemarkkinoiden ominaisuuksia; markkinakohinaa, volatilitteettia ja hintojen tehokasta määräytymistä. Lopuksi syvennytään ultranopeaan kaupankäyntiin sekä sitä hyödyntäviin kaupankäyntistrategioihin.

2.1 Osakemarkkinoiden toiminta

Osake on osuus osakeyhtiön omistuksesta, jonka hinta määräytyy markkinoilla. Osakeyhtiöt voivat hankkia rahoitusta investoinneilleen laskemalla liikkeelle yhtiön osakkeita osakemarkkinoille. (Teweles & Bradley 1998, s. 3–4) Osakkeenomistaja kantaa sijoitetulla pääomallaan osan osakeyhtiön liittyvistä riskeistä. Vastikkeeksi riskinkannosta osakkeenomistaja on oikeutettu osuuteen osakeyhtiön tekemästä voitosta. (Berk & Demarzo 2007, s. 7). Sijoittajat tavoittelevat osakkeiden omistamisella muun muassa pitkän aikavälin pääoman kasvua sekä osinkotuottoja (Teweles & Bradley 1998, s. 8).

Tietyllä osakkeella käytävä kaupankäynti ei välttämättä tuo kyseiselle yhtiölle lisää pääomaa. Tämä johtuu siitä, että mikäli osakeyhtiö on julkinen, sen osakkeilla voidaan käydä kauppaa pörsseissä (Niskanen & Niskanen 2013, s. 13). Tällöin sijoittajat voivat käydä osakkeilla kauppaa myös keskenään pörssissä. Tässä tapauksessa yhtiö ei ole kaupankäynnissä lainkaan osallisena, jolloin osakkeen myynnistä saatavat varat menevät myyjälle sijoittajalle. (Niskanen & Niskanen 2013, s. 22, 25)

Kirjallisuudessa on esitetty useita erilaisia arvostusmalleja osakkeiden arvonmäärittämistä varten. Tunnetuimmat arvostusmallit perustavat arvionsa yhtiön sijoittajille jakamiin tulevien odotettujen osinkojen nykyarvoihin, yhtiön ja muiden vertailukelpoisten yhtiöiden tilinpäätöstietoihin tai yhtiön odotettujen tulevien vapaiden kassavirtojen nykyarvoihin (Brealey et al. 2020 s. 81–101). Eräs osinkoperusteinen malli on Williamsin (1938, s. 56) malli, jolla voidaan määrittää osakkeen arvo diskonttaamalla tulevat osingot nykyhetkeen. Malli voidaan esittää muodossa

$$P_0 = \sum_{t=1}^{\infty} \frac{D_t}{(1+r)^t}, \quad (1)$$

jossa P_0 on osakkeen arvo arvonmäärittämisajankohdalla, D_t on odotettu osinko vuonna t ja r on tuottovaatimus. Malli (1) tekee kuitenkin tiettyjä oletuksia osakkeenomistajan ja yhtiön

käyttäytymisestä, mikä rajoittaa sen käytettävyyttä. (Niskanen & Niskanen 2013, s. 128–129)

Edellä esitetyn kaltaiset arvostusmallit olettavat, että osakkeille olisi olemassa absoluuttisesti oikea hinta. Tällöin tietyn arvopaperin hinta pitäisi olla siis esimerkiksi kaikilla ajanhetkillä sama sekä Helsingin että New Yorkin pörssissä (Berk & DeMarzo 2007, s. 60, 245) Jotta eri pörssien hinnat vastaisivat toisiaan kaikilla ajanhetkillä, tulisi markkinoiden olla täydellisen tehokkaat. Tehokkaiisiin markkinoihin palataan vielä myöhemmin luvussa 2.3. On kuitenkin empiirisesti havaittu, että osakkeiden hinnat eri pörsseissä eivät vastaa toisiaan täydellisesti (Werner & Kleidon 1996; Gorbaticov & Dobrynskaya 2020). Hintojen ristiriita aiheuttaa markkinoille arbitraasin.

Arbitraasilla tarkoitetaan tilannetta, jossa markkinan hinnoitteluvirheen seurauksena on mahdollista tehdä riskitöntä voittoa. Tietyn osakkeen hintojen välinen ristiriita eri pörseissä luo siis arbitraasin. Tällöin riskitöntä voittoa voidaan tuottaa ostamalla osake matalamman hinnan pörssistä ja myymällä se välittömästi korkeamman hinnan pörssiin. (Hashimzade et al. 2017) Edellinen esimerkki olettaa kaupankäyntikulujen olevan merkityksettömän pieniä. Arbitraasien hyödyntäminen aiheuttaa markkinakohinaa.

2.2 Markkinakohina

Markkinakohinalla (engl. *market noise*) tarkoitetaan kaikkea sellaista arvopaperien hinnoissa esiintyvää vaihtelua, joka ei aiheudu kyseisen arvopaperin fundamentteja koskevasta informaatiosta. Markkinakohinan takia edellä kuvatun kaltaisia malleja voidaan siis käyttää lähinnä hintojen approksimoinnin työkaluina. (Black 1986) Markkinakohinan voidaan sanoa yleisesti johtuvan siitä, että markkinatoimijat eivät aina käytä rahoitusteorioiden olettamalla tavalla (Brealey et al. 2020, s. 349).

Kaupankäynnin mekanismi saattaa myös itsessään aiheuttaa kohinaa. Moderneilla osakemarkkinoilla toimivista pörseistä suurimman osan toiminta perustuu tarjouskirjan (engl. *limit order book*) ylläpitämiseen. Tämänkaltaisilla tarjouskirjamarkkinoilla sijoittajat voivat asettaa markkina- ja rajahintatarjouksia. Markkinatarjous (engl. *market order*) on osto- tai myyntitoimeksianto, joka pyritään toteuttamaan välittömästi markkinoiden sen hetkellä parhaalla hinnalla. Rajahintatarjous (engl. *limit order*) on osto- tai myyntitoimeksianto, jolle sijoittaja on asettanut hinnan, jolla toimeksianto halutaan toteuttaa. Rajahintatarjouksia ei siis välttämättä toteuteta välittömästi. Rajahintatarjouksien toteutusjärjestyksessä priorisoidaan ensisijaisesti tarjousten hintojen vastaavuutta. Mikäli tarjouskirjassa on useampi tarjous samalla rajahinnalla, toteutetaan näistä tarjouskirjaan

ensimmäisenä saapunut. (Roşu 2009) Tarjouskirjamarkkinoilla osakkeiden kaupankäyntihintojen muutoksille on asetettu minimiarvo (engl. *tick size*), minkä seurauksena hinnat saavat diskreettejä arvoja. Diskreettien hintojen vuoksi myös parhaiden tarjousten väliset hintaerot ovat diskreettejä, jolloin osakkeen kaupankäyntihinta vaihtelee parhaiden tarjousten välillä kaupankäynnin myötä aiheuttaen markkinakohinaa. (Bandi & Russell 2006) Tämänkaltaista kohinaa kutsutaan markkinoiden mikrorakenteen kohinaksi (engl. *market microstructure noise*) (Bandi & Russell 2008).

Mikrorakenteen kohina on markkinakohinan relevantein muoto ultranopean kaupankäynnin kontekstissa. Tätä tukee se, että Bandi ja Russell (2008) havaitsivat mikrorakenteen kohinan voimistuvan merkittävästi tarkasteltavan aikavälin ollessa erittäin lyhyt. Voimistuneen kohinan myötä tarjouskirjan parhaiden tarjousten väliset hintaerot kasvoivat. Tämän seurauksena myös osakkeiden hintojen vaihteluvälit kasvoivat verrattuna pidemmän aikavälin tarkasteluun. (Bandi & Russell 2008) Voimistunut kohina saattoi aiheutua osittain siitä, että O’Haran (2015) mukaan monet ultranopeat kaupankävijät pyrkivät reagoimaan tarjouskirjan uusiin ja houkutteleviin tarjouksiin mahdollisimman viiveettömästi.

Markkinakohinan suuruutta voidaan arvioida volatiliteetin tunnusluvulla, koska markkinakohina kasvattaa volatiliteettia (Brown 1999; Orlitzky 2013). Hashimzade et al. (2017) määrittelevät osakkeen volatiliteetin tarkoittavan osakkeen hinnan muutosnopeutta ajassa. Volatiliteettia mitataan joko osakkeen hinnan muutoksen keskihajonnalla tai varianssilla (Hashimzade et al. 2017). Volatiliteetin suuruutta voidaan myös arvioida osakkeiden hintoja komponentoivilla malleilla.

Osakkeen markkinahinta voidaan jakaa kahteen komponenttiin. Ensimmäinen komponentti kuvastaa hinnan informaatioperäistä pysyvää osaa ja toinen markkinakohinasta aiheutuvaa väliaikaista hintavaihtelua. (Bandi & Russell 2006; Brogaard et al. 2014) Täten hintaa voidaan mallintaa seuraavasti

$$p_{i,t} = m_{i,t} + s_{i,t} , \quad (2)$$

jossa $p_{i,t}$ on osakkeen i hinta hetkellä t , $m_{i,t}$ on hinnan pysyvä komponentti ja $s_{i,t}$ on hinnan väliaikainen komponentti (Brogaard et al. 2014). Tällöin siis myös volatiliteetti jakautuu kahteen komponenttiin, jotka vastaavat hinnan komponenttien muutosnopeuksia (Bandi & Russell 2006). Tämänkaltaisella mallinnuksella eri markkinatoimijoiden aiheuttamia markkinavaikutuksia volatiliteetissa ja hintojen tehokkaassa määräytymisessä voidaan arvioida (Brogaard et al. 2014).

2.3 Hintojen tehokas määräytyminen

Hintojen tehokas määräytyminen liittyy oleellisesti tehokkaiden markkinoiden hypoteesiin (engl. *The Efficient Market Hypothesis, EMH*). Yleisesti markkinoiden tehokkuudella voidaan viitata useampaan eri asiaan. Tässä kandidaatintyössä markkinoiden tehokkuudella viitataan kuitenkin yksinomaisesti työn kannalta relevanttiin tehokkuuteen, eli osakemarkkinainformaation välittämisen ja käsittelemisen tehokkuuteen eli siihen, kuinka tehokkaasti uusi informaatio heijastuu osakkeiden hintoihin.

Tehokkaiden markkinoiden hypoteesin taustalla on oletus siitä, että markkinat hinnoittelevat instrumenttinsa aina oikein suhteessa niitä koskevaan informaatioon, jolloin hinnat sisältäisivät kaiken olemassa olevan informaation sekä uusi informaatio heijastuisi viiveettömästi markkinan hintoihin. Alan kirjallisuudessa on määritelty tehokkaiden markkinoiden heikot, puolivahvat ja vahvat ehdot. (Fama 1970) Keskeisin ero näiden välillä on se, miten kyvykkääksi hypoteesi olettaa markkinan olevan välittämään informaatiota markkinan toimijoille sekä hintoihin. Faman (1970) mukaan heikkojen tehokkuusehtojen ollessa voimassa oletetaan, että kaikki markkinaan liittyvä historiatieto on heijastunut markkinan hintoihin kokonaisuudessaan. Puolivahvat ehdot olettavat, että kaikki relevantti julkinen informaatio heijastuu välittömästi instrumenttien hintoihin. Vahvat ehdot olettavat, että edellä mainittujen lisäksi myös julkistamaton yksityinen informaatio näkyy suoraan instrumenttien hinnoissa. (Fama 1970)

Tehokkailla markkinoilla instrumenttien hintojen pitäisi noudattaa satunnaiskulkua. Tällöin minkäänlaisella markkinan historiadata tai osakeyhtiöiden tulevaisuuden näkymien analyysillä ei pitäisi olla mahdollista saavuttaa suurempaa tuottoa kuin mitä markkina keskimäärin tuottaa. Mikäli tehokkuuden vahvat ehdot ovat voimassa, millään yksityisellä informaatiolla ei voisi myöskään muodostaa sijoitusstrategiaa, joka voittaisi markkinan. Hintojen satunnaiskulku selittyisi silloin siten, että koska arvopaperien hinnat sisältävät jo kaiken olemassa olevan informaation, vaikuttaisi tulevaisuuden hinnanmuutoksiin ainoastaan tulevaisuuden tapahtumat. Tulevaisuuden tapahtumia ei voi tietää etukäteen, vaan ne tapahtuvat satunnaisesti, jolloin myös markkinoiden hinnat liikkuvat satunnaisesti. (Fama 1970; Malkiel 2003) Tällöin siis täysin satunnaisesti poimitun tietyn riskitason osakesalkun pitäisi tuottaa pitkällä aikavälillä saman verran kuin saman riskitason omaava vastaavan laajuinen osakesalkku, jonka osakkeet on valinnut aktiivisesti markkinoita seuraava ja analysoiva ammattisijoittaja (Virgilio, 2015).

Työn ensimmäisenä liitteenä olevassa kuvassa 1 havainnollistetaan osakkeen hinnan määräytymistä erilaisissa markkinaolosuhteissa. Kuvassa ajan hetkellä 0 markkinoille tulee julki sellaista uutta informaatiota, joka parantaa tarkasteluosakkeen tuotto-odotusta

ja asettaa osakkeen hinnalle näin ollen nousupainetta. Mitä tehokkaammat markkinat ovat, sitä lähempänä kyseisellä markkinalla olevan osakkeen kurssikehitys on kuvan 1 täydellisen tehokkaan markkinan kurssikehitystä tilanteessa, jossa osakkeen tuotto-odotus paranee. Täydellisen tehokkailla markkinoilla viitataan tässä markkinaan, joka täyttää kaikki kolme edellä esitettyä tehokkuusehtoa. Kuvasta nähdään, että täydellisen tehokkailla markkinoilla hinnannuutokset tapahtuvat viiveettömästi, jolloin hinnat saavat vain diskreettejä arvoja. Hintojen havaitaan saavan arvoja jatkuvalta väliltä, mikäli markkinat eivät ole täydellisen tehokkaat. Tällöin hinnan määräytymisessä voidaan sanoa olevan viivettä.

Tehokkaiden markkinoiden hypoteesin paikkansapitävyydestä on esitetty alan kirjallisuudessa erilaisia näkemyksiä. Faman (1970) mukaan tehokkaiden markkinoiden vahvoja ehtoja tulisi pitää vain teoreettisena vertailukohtana tarkastellessa todellisten markkinoiden tehokkuutta. Hänen mukaansa markkinoiden vahvat ehdot kumoaa se, että Niederhofferin ja Osbornen mukaan merkittävimmissä pörsseissä työskentelevillä analyytikoilla on pääsy pörssien tarjouskirjojen tietoihin, joita he voivat hyödyntää eksklusiivisesti tavoitellessaan tuottoja. Myös pörssilistattujen yhtiöiden sisäpiireillä on hallussaan yksityistä informaatiota, jota on mahdollista hyödyntää tuoton tavoittelemiseksi (Fama 1991).

Puolivahvojen ehtojen voimassaololle on esitetty puoltavia näkemyksiä kirjallisuudessa. Faman (1991) mukaan osakemarkkinoiden hinnat mukautuvat nopeasti yhtiöiden investointipäätöksiin, osinkopolitiikan ja pääomarakenteiden muutoksiin sekä yritysostoihin liittyvään uuteen julkiseen informaatioon. Faman (1970) mukaan myös Ballin ja Brownin tekemät johtopäätökset ovat yhdenmukaisia edeltävän näkemyksen kanssa. Näiden johtopäätösten mukaan osakeyhtiöiden vuosittaisista tulosjulkistuksista sekä osakean-
neista syntyvä informaatio heijastuu keskimäärin täydellisesti osakkeiden hintoihin.

Heikkojen ehtojen voimassaololle on esitetty ristiriitaisia näkemyksiä. Faman (1970) mukaan ajallisesti perättäisistä osakkeiden hinnannuutoksista ja tuotoista on löydetty huomionarvoista tilastollista riippuvuutta. Havaittu riippuvuus ei kuitenkaan ole ollut riittävän merkittävää, etteikö hinnannuutoksia voisi selittää myös osakkeiden hintojen satunnaiskullulla (Fama 1970). Mikäli perättäisten hinnannuutosten välillä on tilastollista riippuvuutta, markkinan tulevia hinnannuutoksia pitäisi pystyä ennustamaan historiadatasta. Tällöin määritelmällisesti osakkeiden hinnat eivät sisältäisi vielä kaikkea historiadataa, jolloin markkinat olisivat tehottomat. Toisaalta tehokkailla markkinoilla hintojen pitäisi noudattaa satunnaiskulkua, koska tulevat hinnannuutokset riippuvat ainoastaan tulevaisuuden satunnaisista tapahtumista. Fama (1970) toteaaakin, ettei heikkojen tehokkuusehtojen voimassaoloa voi absoluuttisesti vahvistaa tai kieltää tämän perusteella.

Arvioiden suhteellisuus tekee markkinoiden tehokkuuden arvioimisesta haastavaa. Arvioiden monitulkintaisuuteen liittyy edellisessä kappaleessa esiin noussut yhteishypoteesin ongelma (engl. *joint-hypothesis problem*). Tehokkuusarvioissa tarvitsee aina käyttää jotain tiettyä mallia arvopaperien hintojen arvioimiseksi. Tällöin tehokkuusarvioinnin tulokset riippuvat valitusta mallista, koska valittu malli määrittelee, milloin tietyn informaation katsotaan olevan heijastunut osakkeen hintaan kokonaisuudessaan. (Fama 1991)

Markkinoiden täydellistä tehokkuutta rajoittaa myös muut kirjallisuudessa esitetyt havainnot. Grossman ja Stiglitz (1980) esittävät loogisen perusteen, jonka mukaan markkinat eivät voi olla täydellisen tehokkaat, koska tällöin analyytikoilla ja muilla ammattisijoittajilla ei pitäisi olla mitään syytä tai kannustimia tehdä työtään. Malkiel (2003) huomauttaa, että kaikki sijoittajat eivät käyttäydy hypoteesin määrittelemällä rationaalisella tavalla, mikä rajoittaa markkinoiden tehokkuutta. Virgilion (2015) mukaan ultranopeilla kaupankävijöillä on etulyöntiasema uuden informaation hyödyntämisen nopeudessa verrattuna tavallisiin kaupankävijöihin. Täten ultranopeat kaupankävijät pystyvät hyödyntämään markkinan hetkellisiä arbitraaseja paremmin jatkuvasti, mikä falsifioi yhden EMH:n seurauksista, jonka mukaan markkinoiden voittaminen olisi mahdotonta (Virgilio 2015).

2.4 Ultranopea kaupankäynti

Ultranopealle kaupankäynnille (engl. *high-frequency trading*) on esitetty erilaisia määritelmiä alan kirjallisuudessa. Brogaard (2010) määrittelee ultranopean kaupankäynnin olevan algoritmisen kaupankäynnin (engl. *algorithmic trading*) alamuoto, jossa kaupankäyntialgoritmeja hyödyntävät kaupankäyntiohjelmat analysoivat markkinadataa jatkuvasti reaaliajassa ja tekevät useita osto- ja myyntitoimeksiantoja sekuntien murto-osien aikana käyttäen erilaisia instrumentteja voiton tavoittelemiseksi. Merkittävin ero näiden kaupankäynnin muotojen välillä on positioiden pitämisen ajallinen kesto. Algoritmiset kaupankävijät saattavat pitää positiotaan minuuteista viikkoihin, kun taas ultranopeat kaupankävijät sulkevat positionsa hyvin nopeasti avattuaan ne. (Brogaard 2010)

Cvitanic ja Kirilenko (2010) määrittelevät ultranopean kaupankäynnin olevan kaupankäyntiä, joka hyödyntää erittäin nopeita ja automatisoituja tietokoneohjelmia tehdäkseen, jäljittääkseen, peruuttaakseen ja toteuttaakseen markkinatoimeksiantoja suurella volyyymilla. Ultranopeat kaupankävijät tekevät lukuisia toimeksiantoja päivän aikana, avaavat ja sulkevat positioita hyvin lyhyellä viiveellä ja sulkevat merkittävimmät positiot kaupankäyntipäivän päätteeksi (Cvitanic & Kirilenko 2010). Koska HFT:lle ei ole olemassa yksiselitteistä määritelmää, HFT:n käsitteellä viitataan yleensä erilaisiin kaupankäyntistrategioihin, jotka hyödyntävät jatkuvasti markkinoita seuraavia ja siellä lyhyellä viiveellä toimivia kaupankäyntialgoritmeja ja -ohjelmia.

Ultranopeassa kaupankäynnissä on havaittavissa tiettyjä sille tyypillisiä ominaisuuksia. HFT on erittäin kvantitatiivinen kaupankäynnin muoto, koska sen työkaluilla voidaan hyödyntää algoritmeja kaikkialla sijoitusketjussa. Niiden ansiosta markkinadataa voidaan analysoida tehokkaasti, implementoida sopivimmat kaupankäyntistrategiat, minimoida kaupankäyntikustannukset ja toteuttaa toimeksiannot. Ultranopealle kaupankäynnille on myös tyypillistä korkeammat päivittäiset sijoitussalkkujen vaihtoasteet sekä peruttujen toimeksiantojen korkea määrä verrattuna toteutuneisiin toimeksiantoihin. Positioita avataan ja suljetaan korkeintaan sekuntien viiveellä sekä positiot pyritään sulkemaan päivän päätteeksi. Ultranopeat kaupankävijät kantavat hyvin vähän yön ylittäviä riskejä, mikä tuottaa kokonaisuuden kannalta merkittäviä kustannussäästöjä. Ultranopeat kaupankävijät ovat enimmäkseen markkinoilla toimivissa yksityisissä kaupankäyntiyhtiöissä työskenteleviä ammattimaisia sijoittajia, jotka käyvät kauppaa yrityksen omalla pääomalla. (Gregoriou 2015, s. 27)

Myös Gomber et al. (2011) esittävät ultranopean kaupankäynnin ominaispiirteitä. Ultranopeat kaupankävijät peruvat toimeksiantojaan hyvin nopeasti sekä tekevät hyvin pieniä tuottoja yhtä toteutunutta toimeksiantoa kohti. HFT myös edellyttää matalaa latenssia, sillä muiden ultranopeiden toimijoiden aiheuttamiin markkinamuutoksiin on kyettävä reagoimaan lähes välittömästi. Saadakseen uuden markkinainformaation mahdollisimman nopeasti sekä minimoidakseen vasteaikoja ultranopeat kaupankävijät voivat sijoittaa toimipisteensä lähelle markkinoiden palvelimia, sillä se minimoi aikaa, joka kuluu signaalin kulkemisessa palvelimelta ultranopealle kaupankävijälle. (Gomber et al. 2011)

Instrumentteja, joilla ultranopeaa kauppaa käydään, tulee olla jatkuvasti sekä ostettavissa että myytävissä markkinoilla, jotta ultranopeat kaupankävijät voivat avata ja sulkea positioitaan lyhyellä aikavälillä. Tämän vuoksi ultranopeille kaupankävijöille onkin tyypillistä keskittyä korkean likviditeetin omaaviin instrumentteihin, joilla käydä kauppaa (Gomber et al. 2011).

2.5 Ultranopean kaupankäynnin strategiat

Jotta työn tuloksia voidaan ymmärtää paremmin, on tärkeää määritellä ne ultranopean kaupankäynnin strategiat, jotka tuottavat työn tulosten mukaisia vaikutuksia. Vaikka markkinoilla käytettävien ultranopean kaupankäyntistrategioiden valikoima on monipuolinen, on alan kirjallisuudessa pyritty määrittelemään keskeisimpiä markkinoilla käytettäviä strategioita. Aldridge (2013, s. 15–17) jakaa karkeasti ultranopeaa kaupankäyntiä hyödyntävät strategiat neljään eri kategoriaan. Nämä kategoriat ovat arbitraaseja etsivät strategiat (engl. *arbitrage strategies*), suuntaavaan kaupankäyntiin perustuvat tapahtu-

mapohjaiset strategiat (engl. *directional event-based trading*), automatisoituna markkinatakaajana toimiminen eli likviditeettiä tarjoavat strategiat (engl. *automated market making*) sekä likviditeettiä havaitsevat strategiat (engl. *liquidity detection*) (Aldridge 2013, s. 15). Ultranopea kaupankäynti ei siis itsessään ole kaupankäyntistrategia, vaan keino toteuttaa tiettyä strategiaa. HFT:tä hyödyntävät strategiat eivät myöskään ole kaikki perustavanlaatuisesti uusia kaupankäyntistrategioita. (Gomber et al. 2011)

Arbitraaseja etsivät strategiat pyrkivät löytämään eri omaisuusluokkien markkinoiden hinnoittelusta virheitä ja ristiriitoja, joiden avulla on mahdollista tehdä voittoa. Nämä strategiat voidaan jakaa tilastolliseen arbitraasin etsintään ja latenssiin perustuvaan arbitraasin etsintään (Aldridge 2013, s. 16).

Tilastolliset arbitraasin etsijät arvostavat markkinoiden arvopapereita perustuen vallitseviin rahoitusteorioihin sekä heidän omiin tilastollisiin analyyseihinsä. Perustuen heidän omiin arvostustasoihinsa tilastolliset arbitraasin etsijät määrittävät, ovatko markkinoiden arvopaperit ali- tai ylihinnoiteltuja, ja tekevät toimeksiantoja tämän perusteella tavoitellessaan voittoa. (Aldridge 2013, s. 16, 131)

Latenssiin perustuvassa arbitraasin etsinnässä pyritään löytämään ristiriitoja arvopapereiden hinnoittelussa eri markkinoilla ja kauppapaikoilla. Löydettyjä hinnoitteluvirheitä pyritään hyödyntämään siten, että arvopaperia ostetaan matalamman hintatason markkinalta ja myydään korkeamman hintatason markkinalle. Ultranopean kaupankävijän teknologisen edistyneisyyden tason merkitys korostuu tätä kaupankäyntistrategiaa sovellettaessa, sillä edellä kuvatun kaltaiset hinnoitteluvirheet tasoittuvat hyvin nopeasti kysynnän ja tarjonnan mukaan. (Aldridge 2013, s.196–197)

Suuntaavan kaupankäyntiin perustuvat tapahtumapohjaiset strategiat pyrkivät ennakoimaan ja tunnistamaan markkinalla tapahtuvia tulevia tapahtumia (Aldridge 2013, s. 16). Koska markkinat eivät oikeasti ole täydellisen tehokkaat (Malkiel 2003; Aldridge 2013, s. 147), voi tietynlaista markkinainformaatiota hyödyntämällä olla mahdollista avata ja sulkea positioita myöhemmin voitollisina. Suuntaavan kaupankäynnin strategiaa harjoittavat toimijat tavoittelevat tällaisen eksklusiivisen informaation hyödyntämistä.

Eksklusiivinen informaatio voi koostua esimerkiksi maksumuurien takana olevista markkina-analyyseistä tai muusta informaatiosta, jota ei ole julkisesti saatavilla. Suuntaavan kaupankäynnin strategiat ovat kuitenkin erittäin riippuvaisia ajasta sekä riittävän nopeista toimista, sillä eksklusiivinen markkinainformaatio menettää useimmiten arvonsa nopeasti sen tullessa julki. (Aldridge 2013, s. 131) Relevantin markkinatapahtuman ympärillä tapahtuva suuntaava kaupankäynti mahdollistaa tuottojen tekemisen hyvin lyhyellä aikajänteellä välittömästi markkinainformaation tultua julkiseksi. Oleellista on toimia ennen

muita markkinan toimijoita ja sulkea positio sopivassa kohtaa, kun muu markkina on reagoinut uuteen informaatioon. (Aldridge s. 163) Lyhyen aikajänteen tuotot tekevät suuntaavan kaupankäynnin strategiasta käyttökelpoisen kaupankäyntistrategian ultranopeille kaupankävijöille.

Automatisoituna markkinatakaajana toimimisen strategia pyrkii tekemään voittoja samoin kuin perinteisetkin markkinatakaajat (Aldridge 2013, s. 166). Markkinatakaaja on toimija, joka on sitoutunut ostamaan tai myymään markkinan kohde-etuutta tietyillä, ennalta määritetyillä hinnoilla. Markkinatakaaja myös varmistaa, että kohde-etuudella voidaan käydä vain tietty määrä kauppaa tietyllä hinnalla. Tuon tietyn määrän rajoissa markkinatakaaja tarjoaa likviditeettiä tietylle kohde-etuudelle tietyllä hinnalla. (Hashimzade et al. 2017) Markkinatakaaja asettaa ostohintansa markkinahinnan alle ja myyntihintansa markkinahintaa korkeammalle, ja tekee voittoa näiden erotuksesta niin sanotun bid-ask spreadin verran. Automatisoiduilla markkinatakaajilla on monia etuja verrattuna tavallisiin markkinatakaajiin. Automatisoidut markkinatakaajat toimivat kaikissa tilanteissa suunnitellulla tavalla poikkeamatta harkituista toimintamalleistaan. Ne ovat myös kustannustehokkaampia automaationsa ansiosta, mikä näkyy suoraan markkinan korkeampina tuottoina ja matalampina välityskustannuksina. (Aldridge 2013, s. 165–167)

Likviditeettiä havaitsevat strategiat mielletään haitallisimmiksi markkinoille. Monet likviditeettiä havaitsevat strategiat ovatkin toteutuskelvottomia ilman markkinamanipulaatiota markkinoiden sääntelyn vuoksi, joka tekee kyseisten strategioiden toteuttamisesta laitonta. *Pinging*-strategian lähtökohta on se, että strategiaa toteuttava toimija pystyy tunnistamaan suuren sijoittajan asettaman hintatason, jolla sijoittaja viimeistään sulkee positionsa välttääkseen suurempia tappioita. Strategiaa toteuttava alkaa tekemään nopeasti useita toimeksiantoja tällä hintatasolla ja ajaa markkinan hintaa haluamaansa suuntaan aiheuttaen suurelle sijoittajalle tappioita ja voittoja itselleen. Tämän strategian täydellinen toteuttaminen on kuitenkin estetty säännellyillä markkinoilla, sillä toimeksiannot on tehtävä riittävän läheltä markkinahintaa. (Aldridge 2013, s. 195–202)

Kaksi muuta likviditeettiä havaitsevaa strategiaa ovat *Quote Stuffing* ja *Spoofing*. *Quote Stuffing* -strategiassa tehdään nopeasti useita toimeksiantoja ja perutaan ne välittömästi. Toimeksiantojen tekemisellä ja välittömällä perumisella pyritään hidastamaan kauppa paikan toimintaa ja täten häiritsemään muuta kaupankäyntiä, jolloin strategiaa toteuttava saa etulyöntiaseman markkinalla toimimiseen. *Spoofing*-strategialla pyritään manipuloimaan markkinahintaa tekemällä ja välittömästi perumalla useita toimeksiantoja nopeasti markkinahintaa korkeammalla tai matalammalla hinnalla ja tekemällä näin uudelleen. Nämä molemmat strategiat ovat kuitenkin rinnastettavissa markkinamanipulaatioon ja ovatkin tästä syystä laittomia toteuttaa. (Aldridge 2013, s. 195–202)

3. ULTRANOPEAN KAUPANKÄYNNIN VAIKUTUKSET OSAKEMARKKINOIHIN

Tässä luvussa esitetään työn keskeisimmät tulokset ja pohditaan näiden merkitystä sekä vastataan näiden pohjalta työn tutkimuskysymyksiin. Ensimmäisessä alaluvussa tarkastellaan ultranopean kaupankäynnin vaikutuksia osakemarkkinoiden volatiliteettiin, ja toisessa osakkeiden hintojen tehokkaaseen määräytymiseen.

3.1 Vaikutus volatiliteettiin

Alan tutkimuksessa on havaittu ultranopealla kaupankäynnillä olevan erilaisia vaikutuksia osakemarkkinoiden volatiliteettiin. Ultranopeiden kaupankävijöiden käyttämällä kaupankäyntistrategioilla, markkinan yleisellä tilalla sekä makroekonomisilla tapahtumilla on ollut vaikutusta siihen, onko ultranopea kaupankäynti lisännyt vai vähentänyt markkinoiden volatiliteettia.

Työn toisena liitteenä olevassa taulukossa 1 on esitetty analysoidun tutkimuskirjallisuuden keskeisimmät tulokset ultranopean kaupankäynnin vaikutuksista volatiliteettiin. Taulukon ensimmäisessä sarakkeessa viitataan kunkin rivin tutkimukseen. Toisessa sarakkeessa esitetään kyseisen tutkimuksen tulokset ultranopean kaupankäynnin vaikutuksesta osakemarkkinoiden volatiliteettiin. Kolmannessa sarakkeessa esitetään ne ultranopean kaupankäynnin strategiat, jotka ovat aiheuttaneet kyseiset tulokset, mikäli eri kaupankäyntistrategioiden vaikutuksia oli eritelty kyseisessä tutkimuksessa. Neljännessä sarakkeessa kerrotaan, minkälaisessa markkinaympäristössä ultranopeaa kaupankäyntiä oli tarkasteltu kyseisessä tutkimuksessa. Normaalilla markkinaympäristöllä viitataan sellaiseen markkinaan, johon ei vaikuta mikään tuore ja merkittävä makroekonominen tapahtuma, ja jolla markkinan yleinen epävarmuus on tavanomaisella tasolla. Kohonneen epävarmuuden markkinaympäristöllä viitataan sellaiseen markkinaan, jolla markkinan tulevaisuuden tilaa koskeva yleinen epävarmuus on hetkellisesti noussut, joka on aiheutunut jostain tuoreesta ja dramaattisesta, markkinan kannalta relevantista makroekonomisesta tapahtumasta tai jolla kaupankäynti on ollut poikkeuksellisen runsasta. Kohonneen epävarmuuden markkinasta toimii esimerkkinä Bazzanan ja Collinin (2020) analysoima kaupankäyntidata, joka oli peräisin vuoden 2016 Yhdysvaltojen presidentinvaalien jälkeiseltä päivältä.

Taulukon tulkitsemisesta on huomautettava muutama asia. Joillain taulukon riveillä käytetään sulkua havainnollistamaan saman rivin eri sarakkeiden välisiä yhteyksiä. Esimerkiksi rivillä, jolla on Bazzanan ja Collinin (2020) tulokset, tulee sulkua tulkita siten, että automatisoidun markkinatakauksen ja arbitraasin etsinnän strategioita harjoittaneet ultranopeat kaupankävijät ovat vähentäneet volatiliteettia. Koska tuon rivin neljännellä sarakkeella esitetystä markkinaympäristöstä kumpakaan ei ole esitetty sulkeiden sisällä, tarkoittaa tämä sitä, että vaikutukset ovat olleet samankaltaisia molemmissa markkinaympäristöissä. Osassa toisen sarakkeen riveillä on käytetty sanaa ”enimmäkseen” kuvaamaan ultranopean kaupankäynnin vaikutuksia volatiliteettiin. Tämä tarkoittaa sitä, että kyseisessä tutkimuksessa saadut tulokset olivat enimmäkseen samankaltaisia, mutta tulokset eivät olleet täysin yksipuolisia.

On myös syytä huomauttaa, että eri tutkimusten havaitsemat vaikutukset ovat saattaneet olla erisuuruisia keskenään. Vaikka kahdella eri rivillä HFT:n vaikutuksia kuvattaisiin sanalla ”lisäävä”, tämä ei tarkoita, että näiden kahden eri tutkimuksen havaitsemat vaikutukset olisivat olleet täsmälleen yhtä suuria keskenään. Sama pätee myös taulukon neljännelle, eli tarkastellun markkinaympäristön sarakkeelle. Erityisesti tarkastellun markkinan kohonneen epävarmuuden tasossa on saattanut olla tutkimuskohtaisia eroja, sillä osa tutkimuksista mittasi epävarmuutta kaupankäynnin kokonaisvolyymilla. On myös syytä huomauttaa, että eri tutkimukset saattoivat määritellä HFT:n eri tavoin, joka saattaa rajoittaa näiden tulosten keskinäistä vertailua.

On myös huomautettava, että analysoidusta aineistosta kahdelle artikkelille (Brogaard 2010; Zhang 2010) ei löytynyt Julkaisufoorumin luokitusta. Näissä molemmissa artikkeleissa vastattiin kumpaankin tutkimuskysymykseen. Näihin molempiin artikkeleihin kuitenkin viitattiin useammassa muussa analysoiduissa julkaisussa sekä artikkelien kirjoittajien taustat tarkistettiin, joiden perusteella nämä artikkelit päätettiin sisällyttää tulosaineistoon. Tämän työn tulokset eivät muutenkaan olisi merkittävästi muuttuneet, vaikka nuo kaksi artikkelia olisikin jätetty pois tulosaineistosta.

Osan tutkimuskirjallisuuden tulosten mukaan ultranopea kaupankäynti madaltaa osakkeiden volatiliteettia, jota pidetään markkinoiden laatua parantavana vaikutuksena. Brogaard (2010) tutki Nasdaq-pörssin transaktiodataa ultranopeiden kaupankävijöiden osalta sekä subprime-kriisin että sen jälkeiseltä ajalta vuosilta 2008–2010 ja havaitsi, että ultranopea kaupankäynti voi vaimentaa kaupankäyntipäivän sisäistä volatiliteettia. Hän tutki HFT:n vaikutuksia kahdella tekniikalla. Ensimmäisessä hän analysoi HFT-kaupankäyntidataa syyskuun 2008 tiettyjen osakkeiden lyhyeksi myynnin kiellon ajalta sekä vertasi tätä kielloa edeltäneeseen ajan dataan ja havaitsi, että molemmissa markkinaympäristöissä HFT:llä oli pienentävä vaikutus volatiliteettiin. Toisessa hän konstruoi kolme

teoreettista kurssikehityskäyrää, joissa kussakin ultranopeiden kaupankävijöiden markkinakäyttäytyminen oletettiin erilaiseksi, ja näitä teoreettisia käyriä ja niistä laskettuja volatiliteetteja verrattiin havaittuun volatiliteettiin. Kahdessa testistä kolmesta markkinoiden volatilisuus pieneni, mutta testissä, jossa HFT:n oletettiin ainoastaan tarjoavan likviditeettiä, volatiliteetti pysyi käytännössä katsoen vakiona. (Brogaard 2010)

Myös Hasbrouckin ja Saarin (2013), Hagströmerin ja Nordénin (2013) sekä Brogaard et al. (2014) tulosten mukaan HFT:llä olisi volatiliteettia pienentävä vaikutus. Hasbrouck ja Saar (2013) tutkivat Nasdaq-pörssin 500 suurimman yhtiön kaupankäyntidataa lokakuulta 2007 ja kesäkuulta 2008 käyttämällä kehittämänsä mallia, joka arvioi HFT:n vaikutuksia markkinaa. Kesäkuussa 2008 markkinoilla havaittiin kohonnutta epävarmuutta laskevien kurssien muodossa, ja lokakuussa 2007 markkinat olivat suhteellisen vakaat. Heidän tulostensa perusteella HFT:llä oli madaltava vaikutus osakkeiden lyhyen aikavälin volatiliteettiin molemmissa markkinaympäristöissä. Tuloksia analysoidessa tulee huomioida se, että tutkimuksessa käytetty data saattoi sisältää myös muiden kuin ultranopeiden kaupankävijöiden transaktiodataa. Tämä kuitenkin huomioitiin tuloksia testatessa, eivätkä tulokset muuttuneet datan puhdistuksen myötä. Näistä tutkimuksista ei myöskään tule päätellä, että HFT välttämättä vähentäisi volatiliteettia varmasti myös erittäin rajujen kurssimuutosten, kuten Flash Crashin kaltaisen tilanteen aikana. (Hasbrouck & Saar 2013)

Hagströmer ja Nordén (2013) kykenivät tunnistamaan Tukholman Nasdaq-pörssin transaktiodatasta ultranopeat kaupankävijät sekä erottelemaan eri strategioita harjoittavat toimijat toisistaan. He tarkastelivat erityisesti automatisoidun markkinatakaajan strategiaa harjoittavien toimijoiden vaikutuksia markkinoihin, ja tulivat siihen tulokseen, että kyseisillä toimijoilla oli madaltava vaikutus markkinoiden lyhyen aikavälin volatiliteettiin sekä tavanomaisen että kohonneen epävarmuuden markkinassa. Heidän käyttämänsä transaktiodata oli peräisin elokuulta 2011 ja helmikuulta 2012. Elokuussa 2011 markkinoiden yleinen epävarmuus oli poikkeuksellisen suurta johtuen osittain HFT:n saamasta runsaasta mediahuomiosta. Markkinoiden epävarmuutta lisäsi tuolloin myös Yhdysvaltojen ja Ranskan valtion luottoluokitusten madaltaminen sekä Italian ja Espanjan valtionvelkakriisit. (Hagströmer & Nordén 2013)

Brogaard et al. (2014) tutkivat myös Nasdaq-pörssin kaupankäyntidataa vuosilta 2008 ja 2009 käyttäen mallia, jolla kyettiin erottelemaan osakkeiden hinnanmuutoksista pysyvät ja väliaikaiset muutoskomponentit toisistaan sekä tunnistamaan, onko kyseisen muutoksen aiheuttanut automatisoidun markkinatakauksen strategiaa noudattava ultranopea kaupankävijä. Analysoitua aineistoa koski huomionarvoinen rajoitus, sillä aineistosta ei pystytty erottelemaan kaikkea HFT:tä, koska jotkin instituutiot harjoittavat sekä HFT:tä

että tavallista kaupankäyntiä. Mallin komponentit määriteltiin siten, että pysyvät muutoskomponentit aiheutuivat markkinainformaatiosta, ja väliaikaiset muutoskomponentit, josta käytettiin myös termejä väliaikainen volatilitteetti sekä markkinakohina, aiheutuivat hinnoitteluvirheistä. Tutkimuksen tulosten mukaan ultranopeat kaupankävijät kävisivät kauppaa samansuuntaisesti pysyvien muutoskomponenttien kanssa, ja vastakkaissuuntaisesti väliaikaisten muutoskomponenttien kanssa, josta seuraa se, että HFT vähentää lyhyen aikavälin volatilitteettia markkinoilla. Vastaaviin tuloksiin päädyttiin sekä normaalin että kohonnan epävarmuuden markkinaympäristöissä. Tutkimuksen tulosten todetaan olevan yhdenmukaisia Hagströmerin ja Nordénin (2013) tulosten kanssa. (Brogaard et al. 2014)

Tutkimuskirjallisuudessa on myös esitetty HFT:llä olevan volatilitteettia lisääviä ja markkinoiden laatua heikentäviä vaikutuksia. Zhang (2010) tutki suurta määrää kaupankäyntidataa vuosien 1985 ja 2009 välillä, ja hänen tulostensa mukaan HFT:n kokonaisvolyymilla ja osakkeiden pitkän aikavälin volatilitteetin välillä olisi positiivinen korrelaatio. Tulosten mukaan korrelaatio on voimakkaampaa, mikäli markkina on kohonneen epävarmuuden tilassa, tarkastelun kohteena on markkina-arvoltaan suurimpien yhtiöiden osakkeita tai mikäli institutionaaliset sijoittajat omistavat tarkasteltavia osakkeita suurina määrinä. Epävarman markkinaympäristön korrelaatiota voimistava vaikutus selittyy osittain sillä, että tällöin automatisoidut markkinatakaajat saattavat vetäytyä markkinoilta, koska epävarma markkina on heille epäsuotuisampi, eikä lainsäädäntö velvoita heitä toimimaan markkinatakaajina kaikissa tilanteissa kuten tavallisia markkinatakaajia. Tällöin ultranopeiden kaupankävijöiden likviditeetin kysynnän osuus kasvaa suhteessa sen tarjontaan, jonka seurauksena volatilitteetti kasvaa. Tästä huolimatta automatisoiduilla markkinatakaajilla saattaa itsessään olla volatilitteettia vähentävä vaikutus. Tuloksia tulkitessa tulee huomioida, että havaitut vaikutukset volatilitteetissa olivat korostuneen suuria johtuen mittausvirheestä. Tulokset eivät olisi kuitenkaan muuttuneet dramaattisesti ilman mittausvirhettä, sillä HFT:llä olisi ollut volatilitteettia lisäävä vaikutus myös virhekorjatussa tapauksessa. (Zhang 2010)

Cartea ja Penalva (2012) tutkivat myös HFT:n vaikutuksia markkinoiden ominaisuuksiin ja havaitsivat, että HFT lisää markkinan mikrorakenteen kohinaa, josta seuraa volatilitteetin kasvu. Mikrorakenteen kohinaa syntyy, kun ultranopeat kaupankävijät yrittävät hyötyä tilanteista, joissa tavalliset kaupankävijät purkavat positioitaan markkinatakaajien kanssa. Tämä aiheuttaa kaupankäyntitavasta aiheutuvaa hintaliikettä, jota kutsutaan mikrorakenteen kohinaksi. (Cartea & Penalva 2012) On syytä huomauttaa, että Cartea ja Penalva (2012) määrittelivät ultranopeat kaupankävijät sellaisiksi, jotka saavuttavat

tuottonsa muiden kaupankävijöiden kustannuksella. Tälle toiminnalle on olemassa englanninkielinen termi *rent-seeking* (Cartea & Penalva 2012). Tämä rajausta vaikuttaa tutkimuksen tuloksiin siten, että se kohdentaa tutkimuksen tarkastelun vain sellaisiin ultranopeisiin kaupankävijöihin, jotka harjoittavat likviditeetin havaitsemisen tai myös mahdollisesti arbitraasin etsinnän kaupankäyntistrategioita. Cartea ja Penalva (2012) määrittivät analysoidut markkinaolosuhteet normatiivisiksi, joten voidaan olettaa, että nämä tutkimustulokset on saatu normaalin epävarmuuden markkinaympäristöä analysoitaessa.

Scholtus et al. (2014) tutkivat HFT:n vaikutuksia markkinoiden ominaisuuksiin välittömästi merkittävien makroekonomisten tapahtumien jälkeen, jotka toivat markkinoille uutta informaatiota. Vaikka tutkimuksessa ei erikseen oteta kantaa analysoidusta markkinaympäristöstä, tällä kaksiaasteisella luokituksella tutkimuksen markkinaympäristön voidaan todeta olleen kohonneen epävarmuuden tilassa, sillä merkittävät makroekonomiset tapahtumat implikoivat ennemmin kohonnutta epävarmuutta kuin täysin tavallisesta poikkeamatonta markkinaympäristöä. Tutkimuksen luonteesta johtuen tutkimuksessa analysoidaan suuntaavan kaupankäynnin strategiota harjoittavia ultranopeita kaupankävijöitä (Scholtus et al. 2014). HFT:n vaikutus volatiliteettiin riippuu tarkastelun aikaikkunasta. Tutkimuksen mukaan HFT:llä on makroekonomista tapahtumaa seuraavan minuutin aikana volatiliteettia lisäävä vaikutus. Mikäli tarkastelun aikaikkunaa laajennetaan 5 minuuttiin, voi HFT:llä olla volatiliteettia lisäävä tai vähentävä vaikutus, riippuen kauppapaikan tarjouskirjan tilasta. Tutkimuksessa havaittiin myös, että HFT:llä oli suurempi vaikutus volatiliteettiin, mikäli markkinoille tuli uutta informaatiota kello 10 (ET). (Scholtus et al. 2014) Tulosten mielekkyys voidaan kyseenalaistaa siinä mielessä, että etenkin 5 minuutin aikaikkuna on erittäin pitkä suhteutettuna ultranopeiden kaupankävijöiden vasteaikoihin. Voi hyvinkin olla, että kaikki yksittäisen makroekonomisen tapahtuman kannalta relevantti ultranopea kaupankäynti käydään jo ensimmäisen minuutin aikana.

Osassa tutkimuksista on löydetty HFT:llä olevan tietyissä tilanteissa volatiliteettia lisääviä sekä tietyissä tilanteissa volatiliteettia vähentäviä vaikutuksia. Brogaard et al. (2018) tutkivat HFT:n vaikutuksia markkinoihin erittäin rajujen kurssiliikkeiden aikana (engl. *extreme price movements, EPMs*), eli markkinan ollessa hyvin epävarmassa tilassa. He havaitsivat, että automatisoidut markkinatakaajat toimivat likviditeetin päätarjoajina sellaisille yksittäisille osakkeille, joiden hinta muuttuu rajusti, eikä HFT itsessään aiheuta erittäin rajuja kurssiliikkeitä (Brogaard et al. 2018). Tällä on selvästi volatiliteettia vaimentava vaikutus, koska mikäli osakkeen likviditeetin kysyntä ylittäisi sen tarjonnan, voisi kurssisyöksy tai -nousu olla voimakkaampaa. Brogaard et al. (2018) havaitsivat kuitenkin

kin, että mikäli useampi osake kokee samanaikaisesti EPM:n, automatisoitujen markkinatakaajien toiminnan riskit kasvavat huomattavasti. Tämä voi johtaa siihen, että he vetäytyvät markkinoilta, sillä lainsäädäntö ei velvoita heitä toimimaan markkinatakaajina kaikissa tilanteissa, kuten tavallisia markkinatakaajia (Brogaard et al. 2018). Tämä havainto on yhdenmukainen Zhangin (2010) havaintojen kanssa. Tästä havainnosta voi seurata se, että kysyntä kyseisten osakkeiden likviditeetille ylittää niiden tarjonnan, mikä voimistaa kurssiliikkeitä samalla kasvattaen niiden volatiliteettia. Näin tapahtui esimerkiksi Flash Crashin aikana (Kirilenko et al. 2017; Brogaard et al. 2018).

Bazzana ja Collini (2020) tutkivat eri HFT-strategioiden markkinavaikutuksia ennen ja jälkeen vuoden 2016 Yhdysvaltojen presidentinvaalien. He luokittelivat automatisoidun markkinatakauksen ja arbitraasin etsinnän passiivisiksi HFT-strategioiksi ja likviditeettiä havaitsevat strategiat aggressiivisiksi. Tutkimuksessa käytetty aineisto koostui S&P 500 -indeksin mukaisesti sijoittavan ETF-rahaston transaktiodatasta, joten datan voidaan katsoa kuvaavan melko hyvin Yhdysvaltojen osakemarkkinoita kokonaisuudessaan. Tutkimuksen tulosten mukaan passiiviset HFT-strategiat vähensivät markkinoiden volatiliteettia ja aggressiiviset lisäsivät sitä. Havaitut vaikutukset olivat molemmissa tapauksissa voimakkaampia vaalien jälkeisenä päivänä, jolloin kaupankäyntivolyyymi oli huomattavasti tavanomaista suurempaa. Markkinan voidaan katsoa olleen kohonneen epävarmuuden tilassa tuona päivänä, koska Trumpin voitto oli hyvin merkityksellinen tapahtuma maailmanlaajuisesti. Kohonnut epävarmuus näkyi tuolloin lisääntyneenä kaupankäyntivolyyminä. Tutkimuksen toisen merkittävän tuloksen mukaan passiivisten ja aggressiivisten HFT-strategioiden volyymit olisivat kääntäen verrannollisia keskenään. Tämä korostaa passiivisten HFT-strategioiden tuomaa markkinoiden laatua parantavaa vaikutusta, sillä ne samalla vähentävät tämän tutkimuksen valossa markkinoille haitallimpien aggressiivisten HFT-strategioiden markkinavaikutuksia. (Bazzana & Collini 2020)

Kang et al. (2020) tutkivat HFT:n vaikutuksia Korean osakemarkkinoihin. He havaitsivat HFT:n vähentävän yleisesti lyhyen aikavälin volatiliteettia normaaleissa markkinaoloissa, mutta kasvattavan sitä epävarmassa markkinassa. Tutkimuksessa ei eritelty eri HFT-strategioiden vaikutuksia, mutta HFT:n vaikutukset riippuivat siitä, oliko kaupankäyjä korealainen vai ulkomainen. Kohonneen epävarmuuden markkinassa sekä ulkomaiset että korealaiset ultranopeat kaupankävijät lisäsivät volatiliteettia käymällä kauppaa samansuuntaisesti hinnanmuutosten kanssa. Huomionarvoista on se, että ulkomaisella HFT:lla vaikutti olevan suurempi vaikutus volatiliteettiin. Normaaleissa markkinaolosuhteissa ulkomainen HFT vähensi volatiliteettia, mutta korealainen HFT lisäsi sitä. Kaupankäynnin

intensiivisyydellä vaikutti olevan myös vaikutusta siihen, miten HFT vaikutti volatiliteettiin. Kaupankäynnin ollessa poikkeuksellisen intensiivistä, korealaisella HFT:llä oli merkittävä volatiliteettia pienentävä vaikutus. Ulkomaisen HFT:n vaikutus volatiliteettiin ei riippunut kaupankäynnin intensiteetistä. (Kang et al. 2020) Tuloksia tulkitessa tulee huomioida, että ulkomaisen ja korealaisen HFT:n volyymeissä voi olla merkittäviäkin suuruuseroja.

3.2 Vaikutus tehokkaaseen hintojen määräytymiseen

Analysoidun tutkimuskirjallisuuden perusteella vaikuttaa siltä, että ultranopealla kaupankäynnillä olisi yksipuolisemmat vaikutukset hintojen tehokkaaseen määräytymiseen kuin luvussa 3.1 käsitellyn volatiliteettiin. Analysoiduista yhdeksästä tutkimusartikkelista kahdeksassa todettiin ultranopean kaupankäynnin tehostavan hintojen määräytymistä, ja vain yhdessä todettiin HFT:n tekevän hintojen määräytymisprosessista tehottomamman. Huomionarvoista on, että tuo eräviä tuloksia esittänyt Zhangin (2010) artikkeli on julkaistu joulukuussa 2010, mikä tekee siitä analysoidun aineiston toiseksi vanhimman artikkelin. HFT:n tehostamisvaikutuksen suuruuteen vaikutti erityisesti markkinoiden yleisen epävarmuuden taso, kaupankäynnin kokonaisvolyymi ja makroekonomiset tapahtumat.

Työn kolmantena liitteenä olevassa taulukossa 2 on esitetty analysoidun tutkimuskirjallisuuden havaitsemat, ultranopean kaupankäynnin aiheuttamat vaikutukset hintojen tehokkaaseen määräytymiseen. Taulukossa kukin rivi käsittelee tiettyä tutkimusta. Taulukon ensimmäisessä sarakkeessa viitataan tutkimukseen. Toisessa sarakkeessa vastataan, onko HFT tehostanut hintojen määräytymisprosessia kyseisen artikkelin mukaan. Kolmannessa sarakkeessa esitetään ne HFT-strategiat, jotka ovat aiheuttaneet toisessa sarakkeessa kuvatut vaikutukset, mikäli HFT-strategioita eriteltiin kyseisessä tutkimuksessa. Neljännessä sarakkeessa kuvataan, millaisilla menetelmillä hintojen tehokasta määräytymistä mitattiin ja arvioitiin kyseisen rivin tutkimuksissa.

Taulukon tuloksia tulkitessa on syytä huomioida muutama asia. Eri tutkimusten havaitsemat HFT:n tehostamisvaikutukset eivät välttämättä ole olleet täsmälleen yhtä suuria, vaikka eri tutkimuksissa HFT:n olisikin havaittu tehostavan hintojen määräytymistä. Eri tutkimuksissa käytetty erilainen data-aineisto on todennäköisesti vaikuttanut tähän. Myös erilaiset käytetyt ekonometriset menetelmät ja mallit, joilla arvioitiin HFT:n vaikutuksen suuruutta hintojen tehokkaassa määräytymistä, ovat todennäköisesti vaikuttaneet siihen, ettei eri tutkimusten tulokset ole välttämättä täsmälleen yhtä suuria, vaikka ne olisivatkin samansuuntaisia. Näihin erilaisiin arviointimenetelmiin ei syvennytä tarkemmin tässä kandidaatintyössä. Toiseen tutkimuskysymykseen vastaava aineisto oli

kuitenkin erittäin laadukas; 3 artikkelista oli julkaistu korkeimman tason, 3 johtavan tason ja 1 perustason julkaisuissa. Julkaisufoorumin luokitusten mukaisesti, joten ei ole syytä epäillä käytettyjen menetelmien validiutta.

Eri tutkimuksissa HFT-strategiat määriteltiin myös erilaisin tavoin. Osa artikkeleista luokitteli HFT-strategiat aggressiivisiin ja passiivisiin (Chordia & Miao 2020), osa lisäsi näihin vielä neutraalit HFT-strategiat (Benos & Sagade 2016), ja osa tarkasteli vain joitain tiettyjä luvussa 2.5 kuvattuja strategioita (Brogaard et al. 2014). Nämä erilaisiin luokituksiin perustuvat HFT-strategiat pyrittiin tässä työssä luokittelemaan uudelleen perustuen luvussa 2.5 esitettyihin neljään HFT-strategiaan. Suuressa osassa artikkeleita tätä erotelua HFT-strategioiden välillä ei tehty lainkaan, joka tulee myös huomioida tuloksia tulkitessa.

Liitteenä olevassa taulukossa 1, jossa koottiin tulokset HFT:n vaikutuksista volatiliiteettiin, oli sisällytettynä tarkastellun markkinaympäristön sarake. Tämä kyseinen sarake jätettiin pois taulukosta 2, koska hintojen tehokkaan määräytymisen kannalta on relevantimpaa tietää, millaisilla menetelmillä tuloksiin on päädytty. Myös näissä yhdeksässä artikkelissa, jossa analysoitiin HFT:n vaikutuksia hintojen tehokkaaseen määräytymiseen, HFT:n vaikutuksia oli yhtä poikkeusta lukuun ottamatta (Chordia & Miao 2020) analysoitu sekä normaalin että kohonneen epävarmuuden markkinaympäristöissä, ja tulokset olivat samansuuntaisia riippumatta markkinaympäristöstä. Chordia ja Miao (2020) analysoivat HFT:n vaikutuksia hinnanmääräytymiseen osakeyhtiöiden tulosjulkistusten ja odottamattomien uutisten ympärillä, jolloin markkinan epävarmuuden voidaan tulkita olleen kohonneella tasolla. On kuitenkin huomautettava, että eri artikkeleissa markkinoiden epävarmuuden tasoa arvioitiin eri tavoin; osassa epävarmuutta mitattiin kaupankäynnin kokonaisvolyymilla ja osassa markkinoiden keskimääräisellä volatiilisuudella. Tästäkin syystä tuon sarakkeen pois jättäminen oli loogista, jottei taulukko 2 tuota tuloksista liian yksinkertaistettua kuvaa.

Osassa tutkimuksista tarkastellaan ultranopean kaupankäynnin vaikutuksia hintojen tehokkaaseen määräytymiseen yleisellä tasolla. Brogaard (2010) tutkii HFT:n vaikutuksia hintojen tehokkaassa määräytymisessä käyttämällä Nasdaq-pörssin kaupankäyntidataa vuosilta 2008–2009, josta HFT-transaktiot olivat eroteltavissa. Hän tutki toiko HFT markkinoille uutta hinnoissa näkyvää informaatiota eli sitä, tehostiko HFT:n läsnäolo hintojen määräytymistä. Käyttäen kolmea erilaista ekonometrista mittaria, Brogaard (2010) tuli siihen johtopäätökseen, että HFT toi merkittävästi uutta informaatiota markkinoille sekä näin ollen tehosti hintojen määräytymistä. Brogaardin (2010) mukaan Hasbrouck määritteli alun perin nämä kolme käytettyä menetelmää. Menetelmät olivat pysyvä hintavaihtelu (engl. *permanent price impact*), informaation varianssihajotelma (engl. *information*

variance decomposition) ja jaetun informaation menetelmä (engl. *information share approach*) (Brogaard 2010).

Myös Zhang (2010) tutki HFT:n yleisen tason vaikutuksia hintojen määräytymiseen kahdella erilaisella esittämällä menetelmällä, jotka vertasivat toteutuneita kurssikäyriä analyttikköjen ennusteisiin ja yllättäviin kurssiliikkeisiin. Hänen tulostensa mukaan HFT vaikuttaa negatiivisesti markkinoiden kykyyn reflektoida uutta informaatiota hintoihin sekä aiheuttaisi osakekurseissa ylireagoitua uuteen markkinainformaatioon. Ylireagointi olisi voimakkaampaa, mitä suurempi HFT:n kokonaisvolyymi olisi. (Zhang 2010) Näiden tulosten mukaan HFT siis tekisi hintojen määräytymisprosessista tehottomamman. Zhangin (2010) tuloksia tulkitessa on kuitenkin huomioitava, että hänen tutkimuksensa perustui kvartaalitaso tarkastelulle, jonka seurauksena kaikkia HFT:n vaikutuksia ei välttämättä kyetä havaitsemaan.

Conrad et al. (2015) sekä Leone ja Kwabi (2019) tutkivat myös HFT:n yleisen tason vaikutuksia hintojen tehokkaaseen määräytymiseen ja saivat yhdenmukaisia tuloksia Brogaardin (2010) kanssa. Conrad et al. (2015) mainitsevat aiempien HFT:tä koskevien tutkimusten (Carrion 2013; Hagströmer & Nordén 2013; Brogaard et al. 2014) tulosten olevan mahdollisesti rajoittuneita, koska niiden käyttämä kaupankäyntidata on ollut peräisin yhdeltä kauppapaikalta, vaikka ultranopeat kaupankävijät käyvät todennäköisesti kauppaa usealla kauppapaikalla samanaikaisesti. Tämän vuoksi Conrad et al. (2015) käyttävätkin dataa, joka sisältää heidän mukaansa täydellisen poikkileikkauksen Yhdysvaltojen osakemarkkinoista sekä Tokion pörssin 300 suurimman yhtiön osakkeiden transaktiodatan vuosilta 2009–2011. Aineistoa hyödyntämällä pyritään arvioimaan hintojen tehokkuutta sekä uuden informaation hintoihin välittymisen tehokkuutta käyttämällä kahta erilaista ekonometrista menetelmää. Tutkimuksen tulosten mukaan HFT:n korkeampi toimeksiantoaktiivisuus on yhteydessä hintasarjoihin, jotka muistuttivat enemmän satunnaiskulkua. (Conrad et al. 2015) Tämä implikoisi sitä, että hinnat olisivat tehokkaampia, joka puolestaan viittaisi siihen, että hinnat myös määräytyisivät tehokkaammin. Conrad et al. (2015) kuitenkin huomauttavat, ettei heidän tuloksiaan tulisi olettaa päteviksi myös äärimmäisissä markkinaolosuhteissa, kuten esimerkiksi Flash Crashin kaltaisissa tilanteissa.

Leone ja Kwabi (2019) tutkivat HFT:n vaikutuksia hinnanmääräytymisessä ja hintojen tehokkuudessa analysoimalla FTSE 100 -indeksin minimaalisia arvonmuutoksia millisekuntien tarkkuudella aikaväliltä 1.4.2011–31.5.2012. FTSE 100 -indeksi koostuu Lontoon pörssin sadan markkina-arvoltaan suurimman yhtiön osakkeesta (Leone & Kwabi 2019). Analysoinnissa hyödynnettiin Leonen ja Kwabin (2019) mukaan sekä Lon ja MacKinlayn

varianssisuhdetestiä että Chown ja Denningin moninkertaisen vertailun varianssisuhdetestiä. Tulosten perusteella näyttää siltä, että HFT:t samanaikaisesti osoittavat tehokkaiden markkinoiden heikkojen ehtojen voimassaolottomuutta sekä tehostavat hintojen määräytymistä. Tämä tulkinta selittyy sillä, että Leonen ja Kwabin (2019) tulosten mukaan ultranopeat kaupankävijät kykenevät ennustamaan tulevia lyhyen aikavälin kurssiliikkeitä. Tämä osoittaa, että hinnat eivät noudata satunnaiskulkua lyhyellä aikavälillä. Toisaalta tämänkaltainen kurssiliikkeiden ennustaminen tehostaa hintojen määräytymistä, koska ultranopeat kaupankävijät hyödyntävät ennusteinformaatiota käydessään kauppaa, jolloin tämä informaatio välittyy väistämättä jonkin ajan kuluttua hintoihin. Tämän puolesta puhuu se, että Leonen ja Kwabin (2019) mukaan aikaikkunan pidentyessä kurssiliikkeiden ennustaminen vaikeutuu. Heidän mukaansa historiadatasta on mahdollonta ennustaa kurssiliikkeitä 10 minuutin päähän, koska viimeistään tämän ajan kuluttua hinnat sisältävät jo kaiken historiadatan, mikäli tuon 10 minuutin aikana markkinoille ei ole tullut uutta informaatiota.

Analysoiduista artikkeleista kahdessa HFT:n vaikutuksia tarkasteltiin kaupankäyntistrategioiden tasolla. Brogaard et al. (2014) analysoivat Nasdaq-pörssin kaupankäyntidataa vuosilta 2008–2009, kuten myös Brogaard (2010), mutta tarkastelivat erityisesti automatisoituja markkinatakaajia. Brogaard et al. (2014) analysoivat havaittuja kurssimuutoksia heidän mukaansa käyttämällä Menkveldin et al. esittämää mallia, jolla kyettiin Brogaard et al. (2014) mukaan erottelemaan hinnanmuutoksista pysyvä, informaatiosta aiheutuva komponentti sekä väliaikainen, hinnoitteluvirheistä aiheutuva komponentti. Tulosten perusteella näyttää siltä, että HFT-markkinatakaajat käyvät kauppaa yhdensuuntaisesti pysyvien hinnanmuutosten kanssa, ja vastakkaisuuntaisesti väliaikaisten hinnanmuutosten kanssa sekä normaalin että kohonneen epävarmuuden markkinassa. Tutkimuksessa havaittiin myös, että HFT:t kykenivät ennakoimaan lyhyen aikavälin kurssimuutoksia. (Brogaard et al. 2014) Tämä havainto on yhdenmukainen Leonen ja Kwabin (2019) havaintojen kanssa. Näistä tuloksista voidaan päätellä, että HFT-markkinatakaajat tehostavat hintojen määräytymisprosessia sekä tekevät hinnoista itsessään tehokkaampia. Brogaard et al. (2014) kuitenkin huomauttavat, että heidän käyttämänsä yksittäisen pörssin transaktiodata ei todennäköisesti kata kaikkea relevanttia HFT:tä. Datan ulkopuolelle jää mahdollisesti osa sellaisten HFT-markkinatoimijoiden vaikutuksista, jotka toimivat samanaikaisesti kaupankäynnin välittäjinä omille asiakkailleen, kuten esimerkiksi Goldman Sachs (Brogaard et al. 2014).

Benos ja Sagade (2016) luokittelivat HFT:t passiivisiin, neutraaleihin ja aggressiivisiin, ja tutkivat näiden vaikutuksia hintojen määräytymiseen, näin ollen laajentaen Brogaard et al. (2014) tuloksia. Passiivisten tulkittiin vastaavan automatisoituja markkinatakaajia,

neutraalien suuntaavia kaupankävijöitä ja aggressiivisten arbitraasin etsijöiden ja osan suuntaavien kaupankävijöiden muodostamaa joukkoa. Tutkimuksessa käytetty aineisto sisälsi 92 FTSE 100 -indeksin osakkeen kaupankäyntidatan ajalta 1.9.2012–31.12.2012 (Benos & Sagade 2016). Käyttäen osittain samoja Hasbrouckin esittelemiä menetelmiä kuin Brogaard (2010), Benos ja Sagade (2016) erottelivat havaituista kurssimuutoksista pysyvät ja väliaikaiset vaikutukset, joiden perusteella pystyttiin arvioimaan yksittäisten transaktioiden informaation hintavaikutusta. Tulosten perusteella näyttää siltä, että tarkastellut HFT:t toivat kaikesta markkinoiden hintoihin tulleesta informaatiosta 14 %. HFT:t kävivät kauppaa vastaavanlaisesti väliaikaisia muutoksia vastaan ja pysyvien muutosten kanssa samansuuntaisesti, kuten Brogaard et al. (2014) havaitsivat. Huomionarvoista on se, että aggressiiviset HFT:t toivat kaikesta hintainformaatiosta 10 %, neutraalit 3 % ja passiiviset 1 %. (Benos & Sagade 2016) Tuloksista voidaan päätellä HFT:n tehostavan hintojen määräytymistä kokonaisuudessaan. Arbitraasin etsintä ja suuntaava kaupankäynti kuitenkin vaikuttavat tehostavan hintojen määräytymistä enemmän kuin automatisoitu markkinatakaus.

Kolmessa tutkimuksessa ei eroteltu suoraan eri HFT-strategioita mutta voidaan päätellä, että tietyt HFT-strategiat vaikuttivat tuloksiin enemmän. Riordanin ja Storckenmaierin (2012) havaitsemat vaikutukset voidaan olettaa aiheutuneen pääosin HFT-markkinatakaajista. He tutkivat Saksan pörssin sähköisen kaupankäyntijärjestelmän latenssia madaltavan päivityksen vaikutuksia 110:een vaihdetuimpaan Saksan pörssissä listattuun osakkeeseen. Koska latenssin madallus oli suuruusluokaltaan merkityksellinen lähinnä HFT:lle, voidaan tätä seuranneiden markkinavaikutusten olettaa aiheutuneen HFT:stä. Koska latenssi oli jo entuudestaan hyvin matala (50 ms), voidaan Saksan pörssi mieltää automatisoiduksi markkinatakaajaksi kuitenkin sillä erotuksella, että pörssin toimintaa todennäköisesti säännellään tarkemmin lainsäädännössä. Hyödyntämällä Hasbrouckin esittämiä menetelmiä, Riordan ja Storckenmaier (2012) kykenivät heidän mukaansa arvioimaan yksittäisten kauppajien tuottaman informaation pysyviä hintavaikutuksia. Havaintona oli, että madaltuneen latenssin myötä tarjousperäisen informaation osuus koko markkinan hintainformaatiosta tuplaantui, joka osoittaa hintojen määräytyvän tehokkaammin sekä olevan itsessään tehokkaampia. Tulokset olivat yhdenmukaisia sekä normaalien että kohonneiden epävarmuuden markkinassa, jota arvioitiin kaupankäynnin kokonaisvolyymilla. (Riordan & Storckenmaier 2012) On huomautettava, että myös muut HFT-strategiat ovat todennäköisesti vaikuttaneet tämän tutkimuksen tuloksiin, vaikka markkinatakauksella onkin oletettavasti ollut suurin vaikutus.

Carrion (2013) tutki samaa Nasdaq-pörssin kaupankäyntidataa kuin Brogaard et al. (2014) ja havaitsi likviditeettiä kysyvän HFT:n tehostavan hintojen määräytymistä erityisesti. Osakkeiden hinnat olivat myös tehokkaampia sellaisina kaupankäyntipäivinä, kun HFT-aktiivisuus oli suurta. Hintojen tehokkuutta arvioitiin käyttämällä kahdenlaisia tehokkuustestejä, joilla molemmilla saatiin samankaltaisia tuloksia. Tehokkaammat hinnat aiheutuivat informaation tehokkaammasta välittymisestä kyseisinä päivinä, mikä tarkoittaa, että hinnat määräytyivät tehokkaammin. Likviditeetille kysyntää kohdistavilla HFT-strategiolla havaittiin olevan suurempi vaikutus hintojen tehokkaassa määräytymisessä. Käytetyn datan rajoitusten vuoksi HFT:tä ei voitu luokitella tarkemmin eri kaupankäyntistrategioiden perusteella. (Carrion 2013) Tuloksista voidaan tulkita, että automatisoidut markkinatakaajat tehostivat hintojen määräytymistä, mutta muut HFT-strategiat tehostivat sitä enemmän. Tämä havainto selittyy sillä, että automatisoidut markkinatakaajat pääasiassa tarjoavat likviditeettiä muiden HFT-strategioiden muodostaessa sille kysyntää. Tämä tulos on yhdenmukainen Benosin ja Sagaden (2016) tulosten kanssa. Carrion (2013) kuitenkin huomauttaa, etteivät hänen tuloksensa ole välttämättä voimassa kaikissa tilanteissa, johtuen käytetyn datan aiheuttamista rajoituksista tuloksissa.

Chordia ja Miao (2020) tutkivat HFT:n vaikutusta markkinoiden tehokkuuteen osakeyhtiöiden tulosjulkistusten sekä odottamattomien julkistustilaisuuksien ympärillä. He arvioivat HFT:n aktiivisuutta samalla menetelmällä kuin Hasbrouck ja Saar (2013), sillä heidän mukaansa HFT:n aktiivisuus korreloi negatiivisesti yksittäisten kauppajien hintavaikutusten kanssa. Tutkimuksessa havaittiin, että HFT:n aktiivisuus on suurta tulosjulkistusten ympärillä, minkä seurauksena tulosjulkistuksia koskeva informaatio välittyy nopeasti hintoihin, samalla vähentäen julkistuksen jälkeisiä kurssimuutoksia. Vähentyneiden kurssimuutoksien myötä hinnat määräytyvät tehokkaammin. Tutkimuksessa ei suoraan eritellä, mitkä HFT-strategiat ovat erityisesti aiheuttaneet havaitut tulokset. (Chordia & Miao 2020) Tutkimuksen luonteesta voidaan kuitenkin päätellä, että suuntaavat kaupankävijät ovat todennäköisesti olleet päävastuussa näistä tuloksista. Tulokset olivat vastaavia myös odottamattomien julkistustilaisuuksien, kuten esimerkiksi fuusioiden ja yritysostojen ympärillä (Chordia & Miao 2020). Tuloksiin saattaa kuitenkin vaikuttaa selittämättömiä tekijöitä, jonka vuoksi HFT:n ja tehokkaan hintojen määräytymisen välistä absoluuttista kausaliteettia ei voida tämän tutkimuksen perusteella julistaa (Chordia & Miao 2020).

4. PÄÄTELMÄT

Ultranopean kaupankäynnin vaikutukset osakemarkkinoiden volatiliteetissa riippuvat merkittävän paljon siitä, miten ultranopea kaupankäynti määritellään eli tarkemmin sanottuna, minkä ultranopeiden kaupankäyntistrategioiden aiheuttamia vaikutuksia tarkastellaan. Tämän lisäksi vaikutukset riippuvat myös tarkasteltavan markkinan yleisestä epävarmuuden tasosta sekä markkinoihin vaikuttavista makroekonomisista tapahtumista. Näiden syiden vuoksi työn ensimmäiseen tutkimuskysymykseen ei voida antaa yksiselitteistä vastausta tarkentamatta tutkimuskysymystä tai tekemättä tiettyjä rajoittavia vastaukseen liittyviä oletuksia.

Luvussa 3.1 esitetyistä tuloksista voidaan kuitenkin tehdä kaupankäyntistrategia- ja tilanneriippuvaisia johtopäätöksiä ultranopean kaupankäynnin vaikutuksista osakemarkkinoiden volatiliteettiin. Automatisoidun markkinatakauksen strategiaa harjoittavat ultranopeat kaupankävijät vähentävät osakemarkkinoiden volatiilisuutta lähes poikkeuksetta eri markkinaoloissa. Ainoa tilanne, jossa heidän havaittiin epäsuorasti lisäävän markkinoiden volatiilisuutta oli erittäin epästabiileissa markkinoissa, joissa usean osakkeen kurssit muuttuivat voimakkaasti ja samanaikaisesti (Brogaard et al. 2018). Tässä tulee huomioida se, että automatisoidut markkinatakaajat eivät toiminnallaan itsessään lisänneet volatiliteettia, vaan heidän markkinoilta vetäytyminen saattoi tuottaa likviditeetin kysynnän ja tarjonnan välille liian suuren epätasapainon, joka voimisti kurssiliikkeitä. Näin kävi esimerkiksi Flash Crashin tapauksessa (Kirilenko et al. 2017).

Suuntaavien kaupankävijöiden ja arbitraasin etsijöiden vaikutuksia volatiliteettiin ei voida yleistää vastaavasti kuin automatisoitujen markkinatakaajien vaikutuksia. Scholtus et al. (2014) tutkivat ainoana erityisesti suuntaavien kaupankävijöiden vaikutuksia. Heidän tulostensa mukaan näillä olisi ollut volatiliteettia lisäävä vaikutus. Tulosten mukaan volatiliteetti kuitenkin kasvoi makroekonomista uutista seuraavan minuutin aikana. On perusteltua kysyä, onko tarkasteltu minuutin aikaikkuna ollut jopa liian pitkä tarkastellessa ultranopeiden kaupankävijöiden markkinavaikutuksia? Suuntaavien kaupankävijöiden merkittävimmät markkinavaikutukset voivat hyvinkin ilmaantua jo uutista seuraavien sekuntien aikana, jolloin minuutin tarkasteluikkunassa heidän aiheuttamat vaikutukset saattavat sekoittaa muiden kaupankävijöiden vaikutusten kanssa.

Bazzanan ja Collinin (2020) mukaan arbitraasin etsijät vähentävät volatiliteettia, kun taas Cartean ja Penalvan (2012) mukaan lisäävät sitä. On huomautettava kuitenkin HFT:n erilaisista määritelmistä aiheutuvista mahdollisista rajoitteista. Cartea ja Penalva (2012)

määrittävät tutkivansa sellaista HFT:tä, joka pyrkii tekemään tuottoja muiden kaupankävijöiden kustannuksella. On tulkintakysymys, ovatko tämänkaltaiset kaupankävijät pelkästään likviditeetin havaitsijoita vai lukeutuvatko myös arbitraasin etsijät tähän joukkoon. Toisaalta Bazzanan ja Collinin (2020) tutkimus on tuoreempi, jolloin heidän käyttämänsä HFT-määritelmät ovat mahdollisesti tarkentuneet verrattuna vuonna 2012 käytettyihin. Huomioimalla nämä seikat sekä tutkimukset, jotka tarkastelivat HFT:n vaikutuksia volatiliteetissa yleisellä tasolla (Brogaard 2010; Zhang 2010; Hasbrouck & Saar 2013; Kang et al. 2020), jonka enemmistössä HFT:n havaittiin vähentävän volatiliteettia, voidaan varovaisesti sanoa arbitraasin etsijöiden vähentävän osakemarkkinoiden volatiiliisuutta.

Likviditeettiä havaitsevien ultranopeiden kaupankävijöiden voidaan sanoa tällä otannalla lisäävään osakemarkkinoiden volatiiliisuutta. Kahdessa tutkimuksessa (Cartea & Penalva 2012; Bazzana & Collini 2020) eriteltiin tämän HFT-tyypin vaikutuksia volatiliteettiin, ja kummassakin todettiin likviditeetin havaitsijoiden lisäävän markkinoiden volatiiliisuutta. Tuloksissa tulee kuitenkin huomioida, että HFT-kaupankäynnin erotteluinen muusta kaupankäyntidatasta on itsessään haastavaa. Koska osa likviditeettiä havaitsevista strategioista on yhdistettävissä markkinamanipulaatioon, mikä tekee niistä laittomia toteuttaa (Aldridge 2013, s. 195–202), voi hyvinkin olla, että osa tämänkaltaisesta kaupankäynnistä jää tutkimuksissa huomioimatta siitä syystä, että likviditeetin havaitsijat yrittävät tarkoituksellisesti peittää vaikutuksiaan markkinoissa. Myöskin edellä esitetty HFT:n erilaisten määritelmien haasteen mahdolliset vaikutukset on huomioitava.

Työn toiseen tutkimuskysymykseen on mahdollista vastata suuremmin analysoidun aineiston perusteella. Ultranopea kaupankäynti tehostaa markkinainformaation välittymistä markkinoiden hintoihin, eli tekee hintojen määräytymisprosessista tehokkaamman. Toiseen tutkimuskysymykseen vastanneista yhdeksästä artikkelissa kahdeksassa todettiin hintojen määräytymisen tehostuneen HFT:n myötä. Eriäviä tuloksia esittäneestä Zhangin (2010) tutkimuksesta tulee huomioida käytetyn kaupankäyntidatan karkeus. Zhang (2010) analysoi pitkän aikavälin kvartaalitason kaupankäyntidataa, josta ultranopeiden kaupankävijöiden millisekuntien viiveellä tekemät markkinaliitteet ja niiden vaikutukset eivät välttämättä välity tuloksiin riittävän tarkasti. Hintojen tehokkaaseen määräytymiseen liittyviä tuloksia tulkitessa tulee kuitenkin huomioida tutkimusten erilaiset tavat määritellä HFT sekä tutkimuksissa käytetyt erilaiset arviointimenetelmät, joilla arvioitiin informaation välittymistä hintoihin ja markkinaympäristön epävarmuuden tasoa. Osassa tutkimusartikkeleista tutkittiin HFT:n yleisen tason vaikutuksia hintojen tehokkaaseen määräytymiseen (Brogaard 2010; Conrad et al. 2015, Leone & Kwabi 2019), ja

todettiin HFT:n tehostavan hintojen määräytymistä. Osassa tutkimuksia vaikutusten arviointi tehtiin HFT-strategioiden tasolla (Brogaard et al. 2014; Benos & Sagade, 2016), ja näissäkin todettiin analysoitujen HFT-tyyppien tehostaneen hintojen määräytymistä. Tietyt HFT-strategiat saattoivat kuitenkin tehostaa hintojen määräytymistä enemmän kuin toiset. Benosen ja Sagaden (2016) mukaan automatisoidut markkinatakaajat tehostivat hintojen määräytymistä, mutta eivät yhtä paljoa kuin suuntaavat kaupankävijät tai arbitraasin etsijät. Osassa tutkimuksia erottelua ei tehty (Riordan & Storckenmaier 2012; Carrion 2013; Chordia & Miao 2020), mutta vaikutusten voitiin päätellä aiheutuneen tietystä HFT-strategioista. Näiden tulokset olivat yhdenmukaisia aiemmin mainittujen kanssa; HFT tehosti hintojen määräytymistä sekä tietyillä HFT-tyypeillä oli tehostamiseen suurempi vaikutus kuin toisilla.

Tutkimuskysymysten vastausten välisestä näennäisestä ristiriidasta on hyvä huomauttaa, että volatilitteetti ei ole markkinatehokkuuden käänteinen mittari, vaikka näin usein ajatellaankin (Carrion 2013). Kokonaisvolatilitteetti koostuu fundamentaalisesta sekä markkinakohinan aiheuttamasta hintavaihtelusta. Vaikka markkinakohinan vähentäminen tekeekin hinnoista tehokkaampia ja täten tehostaa niiden määräytymistä, usein tutkimuksissa tutkitaan HFT:n vaikutuksia kokonaisvolatilitteettiin. Näin teki esimerkiksi Hagströmer ja Nordén (2013) sekä Hasbrouck & Saar (2013). (Carrion 2013)

Tuloksista ja niitä koskevista rajoitteista ilmenee tarpeita aiheen jatkotutkimukselle. Useat tutkimuksista eivät huomioi markkinoiden pirstaloitumista riittävästi, koska niissä tutkitaan HFT:n vaikutuksia käyttämällä yksittäisten pörssien transaktiodataa. Tämä jättää huomiotta sen mahdollisuuden, että HFT:t saattavat harjoittaa erilaisia strategioita eri kauppapaikoilla samanaikaisesti. Myöskin erilaisten HFT-tyyppien määrittelyä pitäisi pyrkiä tarkentamaan sekä tutkia erityisesti näiden vaikutuksia markkinoihin. Useissa tutkimuksissa analysoidaan HFT:n vaikutuksia käyttämällä kaupankäyntidataa, joka on noin 10 vuotta vanhaa. Tämä herättää kysymyksen siitä, että ovatko tulokset edelleen ajantasaisia vuonna 2021, vai onko ultranopeiden kaupankävijöiden toimintamalleissa tapahtunut mahdollisesti jotain merkittäviä muutoksia viimeisimpien vuosien aikana? Ultranopeiden kaupankävijöiden muita ominaisuuksia ja niiden yhteyksiä markkinavaikutuksiin tulisi tutkia myös tarkemmin, sillä esimerkiksi Kang et al. (2020) havaitsivat, että ulkomaisella ja korealaisella HFT:llä oli erilaisia vaikutuksia Etelä-Korean osakemarkkinoiden volatilitteettiin. Myös Conrad et al. (2015) ehdottamaa automatisoitujen markkinatakaajien toiminnan sääntelyn vaikutuksia olisi syytä tutkia, sillä tällä voitaisiin mahdollisesti turvata likviditeetin saatavuus erittäin epästabiileissa markkinaolosuhteissa. Toisaalta sääntely saattaisi saada osan automatisoiduista markkinatakaajista lopettamaan markkinatakaajana toimimisen, ja harjoittamaan muita kaupankäyntistrategioita.

LÄHTEET

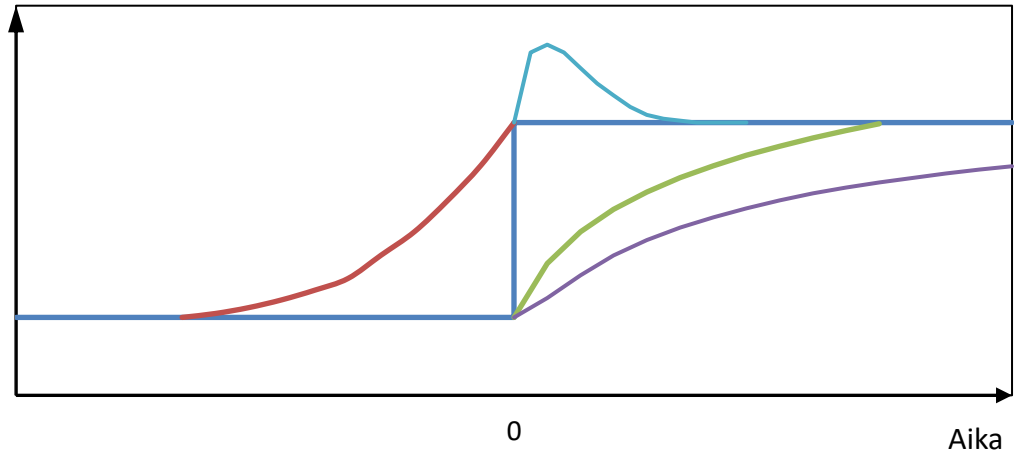
- Aldridge, I. 2013. *High-Frequency Trading: A Practical Guide to Algorithmic Strategies and Trading Systems*. John Wiley & Sons, Incorporated, New York.
- Bandi, F. M. & Russell, J. R. 2006, "Separating microstructure noise from volatility", *Journal of Financial Economics*, vol. 79, no. 3, pp. 655-692.
- Bandi, F. M. & Russell, J. R. 2008, "Microstructure Noise, Realized Variance, and Optimal Sampling", *The Review of Economic Studies*, vol. 75, no. 2, pp. 339-369.
- Barrales, E. O. 2012, "Lessons from the flash crash for the regulation of high-frequency traders", *Fordham Journal of Corporate & Financial Law*, vol. 17, no. 4, pp. 1195–1262.
- Bazzana, F. & Collini, A. 2020, "How does HFT activity impact market volatility and the bid-ask spread after an exogenous shock? An empirical analysis on S&P 500 ETF", *The North American Journal of Economics and Finance*, vol. 54, pp. 1–16.
- Benos, E. & Sagade, S. 2016, "Price discovery and the cross-section of high-frequency trading", *Journal of Financial Markets (Amsterdam, Netherlands)*, vol. 30, pp. 54–77.
- Berk, J. B. & DeMarzo, P. M. 2007, *Corporate finance*, Pearson Addison Wesley, Boston.
- Black, F. 1986, "Noise", *The Journal of Finance*, vol. 41, no. 3, pp. 529–543.
- Brealey, R. A., Myers, S. C. & Allen, F. 2020, *Principles of corporate finance*, 13th ed., McGraw-Hill Education, New York, NY.
- Brogaard, J. 2010, "High frequency trading and its impact on market quality", *Northwestern University Kellogg School of Management Working Paper*, vol. 66.
- Brogaard, J., Hendershott, T. & Riordan, R. 2014, "High-Frequency Trading and Price Discovery", *The Review of Financial Studies*, vol. 27, no. 8, pp. 2267–2306.
- Brogaard, J., Carrion, A., Moyaert, T., Riordan, R., Shkilko, A. & Sokolov, K. 2018, "High frequency trading and extreme price movements", *Journal of Financial Economics*, vol. 128, no. 2, pp. 253–265.
- Brown, G. B. 1999, "Volatility, Sentiment, and Noise Traders", *Financial Analysts Journal*, vol. 55, no. 2, pp. 82–90.
- Carrion, A. 2013, "Very fast money: High-frequency trading on the NASDAQ", *Journal of Financial Markets (Amsterdam, Netherlands)*, vol. 16, no. 4, pp. 680–711.
- Cartea, Á & Penalva, J. 2012, "Where is the Value in High Frequency Trading?", *The Quarterly Journal of Finance*, vol. 2, no. 3.
- Chordia, T. & Miao, B. 2020, "Market efficiency in real time: Evidence from low latency activity around earnings announcements", *Journal of Accounting and Economics*, vol. 70, no. 2-3, pp. 1–27.

- Conrad, J., Wahal, S. & Xiang, J. 2015, "High-frequency quoting, trading, and the efficiency of prices", *Journal of Financial Economics*, vol. 116, no. 2, pp. 271–291.
- Cosme, O. 2019, "Regulating High-Frequency Trading: The Case For Individual Criminal Liability", *The Journal of Criminal Law and Criminology*, vol. 109, no. 2, pp. 365–394.
- Cvitanic, J. & Kirilenko, A. A. 2010, "High Frequency Traders and Asset Prices", *SSRN Electronic Journal*.
- Fama, E. F. 1970, "Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work", *The Journal of Finance (New York)*, vol. 25, no. 2, pp. 383–417.
- Fama, E. F. 1991, "Efficient Capital Markets: II", *The Journal of Finance (New York)*, vol. 46, no. 5, pp. 1575–1617.
- Gomber, P., Arndt, B., Lutat, M. & Uhle, T. 2011, "High-Frequency Trading", *SSRN Electronic Journal*.
- Gorbatikov, E & Dobrynskaya, V. 2020, "Asymmetric Arbitrage Opportunities for Cross-Listed Stocks: Evidence from Russia", *Emerging Markets Finance and Trade*, vol. 56, no. 6, pp. 1402–1422.
- Gregoriou, G. 2015. *Handbook of High Frequency Trading*. Elsevier Science & Technology. San Diego.
- Grossman, S. J. & Stiglitz, J. E. 1980, "On the Impossibility of Informationally Efficient Markets", *The American Economic Review*, vol. 70, no. 3, pp. 393–408.
- Hagströmer, B. & Nordén, L. 2013, "The diversity of high-frequency traders", *Journal of Financial Markets*, vol. 16, no. 4, pp. 741–770.
- Hasbrouck, J. & Saar, G. 2013, "Low-latency trading", *Journal of Financial Markets (Amsterdam, Netherlands)*, vol. 16, no. 4, pp. 646–679.
- Hashimzade, N., Myles, G. & Black, J. 2017. *A Dictionary of Economics*. 5th ed. Oxford University Press, Oxford, England.
- Kang, J., Kwon, K. Y. & Kim, W. 2020, "Flow toxicity of high-frequency trading and its impact on price volatility: Evidence from the KOSPI 200 futures market", *The Journal of Futures Markets*, vol. 40, no. 2, pp. 164–191.
- Kirilenko, A., Kyle, A. S., Samadi, M. & Tuzun, T. 2017, "The Flash Crash: High-Frequency Trading in an Electronic Market", *The Journal of Finance*, vol. 72, no. 3, pp. 967–998.
- Knüpfer, S. & Puttonen, V. 2018, *Moderni rahoitus*, 10., uudistettu painos. Alma Talent Oy. Helsinki.
- Leone, V. & Kwabi, F. 2019, "High frequency trading, price discovery and market efficiency in the FTSE100", *Economics Letters*, vol. 181, pp. 174–177.
- Madhavan, A. 2012, "Exchange-Traded Funds, Market Structure, and the Flash Crash", *Financial Analysts Journal*, vol. 68, no. 4, pp. 20-35.

- Malkiel, B. G. 2003, "The Efficient Market Hypothesis and Its Critics", *The Journal of Economic Perspectives*, vol. 17, no. 1, pp. 59–82.
- McGowan, M. J. 2010, "The rise of computerized high frequency trading: use and controversy", *Duke Law and Technology Review*, vol. 2010, no. 16, pp. 1–17.
- Niskanen, J. & Niskanen, M. 2013, *Yritysrahoitus*, 7. uudistettu painos. Edita Publishing Oy. Helsinki.
- O'Hara, M. 2015. "High frequency market microstructure", *Journal of Financial Economics*, vol. 116, no. 2, pp. 257-270.
- Orlitzky, M. 2013, "Corporate Social Responsibility, Noise, and Stock Market Volatility", *The Academy of Management Perspectives*, vol. 27, no. 3, pp. 238–254.
- Roşu, I. 2009, "A Dynamic Model of the Limit Order Book", *The Review of Financial Studies*, vol. 22, no. 11, pp. 4601-4641.
- Riordan, R. & Storkenmaier, A. 2012, "Latency, liquidity and price discovery", *Journal of Financial Markets (Amsterdam, Netherlands)*, vol. 15, no. 4, pp. 416–437.
- Scholtus, M., van Dijk, D. & Frijns, B. 2014, "Speed, algorithmic trading, and market quality around macroeconomic news announcements", *Journal of Banking & Finance*, vol. 38, pp. 89–105.
- Teweles, R. J. & Bradley, E. S. 1998, *The Stock Market*, 7th edition, John Wiley & Sons, Inc.
- Virgilio, G. 2015, "High-frequency trading and the efficient market hypothesis", *The Business and Management Review*, vol. 6, no. 3, pp. 69–81.
- Werner, I. M. & Kleidon, A. W. 1996, "U.K. and U.S. Trading of British Cross-Listed Stocks: An Intraday Analysis of Market Integration", *The Review of Financial Studies*, vol. 9, no. 2, pp. 619–664.
- Williams, J. B. 1938, "The Theory of Investment Value", *Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts*.
- Zhang, F. 2010, "High-Frequency Trading, Stock Volatility, and Price Discovery", *SSRN Electronic Journal*.

LIITE A: KUVA 1

Osakkeen hinta



- Täydellisen tehokkaiden markkinoiden välitön reaktio
- Tehottomien markkinoiden ennakoiva reaktio, jossa osalla sijoittajista on pääsy eksklusiiviseen informaatioon
- Tehottomien markkinoiden viivästynyt reaktio, jossa informaation käsittelyssä on viivettä
- Tehottomien markkinoiden viivästynyt reaktio, jossa kaikkea informaatiota ei hyödynnetä
- Tehottomien markkinoiden ylireagointi positiivisiin uutisiin ja korjausliike

Kuva 1. Osakekurssin käyttäytyminen eri markkinaolosuhteissa osakkeen tuotto-odotusta parantavan informaation tultua julki (mukailtu lähteestä Knüpfer & Puttonen 2018, s. 168, 185).

LIITE B: TAULUKKO 1

Taulukko 1. Kirjallisuudessa esitetyt tulokset ultranopean kaupankäynnin vaikutuksista osakemarkkinoiden volatiliteettiin.

Tekijä	HFT:n vaikutus volatiliteettiin	HFT-strategiat, mikäli eritelty	Tarkasteltu markkinaympäristö
Brogaard (2010)	Enimmäkseen vähentävä	Ei eritelty	Normaali sekä kohonnut epävarmuus
Zhang (2010)	Lisäävä	Ei eritelty	Normaali sekä kohonnut epävarmuus
Cartea & Penalva (2012)	Lisäävä	Likviditeetin havaitseminen Arbitraasin etsintä	Normaali
Hagströmer & Nordén (2013)	Vähentävä	Automatisoitu markkinatakaus	Normaali sekä kohonnut epävarmuus
Hasbrouck & Saar (2013)	Vähentävä	Ei eritelty	Normaali sekä kohonnut epävarmuus
Brogaard et al. (2014)	Vähentävä	Automatisoitu markkinatakaus	Normaali sekä kohonnut epävarmuus
Scholtus et al. (2014)	Enimmäkseen lisäävä	Suuntaava kaupankäynti	Kohonnut epävarmuus
Brogaard et al. (2018)	Vähentävä Lisäävä	Automatisoitu markkinatakaus	Kohonnut epävarmuus
Bazzana & Collini (2020)	Lisäävä (Vähentävä)	Likviditeetin havaitseminen (Automatisoitu markkinatakaus Arbitraasin etsintä)	Normaali sekä kohonnut epävarmuus
Kang et al. (2020)	Vähentävä (Lisäävä)	Ei eritelty	Normaali epävarmuus (Kohonnut epävarmuus)

LIITE C: TAULUKKO 2

Taulukko 2. Kirjallisuudessa esitetyt tulokset ultranopean kaupankäynnin vaikutuksista osakemarkkinoiden hintojen tehokkaaseen määräytymiseen.

Tekijä	Onko HFT tehostanut hintojen määräytymistä?	HFT-strategiat, mikäli eritelty	Käytetyt arviointimenetelmät
Brogaard (2010)	Kyllä	Ei eritelty	Pysyvä hintavaikutus Informaation varianssihajotelma Jaetun informaation lähestymistapa
Zhang (2010)	Ei	Ei eritelty	Toteutuneiden hintojen vertaaminen analyttikkojen ennusteisiin ja yllättäviin kurssimuutoksiin
Riordan & Storckenmaier (2012)	Kyllä	Ei eritelty	Pysyvä hintavaikutus Informaation varianssihajotelma
Carrion (2013)	Kyllä	Ei eritelty	Tehokkuustestit
Brogaard et al. (2014)	Kyllä	Automatisoitu markkinatakaus	Hinnanmuutokset komponentoiva malli
Conrad et al. (2015)	Kyllä	Ei eritelty	Ehdottomat ja ehdolliset ekonometriset testit
Benos & Sagade (2016)	Kyllä	Automatisoitu markkinatakaus Arbitraasin etsintä Suuntaava kaupankäynti	Pysyvä hintavaikutus Informaation varianssihajotelma Hinnanmuutokset komponentoiva malli
Leone & Kwabi (2019)	Kyllä	Ei eritelty	Varianssisuhdetesti Moninkertaisen vertailun varianssitesti
Chordia & Miao (2020)	Kyllä	Suuntaava kaupankäynti	HFT:n hintavaikutusten kanssa korreloiva malli