



OULUN YLIOPISTO  
UNIVERSITY of OULU

OULUN YLIOPISTON KAUPPAKORKEAKOULU

**Wille Kuronen**

**ALGORITMINEN KAUPANKÄYNTI JA SEN VAIKUTUKSET  
MARKKINATEHOKKUUTEEN**

Kandidaatintutkielma

Kauppatieteet

Maaliskuu 2017

## SISÄLLYS

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>MARKKINATEHOKKUUS</b> .....	<b>6</b>
	2.1 Markkinatehokkuuden eri asteet.....	7
	2.2 Markkinatehokkuus ja kustannukset: .....	7
<b>3</b>	<b>ALGORITMINEN KAUPANKÄYNTI JA ULTRANOPEA KAUPANKÄYNTI</b> .....	<b>9</b>
	3.1 Sähköisen kaupankäynnin kehittyminen .....	11
	3.2 HFT:n yleistymisen .....	13
	3.3 HFT-strategiat .....	13
	3.3.1 Passiivinen markkinatakaaja .....	14
	3.3.2 Toimeksiantoanalyysiin perustuvat strategiat .....	14
	3.3.3 Tapahtuma-analyysiin perustuvat strategiat.....	15
	3.3.4 Tilastotieteellinen kaupankäynti .....	15
	3.4 Yhteissijainti ja algoritminen kaupankäynti.....	15
	3.5 Ultranopeaan kaupankäyntiin liittyviä haasteita.....	17
	3.6 Algoritmisen kaupankäynnin sääntely.....	18
	3.7 Algoritminen kaupankäynti ja hetkelliset arvopaperimarkkinoiden toimintahäiriöt .....	21
<b>4</b>	<b>VAIKUTUKSET MARKKINATEHOKKUUTEEN</b> .....	<b>23</b>
	4.1 Ihminen vastaan tietokone .....	24
<b>5</b>	<b>JOHTOPÄÄTÖKSET</b> .....	<b>26</b>
	<b>LÄHTEET</b> .....	<b>29</b>

## **KUVIOT**

**Kuvio 1. Arvopaperin hinnan reaktio uuteen tietoon. (mukaillen Knüpfer ja Puttonen 2014: 167) ..... 6**

**Kuvio 2. Yhteissijainnin havainnointikuvio. (mukaillen Boehmer, Fong & Wu 2015) ..... 17**

## **TAULUKOT**

**Taulukko 1. Aikajana pörssin toimintahäiriöistä vuosien 2010-2013 (mukaillen Goldstein ym. 2014)..... 22**

## 1 JOHDANTO

Algoritminen kaupankäynti (algorithmic trading) on tietokoneohjelmiin perustuvaa kaupankäyntiä, jossa toimeksiannot ja kaupat tehdään ilman ihmisen väliintuloa. Ihmisen rooli on vain luoda ja ylläpitää näitä tietokonejärjestelmiä, jotta ne toimivat juuri niille tarkoitettulla tavalla. Algoritmisen kaupankäynnin nopeaa muotoa kutsutaan ultranopeaksi kaupankäynniksi (high-frequency trading), jossa toimeksiannot toimivat lähes samalla tavalla kuin perinteisessä algoritmisessa kaupankäynnissä, mutta nämä toimeksiannot tapahtuvat huomattavasti nopeammin, jopa alle sekunnin murto-osissa.

Tutkielman päätavoitteena on selvittää algoritmista kaupankäyntiä ja sen toimintaperiaatteita. Tämän päätavoitteen lisäksi on tarkoitus tarkastella algoritmisen kaupankäynnin vaikutuksia markkinahokkuuteen. Näiden tavoitteiden pohjalta muodostuvat tutkimuskysymykset, jotka ovat seuraavat: onko algoritmisella kaupankäynnillä vaikutuksia markkinahokkuuteen sekä minkälaisia käytännön sovellutuksia algoritmisessa kaupankäynnissä käytetään. Tutkimuskysymysten avulla pyritään luomaan lisäarvoa tähän tutkimusaiheeseen analysoimalla ja ilmaisemalla asiat selkeästi ja suomenkielellä. Lähes kaikki aikaisempi tutkimus on englanninkielistä ja osittain myös vaikeasti ymmärrettävää henkilölle, joka ei ole perehtynyt aiheeseen aikaisemmin.

Tutkielman motivointi ja ajankohtaisuus liittyvät vahvasti osakemarkkinoiden aiempaan kehitykseen ja tulevaisuuden suuntaan, jotka puolestaan ovat tuloksia maailman teknologisoitumisesta. Teknologia on vahvasti läsnä nyt ja tulevaisuudessa ja tästä syystä tietokoneet ovat korvanneet suuren osan ihmisistä osakemarkkinoilla yksinkertaisesti siksi, että ihminen ei pärjää nopeudellaan ja päätöksenteon tarkkuudella tietokoneelle. Lisäksi on syytä huomioida, että algoritminen kaupankäynti on laajentunut globaaliksi ilmiöksi. Osittain myös tästä syystä tässä tutkimuksessa huomioidaan useita eri tutkimuksia eri puolelta maailmaa. Näin saadaan mahdollisimman kattava katsaus aiheeseen.

Julkinen tieto on kaikkien saatavilla silmänräpäyksessä. Tämä sinällään pitää paikkansa, mutta nykyisin tämä tieto voidaan hyödyntää paljon lyhyemmässä ajassa kuin mitä yksi silmänräpäys ajallisesti kestää. Esimerkkinä voidaan ottaa 18.

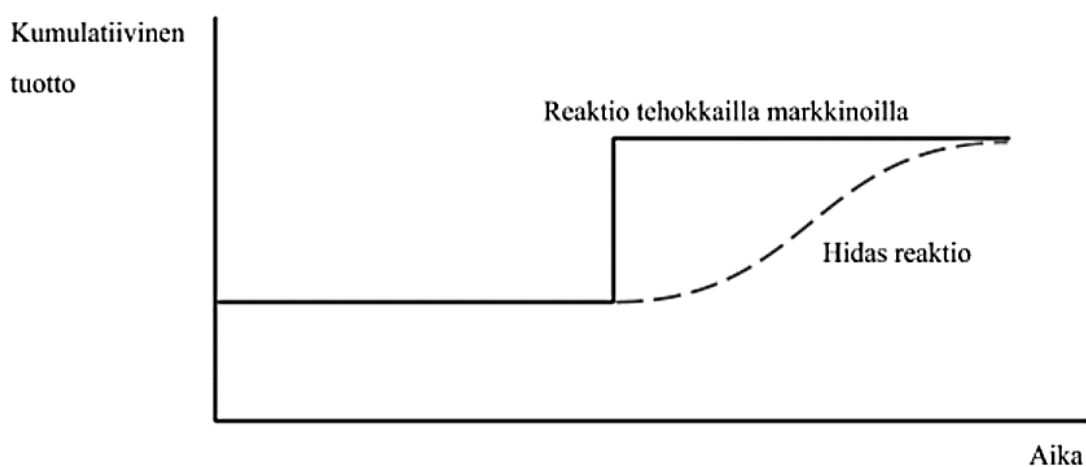
syyskuuta 2013 tapahtuma, jossa Yhdysvaltain keskuspankki julkaisi tiedotteen tasan kello 14.00 ja vain 0,00039 sekuntia tiedotteen julkaisun jälkeen SPY:n arvopapereilla oli ehditty käydä kauppaa jo noin viiden miljoonan Yhdysvaltain dollarin edestä (Goldstein, Kumar & Graves 2014). Kwon, Shipley, Edirisinghe, Ezra, Rose, Best ja Cameron (2013) mukaan yksi silmänräpäys kestää 300 millisekuntia eli 0,3 sekuntia. Vertaillen yhden silmänräpäyksen kestoa ja edellä mainittua tapahtumasarjaa voidaan todeta, että algoritmipohjainen ja erityisesti ultranopeakaupankäynti vievät ajalliset mittasuhteet aivan uudelle tasolle, jolla ihmisen on mahdotonta kilpailla.

Tutkielma etenee seuraavassa järjestyksessä: luvuissa 2-4 käsitellään tutkimuksen teoriaosuus. Tämä kyseinen teoriaosuus koostuu luvun 2 markkinatehokkuuden määrittämisestä ja sen eri osa-alueista. Luvussa 3 tarkastellaan algoritmista ja ultranopeaa kaupankäyntiä ja niihin liittyvää teoriaa. Luvussa 4 käsitellään puolestaan kyseisten kaupankäyntitapojen vaikutusta markkinatehokkuuteen. Tutkielman viimeisessä luvussa 5 esitellään tutkielman johtopäätökset.

## 2 MARKKINATEHOKKUUS

Markkinatehokkuuden teorialla on todella tärkeä rooli rahoitusmarkkinoiden toiminnan ymmärtämisen kannalta. Samalla tapaa tämä teoria liittyy vahvasti myös algoritmiseen kaupankäyntiin ja antaa hyvän pohjan sen ymmärtämiselle. On siis syytä käsitellä markkinatehokkuuden teoria tämän tutkielman alussa ja siirtyä vasta sitten algoritmiseen kaupankäyntiin ja siihen liittyvään teoriaan.

Yksi pääomamarkkinoiden tärkeimmistä tehtävistä on pääomien allokointi ja ihanteellisessa tilanteessa markkinat tarjoavat täsmällistä tietoa tätä edellä mainittua tehtävää varten. Tällaisilla markkinoilla, joilla sijoittajat voivat tehdä päätöksiä luottaen siihen, että arvopaperien hinnat sisältävät kaiken saatavilla olevan informaation kutsutaan tehokkaiksi markkinoiksi. (Fama 1970.) Tehokkailla markkinoilla uuden tiedon aiheuttama reaktio on välitön ja täsmällinen eli toisin sanoen arvopaperien hinnat reagoivat heti uuteen tietoon ja hinnat muuttuvat uuden tiedon mukaiselle tasolle. Kuviossa 1 havainnollistetaan uuden tiedon reaktiota hintaan. Kuvion 1 pystyakselilla kuvataan arvopapereihin liittyvää kumulatiivista tuottoa ja vaaka-akselilla puolestaan kuvastetaan aikaa. Yhtenäinen viiva kuvastaa tehokkaiden markkinoiden reaktiota hintaan, kun taas katkoviiva kuvastaa hidasta reaktiota.



Kuvio 1. Arvopaperin hinnan reaktio uuteen tietoon. (mukailten Knüpfer ja Puttonen 2014: 167)

## 2.1 Markkinatehokkuuden eri asteet

Markkinoiden tehokkuus voidaan jakaa kolmeen eri kategoriaan riippuen siitä kuinka paljon arvopaperien hinnat sisältävät informaatiota. Ensimmäisenä kategoriana on heikosti tehokkaat markkinat, joilla arvopaperien hinnat kuvastavat pelkästään historiallista tietoa. Seuraavaan kategoriaan eli keskivahvasti tehokkaiisiin markkinoihin kuuluvat arvopaperit, joiden hinnat kuvastavat historiallisen tiedon lisäksi kaiken nykyisesti saatavilla olevan julkisen tiedon esimerkiksi yritysten tulostiedotteet. Viimeinen kategoria on nimeltään vahvasti tehokkaat markkinat ja tällaisessa tilanteessa joillakin sijoittajilla on edellä mainittujen kategorioiden tietojen lisäksi pääsy monopolistiseen informaatioon, jota voidaan hyödyntää arvopaperien hinnoittelussa. Monopolistisella tiedolla tarkoitetaan tässä tapauksessa tietoa, joka on saatavilla vain yrityksen sisäpiirillä ja sitä voidaan kutsua myös sisäpiiritiedoksi. (Fama 1970.)

## 2.2 Markkinatehokkuus ja kustannukset:

Markkinoiden tehokkuutta käsiteltäessä on syytä huomioida myös seuraavia tekijöitä: arvopaperien transaktiokustannuksia, informaation hankkimiskustannuksia ja saatavilla olevan tiedon merkitystä arvopaperien hintoihin. Tilanteessa, jossa ei ole kumpaakaan edellä mainituista kustannuksista ja markkinoiden eri osapuolet ovat yhtä mieltä saatavilla olevan informaation vaikutuksista arvopaperien hintoihin, arvopaperien nykyhinnat kertovat kaiken informaation. Käytännössä kuitenkin syntyy tilanteita, joissa kaikkia yllä mainittuja ehtoja ei voida saavuttaa, mutta se ei tarkoita, etteikö markkinoita silti voisi kutsua tehokkaiksi, olettaen, että kyseinen tilanne on vain väliaikainen. (Fama 1970.)

Markkinoiden voidaan sanoa olevan tehokkaat, jos riittäväällä määrällä sijoittajia on vaivaton pääsy saatavilla olevaan informaatioon. Saatavilla olevan tiedon tulkinta voi tehdä markkinoista tehottomat vain, jos markkinoilla on sijoittajia, jotka kykenevät jatkuvasti tekemään muita parempia tulkintoja arvopaperien hinnoista. (Fama 1970.)

Informaation ja transaktiokustannusten monitulkintaisuus ei ole suurin ongelma markkinoiden tehokkuutta määriteltessä, vaan haastavinta on liitos-hypoteesi-ongelma

(joint-hypothesis problem). Liitos-hypoteesi-ongelman mukaan markkinatehokkuus on hankalasti testattavissa ja keino, jolla sitä voidaan yrittää testata, on, että testiin tulisi liittää jonkinlainen tasapaino-malli eli toisin sanoen jokin omaisuuserän hinnoittelumalli. Ongelmaksi tällaisessa testauksessa muodostuu se, että kuinka tarkasti tutkimuksessa voidaan määritellä informaation välittyminen arvopaperin hintaan. Tärkeää on myös, että kuinka hyvin saatu tulos voidaan tulkita vaikuttavan markkinoiden tehokkuuteen ja kuinka suuri vaikutus omaisuuserän hinnoittelumallin epätarkkuudella on. (Fama 1991.)



### 3 ALGORITMINEN KAUPANKÄYNTI JA ULTRANOPEA KAUPANKÄYNTI

Algoritmisella kaupankäynnillä tarkoitetaan tietokoneilla käytävää kauppaa, jossa kaupankäynnistä vastaavat algoritmit, jotka analysoivat markkinoilla olevaa informaatiota ja tekevät sen perusteella päätöksiä. Kun algoritmien avulla käytävä kauppa on erityisen nopeaa, on kyseessä tällöin algoritmisen kaupankäynnin yhdestä osa-alueesta nimeltään ultranopeakaupankäynti (high frequency trading). (Goldstein ym. 2014.) Tästä termistä voidaan käyttää myös lyhennettä HFT, joka viittaa toimenpiteeseen, jossa suoritetaan nopeat toimeksiannot esimerkiksi nopea ostotoimeksianto ja sen jälkeen nopea myyntitoimeksianto (Aldridge 2009: 21). Cartea ja Jaimungal (2013) määrittelevät algoritmisen kaupankäynnin ja HFT:n siten, että HFT on yksi algoritmisen kaupankäynnin osa-alueista, jonka avulla voidaan suorittaa eri toimenpiteitä alle 100 millisekunnin viiveellä (Cartea & Jaimungal 2013).

SEC:n (2010) eli Yhdysvaltain arvopaperimarkkinoita valvovan elimen määritelmän mukaan ultranopealla kaupankäynnillä on seuraavanlaiset piirteet:

- 1) Toiminnassa hyödynnetään erittäin nopeita ja pitkälle kehittyneitä algoritmeja.
- 2) Yhteissijaintien (co-location) sekä pörssien tarjoamien yksilöllisten tiedotteiden käyttäminen yhteysviiveen minimoimiseksi.
- 3) Kaupankäynnin kohteena olevien arvopaperien erittäin lyhyet omistusajat.
- 4) Lukuisten toimeksiantojen tekeminen ja niiden välitön peruminen.
- 5) Yön yli olevien omistusten minimointi.

Aiheen eri termien määritysten kuten ultranopean -, algoritmisen -, systemaattisen -, elektronisen -, ja alhaisen viiveen kaupankäynnin välillä vallitsee epäselvyyksiä ja Aldridge (2010: 23-24) selventää näiden eroavaisuuksia ja yhtäläisyyksiä. Ultranopealla kaupankäynnillä viitataan toimintaan, jossa sijoituksen kohteena olevia arvopapereita käsitellään nopeasti ja niitä pidetään hallussa vain lyhyen aikaa ja nämä päätökset eri toimeksiantoista perustuvat algoritmeihin. Kaikki algoritmit taas ovat luonnoltaan elektronisia, joten ne ovat osa elektronista kaupankäyntiä, mutta toisaalta kaikki elektroninen kaupankäynti ei ole algoritmista kaupankäyntiä. Samanlainen havainto voidaan tehdä myös algoritmisen ja ultranopean kaupankäynnin välillä.

Lähes kaikki ultranopean kaupankäynnin järjestelmät perustuvat algoritmeihin, mutta kaikki algoritminen kaupankäynti ei ole ultranopeaa. Alhaisen viiveen kaupankäynti voidaan sekoittaa ultranopean kaupankäynnin kanssa, mutta näiden välillä on eroavaisuuksia niiden toimintaperiaatteissa. Alhaisen viiveen kaupankäynnissä toimeksiannot suoritetaan nopeasti eli samalla tavalla kuin ultranopeassa, mutta tärkein ero on siinä, että alhaisen viiveen kaupankäynnissä ei pidetä tärkeänä arvopaperin pitoaikaa. Alhaisella viiveellä tarkoitetaan tässä tilanteessa toimeksiannon teon nopeutta ja ultranopeassa kaupankäynnissä hyödynnetään myös tätä alhaista viivettä. Eli käytännössä kaikki ultranopeakaupankäynti on alhaisen viiveen kaupankäyntiä, mutta alhaisen viiveen kaupankäynti ei ole ultranopeaa, vaikka niiden välillä onkin paljon samankaltaisuuksia. (Aldridge 2009: 23-24.)

Ultranopea kaupankäynti eli HFT on nimensä mukaisesti nopeaa. HFT:ssä informaatiota prosessoidaan erittäin nopeasti ja aikamääreet ovat viety uudelle tasolle. Tapahtumien eli toimeksiantojen käsittelemisen kesto voidaan mitata mikrosekuntein ja tarkoituksena on löytää hinnoitteluvirheitä, jotka poikkeavat tehokkaasta hinnasta ja hyödyntää nämä virheet. (Hendershott & Riordan 2013, Goldstein ym. 2014.)

HFT:t kilpailevat keskenään pienistä marginaaleista, jotka ovat esim. Narangin (2010) mukaan vain noin 0,001 Yhdysvaltain dollaria osaketta kohden ja tästä syystä HFT-yritysten täytyy käydä kauppaa suurilla volyyymeilla. (Goldstein ym. 2014, Narang 2010). Brogaard, Hendershott ja Riordan (2013) analysoivat vuosien 2008 ja 2009 aikana käytyä HFT-yritysten kaupankäyntiä ja heidän mukaansa keskimääräinen päiväkohtainen tuotto keskisuurilla osakkeilla on 173,77 Yhdysvaltain dollaria ja suurien yrityksen kohdalla vastaava summa on 6651,03 Yhdysvaltain dollaria (Brogaard ym. 2013). Jotta HFT-yritys saavuttaisi aiemmin mainitut voittomarginaalit, täytyy HFT-yrityksen päihittää kansakilpailijat nopeudessa, joka on yhä enenevässä määrin hankalampaa. Nopeudesta on tullut nykyisin jo niin kriittinen osa menestymistä HFT-alalla, että alan yritysten täytyy miettiä kuinka pitkä yhteyskaapeli heidän yrityksen ja kaupankäyntipaikan välillä sijaitsee, jotta voidaan päihittää muut kilpailijat ja tämän aiheen tärkeyden vuoksi sitä tarkastellaan vielä tämän tutkielman loppupuolella tarkemmin. Alan teknologia uudistuu jatkuvalla tahdilla nostaen toiminnan kustannuksia ja samalla vähentäen kilpailuetua eri toimijoiden välillä sekä pienentänyt HFT:n voittomarginaalia viime vuosien aikana. Edellisessä virkkeessä

mainitusta trendistä, joka liittyy algoritmiseen kaupankäyntiin, voidaan käyttää myös termiä yhteiskunnallisesti turha kilpavarustelu (socially wasteful arms race). Konkreettisenä esimerkkinä tästä yhteiskunnallisesti turhasta kilpavarustelusta voidaan mainita vuoden 2010 rakennusprojekti, jossa asennettiin uusi ja entistä lyhyempi valokuitukaapeli New Yorkin ja Chicagon arvopaperimarkkinoiden välille lyhentäen samalla tiedonsiirtonopeuden kesto 16 millisekunnista 13 millisekuntiin. Rakennusprojektin arvioidut kustannukset ovat suurin piirtein 300 miljoonaa Yhdysvaltain dollaria, mutta nämä pieneltä kuulostavat parannukset ovat alalla toimijoiden kilpailuedun kannalta erittäin tärkeitä. (Goldstein ym. 2014, Budish ym. 2015.)

### **3.1 Sähköisen kaupankäynnin kehittyminen**

Arvopaperimarkkinoiden kehittymiseen liittyy monia erilaisia vaiheita, jotka ovat kukin muokanneet siitä sellaisen kuten se nykyisin tunnetaan. Nykyinen elektroninen kehittyminen ja automatisoituminen on tullut jäädäkseen ja mitä luultavammin paluuta entiseen ei enää ole. Tästä huolimatta on syytä tarkastella aiheen historiaa, jotta ymmärretään paremmin nykyistä tilaa ja tulevaisuuden kehityssuuntia.

Hieman yli 200 vuotta sitten, vuonna 1792 24 meklaria tapasivat amerikanplataanipuun alla, josta sitten myöhemmin erinäisten tapahtumien seurauksena muodostui tunnettu kauppapaikka nimeltään New Yorkin pörssi (New York Stock Exchange) (Stoll 2006). New Yorkin pörssistä voidaan käyttää myös lyhennettä NYSE, jota tässäkin tutkimuksessa tullaan myöhemmin käyttämään. Aluksi arvopapereiden kaupankäynti tapahtui kasvotusten ja esimerkiksi NYSE:ssä kaupankäyntiä suoritettiin fyysisesti tietystä toimipaikasta käsin. Toimipaikka ei ole nykyisin enää niinkään fyysinen, vaan siitä on muodostunut järjestelmä, jossa tietokoneet hoitavat lähes kaiken kaupankäyntiin liittyvät toimenpiteet melkein kokonaan ilman ihmisen väliintuloa. (Stoll 2006.)

Arvopaperimarkkinat ovat yksinkertaisin muoto rahoituksen välittäjistä, jonka tehtävänä on välittää omistusoikeuksia sijoittajien kesken. Tämä kyseinen välittäminen olisi helppo tehtävä, jos markkinoiden osapuolilla olisi yhteisymmärrys arvopapereiden hinnan ja määrän suhteen, mutta tällaisia tilanteita tapahtuu vain harvoin.

Tämän seurauksena markkinoiden täytyy etsiä arvopaperien myyjille ostajia ja toisinpäin sekä tarjota likviditeettiä, jos toista osapuolta ei löydy. (Stoll 2006.)

Arvopaperien kaupankäynti alkaa siitä, kun sijoittaja ilmoittaa myynti- tai ostotoimeksiantonsa välittäjälleen. Yleisimpiä toimeksiantoja ovat markkinatoimeksianto (market order) ja rajahintatoimeksianto (limit order). Markkinatoimeksiannossa välittäjä suorittaa halutun toimeksiannon välittömästi parhaimpaan mahdolliseen hintaan. Rajahintatoimeksiannossa välittäjä suorittaa toimeksiannon vasta, kun arvopaperin hinta ylittää tai alittaa tietyn ennalta määrätyn rajahinnan. (Stoll 2006.)

Elektroninen kaupankäynti ei ole mikään uusi keksintö, sillä jo yli 40 vuotta sitten Black (1971) mainitsee, että täysin automatisoitu kaupankäyntijärjestelmä poistaisi arvopaperimarkkinoilta ylimääräisten välikäsien tarpeen. Black (1971) mainitsee myös, että arvopaperimarkkinat voitaisiin järjestää siten, että ne perustuisivat erilaisiin tietokoneverkostoihin, jotka hoitaisivat arvopapereiden välittämisen vähentäen samalla kaupankäynnin kustannuksia vaikuttamatta kuitenkaan osakkeiden hintojen stabiilisuuteen.

Elektronisen kaupankäyntiverkoston (Electronic Communications Network ja lyhenne ECN) automatisoituminen on juuri sellainen järjestelmä, josta jo Black vuonna 1971 artikkelissaan mainitsee. ECN-järjestelmät hoitavat automaattisesti prosessin, joka liittyy arvopapereiden välittämiseen, mutta kyseessä oleva järjestelmä ei puutu itse välittämiseen ja siihen liittyviin päätöksiin. ECN-järjestelmä toimii käytännössä siten, että se yhdistää järjestelmään sisään tulevat rajahintatoimeksiannot ja markkinatoimeksiannot keskenään. (Stoll 2006.)

Tietokoneilla on nykyisin tärkeä rooli arvopapereiden välityksessä, mutta suurimman osan sijoitukseen liittyvistä päätöksistä tekee vielä ihminen. Tulevaisuudessa päätösvalta voi siirtyä yhä enemmän tietokoneiden vastuulle ja näin algoritmisessa kaupankäynnissä on käynyt, sillä niissä tietokoneet tekevät sijoituspäätöksiä tietokonealgoritmeihin perustuen ilman ihmisen väliintuloa. Eräs hyvin yleinen kaupankäynnin muoto on nykyisin tietokonepohjainen kaupankäynti. Kuten esimerkiksi algoritmisen- tai HFT-kaupankäynti. NYSE määrittelee

tietokoneohjelmapohjaisen kaupankäyntijärjestelmän siten, että se on järjestelmä, joka käy kauppaa 15 tai useammalla eri arvopapereilla, joiden yhteisarvo on vähintään miljoona Yhdysvaltain dollaria. (Stoll 2006.)

Elektroninen kaupankäynti on parantanut arvopaperimarkkinoiden tehokkuutta ja näin ollen myös vähentänyt kustannuksia, jotka liittyvät likviditeetin parantamiseen markkinoilla sekä lisännyt hintaan liittyvien signaalien tarkkuutta. Elektroninen kaupankäynti hyödyttää myös sijoittaa siten, että se parantaa nopeutta ja alentaa kaupankäynnin kustannuksia. Tietokoneiden käyttöön kuitenkin liittyy myös toimintahäiriöt ja erilaiset virheet, jotka voitaisiin välttää manuaalisella kaupankäynnillä. (Stoll 2006.)

### **3.2 HFT:n yleistyminen**

HFT:n kehittyminen on tapahtunut suhteellisen nopeasti. Viimeisten vuosikymmenien aikana rahoitusmarkkinat ovat kehittyneet fyysisesti pörssissä esimerkiksi NYSE:n pörssirakennuksessa tehtävästä kaupasta virtuaaliseen kaupankäyntiin kuten NASDAQ:iin. HFT:n puolestapuhujat näkevät nopean kaupankäynnin korkeine volyymeineen yhtenä osana tätä edellä mainittua kehityksen kaarta. (Goldstein ym. 2014.)

Vuoden 1998 SEC:n uusien säännösten myötä tietokoneilla käytävä arvopaperikauppa alkoi yleistyä. 2000-luvun alussa HFT:n osuus Yhdysvaltojen pääomamarkkinoista oli alle 10 prosenttia, kun taas vuoden 2012 loppupuolella vastaava luku oli noin 50 prosenttia. HFT:n osuus vuoden 2012 loppupuolella Euroopan Unionin alueella oli noin 45 prosenttia, Japanissa 40 prosenttia ja muualla Aasiassa luku oli noin 12 prosenttia. Kun vielä vuosituhaten alussa toimeksiantojen kestoa mitattiin muutamissa sekunneissa, nykyisin toimeksiannot mitataan jopa milli- tai mikrosekunneissa. (Goldstein ym. 2014.)

### **3.3 HFT-strategiat**

Ultranopean kaupankäynnin strategiat voidaan jakaa kategorioihin monella eri tavalla riippuen eri tekijöistä ja tarkoituksiperiaatteista. Tätä tutkielmaa varten on valittu

Goldstein ym. (2014) tapa kategorisoida strategiat. Tämä tapa on valittu siksi, että se on yksi selkeimmistä ja yksinkertaisimmista tavoista käsittää yleisimmät strategiat. Goldstein ym. (2014) jakavat algoritmiset kaupankäyntistrategiat neljään eri HFT-kategoriaan ja HFT-yritykset voivat käyttää yhtä tai useampaa näistä strategioista.

### 3.3.1 Passiivinen markkinatakaaja

Ensimmäisenä kategoriana on passiivisen markkinatakaajan rooli. Tämän strategian tarkoituksena on tasata arvopaperimarkkinoilla vallitsevia hetkellisiä kysynnän ja tarjonnan epätasaisuuksia, jotka haittaavat kaupankäyntiä. HFT-yritys suorittaa nopeasti tilanteeseen sopivia toimeksiantoja kuten myyntitoimeksiantoja taatakseen sujuvan kaupankäynnin markkinoilla. (Goldstein ym. 2014.) Tyypillinen pitoaika arvopapereille tässä strategiassa on alle yksi minuutti (Aldridge 2009: 5). Kaupankäyntivolyymin ja osto- ja myyntikurssin erotus ovat negatiivisesti korreloituneita eli kaupankäyntivolyymin ollessa korkea osto- ja myyntikurssin erotus on alhainen. Osto- ja myyntikurssien erotuksella on vaikutusta myös markkinoiden likviditeettiin, joka on positiivisesti korreloitunut markkinoiden tehokkuuden suhteen. (Karpoff 1986, Chordia, Roll & Subrahmanyam 2000, Chung & Hrazdil 2010.) Kannustimena HFT-yritykselle toimii osto- ja myyntikurssin erotus, jonka avulla yritys voi tehdä tuottoa toimiessaan passiivisena markkinatakaajana. Toinen ansaintamalli passiiviselle markkinatakaajalle on niin kutsuttu hyvityskaupankäynti (rebate trading), jossa HFT-yritykselle maksetaan markkinoiden likviditeetin parantamisesta arvopaperikohtaisia palkkioita noin 0,25-0,30 USD esimerkiksi jokaisesta HFT-yrityksen myymästä tai ostamasta arvopaperista. (Goldstein ym. 2014.)

### 3.3.2 Toimeksiantoanalyysiin perustuvat strategiat

Toisena kategoriana on toimeksiantoanalyysiin perustuvien strategioiden käyttö. Tätä strategiaa käyttävät HFT-yritykset analysoivat markkinoiden eri toimeksiantoja tavoitteenaan löytää niistä hyödyllistä tietoa arvopaperin tulevasta kehityksen suunnasta. Käytännössä yritys voi tutkia suuria määriä osakkeita ja löytää niiden joukosta epänormaaleja hinta poikkeamia tai kaupankäyntimääriä ja tehdä niiden pohjalta johtopäätöksiä arvopaperin hinnan kehityksestä. (Goldstein ym. 2014.)

Tyypillinen arvopaperien pitoaika tässä strategiassa on alle 10 minuuttia (Aldridge 2009: 5).

### 3.3.3 Tapahtuma-analyyseihiin perustuvat strategiat

Kolmantena kategoriana on tapahtuma-analyyseihiin perustuvat strategiat. Tässä strategiassa yritetään hyödyntää mahdollisimman nopeasti sellaista tietoa, joka ei ole vielä heijastunut arvopaperin hintaan. Tällaista tietoa voi olla esimerkiksi yritysten tiedotteet tai uutiset, jotka liittyvät yrityksen toimintaan ja sitä kautta markkinahintoihin. Algoritmeihin perustuvat ohjelmistot analysoivat uuden tiedon ja tekevät tarvittavat toimeksiannot sen tiedon perusteella. Nopeudella on suuri painoarvo, sillä vain nopeimmat yritykset ehtivät hyödyntämään hinnoitteluvirheet. Jotkut uutistoimistot tarjoavat HFT-yrityksille tiivistelmiä uutisista vähentäen yrityksen tarvetta suorittaa analyyseja uutisten perusteella ja lisäksi jotkut HFT-yritykset maksavat siitä, että saavat tiedotteet etukäteen ennen muita. (Goldstein ym. 2014.) Tyypillinen pitoaika arvopapereille tässä strategiassa on alle yksi tunti (Aldridge 2009: 5).

### 3.3.4 Tilastotieteellinen kaupankäynti

Viimeisin strategia on nimeltään tilastotieteellinen kaupankäynti. Tässä strategiassa on kyse hetkellisten epäjohdonmukaisuuksien löytämisestä ja hyödyntämisestä. Näitä epäjohdonmukaisuuksia voi syntyä, kun pitkän aikavälin sijoittajat käyvät kauppaa arvopapereilla ja aiheuttavat toiminnallaan arvopaperien hintamuutoksia, jotka levittyvät koko markkinoille. HFT-yritykset yrittävät hyödyntää näitä hintamuutoksia määrittämällä tiettyjä korrelaatioita eri arvopaperien välille ja kun korrelaatioissa huomataan epäjohdonmukaisuuksia, suoritetaan sen mukaiset toimeksiannot. (Goldstein ym. 2014.) Tyypillinen pitoaika arvopapereille tässä strategiassa on alle yksi vuorokausi (Aldridge 2009).

## 3.4 Yhteissijainti ja algoritminen kaupankäynti

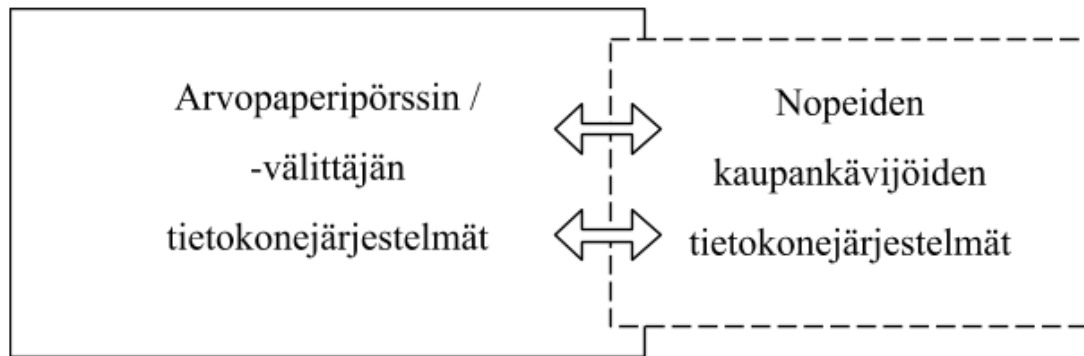
Kaupankäynti on nykyisin niin nopeaa, että pelkät nopeat yhteydet ja algoritmit eivät enää yksinään riitä. Jos haluaa päihittää kilpailijat nopeudella, niin lähes ainoa ratkaisu

on sijaita maantieteellisesti lähellä arvopaperipörssin tai -välittäjän tietokonejärjestelmiä. Muun muassa arvopaperipörssit ja elektroniset kaupankäyntiverkostot ovat hyödyntäneet tämän kauppaamalla tilaa omien tietokonejärjestelmiensä läheisyydestä. Esimerkiksi CME Group rakennutti yli 130 000 neliömetrin datakeskuksen Chicagoon tarkoituksenaan kaupata yhteissijaintipalveluita. (Bowley 2011, Angel & McCabe 2013.)

Etäisyydellä markkinoihin on siis merkitystä. Ne välittäjät, jotka ovat lähimpänä markkinoita pääsevät ensimmäisenä näkemään markkinoiden liikkeitä. Aiemmin lähimmäksi markkinoita sai pääsyn, kun osti oman niin sanotun istumapaikan arvopaperipörssistä, mutta nykyisin sama asia tapahtuu yhteissijaintien avulla. Yhteissijainti tarkoittaa, kun arvopaperipörssi vuokraa toimitilaa kaupankäyntipaikan välittömästä läheisyydestä arvopaperien välittäjälle. Ultranopeaa kaupankäyntiä hyödyntävät yritykset etsivät keinoja, joiden avulla he voivat nopeudessa päihittää kilpailijansa ja yhteissijaintien avulla tämä on mahdollista. Yhteissijainnit ovat syntyneet ultranopean kaupankäynnin seurauksena. Tämä voidaan perustella siten, että arvopaperipörssit ovat päättäneet tarjota yhteissijainteja, sillä ultranopean kaupankäynnin yritykset vaativat nopeita toimeksiantoja. (Aitken, Cumming & Feng 2014, Brogaard, Hagströmer, Nordén & Ryan 2015.)

Kuviossa 2 havainnollistetaan yhteissijaintien toimintaa käytännössä. Vasemman puolen laatikko kuvastaa arvopaperipörssin tai -välittäjän tietokonejärjestelmiä ja oikea puoli nopeiden kaupankävijöiden tietokonejärjestelmiä. Nopeilla kaupankävijöillä voidaan tässä yhteydessä viitata algoritmisiin kaupankävijöihin. Kuvion 2 nuolet kuvastavat informaation välittymistä tietokonejärjestelmästä toiseen. Tietokonejärjestelmät sijaitsevat siis fyysisesti lähekkäin ja tästä syystä kuviossa 2 tietokonejärjestelmiä kuvaavat laatikot ovat aseteltu limittäin havainnollistamaan tätä lyhyttä etäisyyttä.





**Kuvio 2. Yhteissijainnin havainnointikuvio. (mukaillen Boehmer, Fong & Wu 2015)**

Vuonna 2012 NASDAQ OMX Tukholman pörssi kehitti yhteissijaintiin liittyviä palveluitaan ja Brogaard ym. (2015) käyttävät tätä tapahtumaa analysoidessaan yhteissijaintien vaikutusta markkinoiden likviditeettiin. Suurin osa tutkimuksista esittää teknologian kehittymisen parantavan markkinoiden likviditeettiä, mutta vain harva tutkimus esittää empiiristä evidenssiä väitteen tueksi, että mitä kanavia pitkin hyödyt välittyvät. Yhteissijaintien tuoma parempi nopeus parantaa yleisesti markkinoiden likviditeettiä ja tämä hyöty välittyy sekä hitaille, että nopeille sijoittajille. Nopeille sijoittajille kohdistuva hyöty on informaation hyödyntämisen etu, sillä he saavat yhteissijaintien avulla hyödynnettyä uuden tiedon nopeammin. Tämä nopeiden sijoittajien saama hyöty välittyy hitaille sijoittajille pienemmän osto- ja myyntikurssin erotuksen muodossa. (Brogaard ym. 2015.)

### **3.5 Ultranopeaan kaupankäyntiin liittyviä haasteita**

Ultranopeaan kaupankäyntiin liittyy useita erilaisia haasteita. Ensimmäinen haaste on käsitellä tarpeeksi dataa, jonka perusteella toimintoja voidaan suorittaa. Kyseessä on päivänsisäinen data (intra-day data), joka poikkeaa päiväkohtaisesta datasta siten, että se on runsaampaa ja epäsäännöllisempää vaatien uudenlaisia työkaluja ja tapoja käsitellä sitä. Luotettavan ultranopean kaupankäyntijärjestelmän kehittäminen vaatii dataa vähintään neljän vuoden ajalta, jotta kaupankäyntijärjestelmän riskit voidaan tarpeeksi kattavasti havaita ja tutkia. (Aldridge 2009: 4.)

Ultranopeakaupankäynti on nimensä mukaisesti erittäin nopeaa ja siihen liittyvät erilaiset virheet korostuvat, sillä ihminen ei ehdi aina korjaamaan kaikkia virheitään

välittömästi. Toinen haaste siis liittyy signaalien tarkkuuteen, sillä tuotot voivat kääntyä nopeasti tappioiksi. Tästä syystä signaalien tulee olla sen verran tarkkoja, että ne laukaisevat toimeksiannot oikeaoppisesti jopa sekunnin murto-osassa. (Aldridge 2009: 4.)

Kolmas haaste on toimeksiantojen nopeus. Ainoa luotettava tapa, jolla voidaan saavuttaa toimeksiantojen vaadittava nopeus ja tarkkuus on tietokoneiden mahdollistama automaatio. Ultranopean kaupankäyntijärjestelmän ohjelmointi vaatii edistyneitä taitoja ohjelmistojen kehittämisestä. (Aldridge 2009: 4-5.)

Tietokoneisiin on aina liittynyt erilaisten haittaohjelmien uhka, eivätkä ultranopeiden kaupankävijöiden tietokoneet ole poikkeus tässä asiassa. Nämä haittaohjelmat ovat yksittäiselle henkilölle lähinnä vain kiusaa, mutta ultranopeille kaupankävijöille nämä ohjelmat voivat aiheuttaa suuriakin tappioita. Kyseessä olevien järjestelmien ylläpitoon liittyy siis erilaisia operatiivisia haasteita kuten esimerkiksi tietokonevirukset ja muut tietoturvaan liittyvät uhat, jotka voivat lamaannuttaa käytössä olevan ultranopean järjestelmän (Aldridge 2009: 5).

Ultranopeakaupankäynti on vahvasti kilpailtu ala ja toimintaan liittyy paljon juoksevia kustannuksia. Viimeisenä haasteena voidaan siis mainita kustannukset. Ultranopeaa kaupankäyntijärjestelmää käyttävän yrityksen tulee jatkuvasti ylläpitää ja kehittää järjestelmiään, jotta se pysyisi kilpailussa mukana. (Aldridge 2009: 5.)

### **3.6 Algoritmisen kaupankäynnin sääntely**

Algoritmista kaupankäyntiä on syytä säädellä. Tämä voidaan todeta myös seuraavan kappaleen taulukon 1 mukaan, jossa käsitellään erilaisia toimintahäiriöitä mitä arvopaperipörssiä on tapahtunut ainakin osittain algoritmisen kaupankäynnin seurauksena. Ensiksi on kuitenkin hyvä käydä läpi, kuinka algoritmista kaupankäyntiä säädellään ja miksi.

Algoritmisen kaupankäynti saattaa olla monelle tuttu erilaisista uutisista, jotka liittyvät äkillisiin pörssiromahduksiin tai nousuihin. Menkveld (2014) toteaa, että algoritmisen kaupankäynti ja erityisesti ultranopeakaupankäynti herättivät suuren

yleisön huomion muutamien äärimmäisten kurssiromahdusten tai -nousujen seurauksena, joita on tapahtunut viime vuosien aikana. Yhtenä esimerkkinä voidaan mainita 2010 salamaromahdus (Flash Crash), jota käsitellään lisää tämän tutkielman seuraavassa kappaleessa tarkemmin.

Euroopan unionin neuvoston ja Euroopan parlamentin (2014) MiFID II-direktiivissä (Markets in Financial Instruments Directive) otetaan kantaa algoritmiseen kaupankäyntiin ja sen sääntelyyn. Kaupankäyntiteknologian katsotaan kehittyneen huomattavasti viimeisen vuosikymmenen aikana ja se on laajasti käytössä markkinoiden eri osapuolilla. Tämä toiminta luo mukanaan riskejä ja näitä riskejä on syytä säännellä. Jo ennen MiFID II-direktiiviä Euroopan Unionissa käsiteltiin teknologian ja rahoitusmarkkinoiden suhdetta muun muassa vuonna 2007, jolloin MiFID I-direktiivi astui voimaan. (Lenglet 2011, The European Parliament and The Council of The European Union 2014.)

Usein mainitaan, että sääntely hankaloittaa innovaatioita, mutta Euroopassa tehdyt säännökset esimerkiksi edellä mainittu MiFID I-direktiivi on osiltaan edes auttanut algoritmisen kaupankäynnin kehittymistä. Euroopan rahoitusalan kehityksen katsotaan olevan riippuvainen kahdesta tekijästä. Ensimmäinen tekijä liittyy kilpailun kehittämiseen eri toimeksiantojen toteuttamipaikkojen välillä poistamalla niin kutsuttu keskittymäsääntö (concentration rule), joka tekee pakolliseksi rahoitusten instrumenttien kaupankäynnin keskitetyillä markkinoilla. Keskittymäsääntö on vielä voimassa joissakin eurooppalaisissa valtioissa. Toinen tekijä liittyy asiakkaiden riittävään suojaamiseen markkinoiden eri riskeiltä ja käytännön esimerkkinä tästä suojaamisesta voidaan mainita parhaimman toimeenpanon periaate (best execution). Tämän periaatteen mukaan sijoitusyritysten täytyy todistaa dokumenttien avulla käyttäneensä parhaita toimeenpanoa, kun he hallinnoivat ja sijoittavat asiakkaidensa omaisuutta. (Lenglet 2011.)

Teknologisella tasolla tämä edellisessä kappaleessa mainittu kilpailun kehittämistä koskeva vaatimus edellyttää toimeksiantojen ohjaamisen siten, että toimeksiantojen toteutumipaikat kilpailevat keskenään toimeksiannoista tarjoamalla samalla parhaan mahdollisen likviditeetin. Mahdollistamalla välittömän vertailun eri toimintapaikkojen kesken, pystyvät eri arvopapereita välittävät yritykset suorittamaan

asiakkaidensa toimeksiantoja paremmin asiakkaita hyödyttävällä tavalla. Tästä edellä mainitusta toimintatavasta voidaan käyttää termiä älykäs toimeksiantojen välitys (smart order routing) ja tämä toimintatapa on suunniteltu ja kehitelty suorittamaan toimeksiantoja millisekuntien sisällä. Tätä nopeutta on ihmisen mahdotonta päihittää. Euroopassa käytössä olevat algoritmiset innovaatiot ovat kehittyneet eurooppalaisten säännösten sallimissa puitteissa ja niillä on ollut vaikutusta eri markkinoiden osapuolten rooleihin. Yksi esimerkki on arvopaperivälittäjät, jotka aikaisemmin loivat suuren painoarvon taidoilleen välittää kattavaa informaatiota arvopapereista asiakkailleen. Nykyään he pääsääntöisesti arvostavat enemmän nopeita kykyjään käsitellä toimeksiantoja markkinoilla ja tämä on seurausta algoritmisen kaupankäynnin kehittymisestä. (Foucault & Menkveld 2008, Lenglet 2011.)

Joillakin Euroopassa toimivilla arvopaperimarkkinoilla on erilainen suhtautuminen algoritmeihin kuin taas toisilla. Jotkut ovat erittäin tiukkoja algoritmien käyttämisestä ja toiset eivät. Jos arvopapereiden välittäjä haluaa käydä algoritmien avulla kauppaa Irlannin arvopaperipörssissä (Irish Stock Exchange), Saksan arvopaperipörssissä (Deutsche Börse) tai Sveitsin markkinoilla, tulee välittäjän käydä läpi kelpuutusprosessi. Tämän prosessin tarkoituksena on selvittää muun muassa algoritmien käyttötarkoitus, toimintatavat, kontrollointi, monitorointi, johon sisältyy myös niin kutsuttu paniikkipainike, jonka avulla voidaan keskeyttää algoritmit tarpeen vaatiessa. Yritysten täytyy ilmoittaa myös algoritmien vastuuhenkilön tiedot, jotta tarpeen vaatiessa voidaan olla yhteydessä, jos algoritmeista aiheutuu jotakin haittaa tai muuta vastaavaa. Näin arvopaperimarkkinoilla on mahdollisuus antaa sanktioita tapahtumista, jotka johtuvat algoritmien väärinkäytöksistä. (Lenglet 2011.)

Muilla Euroopassa toimivilla arvopaperimarkkinoilla on käytössään erilaiset toimintatavat. Esimerkkeinä voidaan mainita muun muassa Euronext ja Lontoon arvopaperipörssi (London Stock Exchange), jotka eivät kysy tietoja liittyen järjestelmiin, joiden avulla suoritetaan markkinatoimeksiantoja. Sen sijaan tällaisilla arvopaperimarkkinoilla painotetaan sekä sijoitusyritysten, että välittäjien omaa vastuuta ja algoritmien käyttäjät ovat vastuussa omista markkinatoimeksiannoistaan. (Lenglet 2011.)

SEC ja suurin osa Yhdysvaltojen arvopaperimarkkinapaikoista käynnistivät uuden ohjelman nimeltään ääriraja (limit up-limit down), joka pysäyttää kaupankäynnin 15 sekunniksi tiettyjen arvopapereiden kohdalla, jos hinta laskee yli 5-10 prosenttia viimeisestä kaupankäyntihinnasta. Jos hinta ei korjaannu tämän edellä mainitun aikamääreen sisällä, kaupankäynnin pysäytystä jatketaan vielä viiden minuutin ajaksi. Lisäksi on olemassa järjestelmiä, jotka voivat pysäyttää koko markkinoiden kaupankäynnin, mutta näihin kyseisiin järjestelmiin on jouduttu turvautumaan vain harvoin. (Goldstein & Kavajecz 2004, Goldstein ym. 2014.)

### **3.7 Algoritminen kaupankäynti ja hetkelliset arvopaperimarkkinoiden toimintahäiriöt**

Muutaman äärimmäisen, vaikkakin suppean hinnan pudotuksen johdosta, joita on tapahtunut viime vuosien aikana, nopea tietokoneilla käytävä kaupankäynti on herättänyt mielenkiintoa asiaa kohtaan myös kansan keskuudessa. Yhtenä esimerkkinä voidaan mainita toukokuussa 2010 tapahtunut hetkellinen pörssiromahdus, jota voidaan kutsua termillä salama romahdus (flash crash). Tämän kyseisen tapahtuman epäillään johtuneen algoritmipohjaisesta myyntitoimeksiannosta, jonka kaupankäynnin kohteena oli E-Mini S&P500-johdannaiset. (Goldstein ym. 2014, Kirilenko, Kyle, Samadi & Tuzun 2017.)

Biais, Foucault ja Moinas (2011) mainitsevat, että heidän luoma malli antaa yhden mahdollisen syyn hetkellisille markkinoiden toimintahäiriöille. Mallin mukaan markkinoiden poikkeaminen tasapainotilastaan johtuu hetkellisestä epäkoordinaatiosta, jona aikana ultranopeat kaupankävijät tekevät aggressiivisesti toimeksiantoja. Nämä toimeksiannot taas puolestaan laukaisevat suuret hintapoikkeamat, jotka markkinat sitten myöhemmin korjaavat. (Biais ym. 2011.)

Finanssialan sääntelyviranomaisen (Financial Industry Regulatory Authority ja lyhenne FINRA) on Yhdysvalloissa toimiva viranomaisen, jonka vastuulla on osittain myös valvoa algoritmista kaupankäyntiä muun toiminnan ohessa. FINRA (2014) on todennut lausunnossaan, että ultranopeaa kaupankäyntiä on syytä valvoa ja erityisesti haitallisia algoritmeja. Tämä FINRA:n linjaus johtuu siitä, että haitallisilla algoritmeilla voi olla laajat negatiiviset vaikutukset.

**Taulukko 1. Aikajana pörssin toimintahäiriöistä vuosien 2010-2013 (mukaillen Goldstein ym. 2014)**

Päivämäärä	Tapahtuman selitys
6. toukokuuta 2010	Flash crash: Dow Jones Industrial Average-indeksi laskee noin 1000 pistettä alle 30 minuutissa, jonka jälkeen seuraa nopea korjausliike lähes alkuperäiseen tasoon. Tapahtuman syyksi on epäilty algoritmipohjaista kaupankäyntiä, jossa kohteena oli E-Mini S&P 500-futuuri johdannaiset.
23. maaliskuu 2012	Yhdysvaltain kolmanneksi suurimman arvopaperipörssin eli BATS:in omien osakkeiden liikkeellelasku aiheuttaa häiriötä muun muassa Applen osakekurssissa. Seurauksena oli myös BATS:in osakekurssin lasku alkuperäisestä 15,25\$ hinnasta alle pennin kymmenykseen vain puolentoista sekunnin aikana.
1. elokuu 2012	Markkinatakaajana toiminut Knight Capital Group Inc. menettää 460\$ miljoonaa heidän uudessa kaupankäyntisovelluksessa ilmenneen virheen vuoksi. Kaupankäyntisovellus oli virheellisesti ostanut ja myynyt yli sadan yrityksen osakkeita yhteensä miljoonia kappaleita noin 45 minuutin ajan. Tapahtuman seurauksena yritys joutui hakemaan lisärahoitusta pelastautuakseen tilanteesta, jolloin kilpaileva yritys suoritti yritystoston ja osti Knight Capital Group Inc.: in.
23. huhtikuu 2013	Twitter-huijauksen seurauksena Yhdysvaltojen arvopaperimarkkinoilta häviää hetkessä 200\$ miljardia. Associated Press-uutistoimiston Twitter-tilapäivitys väittää, että Yhdysvaltain presidentti Barack Obama on loukkaantunut hyökkäyksessä, joka oli kohdistunut valkoiseen taloon. Sekä Dow Jones Industrial Average-, NASDAQ- ja S&P 500-indeksi laskevat välittömästi 1%.
22. elokuu 2013	Arvopaperimarkkinoiden kaupankäyntiin liittyvää hintatietoa tarjoava järjestelmä kärsii yhteysongelmista NYSE Arca-pörssin välillä. Yhteysongelmat lamaannuttavat NASDAQ: iin listattujen arvopaperien kaupankäynnin kolmeksi tunniksi.
18. syyskuu 2013	Chicagossa sijaitsevat välittäjät käyvät kauppaa noin 600 miljoonan Yhdysvaltain dollarin edestä muutaman millisekunnin aikana ennen kuin muut sijoittajat ehtivät reagoida Yhdysvaltain keskuspankin tuoreeseen tiedotteeseen.

#### 4 VAIKUTUKSET MARKKINATEHOKKUUTEEN

Teknologinen muutos on mullistanut tavan, jolla arvopapereilla käydään kauppaa ja algoritmisen kaupankäynti on yksi esimerkki tästä kehityksestä. Kaupankäynnin jokainen eri vaihe on nykyisin automatisoitu ja tämä on vähentänyt kaupankäyntiin liittyviä kustannuksia sekä sujuvoittanut kaupankäyntiä. Teknologian avulla voidaan saavuttaa tehokkaampi riskien jakautuminen, helpompi suojautuminen, parempi likviditeetti ja tehokkaammat hinnat. (Hendershott ym. 2011.)

Hendershottin ym. (2011) mainitsevat erilaisia tapoja, joita markkinoiden eri osapuolet hyödyntävät algoritmisessa kaupankäynnissään. Jotkut hedge-rahastot ja pörssimeklarit tarjoavat markkinoille likviditeettiä käyttäen algoritmeja kilpaillen samaan aikaan markkinatakaajien ja muiden likviditeetin tarjoajien kanssa. Likviditeetin vaatijat (liquidity demanders) hyödyntävät älykästä toimeksiantojen välitystä (smart order router) toimeksiannoissaan. Myös institutionaaliset sijoittajat hyödyntävät algoritmeja käydessään kauppaa suurilla volyyymeillä. (Hendershott ym. 2011.)

Algoritmit pyrkivät sulautumaan arvopaperimarkkinoilla niin sanotusti muiden joukkoon, jotta niitä ei muut kaupankävijät havaitsisi. Algoritmit tyypillisesti määrittävät kaupankäynnissä ajoituksen, hinnan, määrän ja toimeksiantojen reitityksen sekä seuraavat jatkuvasti markkinoiden tilannetta. Tämän toiminnan tarkoituksena on vähentää oman kaupankäynnin markkinavaikutusta optimoimalla esimerkiksi toimeksiannot pieniin eriin. (Hendershott ym. 2011.)

1990-luvun puolivälistä lähtien sekä algoritmisen kaupankäynti, että likviditeetti ovat lisääntyneet pääomamarkkinoilla. Näiden kahden tekijän välinen korrelaatio ei välttämättä ole niin itsestään selvä, sillä algoritmisella kaupankäynnillä voi olla myös vastakkaisia vaikutuksia. (Hendershott ym. 2011.) Tätä korrelaatiota olisi syytä tarkastella enemmän, jotta saataisiin varmuus, miten paljon likviditeetin lisääntyminen on pelkästään algoritmisen kaupankäynnin ansiota.

#### 4.1 Ihminen vastaan tietokone

Ennen tietokoneita kaikki arvopapereiden kaupankäynti tapahtui ihmisten välillä ja yleensä vielä kasvokkain, mutta nykyisin monet arvopaperimarkkinat ovat poistaneet ihmisen väliintulon kauppaa käydessä. Välittäjät ovat siis korvautuneet elektronisilla hintatoimeksiannoilla (limit order book) ja muilla automatisoiduilla kaupankäyntijärjestelmillä. Tämän kehityksen myötä markkinoiden eri osapuolet aloittivat kehittämään erilaisia kaupankäynti algoritmeja ja monet näistä algoritmeista pyrkivät kopioimaan ihmisen käyttäytymistä. Viimeisen vuosikymmenen aikana nämä algoritmit ovat kehittyneet, tietotekniikka on jatkanut kehittymistään ja osto- ja myyntitoimeksiannot näyttävät täsmävän entistä nopeammalla tahdilla. (Menkveld & Jovanovic 2010.)

Cvitanic ja Kirilenko (2010) tutkivat ultranopean kaupankäynnin vaikutusta markkinoihin sekä lisäksi vertailevat markkinoiden osapuolia keskenään. Toinen osapuoli koostuu eli tietokoneista (high frequency traders) ja toinen osapuoli taas ihmisistä (low frequency traders). Tietokoneiden oletetaan olevan strategisia tiedottomia likviditeetin tarjoajia, joilla on vain yksi etu ihmisiin nähden, joka on nopeus, jolla ne pystyvät suorittamaan toimeksiantoja. Tämän edun vuoksi tietokoneet hallitsevat kaupankäynti jokaisella mahdollisella ajan hetkellä, sillä ne pystyvät alittamaan hinnan, jolla hitaat ihmiset käyvät kauppaa. Näin tietokoneet pääsevät suorittamaan omia toimeksiantojaan paremmin kuin ihmiset. (Cvitanic & Kirilenko 2010.)

Cvitanic ja Kirilenko (2010) osoittavat, että tietokoneiden läsnäolo muuttaa mahdollisesti transaktion keskihintaa, vaikka markkinoilla ei ole saatavilla uutta informaatiota. Lisäksi tietokoneiden eli tässä tapauksessa ultranopeiden kaupankävijöiden läsnäolo markkinoilla muuttaa markkinahintojen jakaumaa keskittämällä hintoja enemmän keskiarvon läheisyyteen. Käytännössä siis tietokoneet vähentävät markkinahintojen volatiliteettia. (Cvitanic & Kirilenko 2010.)

Myös Jarnecic ja Snape (2014) ovat tutkineet ultranopeiden kaupankävijöiden vaikutusta markkinoihin ja muihin markkinaosapuoliin. Ultranopeat kaupankävijät suorittavat toimeksiantoja yhtä aikaa useilla eri hinnoilla, jotka ovat osto- ja



myyntihintojen läheisyydessä tai sen sisällä. Tällainen toiminta kuvastaa markkinoiden likviditeetin lisäämistä. Mutta ultranopeat kaupankävijät osallistuvat mitä todennäköisemmin tällaiseen toimintaan vain, jos osto- ja myyntihintojen ero on suurin, kaupankäyntivolyymi on suuri ja markkinoiden volatilitteetti on korkea. Tämä osoittaa sen, että ultranopeat kaupankävijät korjaavat vain hetkittäisiä markkinoiden epätasapainoa ja kun se on niille itselleen suotuisaa. (Jarnecic & Snape 2014.)

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän tutkielman päätavoitteena oli selvittää algoritmista kaupankäyntiä ja siihen liittyviä erilaisia toimintaperiaatteita. Tutkielman päätavoitteen lisäksi tarkoituksena oli tarkastella algoritmisen kaupankäynnin vaikutuksia markkinatehokkuuteen. Tutkielman tutkimuskysymykset olivat seuraavanlaiset: onko algoritmisella kaupankäynnillä vaikutuksia markkinatehokkuuteen sekä minkälaisia käytännön sovellutuksia algoritmisessa kaupankäynnissä käytetään.

Algoritminen kaupankäynti ja varsinkin ultranopeakaupankäynti vievät ajalliset mittasuhteet uudelle tasolle. Tietokoneohjelmat suorittavat erilaisia toimeksiantoja suurella nopeudella ja ihmisen mahdotonta pysyä mukana tässä vauhdissa. Ihminen vastaa kuitenkin näiden ohjelmien luomisesta ja loppukädessä niiden toimivuudesta.

Algoritminen kaupankäynti herättää kiinnostusta mediassa erityisesti sellaisina aikoina, jolloin tapahtuu jokin dramaattinen toimintahäiriö pörssissä. Suurimpana yksittäisenä esimerkkinä voidaan mainita vuoden 2010 salamaromahdus (Flash Crash), joka herätti paljon keskustelua aiheesta ja varsinkin algoritmien haitallisuudesta. Kuten tässä tutkimuksessa on mainittu, algoritmeja voidaan siis käyttää joko hyvään tarkoitukseen, jolloin ne parantavat markkinatehokkuutta, mutta myös väärin, jolloin niillä voi olla mittavia negatiivisia vaikutuksia talouteen. Joskus jopa reaalityalouteen, jos esimerkiksi kaupankäynnin kohteena olevan yrityksen arvo laskee suuresti algoritmisen kaupankäynnin väärinkäytösten vuoksi.

Algoritmisella kaupankäynnillä on tämän tutkielman mukaan vaikutuksia markkinatehokkuuteen. Nämä vaikutukset voivat siis olla positiivisia tai negatiivisia riippuen niiden käyttötarkoituksesta. Positiivisiin vaikutuksiin voidaan laskea muun muassa likviditeetin lisääntyminen markkinoilla, joka on seurausta tietyn strategian käyttämisestä esimerkiksi passiivisesta markkinatakaaja-strategiasta. Algoritminen kaupankäynti vaikuttaa myös markkinatehokkuuteen siten, että sen avulla rahoitusmarkkinoilla arvopaperien hinnat kuvastavat paremmin saatavilla olevaa informaatiota. Tämä johtuu siitä, että algoritmien avulla voidaan korjata hintavääristymät tehokkaasti ja nopeasti, sillä tämä nopea hintojen korjaaminen on myös algoritmeja käyttävän tahon etu. Tämä etu perustuu siihen, että algoritmeja

käyttävä taho voi löytää arbitraaseja ja hyödyntää ne parantaen samalla markkinoiden toimivuutta. Algoritmien ja yleisesti ottaen tietokoneperusteisen kaupankäynnin nähdään myös vähentävän markkinoilla olevaa volatilitteettia.

Ylipäättään elektronin kaupankäynti parantaa kaupankäynnin nopeutta ja alentaa siihen liittyviä kustannuksia. Tähän toimintaan kuitenkin voi liittyä myös erilaisia häiriöitä, jotka ovat ehdottomasti yksi suurimmista elektronisen ja algoritmisen kaupankäynnin haittapuolista. Kuten tässä tutkielmassakin on tullut ilmi, niin nämä virheet voivat olla tahallisia tai tahattomia.

Vuosituhanen alussa algoritmisen kaupankäynti oli vasta alkuvaiheessa eikä kovinkaan yleistä arvopaperimarkkinoilla. Nykyisin varsinkin ultranopeakaupankäynti on vallannut arvopaperipörssit ja maanosasta riippuen noin puolet käydystä arvopaperikaupasta on pelkästään ultranopean kaupankäynnin seurauksena tapahtuvaa. Ultranopean kaupankäynnin vaikutuksilta, sekä positiivisilta, että negatiivisilta on siis lähes mahdotonta välttyä. Nämä vaikutukset koskettavat sekä normaalia piensijoittajaa, että suurempia tahoja, jotka ovat mukana pääomamarkkinoilla.

Tämän tutkielman kontribuutioiksi voidaan todeta seuraavanlaisia asioita. Tämä kyseinen tutkielma esittää aiheeseen liittyvät asiat suomenkielellä ja tämä voi helpottaa sellaista lukijaa, jolle aihe on täysin uusi, sillä lähes kaikki aiheeseen liittyvä tutkimustieto on englanniksi. Tässä tutkielmassa on myös pyritty hakemaan näkökulmia eri tutkimuksista ja pyritty niiden avulla saavuttamaan laajempi katsaus aiheeseen kuin keskittymällä pelkkiin yksittäisiin tutkimuksiin.

Joissakin tutkimuksissa mainitaan haasteeksi erottaa algoritmisen tai ultranopeakaupankäynti muusta markkinoilla tapahtuvasta kaupankäynnistä. Tämän ongelman vuoksi joissakin tutkimuksissa joudutaan käyttämään erilaisia oletuksia, jotka vaikuttavat saatuihin tuloksiin. Tässä voisi olla erittäin hyvä aihe jatkotutkimuksia varten ja selvittää olisiko mahdollista erotella nykyistä paremmin algoritmista ja ultranopeaa kaupankäyntiä muusta kaupankäynnistä. Lisäksi olisi varmasti aiheellista tutkia enemmän Suomessa tapahtuvaa algoritmista kaupankäyntiä ja selvittää laajemmin sekä sen levinneisyyttä, että vaikutuksia Suomen

pääomamarkkinoilla. Tämä olisi esimerkiksi hyvä aihe pro gradu-tutkielmaa ajatellen, sillä tästä aiheesta löytyy Oulun yliopistosta tutkimusaineistoa, jota voisi varmasti hyödyntää.

## LÄHTEET

- Aitken, M., Cumming, D. & Zhan, F. (2014). Trade size, high-frequency trading, and colocation around the world. *The European Journal of Finance* 1-21.
- Aldridge, I. (2009). *High-frequency trading: A practical guide to algorithmic strategies and trading systems*. (1. painos) John Wiley and Sons.
- Angel, J. J. & McCabe, D. (2013). Fairness in financial markets: The case of high frequency trading. *Journal of Business Ethics* 112(4), 585-595.
- Biais, B., Foucault, T., & Moinas, S. (2011). Equilibrium high frequency trading. *Proceedings from the Fifth Annual Paul Woolley Centre Conference, London School of Economics*,
- Black, F. (1971). Toward a fully automated stock exchange, part II. *Financial Analysts Journal* 27(6), 24-28.
- Boehmer, E., Fong, K. Y. & Wu, J. J. (2015). International evidence on algorithmic trading.
- Bowley, G. (2011). The new speed of money, reshaping markets. *New York Times* 2
- Brogaard, J., Hendershott, T. & Riordan, R. (2013). High frequency trading and price discovery, european central bank working paper series no.
- Brogaard, J., Hagströmer, B., Nordén, L. & Riordan, R. (2015). Trading fast and slow: Colocation and liquidity. *Review of Financial Studies* 28(12), 3407-3443.
- Budish, E., Cramton, P. & Shim, J. (2015). The high-frequency trading arms race: Frequent batch auctions as a market design response. *The Quarterly Journal of Economics* 130(4), 1547-1621.
- Cartea, Á & Jaimungal, S. (2013). Modelling asset prices for algorithmic and high-frequency trading. *Applied Mathematical Finance* 20(6), 512-547.
- Cvitanic, J. & Kirilenko, A. A. (2010). High frequency traders and asset prices.
- Fama, E. F. (1991). Efficient capital markets: II. *The journal of finance* 46(5), 1575-1617.
- Fama, E. F. (1970). Efficient capital markets: A review of theory and empirical work. *The Journal of Finance* 25(2), 383-417.
- FINRA, Financial Industry Regulatory Authority (2014). *Regulatory and examination priorities letter*
- Foucault, T. & Menkveld, A. J. (2008). Competition for order flow and smart order routing systems. *The Journal of Finance* 63(1), 119-158.

- Goldstein, M. A. & Kavajecz, K. A. (2004). Trading strategies during circuit breakers and extreme market movements. *Journal of Financial Markets* 7(3), 301-333.
- Goldstein, M. A., Kumar, P. & Graves, F. C. (2014). Computerized and high-frequency trading. *Financial Review* 49(2), 177-202.
- Hendershott, T., Jones, C. M. & Menkveld, A. J. (2011). Does algorithmic trading improve liquidity? *The Journal of Finance* 66(1), 1-33.
- Hendershott, T. & Riordan, R. (2013). Algorithmic trading and the market for liquidity. *Journal of Financial & Quantitative Analysis* 48(4), 1001-1024.
- Jarnecic, E. & Snape, M. (2014). The provision of liquidity by High-Frequency participants. *Financial Review* 49(2), 371-394.
- Kirilenko, A., Kyle, A. S., Samadi, M. & Tuzun, T. (2017). The flash crash: High frequency trading in an electronic market. *The Journal of Finance*
- Knüpfer, S. & Puttonen, V. (2014). *Moderni rahoitus*. (7. uud. p. painos). Helsinki: Talentum Media.
- Kwon, K. A., Shipley, R. J., Edirisinghe, M., Ezra, D. G., Rose, G., Best, S. M. & Cameron, R. E. (2013). High-speed camera characterization of voluntary eye blinking kinematics. *Journal of the Royal Society, Interface* 10(85), 20130227.
- Lenglet, M. (2011). Conflicting codes and codings: How algorithmic trading is reshaping financial regulation. *Theory, Culture & Society* 28(6), 44-66.
- Menkveld, A. J. (2014). High-Frequency traders and market structure. *Financial Review* 49(2), 333-344.
- Menkveld, A. J., & Jovanovic, B. (2010). Middlemen in limit order markets. *2010 Meeting Papers*, (955)
- Narang, M. (2010). *Tradeworx, Inc. Public commentary on SEC market structure concept release, SEC Comment letter*
- Securities, U. & Exchange Commission. (2010). Part III: Concept release on equity market structure; proposed rule, 17 CFR part 242. *Federal register* 75(13), 3594-3614.
- Stoll, H. R. (2006). Electronic trading in stock markets. *The Journal of Economic Perspectives* 20(1), 153-174.
- The European Parliament and The Council of The European Union (2014). Directive 2014/65/EU of the european parliament and of the council of 15 May 2014 on markets in financial instruments and amending directive 2002/92/EC and directive 2011/61/EU. 173/349. Saatavilla: <<http://eur-lex.europa.eu/legal->

<content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0065&from=EN>>. Viitattu  
10.4.2017