



**TURUN
YLIOPISTO**
Kauppakorkeakoulu

Algoritmisen kaupankäynnin vaikutus osakemarkkinoi- den tehokkuuteen

Klassisen markkinatehokkuuden näkökulmasta

Laskentatoimi ja rahoitus
Laskentatoimen ja rahoituksen laitos
Kandidaatintutkielma

Laatija:
Aarne Dahl

Ohjaaja:
KTT Antti Miihkinen

20.4.2026
Turku

Opiskelijan lausunto tekoölyn käytöstä tähän tutkielmaan liittyen:

En ole käyttänyt tekoölyä hyödyntäviä työkaluja tätä tutkielmaa kirjoittaessani.

Olen käyttänyt tekoölyä hyödyntäviä työkaluja tätä tutkielmaa kirjoittaessani. Tämä käyttö on dokumentoitu tutkielman liitteessä. Vakuutan, että tekoölyä käytettiin yliopiston ohjeistuksen mukaisella tavalla.

Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.

Kandidaatintutkielma

Oppiaine: Laskentatoimi ja rahoitus

Tekijä: Arne Dahl

Otsikko: Algoritmisen kaupankäynnin vaikutus osakemarkkinoiden tehokkuuteen

Ohjaaja: KTT Antti Miihkinen

Sivumäärä: 43 sivua + liitteet 2 sivua

Päivämäärä: 20.04.2026

Tiivistelmä

Tämä kandidaatintutkielma tarkastelee algoritmisen kaupankäynnin tehokkuutta klassisen markkinatehokkuuden näkökulmasta ja kysyy, miten algoritmisen kaupankäynti vaikuttaa osakemarkkinoiden tehokkuuteen. Klassisella markkinatehokkuudella viitataan Eugene Faman vuonna 1970 julkaisemaan tehokkaiden markkinoiden malliin, jossa tehokkuus jaetaan heikkoon, keskivahvaan sekä vahvaan muotoon. Tutkielma on toteutettu kirjallisuuskatsauksena, jossa analysoidaan aiempaa kirjallisuutta kunkin tehokkuuden muodon mitta-reilla ja luodaan siten kokonaisvaltaisempi kuva algoritmisen kaupankäynnin vaikutuksista osakemarkkinoiden tehokkuuteen.

Algoritmisella kaupankäynnillä tarkoitetaan kaupankäyntiä, jossa tietokone käy itsenäisesti kauppaa määrittäen kaikki toimeksiannon parametrit ilman ihmisen ohjausta. Algoritmisen kaupankäynti on muotoutunut nykyisten osakemarkkinoiden vallitsevaksi kaupankäyntimuodoksi, jolloin sillä on ollut huomattavia vaikutuksia myös markkinoiden tehokkuuteen. Kirjallisuudesta ilmenee, että algoritmisen kaupankäynti parantaa, mutta toisaalta myös heikentää osakemarkkinoiden tehokkuutta kaikissa kolmessa tehokkuuden muodossa. Alun perin tehottomuutta aiheutti ihmisen taipumus virheellisiin ja ennustettaviin psykologisiin vinoumiin sekä tunneperäiseen toimintaan, minkä vuoksi markkinoilla käytiin kauppaa perustuen harhaiseen informaatioon. Nykyään tehottomuutta aiheuttaa osaltaan samoja puutteita heijastavat algoritmit, mutta myös algoritmisen kaupankäynnin kilpailun kärjistyminen.

Algoritmien välinen kilpailu nopeudesta on johtanut asetelmaan, jossa sijainnista on tullut keskeinen kilpailuresurssi. Sijainnin ja nopeuden turvin jopa julkista tietoa voidaan hetkellisesti yksityistää. Lisäksi algoritmisen kaupankäynti aiheuttaa tehottomuutta erityisesti heikentämällä informaation hankinnan kannattavuutta johtaen pitkällä aikavälillä huonosti informoituihin hintoihin. Toisaalta algoritmisen kaupankäynnin on todettu parantavan informaation heijastumisen nopeutta ja tarkkuutta erityisesti lyhyellä aikavälillä. Lisäksi se on alentanut markkinoiden kaupankäyntikuluja sekä tuonut muutoksia esimerkiksi markkinainfrastruktuuriin, hinnanmuodostukseen, informaatiolähteisiin sekä informoitujen sijoittajien käyttäytymiseen.

Esitän erityisesti kilpailun kärjistymisen aiheuttamiin ongelmiin viiveeseen perustuvaa ratkaisua. Kaupankäynnin ehtona olisi standardoidun yhteyden käyttäminen, joka toimisi kiinteällä kaikille yhteisellä viiveellä. Kiinteä viive lieventäisi nopeuskilpailua ja estäisi parempiin yhteyksiin perustuvan julkisen tiedon yksityistämisen. Pääjohtopäätöksenä kuitenkin esitän, että algoritmien perustavanlaatuisen toimintaperiaate on ristiriidassa osakemarkkinoiden toimintaperiaatteen kanssa. Tästä syystä algoritmien ei tulisi korvata ihmistä markkinaosuutena, vaan toimia yksinkertaisesti kaupankäyntiprosessia tehostavana työkaluna.

Avainsanat: algoritmi, algoritmisen kaupankäynti, korkean taajuuden kaupankäynti, markkinatehokkuus, koneoppiminen, syväoppiminen, kohina, harhaisuus

SISÄLLYS

1	Johdanto	7
1.1	Johdatus aihepiiriin ja tutkimuskysymys	7
1.2	Menetelmä ja kontribuutio	7
2	Tehokkaiden markkinoiden teoria	9
3	Tehokkaiden markkinoiden rajoitukset	11
3.1	Rajoitettu rationaalisuus	11
3.2	Rajoitettu arbitraasi	13
4	Algoritmisen kaupankäynnin yleistyminen	15
4.1	Algoritminen kaupankäynti	15
4.2	Pörssien sähköistyminen ja algoritmien kehitys	15
5	Algoritmisen kaupankäynnin tehokkuus	18
5.1	Heikko tehokkuus	18
5.2	Heikko tehottomuus	20
5.3	keskivahva tehokkuus	22
5.4	Keskivahva tehottomuus	24
5.5	Vahva tehokkuus	26
5.6	Vahva tehottomuus	27
6	Tulosten analyysi	29
6.1	Keskeiset havainnot	29
6.2	Tuloksiin syventyminen sekä käytännön implikaatio	31
6.3	Miten algoritminen kaupankäynti vaikuttaa markkinatehokkuuteen	33
7	Yhteenveto	36
7.1	Johtopäätökset	36
7.2	Rajoitteet ja jatkotutkimusaihe	37
	Lähteet	39
	Liitteet	44

KUVIOT

Kuvio 1. Tehokkuuden hierarkia

34

TAULUKOT

Taulukko 1. Keskeiset tulokset jaoteltuna heikkoon, keskivahvaan ja vahvaan tehokkuuteen
30

Taulukko 2. Algoritmisen kaupankäynnin muita vaikutuksia

30

1 Johdanto

1.1 Johdatus aihepiiriin ja tutkimuskysymys

Osakemarkkinat ovat keskeisessä asemassa nykyaikaisissa kapitalistisissa talouksissa, sillä niillä muodostuvat hinnat antavat viitteitä yritysten taloudellisesta elinkelpoisuudesta ja helpottavat siten resurssien oikeudenmukaista jakautumista yritysten välillä (Stoll 2006, 172). Kun hinnat heijastavat tietoa tarkasti, sijoittajat voivat arvioida riskejään sekä tuottojaan tarkemmin ja ohjata pääomansa tuottavampiin sijoituksiin. Paremmiin informoidut markkinat auttavat pääomaa löytämään sinne, missä sen käyttö on kaikkein tuottoisinta. (Yadav 2015, 1610.) Osakemarkkinoiden tehokkuus on täten ensiarvoisen tärkeää resurssien tehokkaan allokaation ja talouden kasvun kannalta.

Markkinaympäristö on muuttunut viime vuosikymmeninä merkittävästi. 1990-luvulla ja erityisesti 2000-luvulla tietokoneiden prosessointikyvyn kasvu, tietoliikenneyhteyksien paraneminen ja kehittyneet kaupankäyntialustat mullistivat entiset kaupankäyntitavat. Vielä 50 vuotta sitten markkinainformaatiota seurattiin sanomalehdistä, toimeksiannoista päätti ihminen ja kaupat toteutettiin välittäjän kautta. Lähes vuosisadan ajan sähkötytys ja puhelin olivat tärkeimmät ja nopeimmat rahoitusalan viestintävälineet, joiden avulla tiedot vastaanotettiin ja toimeksiannot välitettiin (Zaharudin ym. 2022, 75). Sijoittajien omat analyyttiset taidot antoivat kilpailullisen etulyöntiaseman markkinoiden mallinnuksessa ja voittojen maksimoinnissa. Nykyään kauppaa käy monimutkaisia algoritmisia malleja hyväksikäyttävät tietokoneet, jotka analysoivat sähköistä markkinadataa valtavalla nopeudella ja suorittavat toimeksiantoja sekunnin murto-osissa (Zaharudin ym. 2022).

Algoritminen kaupankäynti on yhdessä koneoppimisen kehityksen ansiosta muotoutunut täysin uudeksi tavaksi käydä kauppaa, joka on Arifovicin ym. (2022) mukaan nykyisten finanssimarkkinoiden hallitseva kaupankäyntimuoto. Olisi intuitiivista ajatella, että teknologiset edistysaskeleet heijastuisivat myös osakemarkkinoiden tehokkuuteen. Tutkimuskirjallisuus kuitenkin osoittaa, että vaikka tehokkuus on parantunut (ks. esim. Brogaard ym. 2014; Hendershott – Moulton, 2011), vaikutukset eivät ole pelkästään positiivisia (ks. esim. Kirilenko – Lo 2013; Yadav 2015; Zhang – Zhang 2025). Tämän tutkielman tarkoituksena luoda tilanteesta selkeä kokonaiskuva ja vastata siten kysymykseen: miten algoritminen kaupankäynti vaikuttaa osakemarkkinoiden tehokkuuteen.

1.2 Menetelmä ja kontribuutio

Keskeinen teos osakemarkkinoiden tehokkuuden määrittelyssä on vuonna 1970 Eugene Faman julkaisema tehokkaiden markkinoiden malli (Efficient Capital Markets, EMH). Artikkelin keräsi yhteen

aikansa keskeisimmät markkinoiden tehokkuutta käsittelevät empiiriset tutkimukset ja jäsensi ne yhtenäiseksi teoreettiseksi viitekehyyksi. Tehokkaiden markkinoiden teoria saavutti huippunsa akateemisissa piireissä 1970-luvulla, jolloin sen katsottiin olevan kiistattomasti todistettu ja markkinoiden todella ajateltiin olevan tehokkaat (Shiller 2003, 83). Pian artikkelin julkaisun jälkeen osakemarkkinoilla havaittiin kuitenkin toistuvissa määrin kurssiliikkeitä, joita malli ei kyennyt oletuksensa vuoksi selittämään. Vaikka mallissa käytetyt oletukset eivät lopulta osoittautuneetkaan täysin pitäviksi, jätti artikkeli jälkeensä selkeän kolmikantaisen viitekehyyksen, jonka avulla osakemarkkinoiden tehokkuutta voidaan tutkia.

Nykyisessä osakemarkkinoiden tehokkuutta tutkivassa kirjallisuudessa onkin hyvin tyypillistä viitata Faman luomaan tehokkaiden markkinoiden malliin, mutta vain sen yksittäiseen osa-alueeseen. Tämä tutkielman kontribuutio algoritmisen kaupankäynnin tehokkuutta käsittelevien tutkimusten kesken on käyttää koko kolmikantaista viitekehystä ja luoda siten kokonaisvaltaisempi kuva ilmiön vaikutuksista osakemarkkinoiden tehokkuuteen. Jotta aihealue ei olisi liian laaja, rajoittavana ja näkökulmaa tuovana tekijänä keskityn analysoimaan tehokkuutta juuri Faman käyttämien mittareiden avulla. Tutkielma suoritetaan kirjallisuuskatsauksena, joka tuo eri tehokkuuden osa-alueita käsitteleviä tutkimuksia tehokkuuden klassiseen viitekehyykseen vastaten siten kokonaisvaltaisemmin tutkimuskysymyksen. Klassisella markkinatehokkuuden viitekehyyksellä viitataan Eugene Faman vuonna 1970 julkaisemaan artikkeliin *Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work*. Toistuvien viitemerkintöjen välttämiseksi, kun tutkielmassa puhutaan Famasta tai Faman artikkelista, tarkoitetaan poikkeuksetta kyseistä artikkelia. Mikäli viitataan johonkin toiseen Faman artikkeliin, on viittaukset tehty asianmukaisesti.

Tutkielman luku 2 esittelee Faman vuoden 1970 artikkeliin perustuvan klassisen määritelmän tehokkaille markkinoille sen kolmikantaisessa heikon, keskivahvan ja vahvan tehokkuuden viitekehyyksessä. Luku 3 esittelee aikansa keskeisimpiä tutkimuksia, jotka osoittivat Faman käyttämien oletusten puutteet ja rajoitukset perustuen markkinoilla havaittuihin liikkeisiin. Luku 4 esittää ytimekkään kuvauksen siitä, mitä algoritmisen kaupankäynti on ja mikä johti sen yleistymiseen markkinoiden sähköistyessä aina 1970-luvulta eteenpäin. Luku 5 käsittelee algoritmisen kaupankäynnin vaikutuksia markkinatehokkuuteen Faman luomassa viitekehyyksessä. Luku 6 esittää keskeisimmät tulokset, tuloksista johdetun käytännön implikaation sekä vastaa tutkimuskysymyksen. Tutkielman päättää yhteenveto ja johtopäätökset, jossa keskeisimmät havainnot nivotaan yhteen esittäen myös johtopäätökset sekä tutkielman rajoitukset ja mahdollinen jatkotutkimusaihe.

2 Tehokkaiden markkinoiden teoria

Vuonna 1970 Eugene Fama julkaisi kuuluisan artikkelinsa tehokkaista markkinoista. Malli oli oman aikansa läpimurto selittämään osakkeiden hinnanmuodostusta ja loi vahvaa perustaa tehokkuuden määritelmälle. Faman (1970) mukaan tehokkaat markkinat heijastavat kaiken saatavilla olevan informaation. Tällöin sijoittajien ei ole mahdollista saavuttaa systemaattista riskiin suhteutettua ylituottoa.

Tehokkaiden markkinoiden hypoteesi liittyy läheisesti Faman aiempaan tutkimukseen hintojen satunnaiskulusta (engl. random walk). Tehokkaat markkinat noudattavat satunnaiskulkua, jossa hintojen liikkeet ovat satunnaisia, ennustamattomia ja toisistaan riippumattomia tapahtumia (Fama 1965). Tämä tarkoittaa sitä, että osakkeen hintojen edellisistä liikkeistä ei ole pääteltävissä sen tulevia liikkeitä tai tuottoja. Satunnaiskulku perustuu ajatukseen, jossa markkinoilla toimii rationaalisia voittoa tavoittelevia sijoittajia. Sijoittajat pyrkivät maksimoimaan odotettuja tuottojaan suhteessa nykyiseen sekä uuteen informaatioon ja muodostavat näin markkinoille kilpailullisen tasapainon. Koska määritelmältään tehokkaat markkinat heijastavat jo kaiken nykyisen informaation, ovat kursisireaktiot seurausta markkinoille julkaistavasta uudesta informaatiosta, joka heijastuu markkinoille tehokkaasti kilpailullisen asetelman takia. Koska uusi informaatio itsessään on ennustamatonta, niin myös hintojen liikkeiden tulisi olla ennustamatonta. Tästä seuraa, että yhdenkään sijoittajan ei tulisi voida saavuttaa systemaattista riskikorjattua ylituottoa. Vaikka tasapainoon syntyisikin hetkellinen virhehinnoittelu, markkinoiden kilpailullisen asetelman takia rationaaliset sijoittajat hyödyntäisivät sen nopeasti, jolloin mahdollisuus arbitraasiin katoaisi. (Fama 1965; 1970.)

Fama rakensi tehokkaiden markkinoiden viitekehyksen perustuen sekä omiinsa että muiden aiempiin markkinoiden tehokkuutta käsitteleviin empiirisiin tutkimuksiin. Tutkimuksien perusteella hän jakoi tehokkuuden kolmeen muotoon: heikkoon, keskivahvaan sekä vahvaan.

Heikon tehokkuuden muodossa hinnat heijastavat kaiken historiallisen hintainformaation, minkä seurauksena menneiden kurssiliikkeiden tai tuottojen hyväksikäyttö tulevien liikkeiden tai tuottojen ennustamiseen ei tulisi olla mahdollista. Hypoteesi perustui olettamaan, jonka mukaan kurssien liikkeet ovat satunnaisia ja toisistaan riippumattomia eikä siten ennustettavissa ja hyväksikäytettävissä systemaattisen ylituoton ansaitsemiseen. Hypoteesin testaus perustui muun muassa osakekurssien aikasarjojen autokorrelaation analysointiin sekä erinäisten sijoitusstrategioiden ja mahdollisten systemaattisten markkinakuvioiden tutkimiseen. Tuloksista ilmeni pienimuotoista positiivista autokorrelaatiota ja sijoitusstrategioiden marginaalista voitollisuutta suhteessa markkinaan. Fama kuitenkin

argumentoi, että tuotoissa ei ole taloudellisesti merkitsevää riippuvuutta, koska kaupankäyntikustannukset poistaisivat testeissä ilmenneiden ylituottojen taloudellisen hyödyntämisen.

Keskivahvassa muodossa hinnat heijastavat kaiken julkisesti saatavilla olevan informaation, jolloin osakkeen fundamenttianalyysillä ei tulisi voida saavuttaa systemaattista ylituottoa. Hypoteesi perustui oletamaan, että kaikki julkinen sekä uusi tieto heijastuu nopeasti ja tarkasti osakkeiden hintoihin. Hypoteesia testattiin analysoimalla erinäisten osakkeiden kannalta olennaisten julkaisujen, kuten tulosuutisten, vuosiraporttien sekä osakejakoilmoitusten sisältämän informaation heijastumisen nopeutta ja tarkkuutta. Myös keskivahvojen testien tulokset tukivat tehokkaiden markkinoiden hypoteesia ja Fama tuli päätökseen, jonka mukaan markkinat ovat myös keskivahvasti tehokkaat.

Vahvassa muodossa hinnat heijastavat kaiken sekä julkisen, että julkistamattoman tiedon, jolloin kenenkään ei tulisi voida saavuttaa systemaattista ylituottoa edes sisäpiiritietoa hyväksikäyttämällä. Vahvan muodon hypoteesia testattiin analysoimalla sitä, onko jollain sijoittajalla tai sijoittajaryhmällä, kuten sijoitusrahastojen johdolla, monopolistinen pääsy hintojen muodostumisen kannalta merkityksellisiin tietoihin, ja toisaalta onko markkinoilla havaittavissa viitteitä siitä, että hallussa olevaa sisäpiiritietoa hyväksikäytettäisiin. Fama ymmärsi sen, että vahvan tehokkuuden muoto on hyvin teoreettinen eikä välttämättä kuvaa todellisuutta kovin tarkasti, joten se sopii parhaiten vertailukohdaksi, jonka avulla voidaan arvioida markkinatehokkuudesta poikkeavien tekijöiden merkitystä. Joka tapauksessa hypoteesia testattiin ja tuloksien mukaan testissä vertailut sijoittajaryhmät eivät kyenneet systemaattisesti voittamaan markkinaa taloudellisesti merkittävällä tavalla. Kirjallisuudesta kuitenkin ilmeni, että sekä arvopaperipörssien välittäjillä että yritysten sisäpiiriläisillä on monopolistinen pääsy tiettyyn määrään julkistamatonta markkinainformaatiota, mutta sen ei havaittu johtavan tiedon väärinkäyttöön tai systemaattiseen ylituottoon.

3 Tehokkaiden markkinoiden rajoitukset

Tässä tutkielman osiossa esitetään aikansa keskeisimpiä tutkimuksia, jotka johtivat EMH:n käyttämien oletusten kyseenalaistamiseen ja lopulta siihen, että markkinoiden todettiin olevan todellisudessa tehottomia. Fama argumentoi artikkelissaan käsittelemiensä tutkimusten tarjoavan melko vahvaa empiiristä tukea tehokkaiden markkinoiden hypoteesille niin sen heikossa kuin keskivahvassakin muodossa. Teorioita on kuitenkin vaikeampi todistaa todeksi kuin vääräksi, sillä yksikin ristiriitainen havainto voi kumota usean uskottavan havainnon. EMH:n tapauksessa ristiriidat eivät jääneet vain yhteen havaintoon ja pian artikkelin julkaisun jälkeen sekä mallin teoreettiset oletukset, että sen tukena olleet empiiriset todisteet joutuivat kritiikin alaiseksi.

Shleiferin (2000, 8–9) mukaan EMH:n teoreettinen perusta nojautuu kolmeen argumenttiin: sijoittajat ovat rationaalisia ja hinnoittelevat arvopaperit rationaalisesti, irrationaalisuus on satunnaista eikä vaikuta hintoihin ja mahdollinen systemaattinen irrationaalisuus katoaa rationaalisen arbitraasin vaikutuksesta. Argumentteja on perusteltu empirialla, jonka mukaan kurssiliikkeet ovat satunnaisia ja toisistaan riippumattomia tapahtumia sekä muodostuvat nopeasti ja tarkasti uuden tiedon saavuttua markkinoille (Shleifer 2000, 12). Tarkastellaan seuraavaksi kyseisiä oletuksia aikansa keskeisimmillä teoriolla haastavilla tutkimuksilla.

3.1 Rajoitettu rationaalisuus

Tehokkaiden markkinoiden yleinen matemaattinen malli voidaan kirjoittaa muodossa, jonka yhtälön mukaan kaikilla osakemarkkinoiden yllättävillä liikkeillä on oltava alkuperänään jokin uusi tieto koskien osakkeen fundamentaalista arvoa (Shiller 2003, 85). Shiller (1981) kuitenkin huomasi, että osakkeiden hinnat liikkuvat liian paljon heijastaakseen rationaalisia odotuksia tulevista osingonjakoista. Vaikka artikkeli käsitteli osingonjakoa, joka on vain yksi osakkeiden kannalta keskeinen fundamentti, oli se suora haaste tehokkaiden markkinoiden hypoteesia vastaan. Hypoteesin mukaan rationaalisen sijoittajan ei tulisi käydä kauppaa, jos fundamenteissa ei ole tapahtunut muutoksia (Shiller 2003). Hypoteesin vastaisen toiminnan ilmeneminen markkinoilla oli konkreettista näyttöä siitä, mitä Kahneman ja Tversky osoittivat jo 1970-luvulla.

Ihmisen päätöksenteko ei noudata normatiivista odotetun hyödyn teoriaa, jota on usein kuvattu rationaalisen ihmisen käyttäytymisenä. Sen sijaan ihmiset käyttävät heuristisia periaatteita eli yksinkertaistuksia helpottaakseen todennäköisyyksien arviointia sekä arvojen ennustamista. Lisäksi epävarmuuden vallitessa ihmisen preferenssit vaihtelevat muun muassa ongelman asettelun perusteella. Kyseiset ilmiöt johtavat systemaattisiin ja ennustettaviin virheisiin ihmisen toiminnassa.

(Kahneman 1979; Tversky – Kahneman 1974.) Shiller (1981) siis osoitti, että Kahnemanin ja Tverskyn havainnot heijastuvat myös osakemarkkinoille ja että kauppaa käydään irrationaalisesti ja fundamenttien kannalta epäolennaisen informaation varassa. Tämä tarkoitti, että irrationaalisuus ei ole satunnaista tai markkinoiden kannalta merkityksetöntä, kuten tehokkaiden markkinoiden hypoteesissa oletettiin.

Keskustelu irrationaalisesta sijoittajakäyttäytymisestä laajentui, kun Fisher Black esitti teorian kohinasta (engl. noise). Markkinoilla esiintyy kohinaa, joka aiheuttaa tehottomuutta ja toisaalta estää sen hyväksikäytön, mutta joka on välttämätön likvidien markkinoiden olemassaololle (Black 1986, 531). Black (1986, 531) argumentoi, että toisinaan ihmiset käyvät kauppaa perustuen epätarkkaan informaatioon. Hänen mukaansa osa sijoittajista käy kauppaa kohinan perusteella ikään kuin se olisi informaatiota. Yleisesti kohinalla tarkoitetaan hintavaihtelua, joka johtuu fundamentteihin perustuttomasta usein tunneperäisestä ja epärationaalisesta kaupankäynnistä. De Longin ym. (1990, 706, 735) mukaan kohinakauppiat uskovat virheellisesti, että heillä on erityistä tietoa omaisuuserien tulevasta hinnasta, mikä voi johtaa siihen, että osakkeen markkinahinta poikkeaa merkittävästi sen fundamentaalista arvosta.

Markkinailmioitä, jossa havaitaan systemaattinen ja toistuva poikkeama fundamentteihin perustuvasta arvosta kutsutaan anomaliaksi. 1980-luvulla alkoi ilmetä, että ihmisen taipumus heuristiikkoihin ja psykologisiin vinoumiin kantaa suurta selitysvoimaa markkinoilla ilmeneviin anomalioihin. Keskeistä empiiristä näyttöä tästä tarjosi De Bondtin ja Thalerin tutkimus vuodelta 1985. Tehokkaiden markkinoiden hypoteesin mukaan sijoittajat reagoivat uutisiin nopeasti ja oikein (Shleifer 2000, 12). De Bondt ja Thaler (1985) kuitenkin osoittivat, että markkinoilla on tapana ylireagoida odottamattomiin ja dramaattisiin uutisiin, jonka jälkeen hinnoissa on havaittavissa ennustettava käänös vastakkaiseen suuntaan. Havainto oli suorassa ristiriidassa EMH:n heikon ja keskivahvan tehokkuuden hypoteeseihin, joiden mukaan menneistä kurssiliikkeistä ei voi ennustaa sen tulevia liikkeitä ja kaikki julkinen tieto heijastuu tehokkaasti hintoihin.

Lisää empiirisiä havaintoja tarjosivat Jegadeesh ja Titman (1993). He osoittivat, että ostamalla ennestään hyvin tuottaneita osakkeita ja myymällä ennestään huonosti tuottaneita osakkeita voi lyhyellä noin 3–12 kuukauden aikavälillä saavuttaa ylisuuria tuottoja. Tutkimus osoitti, että sijoittajilla on taipumus jatkaa vallitsevaa kurssitrendiä, mikä ilmenee osaketuottojen autokorrelaationa lyhyellä aikavälillä. Havainto tunnetaan myös momentum-ilmionä. Se puolsi teoriaa, jonka mukaan informaatio heijastuu kursseihin viiveellä johtuen sijoittajien ensisijaisesta alireagoinnista fundamenttaalsiin uutisiin. Keskipitkällä aikavälillä kurssi on trendin jatkuvuuden aikaansaamana ajautunut

yli fundamentaalisten arvojen eli ylireagoitunut, jolloin osakkeiden kurssiliikkeissä havaittiin päinvastainen muutos ja puolet saavutetuista ylituotoista hävisi seuraavan kahden vuoden aikana. Tulokset siis haastoivat EMH:n heikon ja keskivahvan hypoteesin. Julkinen tieto ei heijastunut hintoihin tehokkaasti ja toisaalta kurssiliikkeissä oli jälleen ennustettavia kuvioita: alireagointi, jatkuvuus, yli-reagointi, palautuminen. Momentum-ilmiötä pidetäänkin usein yhtenä tärkeimmistä poikkeamista tehokkaiden markkinoiden hypoteesin suhteen (Jegadeesh – Titman 2023, 3).

1990-luvun lopulla Barberis ym. (1998) jatkoivat aihetta ja kehittivät aiemmista markkinoilla havaituista sijoittajien yli- ja alireagoitua käsittelevistä tutkimuksista mallin, joka kuvaa sijoittajien uskomusten muodostusta ja mielialan (engl. investor sentiment) vaikutusta uuden informaation käsittelyyn. Sijoittajien mielialalla tarkoitetaan heidän omia todelliseen informaatioon perustumattomia käsityksiä osakkeen tulevasta tuotoista. Bakerin ja Wurglerin (2007) mukaan sijoittajien mieliala vaikuttaa merkittäväällä ja säännöllisellä tavalla yksittäisiin yrityksiin ja osakemarkkinoihin kokonaisuudessaan. Mian ja Sankaraguruswamy (2012) demonstroivat asiaa osoittamalla, että osakkeet reagoivat voimakkaammin positiivisiin tulosuutisiin korkean mielialan aikana, kun taas reagointi huonoihin tulosuutisiin on voimakkaampaa alhaisen mielialan aikana. Hinta ei siis aina heijasta vain uutisten sisältöä, vaan myös sijoittajien tunteita. Tulokset tukivat havaintoja siitä, että ihmisellä on taipumus jatkaa ja jopa voimistaa voimassa olevaa trendiä tunneperäisten ja epärationaalisten tekijöiden vaikutuksesta. Havainnot olivat kiistattomassa ristiriidassa EMH:n kanssa.

3.2 Rajoitettu arbitraasi

Oleellinen osa tehokkaiden markkinoiden hypoteesia oli se, että vaikka jotkut sijoittajat olisivatkin irratioonaisia, niin rationaaliset ja todellista informaatiota hallussaan pitävät sijoittajat hyödyntäisivät aiheutuneen virhehinnoittelun, jolloin se katoaisi. Shleifer ja Vishny (1997) argumentoivat, että toisin kuin tehokkaiden markkinoiden hypoteesissa oletetaan, arbitraasiresurssit ovat suurelta osin keskittyneet muutamien institutionaalisten sijoittajien käsiin, jotka toimivat ulkopuolisen rahoituksen avulla. Institutionaalisten sijoittajien suoriutumista voidaan arvioida myös lyhyellä aikavälillä, minkä takia he eivät välttämättä kykene kantamaan pitkään jatkuvan tai entisestään pahenevan väärin hinnoittelun riskiä, sillä huonosti pärjääviä sijoituksia uhkaa pääoman ulosvirtaus (De Long ym. 1990, 735). Havainto osoitti, että arbitraasi on todellisuudessa rajallista ja riskillistä, minkä takia väärin hinnoittelu voi säilyä markkinoilla pitkään, vaikka rationaaliset ja informoidut sijoittajat huomaisivat sen. Virhehinnoittelun hyödyntämiseen toi näkökulmaa myös Grossman ja Stiglitz jo vuonna 1980.

Grossmanin ja Stiglitzin (1980) mukaan markkinoilla on perustavanlaatuinen ristiriita informaation tehokkaan heijastumisen ja informaation hankkimisen välillä. He argumentoivat, että koska informaation hankkiminen on maksullista, hinnat eivät voi täysin heijastaa kaikkea saatavilla olevaa informaatiota, sillä muutoin informaation hankkijat eivät saisi korvausta hankkimastaan tiedosta. Siispä Faman mukaan, jos markkinat ovat tehokkaat niin keskimääräinen sijoittaja – olkoon sitten yksityinen, eläkerahasto tai sijoitusrahasto – ei voi voittaa markkinaa, jolloin esimerkiksi arvopapereiden analysointiin ja valintaan käytetyt valtavat resurssit menevät täysin hukkaan (Shleifer 2000, 7). Mutta jos markkinoilla on paljon irrationaalista kohinaan perustuvaa kauppaa, osakkeiden hinnat saattavat ajautua kauas niiden todellisista arvoista. Tällöin Blackin (1986) mukaan sijoittajien on taas kannattavaa maksaa informaatiosta, sillä he voivat näin hyväksikäyttää epärationaalisuuden aiheuttamaa virhehinnoittelua. Käytännössä tämä tarkoittaa, että arbitraasin hyödyntäminen edellyttää tietoa osakkeen todellisesta hinnasta, ja koska tämän tiedon hankkiminen on maksullista, markkinoilla täytyy esiintyä muutakin kuin pelkkää satunnaista virhehinnoittelua, jotta tiedon hankkiminen olisi ylipäättään kannattavaa. Epärationaalinen kaupankäynti on siis juuri se avaintekijä, joka mahdollistaa rationaalisen fundamentaaliseen informaatioon perustuvan kaupankäynnin sekä luomalla likviditeettiä, että toisaalta tekemällä informaation hankkimisesta kannattavaa.

Edellä esitetty tutkimuskirjallisuus osoittaa, että vaikka Faman tehokkaiden markkinoiden hypoteesi oli oman aikansa läpimurto, alkoi sen teoreettinen pohja horjumaan pian artikkelin julkaisun jälkeen. Hypoteesin taustalla olleet oletukset olivat liian optimistisia yleistyksiä ihmisen todellisesta käyttäytymisestä eikä malli siten kyennyt selittämään kaikkia markkinoilla tapahtuvia kurssiliikkeitä. Ihmisellä on taipumus virheellisiin ja ennustettaviin psykologisiin vinoumiin sekä tunneperäiseen toimintaan, minkä vuoksi markkinoilla käydään kauppaa perustuen harhaiseen informaatioon. Lisäksi rationaaliset sijoittajat eivät riskien vallitessa ja rajallisen pääoman turvin kykene välttämättä korjaamaan virhehinnoittelua, jolloin kurssit ajautuvat fundamentteihin perustumattomiin hintoihin. Toisaalta virhehinnoittelua on oltava, jotta fundamentaalista tietoa hyödyntävien tahojen toiminta voi ylipäättään olla kannattavaa. Näistä syistä markkinat voivat systemaattisesti poiketa niiden fundamentaalisista arvoista, mikä johtaa tehokkaiden markkinoiden hypoteesin vastaiseen tehottomuuteen.

4 Algoritmisen kaupankäynnin yleistyminen

Markkinaympäristö on muuttunut huimasti 1970-luvulta. Nykyään markkinoilla toimii ihmisen sijaan tietokoneet. Algoritmien avulla toimivat tietokoneet reagoivat uuteen markkinadataan välittömästi ja tekevät sen perusteella toimeksiantoja tunteitta. Mikä on algoritmi, mitä on algoritmisen kaupankäynti ja miten nykyiseen markkinatilanteeseen on päädytty? Tässä tutkielman luvussa vastataan näihin kysymyksiin.

4.1 Algoritmisen kaupankäynti

Algoritmi on rajallinen, abstrakti, tehokas, yhdistetty ohjausrakenne, joka on annettu imperatiivisesti ja joka saavuttaa annetun tarkoituksen annetuissa olosuhteissa (Hill 2016, 47). Perinteisemmin algoritmista puhutaan kuitenkin sääntönä, jonka mukaan tietokone toimii. Hillin (2016, 38) mukaan klassinen määritelmä algoritmille on juurtunut matemaattiseen keskusteluun, jonka yleisiä elementtejä ovat deterministiset ja tehokkaat säännöt sekä syötteiden laskeminen tulosten tuottamiseksi. Käytännössä siis algoritmille annetaan syötteenä dataa ja se tuottaa datasta sääntöjensä perusteella tuloksen.

Algoritmisen kaupankäynti (engl. algorithmic trading, AT) määritellään osto- tai myyntipäätöksiksi, jotka tehdään yksinomaan algoritmisten mallien avulla. Nämä päätökset voivat perustua yksinkertaisiin sääntöihin ja malleihin tai kuten koneoppimisen (engl. machine learning) ja syväoppimisen (engl. deep learning) tapauksessa, erittäin monimutkaisiin funktioiden approksimointitekniikoihin (Ozbayoglu ym. 2020, 7). Algoritmisessa kaupankäynnissä kone päättää itsenäisesti ja automaattisesti markkinatoimeksiannoista ja niiden parametreista (Zaharudin ym. 2022). Tällöin ihmisen rooli on käytännössä olematon ja suuntautunut tarkkailijan asemaan. Elektronisten pörssien käyttöönoton myötä algoritmisen kaupankäynti valtasi finanssialan 2000-luvulla (Ozbayoglu ym. 2020). Useimpien arvioiden mukaan algoritmisen kaupankäynti edustaa suurinta osaa nykypäivän osakemarkkinoiden kaupankäyntivolyyymista (Boehmer ym. 2021, 2659). Algoritmisen kaupankäynnin keskeisiä ominaisuuksia on kyky käsitellä ja analysoida markkinadataa sekä uutisvirtaa ja tehdä uuden tiedon perusteella toimeksiantoja huomattavasti tehokkaammin kuin ihminen (Zaharudin ym. 2022, 81).

4.2 Pörssien sähköistyminen ja algoritmien kehitys

Rahoituslalla on viime vuosikymmeninä tapahtunut merkittävät muutokset, jotka on johtunut automaatiosta ja teknologisesta kehityksestä (Carè – Cumming 2024, 1). Algoritmisen kaupankäynnin

nousuun on vaikuttanut erityisesti kolme finanssialan kehityskulkua: finanssijärjestelmän monimutkaistuminen, kvantitatiivisen mallinnuksen läpimurrot sekä tietotekniset läpimurrot (Kirilenko – Lo 2013, 53). Olennainen osa algoritmisen kaupankäynnin nousua on myös pörssien ja kaupankäyntialustojen sähköistyminen aina 1970-luvulta eteenpäin. Vuonna 1971 Fisher Black ehdotti siirtymistä kohti täysin automatisoitua pörssiä, joka toimisi tietokoneverkostossa (Stoll 2006, 161). Samana vuonna Yhdysvalloissa perustettiin Arvopaperivälittäjien kansallisen yhdistyksen automaattinen noteerausjärjestelmä NASDAQ, joka tarjosi ensimmäisenä maailmassa osto- ja myyntihintoja sähköisesti esitettynä. Kaupat tehtiin yhä puhelimitse välittäjän kanssa neuvottelemalla, mutta muutos kohti sähköisiä markkinoita oli alkanut.

Toimeksiantojen automatisointi alkoi 1980-luvulla, jolloin NASDAQ mahdollisti ensimmäistä kertaa maailmassa pienten toimeksiantojen automaattisen toteutuksen täysin elektronisella alustalla. Algoritmit olivat vielä tässä vaiheessa pitkälti yksinkertaisten tehtävien automatisointia ja ihmisen itse koodaamia. 1990-luvulla pörssit alkoivat siirtyä täysimääräisesti sähköiseen muotoon, josta puhutaan myös electronic trading -aikakautena. Uudet sähköiset viestintäverkot (engl. electronic communication networks) mahdollistivat toimeksiantojen toteutuksen täysin elektronisesti ilman ihmisvälittäjiä, mikä nopeutti toimeksiantojen toteutusta ja vähensi välityskustannuksia huomattavasti (Stoll 2006). Samaan aikaan algoritmimallien kehitys alkoi kiihtyä ja kehitteillä oli ihmisen ajattelua muistuttavia kokonaisuuksia, neuraaliverkkoja (engl. artificial neural network). Neuraaliverkot jäljittelevät ihmisen tiedonhankinta- ja organisointikykyä, mikä tekee niistä lupaavia rahoitusalan työkaluja tunnistamiseen, luokitteluun ja ennustamiseen (Wong – Selvi 1998, 129).

Ensimmäiset yritykset analyttisten algoritmisten mallien rakentamiseksi perustuivat tunnettujen suhteiden, menettelytapojen ja päätöksentekologiikan nimenomaiseen ohjelmointiin käsin koodattujen sääntöjen avulla (Janiesch ym. 2021, 685). Yksinkertaisia malleja monimutkaisempien sovellusten rakentaminen osoittautui kuitenkin mahdottomaksi tehtäväksi, sillä rahoitusmarkkinoiden epälineaariset suhteet ja alati muuttuva ympäristö on hyvin haasteellista koodata äärelliseksi määräksi sääntöjä. Vaikka tutkimus oli 1990-luvulla varhaisessa vaiheessa ja käytännön implementointeja ei juuri ollut, tehtiin kyseisenä aikana merkittäviä edistysaskelia markkinadatan koneellisessa analysoinnissa sekä koneoppimisessa.

Koneoppimisalgoritmi on laskennallinen prosessi, joka käyttää syöttötietoja halutun tehtävän suorittamiseen ilman, että se on kovakoodattu eli käsin laadittu (El Naqa – Murphy 2015, 4). Sen tavoitteena on automatisoida analyttisen mallin rakentaminen kognitiivisten tehtävien suorittamiseksi (Shinde – Shah, 2018). Käytännössä koneoppimismallit oppivat itsenäisesti rakentamaan

riippuvuuksia ja malleja valtavasta määrästä dataa. Vaikka koneoppiminen on melko vanha tietojärjestelmätieteenlaji, se yleistyi vasta 2000-luvulla, kun internetin, sähköistetyn finanssimarkkinan ja myös sosiaalisen median kautta tuotettu datan määrä lisääntyi sekä tietokoneiden prosessointikyky kasvoi. 2000-luvulla siirryttiin myös kohti nykyistä täysin automatisoitua markkinarakennetta, kun New Yorkin pörssi (NYSE) otti käyttöön Hybrid Market-järjestelmän vuonna 2007 tarjoten jopa alle sekunnissa toteutuvia kauppvoja. Se oli pysyvä teknologinen muutos markkinarakenteessa, joka johti automatisoinnin lisääntymiseen ja kaupankäynnin nopeutumiseen (Hendershott – Moulton 2011).

Koneoppimismallit ovat edelleen kehittyneet syväoppimismalleihin hyödyntämällä kehittyneitä ke-notekoisia neuraaliverkkoja. Syväoppimismallit muodostuvat datankäsittelykerroksista, joihin sisältyy piilotettuja kerroksia (engl. hidden layers), joiden tehtävänä on oppia monimutkaisia ja epälineaaraisia riippuvuuksia datasta (Shinde – Shah 2018). Piilotettuja kerroksia omaavia syväoppimismalleja kutsutaan myös mustan laatikon (engl. black box) malleiksi. Nimitys viittaa malliin, jonka päätöksentekoprosessi ei ole selvitettävissä tai se on niin monimutkainen, että ihminen ei sitä ymmärrä (Janiesch ym. 2021, 688). Nykyinen algoritminen kaupankäynti perustuu suurelta osin juuri näihin kaikkein kehittyneimpiin koneoppimismalleihin, jotka kykenevät itsenäisesti analysoimaan ja oppimaan sekä tekemään toimeksiantoja perustuen markkinadataan ja uutisiin.

5 Algoritmisen kaupankäynnin tehokkuus

Nykyään yleiset markkinoiden laatua tutkivat parametrit ovat likviditeetti, informaatiotehokkuus sekä lyhyen aikavälin volatilitteetti (Boehmer ym. 2021, 2660). Käytännössä Faman silloiset tehokkuuden mittarit tunnetaan nykyään juuri informaatiotehokkuutta mittaavina työkaluina ja siten kattavat vain osan markkinoiden kokonaisvaltaista laatua analysoivista työkaluista. Tämän tutkielman tutkimuskysymyksen ja rajauksen kannalta olennaisinta on kuitenkin keskittyä juuri Faman käyttämiin informaatiotehokkuutta mittaaviin käsitteisiin. Nykyisessä tutkimuskirjallisuudessa erilaisia laadun käsitteitä tarkastellaan kuitenkin usein rinnakkain ja toisiinsa yhdistyneinä, joten artikkeleita käsitellessä sivutaan hieman myös muita markkinalaadun käsitteitä. Tässä tutkielman osiossa käydään läpi algoritmisen kaupankäynnin tehokkuus Faman luoman viitekehysten puitteissa.

5.1 Heikko tehokkuus

Fama tutki heikkoa tehokkuutta analysoimalla osakkeiden aikasarjojen autokorrelaatiota, hintojen ennustettavuutta ja erilaisten sijoitusstrategioiden voitollisuutta. Hänen tarkoituksenaan oli selvittää, kuinka paljon osakkeiden edelliset kurssiliikkeet selittävät uusia liikkeitä ja voiko niiden perusteella muodostaa ylisuuria tuottoja tuottavia sijoitusstrategioita. Tuloksissa oli havaittavissa pientä tehotomuutta, mutta Fama argumentoi, että pienimmätkin kaupankäyntikulut tekisivät havaittujen korrelaatioiden ja ennustettavuuksien taloudellisesta hyödyntämisestä tappiollista ja siten hyödytöntä. Faman luomaa viitekehystä hyödyntäessä heikkoa tehokkuutta on siis mielekäästä tutkia muun muassa autokorrelaation sekä muunlaisen ennustettavuuden esiintymisenä algoritmisessa kaupankäynnissä.

Boehmer ym. (2021, 2661) esittävät, että algoritmisen kaupankäynnin lisääntyminen parantaa hintojen tehokkuutta. Heidän tuloksiensa mukaan osakkeet, joilla AT-kaupankäynnin esiintyvyys on suurempaa omaavat pienemmän absoluuttisen autokorrelaation päivänsisäisten tuottojen välillä. Kyseiset havainnot tukevat heikon tehokkuuden hypoteesia satunnaisista hinnoista. Boehmerin ym. (2021) tutkimus käsittää ajanjakson vuosien 2001 ja 2011 väliltä, jolloin algoritmisen kaupankäynnin voidaan jo katsoa muodostaneen merkittävän osan osakekaupoista. Toisaalta myös Faman testeissä autokorrelaatiota ei juurikaan löytynyt, mutta tästä huolimatta markkinoilla havaittiin heikon tehokkuuden vastaista ennustettavuutta. Tämä herättää kysymyksen siitä, miten tuloksia pitäisi tulkita.

Jegadeesh ja Titman (2023) tarjoavat alustusta mielenkiintoisen ongelmaan. He palaavat vuoden 1993 artikkeliinsa ja osoittavat, että momentum-ilmiö on vielä nykyäänkin voimakkaasti läsnä

osakemarkkinoilla. He tarkastelevat osakemarkkinoilla tehtyjä havaintoja maailmanlaajuisesti 2000-luvulta eteenpäin aivan kuten Boehmer ym. (2021) tutkivat algoritmista kaupankäyntiä. Momentum ilmiö on siinä mielessä mielenkiintoinen, että sen perusteella osakkeiden hinnat eivät ole edes heikossa muodossaan tehokkaita, mutta se ei kuitenkaan tarkoita samaa asiaa kuin osakkeen tuottojen välinen positiivinen autokorrelaatio (Lewellen 2002, 533–534). Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että momentum ilmiö ja osakkeiden tuottojen riippumattomuus voivat molemmat olla tosia samaan aikaan, vaikka ne todistavat päinvastaisia hypoteeseja. Tämä viittaisi siihen, että autokorrelaatiotestit eivät ole päteviä mittaamaan heikon tehokkuuden hypoteesia ainakaan kokonaisvaltaisesti. Lewellen (2002, 561) mukaan momentum on usean tekijän summa eikä sitä voi selittää pelkästään yrityskohtaisilla tuotoilla. Fama siis yksinkertaisesti käytti virheellistä tai puutteellista mittaria. Tästä huolimatta perustuen Boehmerin ym. (2021) empiirisiin tuloksiin voidaan todeta, että algoritmisen kaupankäynti parantaa markkinoiden heikkoa tehokkuutta vähentämällä osaketuottojen välistä autokorrelaatiota päivänsisäisten tuottojen välillä.

Faman artikkeli ei suinkaan perustellut markkinoiden heikkoa tehokkuutta pelkän autokorrelaation avulla. Hän käsitteli myös useita muita mittareita, joilla tarkasteltiin hintojen tehokkuutta ja satunnaisuutta. Monissa tuloksissa havaittiin, että markkinoilla on mahdollista saavuttaa ylisuuria voittoja, mutta ne olivat melko marginaalisia ja vaatisivat suuria kauppamääriä. Keskeisenä argumenttina Fama korostikin, että jos tehokkaiden markkinoiden hypoteesia ei tarkastella täysin teoreettisessa mielessä, kaupankäyntikulut vievät mahdollisista voitoista saatavat taloudelliset hyödyt, mikä osaltaan puoltaa heikon tehokkuuden hypoteesia. Tämä argumentti ei ole nykyään yhtä vakuuttava, sillä pörssien sähköistyminen ja algoritmisen kaupankäynti ovat molemmat alentaneet kaupankäyntikuluja huomattavasti.

Sähköiset ja automatisoidut kaupankäyntijärjestelmät ovat vähentäneet välikäsien tarvetta ja toisaalta AT-kaupankäynnin on huomattu parantavan likviditeettiä muun muassa pienentämällä ostaja- ja myyntihinnan välistä eroa (engl. spread) (Hendershott ym. 2011). Algoritmit tarjoavat likviditeettiä, kun se on kallista ja toisaalta kuluttavat sitä, kun se on halpaa tarjoten näin sulavammin toimivat markkinat (Hendershott – Riordan 2013). Tästä näkökulmasta, vaikka algoritmisen kaupankäynti parantaa markkinoiden likviditeettiä ja siten myös tehokkuutta, heikentää se samalla Faman alkupeiräistä väitettä siitä, etteikö tehottomuus olisi hyödynnettävissä kaupankäyntikulujen vuoksi. Asian konkreettisena ilmentymänä voidaan pitää nykyisen algoritmisen kaupankäynnin suosittua alalajia, korkean taajuuden kaupankäyntiä (engl. high frequency trading, HFT). HFT-kaupankäynti perustuu suureen määrään toimeksiantoja, jotka toteutetaan äärimmäisen nopeasti hyödyntääkseen hyvin lyhytaikaisia hintaeroja markkinoilla (Zaharudin ym. 2022).

Boehmer ym. (2021, 2661) osoittavat myös, että AT-kaupankäynti lisää lyhyen aikavälin volatiliiteettia. Vaikka Fama ei käsitellyt volatiliiteettia tutkimuksensa pääasiallisena muuttujana, voidaan sitä pitää nykyään merkittävänä osana markkinoiden laatua. Volatiliiteetti eli kurssihinnan vaihtelun voimakkuus nähdään sijoittajien silmissä riskinä. Riskille ominaista on se, että tulemasta ei ole varmuutta. Koska määritelmällisesti riskittömän osakkeen hintakehitys on entuudestaan tunnettu, se ei voi seurata satunnaiskävelyä. Tästä voi tehdä intuitiivisesti johtopäätöksen, jonka mukaan AT-kaupankäynnin aiheuttama korkea volatiliiteetti edistää hintojen tehokkuutta lisäämällä riskiä ja siten vähentämällä ennustettavuutta. Vaikka äskeinen johtopäätös on hyvin käsitteellinen eikä välttämättä ole käytännössä yhtä vakuuttava, toimii se alustuksena seuraavalle havainnolle.

Boehmerin ym. (2021, 2661) mukaan korkean volatiliiteetin osakkeet voi tulkita tehokkaiksi myös siten, että tehokkaat markinnat reagoivat uuteen informaatioon nopeasti ja täten myös hinnat muuttuvat nopeasti. Heidän tutkimuksensa tulokset kuitenkin osoittivat, että AT-kaupankäynnin aiheuttama kohonnut volatiliiteetti on tuskin seurausta vain hintojen muodostumiseen liittyvästä volatiliiteetista. Tuloksen voi tulkita siten, että algoritminen kaupankäynti aiheuttaisi markkinoissa ylimääräistä hintaliikettä, jonka perustana ei olisi pelkästään osakkeen fundamenttien muutokset. Ilmiö muistuttaa aiemmin referoitua Fisher Blackin (1986) esittämää teoriaa kohinasta. Keskeisenä erona on kuitenkin se, että kohinaa aiheuttaisivat nyt algoritmit eivätkä ihmiset.

5.2 Heikko tehottomuus

Luvussa 4.2 tuli ilmi, että nykyään algoritmisessa kaupankäynnissä käytetään merkittävässä määrin koneoppimista ja syväoppimista. Oleellinen osa näitä malleja on niiden kyky analysoida sekä historiallista että nykyistä dataa, oppia niistä kuvioita sekä riippuvuuksia ja ennustaa siten markkinoiden tulevia liikkeitä (Addy ym. 2024; Cohen 2022). Rahoitusmarkkinat sisältävät tunnetusti paljon kohinaa, mikä voi johtaa siihen, että kohinaa sisältävällä datalla opetetut mallit tulkitsevat osakekursseille tyypilliset lyhytaikaiset markkinavaihtelut virheellisesti merkityksellisiksi signaaleiksi (Bhuiyan ym. 2025). Bhuiyan ym. (2025) antavat siis ymmärtää, että algoritmit saattavat myös itse aiheuttaa kohinaa. Oliko Boehmerin ym. (2021) tuloksissa havaittu volatiliiteetti kenties ensimmäisiä merkkejä algoritmikaupan tehottomuudesta?

Tekoälymalleille syötettävän opetusdatan vaikutusta niiden antamiin tuloksiin on tutkittu paljon. Aihe tunnetaan käsitteellisesti datan vinoumana tai datan harhana (engl. data bias). Harha (bias) on taipumus tuottaa ennakkoluuloisia tuloksia virheellisten oletusten vuoksi, jotka koneoppimisen ja tekoälyn kontekstissa voivat johtua virheellisestä opetusdatasta, algoritmimallista itsestään tai mallien rakentajista (Mavrogiorgos ym. 2024, 3–4). Ongelma kiteytyy siihen, että tietystä datasta

rakennettu malli ei voi olla dataa itseään parempi. Jos mallille syötetty data on virheellistä, puolueellista tai puutteellista, toistaa algoritmit näitä samoja piirteitä myös tuloksissaan. Mayrogiorgos ym. (2024) esittävät, että algoritmit heijastavat väistämättä myös niiden suunnittelijan tai koodaajan tekemiä valintoja, oletuksia ja rajoitteita, mikä lopulta vaikuttaa siihen, miten tietoa tulkitaan ja millaisia johtopäätöksiä syntyy.

Edellinen herättää väistämättä ajatuksen siitä, että vuosikymmeniä sitten markkinoiden tehottomuutta aiheuttaneet ihmisten irrationaaliset ja heuristiset piirteet voivat olla yhä läsnä. Nyt ne heijastuvat ihmisen toiminnan sijaan vastaavia puutteita omaavien algoritmien kautta. Myös algoritmimallit ovat loppujen lopuksi ihmisen suunnittelemaa, rakentamaa ja opettamaa. Tämän lisäksi, jos algoritmin toiminta perustuu osakemarkkinoiden historiallisen datan analyysiin, kantaa historialliset hinnat väijäämättä selitysvoimaa myös niiden nykyisiin reaktioihin. Molemmat huomiot ovat suorassa ristiriidassa heikon tehokkuuden hypoteesin kanssa. Algoritmit eivät välttämättä ole niin rationaalisia kuin on luultu. Toisaalta se, että algoritmisilla koneoppimismalleilla on myös todettu olevan ennustavaa voimaa (ks. esim. Bhuiyan ym. 2025), on jo itsessään merkki siitä, että markkinat todella ovat tehottomat vielä nykyäänkin. Ilmiö on sinänsä paradoksaalinen, että tekoälyn ennustavoiman ja algoritmisen kaupankäynnin voitollisuuden kasvaessa, markkinoiden tehokkuuden on määritelmällisesti laskettava. Mikäli algoritmisen kauppa todella parantaisi markkinoiden tehokkuutta, sen tulisi kuihduttaa saavutettu ylituotto (suhteessa markkinaan) kokonaan pois, jolloin sen käyttö olisi lopulta kannattamatonta.

Vaikka algoritmisen kaupankäynnin on todettu parantavan markkinoiden tehokkuutta myös Faman heikon tehokkuuden viitekehyksessä, kokonaistulokset ovat ristiriitaiset. Markkinat eivät määritelmällisesti voi olla heikossa muodossa tehokkaat, jos sen liikkeitä kyetään ennustamaan tai ylisuuria tuottoja pystytään saavuttamaan. Tämä asettaa algoritmisen kaupankäynnin ja varsinkin nykyisen koneoppimista ja syväoppimista hyväksikäyttävän kaupankäynnin ristiriitaiseen valoon. Argumentoin, että niin kauan kuin näiden mallien päätökset perustuvat historialliseen dataan tai niiden päätöksentekoprosessi on tunnistettavissa, markkinat ovat määritelmällisesti heikossa muodossaan tehottomat. Tästä näkökulmasta algoritmisen kaupankäynnin kontekstissa ainut keino saada heikosti tehokkaat markkinat on se, että algoritmimallien päätöksenteon takana olevat syyt eivät ole tiedossa. Tähän suuntaan nykyinen kehitys on myös menossa, kun tekoälyn toimintaprosessit monitukaistuvat ja black box mallit yleistyvät. Se, edustaako osakemarkkinat siinä vaiheessa enää yritysten fundamentaalisia arvoja on täysin mahdotonta sanoa.

5.3 keskivahva tehokkuus

Keskivahvaa tehokkuutta Fama tutki analysoimalla osakkeiden reaktiota uutta informaatiota tuottaviin ilmoituksiin, kuten tulosjulkaisuihin ja osakejakoilmoituksiin. Hänen tarkoituksenaan oli selvittää, reagoiko osakkeet uuteen julkiseen informaatioon nopeasti ja oikein. Artikkelissa läpikäytyjen tutkimusten tulokset tukivat yhdenmukaisesti keskivahvan tehokkuuden hypoteesia. Fama tiedosti, että vaikka artikkelissa läpikäytyt tutkimukset olivat vain osa osakkeen kannalta tärkeitä informaationlähteitä, hän argumentoi niiden olevan tärkeimpiä ja uskalsi siten olettaa, että reaktio olisi yhteneväinen koskien myös muita informaatiolähteitä. Faman luomaa viitekehystä hyödyntäessä keskivahvaa tehokkuutta on siis mielekästä tutkia analysoimalla, miten algoritminen kaupankäynti vaikuttaa informaation heijastumisen nopeuteen sekä tarkkuuteen.

“News arrivals are a driving force behind asset price changes. In the early days of organized exchange-based trading a telex and telephone, combined with good analytical skills, were enough for a competitive edge. More recently, a basic internet connection would suffice. Nowadays, trades based on a news feed arrive to the market before any human trader can even glance at the news.” (Scholtus ym. 2014, 89.)

Sitaatti Scholtusin ym. (2014) artikkelista kiteyttää markkinoiden nykytilanteen. Kilpailu on kärjistynyt ja siirtynyt yhä voimakkaammin ihmisiltä algoritmeille. Tämä on johtanut muutoksiin myös muilla markkinoiden osa-alueilla. Klassinen ajatus on se, että osakkeiden hinta muodostuu ostotahtumien kautta. (Brogaard ym. 2019; Gregoire – Martineau 2022) kuitenkin esittävät, että nykyään osakkeiden hinnat eivät reagoi uutisiin siksi, että joku kävisi kauppaa, vaan siksi, että markkina-toimijat muuttavat toimeksiantokirjassa (engl. order book) olevia noteerauksiaan. Algoritmit analysoivat uutiset niin nopeasti, että ne ehtivät muokkaamaan tarjouksiaan uuden informaation suuntaan ennen kuin kauppaa ehditään käymään. Keskeinen ilmiö varsinkin HFT-kaupankäynnissä onkin kyky lähettää, muokata ja poistaa valtavia määriä hintanoteerauksia erittäin lyhyessä ajassa, jolloin noteerauksien määrä ja muutokset suhteessa toteutuneisiin kauppoihin ovat hyvin suuria.

Muutosta on tuonut myös informaatiolähteiden monipuolistuminen. Siinä missä Brogaard ym. (2019) sekä Gregoire ja Martineau (2022) esittivät, että hinnanmuodostus tapahtuu hintanoteerauksissa, toimii noteeraukset myös informaatiolähteenä. Caon ym. (2009) mukaan tarjouskirjan syvyys ja tarjonnan epätasapaino tarjoavat merkittävää informaatiota arvopaperin lyhyen ajan hintaliikkeistä. Täten algoritmit hyväksikäyttävät hitaampien ja informoitujen sijoittajien tekemien toimeksiantojen informaationsisältöä ennustaakseen markkinoiden suuntaa (Hirschey 2021), jolloin uutista ei

tarvitse edes lukea. Kyseistä kaupankäynnin tyyliä kutsutaan myös tilausennakointistrategiaksi (engl. order anticipation strategy).

Nykyään myös sosiaalisen median informaation sisältöä on tutkittu. Jopa Twitter julkaisujen (nykyinen X) mielialaa tai Googlen hakudataa tutkimalla on voitu muodostaa osakemarkkinoita ennustavia yhteyksiä (ks. esim. Bollen ym. 2011; Ayala ym. 2024). Jiao ym. (2020) kuitenkin vertailevat perinteisiä tiedotusvälineitä sosiaaliseen mediaan ja osoittavat, että kyseisillä informaatiolähteillä on usein päinvastaiset vaikutukset osakekurssien volatilitettiin, vaikka perinteisten tiedotusvälineiden aktiivisuus johtaa yleensä myös sosiaalisen median aktiivisuuteen. Kenties ensin mainitun tietolähteen käyttäjät ovat rationaalisempia kuin jälkimmäisen. Lisäksi nykyään tarjotaan myös pelkästään luvuista koostuvaa uutisanalytiikkaa, joka on suunniteltu nimenomaan rationaalisesti voittoa maksimoivien kaupankäyntialgoritmien käyttöön (Von Schwitz ym. 2020, 123). On siis sanomattakin selvää, että markkinaympäristö on muuttunut sitten Faman ja hänen kuuluisan artikkelinsa. Tutkitaan seuraavaksi nykytilannetta hieman konkreettisemmin.

HFT-toimijat kykenevät toimimaan jopa mikrosekunneissa sekä tekemään tuhansia toimeksiantoja vain sekunnin murto-osassa. Kyky on uudelleenmääritelty markkinoiden rakenteen sellaiseksi, että maantieteellisestä sijainnista on tullut uusi kilpailullinen tekijä. (Grindsted 2022.) Koska tiedonsiirron nopeutta rajoittaa valon nopeus, paras tapa minimoida viive on sijoittautua fyysisesti lähemmäksi markkinaa (Gsell – Gomber 2009, 2). HFT-toimijat ovatkin usein tehneet mittavia investointeja nopeusetuun esimerkiksi sijoittumalla pörssin tiloihin tai hyödyntämällä eri pörssien välisiä huippunopeita yhteyksiä (Von Schwitz ym. 2020, 126). Nykyään markkinatoimijat tarjoavatkin niin kutsuttuja kolokaatio-palveluita (engl. co-location services), joiden avulla markkinaosapuolet voivat sijoittaa omat kaupankäyntipalvelimensa markkinan oman teknisen infrastruktuurin välittömään läheisyyteen varmistaen näin mahdollisimman pienen viiveen (Gsell – Gomber 2009, 3). Siinä missä ennen kilpailuetu perustui sijoittajan henkilökohtaiseen analyysikykyyn ja tiedon oikeaoppiseen tulkintaan, nykyään keskeisiksi tekijöiksi ovat nousseet kyky prosessoida ja hyödyntää informaatiota mahdollisimman nopeasti toisaalta käyttämällä kehittyneitä algoritmeja ja toisaalta sijoittamalla ne lähelle tietolähteitä sekä pörssijä.

Kaikkein suurin merkitys nopeudella on juuri uuden informaation julkaisuajankohtana (Scholtus ym. 2014). Makrotaloudellisten uutisten aikana algoritmien kaupankäynti lisääntyy, jolloin myös AT-kaupankävijöiden aggressiivisuus lisääntyy (Erenburg – Lasser 2009; Scholtus ym. 2014). Scholtusin ym. (2014) mukaan vain 300 ms viive toimeksiannon toteutuksessa uuden makrotaloudellisen uutisen jälkeen voi aiheuttaa 1,94 % vuotuisen tappion verrattuna välittömään toteutukseen.

Yhden sekunnin viiveellä vuotuinen tappio on 3.9 %. Suhteellisina lukuina tutkimuksessa käytetyn strategian kokonaistuottoihin verrattuna 300 ms (1000 ms) viive toimeksiannon toteutuksessa aiheutti 10,85 % (20,05 %) tappiot, mikäli sijoittaja onnistui ennustamaan uutisen aiheuttaman markkinasuunnan 70 % ajasta oikein. Tutkimusdatan aikajana oli noin kolme vuotta. Luvut ovat huomattavia, vaikka ne ovat yli kymmenen vuoden takaisia. Tästä näkökulmasta on helppo argumentoida, että markkinat ovat nykyään huomattavasti tehokkaampia, kun määritelmänä on uuden tiedon heijastumisen nopeus. Kyse ei kuitenkaan ollut vain siitä, että heijastuuko uusi informaatio nopeasti. Heijastumisen tarkkuus eli kurssiliikkeet suhteessa fundamentteihin olivat myös keskeisessä osassa keskivahvaa tehokkuutta.

Brogaardin ym. (2014, 2270–2271) mukaan HFT-toimijat edistävät hintojen tehokkuutta käymällä kauppaa väliaikaisia hinnoitteluvirheitä vastaan ja tulevien tehokkaiden hintaliikkeiden suuntaan. Tämä viittaisi siihen, että algoritmit kykenevät tulkitsemaan uutta informaatiota oikeasuuntaisesti. Havaintoja tukee myös Clarken ym. (2021) tutkimus, jonka mukaan osalla ihmisistä on vaikeuksia erottaa aitoa uutista väärästä, mutta nykyisessä algoritmisessa kaupankäynnissä käytettävät koneoppimismallit kykenevät siihen melko hyvin, jolloin harhaisen tiedon varassa tehtyjen toimeksiantojen voisi luulla vähenevän. Lisäksi Von Beschwitz ym. (2020, 125) havaitsivat, että algoritmiset kauppiat kykenevät oppimaan, mitkä uutisanalytiikka tarjoavat tahot ovat olleet kaikkein informatiivisempia, jolloin ne painottavat kyseisiä lähteitä toimeksiantajensa perusteina. Tutkimukset esittävät selkeää näyttöä sille, että algoritmisen kaupankäynti tukee keskivahvaa tehokkuutta. Asia ei kuitenkaan ole niin yksinkertainen.

5.4 Keskivahva tehottomuus

Koska nykyisillä markkinoilla voittoja voidaan saada ennustamalla markkinoiden välitön suunta, perustelluimmista ja kalliimmista analyyseista saatavat hyödyt eivät tunnu yhtä houkuttelevilta (Brogaard ym. 2014, 1666). Kirjallisuus tukeekin algoritmien lyhyen aikavälin tehokkuutta (ks. esim. Hendershott – Moulton 2011; Yuferova 2024), mutta pidemmällä aikavälillä tulokset ovat riskitirittaiset. Algoritmien tyypillisesti käyttämät tilausennakointistrategiat voivat heikentää ammattimaisesti tietoa keräävien kauppiaiden tuottavuutta ja siten alentaa hintojen informatiivisuutta pitkällä aikavälillä (Brogaard ym. 2014, 1659). Kun osaketta koskeva tieto saadaan suoraan toimeksiantokirjan hintanoteerauksia analysoimalla, ei itse osakkeen analyysia tarvitse tehdä (Weller 2018, 2216), jolloin AT-toimijat hyötyvä tiedosta lähes ilmaiseksi. Kun informoidut sijoittajat menettävät motivaationsa tehdä tutkimusta, automaattisen kaupankäynnin mallivirheet, puutteet ja näkökulmien puuttuminen jäävät korjaamatta (Brogaard ym. 2014).

Vaikka algoritmisen kaupankäynti vaikuttaisi tehokkaalta heijastamalla uutta informaatiota lähes välittömästi, pitkällä aikavälillä hinnat sisältävät yhä vähemmän fundamentaalista tietoa. Argumentti on yhdenmukainen luvun 5.2 havaintojen kanssa: koneoppimiseen ja tekoälyyn perustuvien algoritmisten mallien on kyetty ennustamaan osakkeiden tuottoja ja hintaliikkeitä. Tämä viittaisi heikon tehottomuuden lisäksi siihen, ettei kaikki julkinen informaatio ole heijastuneena hintoihin, vaikka nykyään kauppaa käy suurimmaksi osaksi algoritmit. Algoritmisen kaupankäynti voi aiheuttaa heikon tehottomuuden lisäksi siis myös keskivahvaa tehottomuutta. Zhangin ja Zhangin (2025) tuore tutkimus tukee ajatusta siitä, että AT-kaupankäynti voi vähentää väärinhinnoittelua tehden markkinoista tehokkaammat, mutta se voi myös vahvistaa sitä johtaen entistä suurempiin hintapoikkeamiin.

Yhtenä suurimpana algoritmisen kaupankäynnin ongelmana nähdäänkin sen kyky suoriutua uusista ja odottamattomista tilanteista. Vaikka algoritmisessa kaupankäynnissä käytetyt mallit toimivat poikkeuksellisen hyvin historiallisilla koeaineistoilla, ne eivät välttämättä kykene suoriutumaan reaaliaikaisessa kaupankäynnissä rahoitusmarkkinoiden alati muuttuvan luonteen vuoksi (Bhuiyan ym. 2025, 19). Tämä voi aiheuttaa epävakautta ja johtaa jopa romahduksiin. Kuuluu esimerkiksi romahduksesta, johon tyypillisesti liitetään algoritmisen kaupankäynti joko pääasiallisena aiheuttajana tai huomattavana osallisena, on vuoden 2010 ”Flash Crash” (Kirilenko – Lo 2013, 62), jossa teollisuusosakeindeksi Dow Jones Industrial Average romahti noin 9 % vain muutamassa minuutissa. Markkina myös palautui nopeasti, mutta ilmiö herätti paljon epäluuloja algoritmista kaupankäyntiä kohtaa, mikä oli tuolloin vielä melko tuore ilmiö.

Vaikuttaisi siis siltä, että algoritmisen kaupankäynti on kärjistynyt tilanteeseen, jossa kyse on tehokkaan informaation heijastumisen sijaan siitä, kuka ehtii hyväksikäyttämään muiden toimintaa ensimmäisenä. Vaikka tuloksena on näennäisesti tehokkaasti ja nopeasti toimivat markkinat, yritysten todellinen fundamentteihin perustuva arvo on jäänyt toissijaiseksi tekijäksi. Tällöin varsinkin pitkällä aikavälillä tehottomuus voi jopa lisääntyä. Arifovic ym. (2022) demonstroivat asiaa esittämällä, että vaikka algoritmisen kaupankäynnin voitollisuus ja hintojen tehokkuus noudattavat kaupankävijöiden nopeuden suhteen konkaavia funktiota (eli nopeuden kiihtyessä voitot kääntyvät lopulta laskuun), nopeuden lisääminen voi silti olla yksilön kannalta dominoiva strategia. Tämä johtaa heidän mukaansa tilanteeseen, jossa nopeus lisääntyy entisestään, vaikka kollektiivinen hyvinvointi heikkenee.

Toisaalta keskivahvan tehokkuuden puolesta voisi argumentoida esittämällä, että koska osakekauppa tehdään nykyään useamman informaatiolähteen avulla, kaiken julkisen tiedon voisi olettaa

olevan paremmin heijastuneena hintoihin. Väitän kuitenkin, että vaikka argumentti pitää teoriassa paikkaansa, muiden kuin perinteisten ja juuri markkinoille räätälöityjen informaatiolähteiden laatu voi olla hyvin kyseenalaistettavaa eikä välttämättä ole yhdistettävissä osakkeen todelliseen arvoon. Esimerkiksi sosiaalinen media on hyvin tunnepohjainen järjestelmä (ks. esim. Kramer ym. 2014), jolloin sen heijastamaa informaatiota voi melko perustellusti pitää epärationaalisenä, vaikka sillä olisikin joitain osakekurseja ennustavia piirteitä.

5.5 Vahva tehokkuus

Vahvan muodon tehokkuutta Fama testasi analysoimalla, onko jollain sijoittajalla tai sijoittajaryhmällä monopolistinen pääsy hintojen muodostumisen kannalta merkityksellisiin tietoihin. Lisäksi hän tarkasteli, onko markkinoilla havaittavissa viitteitä siitä, että hallussa olevaa sisäpiiritietoa hyödynnettäisiin. Vaikka tulokset osaltaan tukivat myös vahvan tehokkuuden hypoteesia, Fama suhtautui niihin varauksella. Täysin tehokkailla markkinoilla sisäpiiriläisetkään eivät kykenisi hyödyntämään tietoaan saavuttaakseen ylisuuria voittoja. Tässä vaiheessa tätä tutkielmaa on selvää, että markkinat eivät ole täysin tehokkaat, jolloin mahdollisuus sisäpiiritiedon hyväksikäyttöön on olemassa. Intuitiivisesti voikin siis päätellä, ettei nykyinen algoritminen kaupankäynti ole sitä mahdollisuutta poistanut. Tutkimuskysymyksen kannalta on kuitenkin mielekäästä pohtia, millaisia vaikutuksia algoritmisella kaupankäynnillä on ylipäättään ollut koskien sisäpiiritietoa ja sisäpiirikauppaa.

Tyypillisesti sisäpiirikaupan on ajateltu paljastavan yrityksen todellisen arvon kannalta hyödyllistä tietoa siirtäen osakkeen hintaa kohti sen fundamentaalista arvoa täten parantaen markkinoiden tehokkuutta. Hintana on kuitenkin ollut voimistunut informaation epäsymmetria ja kasvaneet kaupankäynnin kustannukset muille sijoittajille, mikä on luonnollisesti tehokkuutta vastaan. (ks. esim. Chakravarty – McConnell 1999; Fishman – Hagerty 1992; Glosten – Milgrom 1985.) Kyseessä on siis kaksiteräinen miekka.

Koska AT-toimijat kykenevät analysoimaan pienimpiäkin kurssiliikkeitä ja jopa kaupankäyntiaikumuksia, sisäpiiritiedon varassa tehdyt normaalista poikkeavat toimeksiannot ovat suuressa riskissä paljastua AT-toimijoille. Sisäpiiritietoa sisältävien hintanoteerauksien saapuessa markkinoille tieto tulee käytännössä useampien käytettäväksi, jos tilausennakointistrategiaa käyttävät AT-toimijat kykenevät tunnistamaan sen. Tämä paitsi tukee informaation epäsymmetrian laskua myös nopeuttaa sisäpiiritiedon heijastumista ja toisaalta alentaa sisäpiiritiedolla kauppaa käyvien taloudellisia hyötyjä (koska nyt myös AT-toimijat voivat hyväksikäyttää tietoa). Logiikka on käytännössä sama kuin luvussa 5.4 informoitujen sijoittajien kohdalla. AT-kaupankäynti paitsi nopeuttaa sisäpiiritiedon heijastumista lyhyellä aikavälillä, myös heikentää sen käytöstä saavutettavaa taloudellista hyötyä.

Sisäpiiritiedon hyväksikäytön voisi siis kuvitella vähenevän pitkällä aikavälillä aivan kuten informoitujen sijoittajien motivaatio hankkia ja käyttää tietoaan.

Van Kervelin ja Menkveldin (2019) mukaan institutionaaliset sijoittajat ovat alkaneet käymään kauppaa yhä strategisemmin välttääkseen sen, että AT-kaupankävijät käyttäisivät hyväkseen heidän informaatiotaan. Heidän mukaansa instituutiot ovat vaihtaneet korkeamman tuoton pienempään paljastumisen riskiin. Changin ym. (2022, 727) mukaan sama pätee myös sisäpiiritiedolla kauppaa käyville. Heidän mukaansa sisäpiiriläiset ovat alkaneet käyttäytymään strategisesti valiten tarkoin kauppansa muodon (osto vai myynti), ajan sekä koon välttääkseen informaatioetunsa paljastumista nykyisessä AT-ympäristössä. Algoritmien yleistyminen on siis muuttanut eri sijoittajaryhmien toimintaa ja pakottanut heidät sopeutumaan tilanteeseen, jossa kuka tahansa voi hyötyä heidän tiedostaan ensin. Toisaalta Chang ym. (2022) myös argumentoivat, että sisäpiirikaupat ovat nykyään yhä tärkeämmässä roolissa kompensoimassa AT-kaupankäynnin heikentämää tiedonhankinnan motiivia ja siitä johtuvaa hintojen tehottomuutta.

5.6 Vahva tehottomuus

Luvussa 5.3 käsitellyssä tutkimuskirjallisuudessa esitettiin, että koska nopeudesta on tullut markkinoiden yksi tärkeimmistä tekijöistä, algoritmiset kauppiat ovat sijoittaneet omia kaupankäyntipalvelimiaan markkinainfrastruktuurin läheisyyteen varmistaen näin nopeat yhteydet ja mahdollisuuden reagoida uuteen tietoon ensimmäisenä. Grindstedin (2022) mukaan tämä johtaa tilanteeseen, jossa julkinen tieto on hetken aikaa käytännössä yksityisesti käytettävissä niille, jotka sijaitsevat lähimpänä kyseistä tietolähdettä tai pörssiä. Se mahdollistaa tiedon hyväksikäytön ennen muita johtaen suurempiin taloudellisiin hyötyihin. Toisin sanoen alun perin julkisesta tiedosta voi suurta nopeutta ja parempaa sijaintia hyväksikäyttämällä tehdä hetkellisesti itselleen sisäpiiritietoa. Ajatus tuntuu melko kaukaa haetulta, mutta koska nopeimmat AT-toimijat kykenevät reagoimaan jopa mikrosekunneissa, millisekunneillakin on merkitystä. Tämä kehitys on luonnollisesti vahvaa tehokkuutta vastaan, sillä se mahdollistaa myös julkisen tiedon käyttämisen sisäpiiritiedon tavoin lisäten näin informaation epäsymmetriaa perinteisiä sijoittajia kohtaan.

Zhangin ja Zhangin (2025, 38) mukaan sisäpiiriläiselle hinnoitteluvirheet merkitsevät suurempia voittoja. Heidän mukaansa algoritmisen kaupankäynnin aiheuttama mahdollinen virhehinnoittelu voi johtaa epälikvidiin markkinaan, jolloin sisäpiiriläinen voi hyödyntää tietopuolensa etua voittojen merkittävään kasvattamiseen. Tämä on vahvasti vahvan tehokkuuden hypoteesia vastaan. Vaikka AT-toimijat voivat hyväksikäyttää sisäpiiriläisten markkinoille tuomaa informaatiota heijastaen sitä nopeasti hintoihin, he voivat myös luoda virhehinnoittelua, mistä hyötyvät loppujen

lopuksi eniten juuri sisäpiirikauppiat. Tulokset ovat jälleen ristiriitaisia. Algoritminen kaupankäynti voi nopeuttaa sisäpiiritiedon heijastumista ja vähentää sisäpiirikaupan voitollisuutta, mutta toisaalta yksityistää jopa julkista tietoa sekä hyödyttää sisäpiiriläisiä aiheuttamalla virhehinnoittelua. Yhtenäistä näillä vaikutuksilla on kuitenkin se, että häviöjä on aina perinteinen hitaampi tai huonosti informoitu sijoittaja. Nykyistä algoritmista kehitystä ja kaupankäyntiä onkin siteerattu rakenteellisena sisäpiirikauppana.

Yadavin (2016) mukaan AT-toimijat pääsevät nopeuteen ja sijaintiin perustuvan etunsa ansiosta systemaattisesti käsiksi markkinainformaatioon muita ennen, mikä luo markkinoille rakenteellisen sisäpiirikauppan muistuttavan asetelman. Asetelma paitsi lisää informaation epäsymmetriaa, mutta voi myös horjuttaa markkinoiden luotettavuutta ja oikeudenmukaisuutta. Perinteiset ja hitaammat sijoittajat eivät välttämättä enää halua olla osana markkinaa, kun AT-toimijat ja toisaalta myös sisäpiiriläiset kykenevät hyväksikäyttämään asemaansa heikompien kustannuksella. Angel ja McCabe (2018) tuovat esiin myös asetelman eettiset ongelmat. Heidän mukaansa asetelma ei välttämättä ole rinnastettavissa perinteiseen sisäpiirikauppaan ja voi tietyissä tapauksissa jopa hyödyttää perinteistä sijoittajaa, mutta tästä huolimatta sijoittajien kokema oikeudenmukaisuus voi kärsiä, kun tietyille ja valituille myydään nopeampi pääsy informaatioon. He kuitenkin korostavat, että jo pelkkä pyrkimys hankkia informaatiota edistää sen tehokasta heijastumista ja hyödyttää näin kaikkia markkinoiden osapuolia, vaikka suurin etu kohdistuu vain valituille toimijoille.

6 Tulosten analyysi

Tässä tutkielman osiossa käydään läpi kirjallisuudesta ilmenneitä tuloksia ja esitetään ne havainnollistavassa taulukossa. Taulukko 1 kuvaa algoritmisen kaupankäynnin vaikutuksia perustuen Faman kolmen tehokkuuden viitekehukseen ja taulukko 2 listaa lopuksi muita ilmenneitä vaikutuksia. Tämän jälkeen syvennyttään vielä erikseen algoritmisen kaupankäynnin vaikutukseen osakemarkkinoiden tehokkuuteen ja tehdään havaintojen perusteella käytännön implikaatio mahdollisten ongelmien korjaamiseksi. Lopuksi vastataan tutkimuskysymykseen.

6.1 Keskeiset havainnot

Heikon tehokkuuden osalta Boehmerin ym. (2021) autokorrelaatiotesti näytti tehokkuuden parantuneen. Kaupankäyntikulut ovat kuitenkin laskeneet merkittävästi (Stoll 2006; Hendershott ym. 2011; Hendershott – Riordan 2013), jolloin ei voi enää argumentoida, että erinäisten kaupankäyntistrategioiden hyväksikäyttö olisi kulujen vuoksi taloudellisesti merkityksetöntä. Tästä syystä mahdollisuus ylisuurta tuottoa tuottavien strategioiden muodostamiseen on parempi kuin ennen, joten tehokkuuden voi määritelmällisesti argumentoida jopa laskeneen. Systemaattisesti markkinoita voittaneita tahoja on useita ja ehkä kaikkein kuuluisimpana esimerkkinä voidaan pitää sijoittajalegenda Warren Buffettia. Lisäksi olen merkannut taulukkoon 1 markkinoiden ennustettavuuden jopa nousseen johtuen luonnollisesti yhä heikompaan markkinoiden tehokkuuteen sen klassisessa määritelmässä. Käsittelen tätä aihetta tarkemmin luvussa 6.3 vastatessani tutkimuskysymykseen.

Keskivahvan tehokkuuden osalta kirjallisuus oli melko yksimielistä siitä, miten algoritmisen kaupankäynti on muuttanut markkinoiden tilannetta. Tiedon heijastumisen nopeus on kasvanut merkittävästi (Scholtus ym. 2014; Hendershott – Moulton 2011) ja kilpailu nopeudesta on kärjistynyt tilanteeseen, jossa jopa sijainnista on tullut olennainen tekijä tuottojen maksimoinnissa (Grindsted 2022). Tämä on johtanut lyhyellä aikavälillä tarkkaan ja nopeaan uuden tiedon heijastumiseen (Brogaard ym. 2014; Yuferova 2024; Hendershott – Moulton 2011), mutta myös heikentyneeseen motiiviin tehdä perusteellisempia ja kalliimpia analyysyjä, jolloin pitkällä aikavälillä hinnat saattavat sisältää jopa aiempaa vähemmän fundamentaalista informaatiota aiheuttaen tehottomuutta (Brogaard ym. 2014; Weller 2018; Arifovic ym. 2022).

Vahvaa tehokkuutta tutkiessa kirjallisuus osoitti, että tiettyjen sijoittajaryhmien monopolistinen pääsy sisäpiiritietoon on jopa noussut, sillä AT-toimijat kykenevät parempien yhteyksien turvin hetkellisesti yksityistämään julkista tietoa (Grindsted 2022; Yadav 2016). Tämä johtaa informaation epäsymmetriaan ja markkinoiden tehottomuuteen. Tehokkuuden puolesta voitiin kuitenkin

argumentoida, että algoritmisen kaupankäynti nopeuttaa aidon sisäpiiritiedon heijastumista ja voi heikentää siitä saatavia tuottoja aivan kuten perinteisten informoitujen sijoittajien tuottoja. Siinä missä AT-kaupankäynti aiheutti keskivahvaa tehottomuutta, sillä on mahdollisuus parantaa vahvaa tehokkuutta. Toisaalta AT-kaupankäynnin aiheuttamista virhehinnoitteluista hyötyvät eniten juuri sisäpiiritietoa omaavat tahot (Zhang – Zhang 2025). Algoritmisen kaupankäynti voi siis toisaalta heikentää sisäpiiriläisten tuottoja mutta myös parantaa niitä, jolloin kokonaisvaikutus ei ole yksiselitteinen. Keskeisimmät tulokset on havainnollistettu taulukkoon 1. Muita havaittuja vaikutuksia on havainnollistettu taulukkoon 2.

Taulukko 1. Keskeiset tulokset jaoteltuna heikkoon, keskivahvaan ja vahvaan tehokkuuteen

Heikon tehokkuuden mittarit	Muutos mittarissa	markkinoiden tehokkuus
Autokorrelaatio	↓	↑
Strategioiden voitollisuus	↑	↓
Ennustettavuus	↑	↓
Keskivahvan tehokkuuden mittarit		
Tiedon heijastumisen nopeus	↑	↑
Heijastumisen tarkkuus lyhyt aikaväli	↑	↑
Heijastumisen tarkkuus pitkä aikaväli	↓	↓
Vahvan tehokkuuden mittarit		
Julkisen tiedon yksityistäminen	↑	↓
Sisäpiiritiedon heijastumisen nopeus	↑	↑
Sisäpiiriläisten ylisuuret tuotot	↓ ↑	Ei yksiselitteistä

Taulukkoon on koottu kirjallisuudesta ilmenneitä tuloksia algoritmisen kaupankäynnin vaikutuksesta osakemarkkinoiden tehokkuuteen. Tulokset on jaoteltu heikkoon, keskivahvaan sekä vahvaan osa-alueeseen. Kusakin osa-alueessa esitetään kolme tehokkuuden mittaria perustuen Faman (1970) käyttämiin mittareihin. Taulukossa esitetään mittareiden muutossuunta (nousee tai laskee) sekä muutoksen vaikutus osakemarkkinoiden tehokkuuteen (nousee, laskee tai ”ei yksiselitteistä”).

Taulukko 2. Algoritmisen kaupankäynnin muita vaikutuksia

Tehokkuuden mittari	Muutos mittarissa	Markkinoiden tehokkuus
Kaupankäyntikulut	↓	↑
Likviditeetti	↑	↑
Lyhyen aikavälin volatilitteetti	↑	Ei yksiselitteistä
Markkinoiden toiminnassa ja sijoittajakäyttäytymisessä tapahtuneita muutoksia		
Ihminen tarkkailijan roolissa		
Markkinainfrastruktuurin muutos		
Hinnanmuodostus muuttunut		
Informaatiolähteet laajentuneet		

Sijoitushorisontti kutistunut
Sijainti kilpailuresurssina
Strategisempi kaupankäynti
Tiedon yksityistäminen

Taulukkoon on koottu muita Faman (1970) tehokkaiden markkinoiden mallin ulkopuolelle sijoittuvia algoritmisen kaupankäynnin vaikutuksia osakemarkkinoiden tehokkuuteen. Taulukossa on esitetty tehokkuutta mittaava mittari, mittarin muutossuunta (nousee tai laskee) sekä muutoksen vaikutus osakemarkkinoiden tehokkuuteen (nousee, laskee tai "ei yksiselitteistä") klassiseen määritelmään perustumattomana. Lisäksi taulukkoon on listattu algoritmisen kaupankäynnin aiheuttamia vaikutuksia markkinaympäristöön sekä sijoittajatoimintaan ottamatta kantaa niiden aiheuttamaan mahdolliseen markkinatehokkuuden muutokseen.

6.2 Tuloksiin syventyminen sekä käytännön implikaatio

Heikon tehokkuuden osiossa algoritmisen kaupankäynnin todettiin puoltavan markkinoiden heikkoa tehokkuutta vähentämällä osakkeen päivänsisäisten tuottojen välistä autokorrelaatiota. Tulokset olivat melko yksiselitteisiä, mutta tutkitaan asiaa seuraavaksi hieman tarkemmin. Positiivisessa autokorrelaatioissa on kyse siitä, että osakkeen edelliset hinnat ennustavat sen tulevia hintoja. Toisin sanoen entiset nousut (laskut) ennustavat myös tulevia nousuja (laskuja). Negatiivinen autokorrelaatio on päinvastaista eli entiset nousut (laskut) ennustavat tulevia laskuja (nousuja). Logiikka toimii samoin tarkasteluvälistä riippumatta. Luvussa 5.3 tuli ilmi, että nykyään hinnan argumentoidaan muodostuvan pitkälti jo toimeksiantokirjassa tapahtuvina hintanoteerauksien muutoksina eikä toteutuneina kauppoina, kuten yleensä on ajateltu. Lisäksi tuli ilmi, että melko yleinen algoritmisen kaupankäynnin strategia on tilausennakointistrategia, jossa algoritmien toimeksiantojen perusteena on toimeksiantokirjan noteeraukset eivätkä välttämättä toteutuneet kaupat. Yksinkertaistetusti voisi siis tapahtua seuraava:

Sijoittaja A asettaa suuren ostotoimeksiannon tietyllä hinnalla osakkeelle X muuttaen näin kysynnän ja tarjonnan tasapainoa voimakkaasti kysynnän suuntaan. Tilausennakointistrategiaa hyväksikäyttävä algoritmi huomaa tarjouskirjassa tapahtuneen muutoksen ja ennustaa osakkeen hinnan nousevan. Algoritmi ostaa kyseistä osaketta ennen kuin sijoittajan A ostotilaus ehtii realisoidua. Mikäli sijoittajan A ostotilaus koskaan realisoituu, osaketta X on nyt joka tapauksessa ostanut joko algoritmi tai sekä algoritmi että sijoittaja A. Loppujen lopuksi osaketta ostettiin siis enemmän kuin sitä olisi alun perin ostettu, jolloin myös kurssin voidaan olettaa liikkuneen enemmän. Toisin sanoen algoritmin toiminta aiheutti kurssin liikettä perustuen sen potentiaaliin tuleviin liikkeisiin.

Tarjouskirjan noteeraukset eivät ole vielä realisoituneita kauppvoja, mutta algoritmit toiminnallaan johtaa siihen, että noteerauksien perusteella syntyy kauppvoja. Kutsuisin ilmiötä käänteiseksi autokorrelaatioksi (siis eri kuin negatiivinen). Algoritmien toimesta osakkeiden hinnat korreloivat

nyt yhä voimakkaammin ”tulevien” hintojen kanssa menneiden sijaan. Hintoja on tietysti virheellistä kutsua tuleviksi, sillä ne sisältävät epävarmuutta ja siinä ilmiön ongelma onkin. Alkuperäinen kysyntä ei välttämättä koskaan realisoidu, jolloin algoritmi on ostanut osaketta turhaan. Lisäksi algoritmien toiminta ei välttämättä ota kantaa alkuperäisen kysynnän muutoksen rationaalisuuteen. Tällöin algoritmit joko aiheuttavat tai voimistavat potentiaalista kurssiliikettä riippumatta siitä, onko sen taustalla fundamenttien kannalta oleellista tietoa. Vaikka toiminta voidaan sisäpiirikaupan suhteen nähdä tehokkuutta voimistavana ilmiönä, tuloksena voi olla myös kohinakauppaa. Luvun 3.1 mukaan se voi aiheuttaa osakkeiden hintojen systemaattista poikkeamista niiden fundamentaalisista arvoista, mikä on tehokkuutta vastaan.

Esimerkin ideana ei ollut havainnollistaa sitä, etteikö AT-kaupankäynti voisi aiheuttaa tehottomuutta, vaan että markkinoiden tehottomuus ei välttämättä ole kadonnut, vaan yksinkertaisesti muuttanut muotoaan. Samaa johtopäätöstä tukee myös luvussa 5.2 ilmi tulleet tekoälymallien puutteet. Tehottomuutta aiheuttaa nyt ihmisen sijaan puutteelliset ja epärationaalisesti toimivat algoritmimallit. Vaikka tehottomuus ei välttämättä enää näy entisillä mittareilla, kuten autokorrelaation tapauksessa, se on yhä olemassa toisaalla. Markkinaympäristö ja sen toimintalogiikka ovat muuttuneet, jolloin myös tehottomuuden ilmentymät ovat muuttuneet, mutta eivät kadonneet. Tästä syystä, vaikka AT-kaupankäynti on tiettyjen mittareiden valossa tehostanut markkinoiden toimintaa, tuloksissa näkyy toisaalla myös tehokkuutta heikentäviä vaikutuksia. Havainnot puoltavat paitsi uusia mittareita kehittyneiden markkinoiden mittaamiseen, myös mahdollista sääntelyä tehokkuudelle haitallisten kehityssuuntien estämiseksi.

Tällaista sääntelyä voisi kaivata esimerkiksi luvussa 5.3 ilmi tullut kilpailu nopeudesta. Kilpailu on kärjistynyt tilanteeseen, jossa markkinoille on syntyneessä sijaintiin perustuva luokkajärjestelmä. Kehittyneimmät algoritmit ja parhaimmat sijainnit mahdollistavat selkeän etulyöntiaseman. Vastargumenttina voisi todeta, että markkinoilla on aina ollut etulyöntiasema niillä, joilla on käytössään uusimmat ja kehittyneimmät työkalut. Nyt kyse on kuitenkin myös sijainnista. Kaikki voivat ainakin teoriassa käyttää samoja työkaluja, mutta kaikkia ei voida sijoittaa pörssien välittömään läheisyyteen. Tällöin parhaat sijainnit jaetaan usein varallisuuden ja suhteiden mukaan, mikä on yleinen luokkajärjestelmän tunnusmerkki. Asetelman haitalliset puolet näkyvät tulevat ilmi luvuissa 5.4 ja 5.6. Ehdottaisin ongelmaan viiveeseen perustuvaa rajoitetta. Tällöin kaikki markkinaosapuolet saataisiin samalle lähtöviivalle eikä kukaan kykenisi yksityistämään julkista tietoa tai hyväksikäyttämään muiden tietoa pelkän nopeuden turvin.

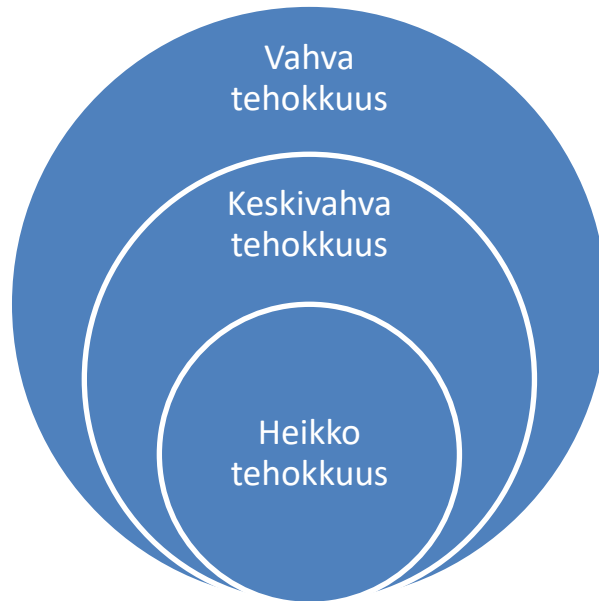
Viive voisi olla esimerkiksi 500 ms eli puoli sekuntia. Ajatuksena on se, että jokaisen markkinaosapuolen viive pörssiin tai informaatiolähteisiin tulisi olla ennalta määrätty ja kaikille yhteinen, jolloin eriarvoisuutta ei syntyisi. Esimerkin vuoksi valitaan tiedonsiirron välineeksi valokuitu, jota pitkin tieto siirtyy noin 200 000 km/s. Yhteys maapallon ympäri veisi siis noin 200 ms. Asia ei tietenkään ole näin suoraviivainen, mutta kyseessä on yksinkertaistettu teoriaa havainnollistava esimerkki. 500 ms viive siis mahdollistaisi sen, että kaikki saavat tiedon yhtä aikaa, mutta kyseisellä viiveellä ei olisi markkinoiden perustavanlaatuisen tarkoituksen kannalta negatiivisia vaikutuksia. Loppujen lopuksi osakemarkkinoiden perinpohjainen tarkoitus on varojen tehokas allokaatio, mikä ei vaadi mikrosekuntien tarkkuutta toimiakseen tarkoituksenmukaisesti.

Rajoitus asettaisi kaikki samalle lähtöviivalle, jolloin kilpailu nopeudesta ei kärjistyisi. Se vähentäisi parempiin yhteyksiin ja nopeuteen perustuvaa hitaampien ja informoitujen sijoittajien hyväksikäyttöä, jolloin tiedon hankkimisen kannattavuus ei kärsisi. Tuloksena olisi siis myös pitkällä aikavälillä informoidut ja tarkat hinnat. Lisäksi se poistaisi mahdollisuuden yksityistää julkista tietoa nopeuden turvin, jolloin markkinoille ei syntyisi sijaintiin ja yhteyksiin perustuvaa luokkajärjestelmää. Yhteinen viive ratkaisisi sekä vahvan että keskivahvan tehokkuuden ongelmat. Sijoittajat keskittyisivät nopeuteen perustuvan informaatioedun hyväksikäytön sijaan fundamenttien kannalta oleellisen tiedon hankkimiseen. Viiveeseen perustuva rajoitus olisi myös helpompi toteuttaa ja hallita, kuin yksittäisten haitallisten sijoitusstrategioiden kieltäminen. Kaupanteon ehdoksi voitaisiin asettaa määritellyjä rajoituksia seuraavien standardiyhteyksien käyttö, jolloin yksittäisten toimijoiden olisi mahdotonta tehdä kauppaa omien ja nopeampien yhteyksien turvin. Tällöin rajoituksia olisi hyvin vaikea kiertää ja toisaalta helpompi valvoa. Osakemarkkinoille luotaisiin täysin oma ja säännelty yhteys, joka takaisi oikeudenmukaiset ja tasavertaiset markkinat.

6.3 Miten algoritminen kaupankäynti vaikuttaa markkinatehokkuuteen

Viiveeseen perustuva kaikille yhteinen rajoitus voisi toimia keinona ratkaista tai ainakin lieventää AT-kaupankäynnin aiheuttamia ongelmia keskivahvassa sekä vahvassa tehokkuudessa. Jäljelle jää kuitenkin vielä heikko tehokkuus. Tehokkuuden muodot ovat toistensa sisäisiä tasoja eli vahvempi muoto edellyttää, että markkina on ensin heikommassa muodossa tehokas. Kuvio 1 havainnollistaa tehokkuuden hierarkiaa. Jotta markkinat voivat olla keskivahvasti tehokkaat, on niiden oltava myös heikosti tehokkaat ja jotta markkinat voivat olla vahvasti tehokkaat, on niiden oltava myös keskivahvasti tehokkaat. Tehokkuuden klassisen määritelmän kannalta kaikkein keskeisin tekijä on siis heikko tehokkuus. Markkinoiden on ensin oltava heikosti tehokkaat, jotta muut asteet voisivat olla

tosia. Kaikkein perimmäinen ehto markkinoiden tehokkuudelle on siis se, etteivät hinnat voi olla ennustettavissa.



Kuvio 1. Tehokkuuden hierarkia

Ei ole täysin perusteetonta todeta, että markkinoilla oli ennen yhtä monta näkemystä kuin oli sijoittajia. Sijoitustoiminta on kuitenkin yhä suuremmissa määrin siirtymässä ihmisiltä automaattisille algoritmeille. Algoritmien toimintatapa eroaa ihmisen toimintatavasta siten, että se perustuu ennalta määrättyihin säännönmukaisuuksiin. Tiettyjen olosuhteiden täytyessä algoritmit tekevät tietyt toimet riippumatta siitä, mistä olosuhteet johtuivat. Mikäli algoritmi päätyisi eri tuloksiin täysin samoilla syötteillä, kyseessä olisi huono algoritmi. Toimivan algoritmin piirre onkin se, että se tuottaa aina saman tuloksen syötteiden ollessa samoja. Tämä piirre on kuitenkin ristiriidassa ennustettavien markkinoiden kanssa. Teoriassa jos markkinoilla toimisi vain algoritmeja, kurssiliikkeiden tulisi reagoida aina samalla tavalla samoihin olosuhteisiin. Toisin sanoen markkinat olisivat täysin ennustettavissa. Täysin algoritmijohtoiset markkinat eivät siis välttämättä ole tavoiteltava kehityssuunta ainakaan, jos algoritmit ovat yllä määritellyllä tavalla toimivia. Tästä syystä merkitsin taulukkoon 1, että ennustettavuus voi jopa nousta.

Algoritmisessa markkinassa on myös muita ongelmia. On melko perusteltua todeta, että mitä tarkemmin algoritmi kykenee laskemaan osakkeen fundamentaalisen arvon, sitä parempi algoritmi on kyseessä. Markkinoiden tarkoitus on heijastaa yritysten fundamentaalisia arvoja mahdollisimman tarkasti, jotta talouden varallisuus allokoituu tehokkaasti. Tarkasti fundamentteja heijastava markkina on siis tavoitteellinen tila. Tällöin myös yksiselitteisesti fundamentaalisen arvon laskevan

algoritmin voi ajatella olevan tavoiteltava kehityssuunta. Täysin tehokkaiden algoritmien tulisi siis lähtökohtaisesti olla samaa mieltä siitä, milloin osake on alihinnoiteltu ja milloin ylihinnoiteltu. Tämän voisi ajatella olevan hyvä asia, mutta näin ei osakemarkkinoiden kannalta ole. Osakekauppa perustuu erimielisyyteen. Jos kaikki haluavat ostaa osaketta, mutta kukaan ei ole valmis myymään sitä, kauppoja ei yksinkertaisesti synny. Tällöin olisi luonnollista argumentoida, että osakkeen hinta nousee, kunnes joku on halukas myymään. Logiikka ei kuitenkaan toimi täysin tehokkailla algoritmivetoisilla markkinoilla. Kun algoritmit ovat laskeneet osakkeen olevan myyntihintainen, kaikki haluavat nyt myydä sitä. Esimerkki on luonnollisesti liioiteltu eikä välttämättä kuvaa markkinoiden tämänhetkistä tilannetta, mutta nykyisen kehityssuunnan yhtenä päätepiirteenä sen voi nähdä.

Mitä enemmän markkinoilla on algoritmeja tai mitä lähemmäksi päästään täydellisesti yrityksen fundamentaalista arvoa heijastavia algoritmeja, sitä ennustettavammaksi ja yksipuolisemmaksi markkinat muuttuvat johtaen lopulta joko tehostomuteen tai kaupankäynnin lakkaamiseen. Tilanteeseen on vaikea nähdä toimivaa ratkaisua, sillä yhtäläisen mielipiteen kieltäminen olisi melko erikoista varsinkin, jos mielipiteet olisivat osakkeen fundamenttien kannalta oikeita. Ongelmaan on kuitenkin olemassa ratkaisu: ihminen. Kuten luvussa 3.1 todettiin, ihmisellä on taipumus poiketa rationaalisuudesta. Ihmisen käyttäytyminen on kuitenkin markkinoiden kannalta siinä mielessä suotuisampaa, että vaikka se näennäisesti seuraisi jotain lainalaisuutta, voimme toisinaan yllättää ja käyttäydymmekin täysin oletusten vastaisella tavalla. Ihmisen käyttäytymismallit ovat ennemminkin havainnoista johdettuja yleistyksiä kuin absoluuttisia totuuksia, jolloin erilaisia mielipiteitä syntyy luonnostaan.

Nämä erimielisyydet ovat elinehto toimiville markkinoille. Koska kaupankäynti ei toimi objektiivisesti oikeita arvoja laskevien markkinaosapuolien avulla, kyseinen kehityssuunta ei välttämättä ole osakemarkkinoiden kannalta oikea. Toisaalta olisi turhaa kehittää algoritmeja vain siksi, että niitä jouduttaisiin lopulta rajoittamaan ja pakottamaan toimimaan puutteellisesti vain palvellakseen markkinoiden toimintaperiaatetta paremmin. Vaikka algoritmit voivat olla markkinoiden tehokkuuden kannalta oikea suunta, ne eivät ole markkinoiden toiminnan kannalta oikea suunta. Tästä syystä argumentoin, että algoritmien ei tulisi korvata ihmistä kaupankävijänä, vaan kenties toimia vain kaupankäyntiprosessia tehostavana työkaluna. Markkinat tarvitsevat mielipiteitä ja epärationaalisuutta, joita ihminen tarjoaa luonnostaan. Algoritmit voivat tiettyyn pisteeseen saakka parantaa markkinoiden tehokkuutta, mutta ne eivät ole markkinoiden toimintaperiaatteen kannalta pätevä markkinaosapuoli.

7 Yhteenveto

Osakemarkkinat ovat keskeinen osa talouden kasvua ja varojen tehokasta allokaatiota. On siis ensiarvoisen tärkeää, että osakkeiden hinnat heijastavat yritysten todellista arvoa. Viime vuosikymmeninä markkinatoiminta ja markkinaympäristö ovat muuttuneet teknologisten ja taloudellisten edistysaskeleiden takia. Kehitys on johtanut tilanteeseen, jossa suurin osa osakekaupasta on nykyään täysin algoritmeilla toimivien tietokoneiden tekemää ja ihminen on jäänyt tarkkailijan asemaan. Algoritmit kykenevät analysoimaan markkinadataa ja tekemään toimeksiantoja huomattavasti tehokammin kuin ihminen, joten olisi intuitiivista ajatella, että kehitys heijastuu myös osakemarkkinoihin. Tämän tutkielman tarkoituksena oli selvittää, miten algoritmisen kaupankäynti vaikuttaa osakemarkkinoiden tehokkuuteen.

Tässä tutkielmassa keskeisenä markkinatehokkuuden määritelmänä toimi Faman luoma viitekehys tehokkaista markkinoista. Vaikka mallissa alun perin käytetyt oletukset rationaalisesti toimivista sijoittajista, satunnaisesta irrationaalisuudesta sekä rationaalisesta arbitraasista osoittautuivat vääriksi, malli jätti toimivan viitekehysten tehokkuuden kokonaisvaltaiseen arvioimiseen. Tyypillisesti algoritmisen kaupankäynnin tehokkuutta tarkastelevissa tutkimuksissa viitataan vain yksittäiseen tehokkaiden markkinoiden osa-alueeseen, jolloin kokonaisvaltainen kuva ilmiön vaikutuksista voi jäädä puutteelliseksi. Tämän tutkielman keskeinen kontribuutio on luoda algoritmista kaupankäyntiä käsittelevä kirjallisuuskatsaus käyttäen koko tehokkaiden markkinoiden viitekehystä, jolloin nykytilanteesta saadaan kokonaisvaltaisempi kuva rajaten sitä kuitenkin klassisen markkinatehokkuuden näkökulmaan ja siten kandidaatintutkielmalle sopivaan kokoon. Kokonaisvaltaisemmasta kuvasta on helpompi sekä vastata tutkimuskysymykseen että ehdottaa ongelmiin ratkaisuja.

7.1 Johtopäätökset

Algoritmisen kaupankäynnin on todettu parantavan markkinoiden tehokkuutta, mutta kokonaistulokset ovat ristiriitaiset. AT-kaupankäynnissä on kaikissa tehokkuuden kolmessa muodossa sekä tehokkuutta parantavia vaikutuksia, mutta myös tehokkuutta heikentäviä vaikutuksia. Tulokset antavat viitteitä siitä, että alun perin ihmisen aiheuttama tehottomuus ei olisi kadonnut, vaan yksinkertaisesti muuttanut muotoaan kehityksen edetessä. Algoritmisen kaupankäynti aiheuttaa tehottomuutta erityisesti heikentämällä informaation hankinnan kannattavuutta johtaen pitkällä aikavälillä huonommin informoituihin hintoihin. Kilpailu nopeudesta ja muiden informaation hyväksikäytöstä on ajanut osakkeiden fundamentaaliset arvot jopa toissijaiseksi tekijäksi. Nopeuskilpailu on myös aiheuttanut rakenteellista sisäpiirikauppaa muistuttavan asetelman, joka voi heikentää markkinoiden

tasa-arvoa sekä tehokkuutta lisäten informaation epäsymmetriaa. Toisaalta AT-kaupankäynnin on todettu parantavan informaation heijastumisen nopeutta ja tarkkuutta varsinkin lyhyellä aikavälillä. Lisäksi se on alentanut markkinoiden kaupankäyntikuluja, minkä voidaan argumentoida parantaneen tehokkuutta, mutta klassisen markkinatehokkuuden näkökulmasta myös heikentävän sitä. Lisäksi AT-kaupankäynti on tuonut muutoksia esimerkiksi markkinainfrastruktuuriin, hinnanmuodotukseen, informaatiolähteisiin sekä informoitujen sijoittajien käyttäytymiseen.

Ehdotan erityisesti kilpailun kärjistymisen aiheuttamiin ongelmiin viiveeseen perustuvaa rajoitetta. Kaupankäynnin ehtona olisi standardoidun yhteyden käyttäminen, joka toimisi kiinteällä kaikille yhteisellä viiveellä. Kiinteä viive lieventäisi paitsi sijoittajien välistä nopeuskilpailua myös estäisi tiedon yksityistämisen paremman yhteyden turvin. Tällöin osakkeiden hinnat olisivat myös pitkällä aikavälillä informoituja, eikä markkinoille syntyisi yhteyteen perustuvaa eriarvoisuutta lisäävää luokkajärjestelmää. Kun kauppaa ei voisi käydä ilman, että käyttää standardoitua yhteyttä, rajoituksen kiertäminen olisi mahdotonta. Rajoituksen valvonta olisi myös helpompaa kuin yksittäisen tehokkuudelle haitallisen kaupankäyntistrategian kieltö.

Pääjohtopäätöksenä kuitenkin esitän, että algoritmien perustavanlaatuisen toimintaperiaate on ristiriidassa osakemarkkinoiden toimintaperiaatteen kanssa. Algoritmien toimintaperiaate perustuu ennalta määrättyihin säännönmukaisuuksiin, joiden perusteella tuloksen tulisi aina olla sama samoilla syötteillä. Täten jos markkinoilla toimisi vain algoritmeja, kurssiliikkeiden tulisi reagoida aina samalla tavalla samoihin olosuhteisiin. Tämä johtaisi täysin ennustettaviin markkinoihin. Myöskään tarkasti yrityksen fundamentaalisen arvon laskeva algoritmi ei olisi markkinoiden kannalta hyvä ratkaisu. Kaupankäynti perustuu erimielisyyteen, joten kauppvoja ei yksinkertaisesti syntyisi, jos algoritmit osaisivat laskea yritykselle objektiivisesti oikean arvon. Tähän nykyisen kehityksen voi nähdä tähtäävän, mutta se ei ole markkinoiden kannalta oikea suunta. Olisi erikoista kehittää algoritmeja kohti tätä suuntaa, jos niitä jouduttaisiin kuitenkin lopulta rajoittamaan ja pakottamaan toimimaan puutteellisesti palvellakseen markkinoiden toimintaperiaatetta paremmin. Ihminen tarjoaa luonnostaan epärationaalisuutta ja eriäviä mielipiteitä, jotka ovat osakekaupan toiminnan kannalta merkittäviä tekijöitä. Tästä syystä algoritmien ei tulisi korvata ihmistä markkinaosapuolena, vaan toimia yksinkertaisesti kaupankäyntiprosessia tehostavana työkaluna.

7.2 Rajoitteet ja jatkotutkimusaihe

Kirjallisuuskatsaus toimii hyvänä keinona tuoda aiempia tutkimuksia yhteen luoden tutkimusongelmaa kuvailevan laajan kokonaisuuden, johon voi tarjota omia johtopäätöksiä sekä ratkaisuja. Kandidaatintutkielma on kuitenkin varsin suppea työ, johon käytettävä aika sekä tekstisivujen määrä on

lopulta melko rajallinen. Tällöin aihealuetta joudutaan usein rajaamaan merkittävästi. Tässä tutkielmassa rajauksena toimi Faman luoma kolmikantainen viitekehys markkinatehokkuuden tutkimiseen. Se paitsi rajoitti markkinatehokkuutta mittaavien mittareiden lukumäärää, myös toi näkökulmaa markkinatehokkuuden klassisesta perspektiivistä. Kyseinen viitekehys on kuitenkin yli 50 vuotta vanha, jolloin se ei välttämättä vastaa tarkkuudeltaan aivan tuoreimpia markkinatehokkuutta tutkivia kokonaisuuksia. Tämän tutkimuksen suurimpia rajoitteita onkin paitsi työhön käytettävän ajan sekä tekstisivujen määrän rajallisuus, myös melko vanhan viitekehysten käyttö. Rajoitteilla on voinut olla vaikutuksia siihen, että aiheen kannalta myös joitain melko oleellisia tutkimuksia on jäänyt huomiotta ja tutkielman ulkopuolelle. Pysin omalla toiminnallani varmistamaan, että tutkimus sisältää tutkimusongelman ja aiheen kannalta mahdollisimman laadukkaita sekä oleellisia artikkeleita rajatuista resursseistani huolimatta.

Jatkotutkimusaiheena voisi tutkia sitä, miten algoritmit ja varsinkin kehittyneimmät tekoälymallit käyvät kauppaa ollessaan vuorovaikutuksessa vain toisten vastaavien mallien kanssa. Tavoitteena voisi olla selvittää, voivatko ne lopulta muodostaa toimivan kauppajärjestelmän, vaikka ne olisivatkin samaa mieltä osakkeen arvosta. Tällä hetkellä markkinoilla toimii suuressa määrin myös perinteisiä sijoittajia eli ihmisiä, jolloin täysin algoritmivetoisten markkinoiden vaikutuksia kyetään vain spekuloidaan tai simuloimaan. Olisi kuitenkin mielenkiintoista tutkia, onko joitain tuloksia kyseisistä skenaarioista saatu ja onko mikään niistä linjassa oman johtopäätökseni kanssa.

Lähteet

- Addy, W. A. – Ajayi-Nifise, A. O. – Bello, B. G. – Tula, S. T. – Odeyem, O. – Falaiye, T. (2024) Algorithmic trading and AI: A review of strategies and market impact. *World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences*, Vol. 11 (1), 258–267.
- Angel, J. J. – McCabe, D. M. (2018) Insider trading 2.0? The ethics of information sales. *Journal of Business Ethics*, Vol. 147 (4), 747–760.
- Arifovic, J. – He, X. – Wei, L. (2022) Machine learning and speed in high-frequency trading. *Journal of Economic Dynamics and Control*, Vol. 139, 104438.
- Ayala, M. J. – González-Gallego, N. – & Arteaga-Sánchez, R. (2024) Google search volume index and investor attention in stock market: A systematic review. *Financial Innovation*, Vol. 10 (1), 70.
- Baker, M. – Wurgler, J. (2007) Investor sentiment in the stock market. *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 21 (2), 129–151.
- Barberis, N. – Shleifer, A. – Vishny, R. (1998) A model of investor sentiment. *Journal of Financial Economics*, Vol. 49 (3), 307–343.
- Bhuiyan, M. S. M. – Rafi, M. A. – Rodrigues, G. N. – Mir, M. N. H. – Ishraq, A. – Mridha, M. – Shin, J. (2025) Deep learning for algorithmic trading: A systematic review of predictive models and optimization strategies. *Array*, Vol. 26, 100390.
- Black, F. (1986) Noise. *The Journal of Finance*, Vol. 41 (3), 528–543.
- Boehmer, E. – Fong, K. – Wu, J. (Julie). (2021) Algorithmic Trading and Market Quality: International Evidence. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, Vol. 56 (8), 2659–2688.
- Bollen, J. – Mao, H. – Zeng, X. (2011) Twitter mood predicts the stock market. *Journal of Computational Science*, Vol. 2 (1), 1–8.
- Brogaard, J. – Hendershott, T. – Riordan, R. (2014) High-frequency trading and price discovery. *The Review of Financial Studies*, Vol. 27 (8), 2267–2306.
- Brogaard, J. – Hendershott, T. – Riordan, R. (2019) Price discovery without trading: Evidence from limit orders. *The Journal of Finance*, Vol. 74 (4), 1621–1658.
- Cao, C. – Hansch, O. – Wang, X. (2009) The information content of an open limit-order book. *Journal of Futures Markets: Futures, Options, and Other Derivative Products*, Vol. 29 (1), 16–41.
- Carè, R. – Cumming, D. (2024) Technology and automation in financial trading: A bibliometric review. *Research in International Business and Finance*, Vol. 71, 102471.

- Chakravarty, S. – McConnell, J. J. (1999) Does insider trading really move stock prices? *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, Vol. 34 (2), 191–209.
- Chang, M. – Gould, J. – Huang, Y. – Treepongkaruna, S. – Yang, J. W. (2022) Insider trading and the algorithmic trading environment. *International Review of Finance*, Vol. 22 (4), 725–750.
- Clarke, J. – Chen, H. – Du, D. – Hu, Y. J. (2021) Fake News, Investor Attention, and Market Reaction. *Information Systems Research*, Vol. 32 (1), 35–52.
- Cohen, G. (2022) Algorithmic trading and financial forecasting using advanced artificial intelligence methodologies. *Mathematics*, Vol. 10 (18), 3302.
- De Bondt, W. F. – Thaler, R. (1985) Does the stock market overreact? *The Journal of Finance*, Vol. 40 (3), 793–805.
- De Long, J. B. – Shleifer, A. – Summers, L. H. – Waldmann, R. J. (1990) Noise trader risk in financial markets. *Journal of Political Economy*, Vol. 98 (4), 703–738.
- El Naqa, I. – Murphy, M. J. (2015) What Is Machine Learning? Teoksessa R. Li – I. El Naqa – M. J. Murphy (toim.) *Machine Learning in Radiation Oncology: Theory and Application*, 3–11. Springer International Publishing.
- Erenburg, G. – Lasser, D. (2009) Electronic limit order book and order submission choice around macroeconomic news. *Review of Financial Economics*, Vol. 18 (4), 172–182.
- Fama, E. F. (1965) The Behavior of Stock-Market Prices. *The Journal of Business*, Vol. 38 (1), 34–105.
- Fama, E. F. (1970) Efficient capital markets: A review of theory and empirical work. *The Journal of Finance*, Vol. 25 (2), 383–417.
- Fishman, M. J. – Hagerty, K. M. (1992) Insider trading and the efficiency of stock prices. *The RAND Journal of Economics*, Vol. 23 (1) 106–122.
- Glosten, L. R. – Milgrom, P. R. (1985) Bid, ask and transaction prices in a specialist market with heterogeneously informed traders. *Journal of Financial Economics*, Vol. 14 (1), 71–100.
- Gregoire, V. – Martineau, C. (2022) How is earnings news transmitted to stock prices? *Journal of Accounting Research*, Vol. 60 (1), 261–297.
- Grindsted, T. S. (2022) Algorithmic Finance: Algorithmic Trading across Speculative Time-Spaces. *Annals of the American Association of Geographers*, Vol. 112 (5), 1390–1402.
- Grossman, S. J. – Stiglitz, J. E. (1980) On the impossibility of informationally efficient markets. *The American Economic Review*, Vol. 70 (3), 393–408.
- Gsell, M. – Gomber, P. (2009) Algorithmic trading engines versus human traders-Do they behave different in securities markets? *Proceedings of the European Conference on Information Systems (ECIS 2009)*, Verona.

- Hendershott, T. – Jones, C. M. – Menkveld, A. J. (2011) Does algorithmic trading improve liquidity? *The Journal of Finance*, Vol. 66 (1), 1–33.
- Hendershott, T. – Moulton, P. C. (2011) Automation, speed, and stock market quality: The NYSE’s hybrid. *Journal of Financial Markets*, Vol. 14 (4), 568–604.
- Hendershott, T. – Riordan, R. (2013) Algorithmic trading and the market for liquidity. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, Vol. 48 (4), 1001–1024.
- Hill, R. K. (2016) What an algorithm is. *Philosophy & Technology*, Vol. 29 (1), 35–59.
- Hirschey, N. (2021) Do high-frequency traders anticipate buying and selling pressure? *Management Science*, Vol. 67 (6), 3321–3345.
- Janiesch, C. – Zschech, P. – Heinrich, K. (2021) Machine learning and deep learning: C. Janiesch et al. *Electronic Markets*, Vol. 31 (3), 685–695.
- Jegadeesh, N. – Titman, S. (1993) Returns to buying winners and selling losers: Implications for stock market efficiency. *The Journal of Finance*, Vol. 48(1), 65–91.
- Jegadeesh, N. – Titman, S. (2023) Momentum: Evidence and insights 30 years later. *Pacific-Basin Finance Journal*, Vol. 82, 102202.
- Jiao, P. – Veiga, A. – Walther, A. (2020) Social media, news media and the stock market. *Journal of Economic Behavior & Organization*, Vol. 176, 63–90.
- Kahneman, D. (1979) Prospect theory: An analysis of decisions under risk. *Econometrica*, Vol. 47 (2), 263–291.
- Kirilenko, A. A. – Lo, A. W. (2013) Moore’s law versus murphy’s law: Algorithmic trading and its discontents. *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 27 (2), 51–72.
- Kramer, A. D. – Guillory, J. E. – Hancock, J. T. (2014) Experimental evidence of massive-scale emotional contagion through social networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 111 (24), 8788–8790.
- Lewellen, J. (2002) Momentum and autocorrelation in stock returns. *The Review of Financial Studies*, Vol. 15 (2), 533–564.
- Mavrogiorgos, K. – Kiourtis, A. – Mavrogiorgou, A. – Menychtas, A. – Kyriazis, D. (2024) Bias in machine learning: A literature review. *Applied Sciences*, Vol. 14 (19), 8860.
- Mian, G. M. – Sankaraguruswamy, S. (2012) Investor Sentiment and Stock Market Response to Earnings News. *The Accounting Review*, Vol. 87 (4), 1357–1384.
- Ozbayoglu, A. M. – Gudelek, M. U. – Sezer, O. B. (2020) Deep learning for financial applications: A survey. *Applied Soft Computing*, Vol. 93, 106384.

- Scholtus, M. – Van Dijk, D. – Frijns, B. (2014) Speed, algorithmic trading, and market quality around macroeconomic news announcements. *Journal of Banking & Finance*, Vol. 38, 89–105.
- Shiller, R. J. (1981) Do Stock Prices Move Too Much to be Justified by Subsequent Changes in Dividends? *The American Economic Review*, Vol. 71 (3), 421–436.
- Shiller, R. J. (2003) From efficient markets theory to behavioral finance. *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 17 (1), 83–104.
- Shinde, P. P. – Shah, S. (2018) A Review of Machine Learning and Deep Learning Applications. *Proceedings of the Fourth International Conference on Computing Communication Control and Automation (ICCUBEA)*, 1–6.
- Shleifer, A. (2000) *Inefficient markets: An introduction to behavioural finance*. Oxford University Press, Oxford.
- Shleifer, A. – Vishny, R. (1997) The limits of arbitrage. *The Journal of Finance (New York)*, Vol. 52 (1), 35–55.
- Stoll, H. R. (2006a) Electronic trading in stock markets. *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 20 (1), 153–174.
- Tversky, A. – Kahneman, D. (1974) Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases: Biases in judgments reveal some heuristics of thinking under uncertainty. *Science*, Vol. 185 (4157), 1124–1131.
- Van Kervel, V. – Menkveld, A. J. (2019) High-frequency trading around large institutional orders. *The Journal of Finance*, Vol. 74 (3), 1091–1137.
- Von Beschwitz, B. – Keim, D. B. – Massa, M. (2020) First to “Read” the News: News Analytics and Algorithmic Trading. *The Review of Asset Pricing Studies*, Vol. 10 (1), 122–178.
- Weller, B. M. (2018) Does algorithmic trading reduce information acquisition? *The Review of Financial Studies*, Vol. 31 (6), 2184–2226.
- Wong, B. K. – Selvi, Y. (1998) Neural network applications in finance: A review and analysis of literature (1990–1996) *Information & Management*, Vol. 34 (3), 129–139.
- Yadav, Y. (2015) How algorithmic trading undermines efficiency in capital markets. *Vanderbilt Law Review*, Vol. 68 (6), 1607–1660.
- Yadav, Y. (2016) Insider trading and market structure. *UCLA Law Review*, Vol. 63, 968.
- Yuferova, D. (2024) Algorithmic trading and market efficiency around the introduction of the NYSE Hybrid Market. *Journal of Financial Markets*, Vol. 69, 100909.
- Zaharudin, K. Z. – Young, M. R. – Hsu, W. (2022) High-frequency trading: Definition, implications, and controversies. *Journal of Economic Surveys*, Vol. 36 (1), 75–107.

Zhang, L. – Zhang, X. (Michael). (2025) Mispricing and Algorithm Trading. *Information Systems Research*, Vol. 36 (1), 21–40.

Liitteet

Liite 1 Ilmoitus tekoälyn (AI) käytöstä

Olen käyttänyt generatiivista tekoälyä opinnäyteprosessini tukena sen eri vaiheissa ja eri tarkoituksiin. Käyttämäni työkalut, niiden käytön tarkoitus sekä tekoälyn tuotosten verifioimiseksi tekemäni toimet on kuvattu alla. Samalla vakuutan, että olen käyttänyt tekoälytyökaluja asianmukaisella huolellisuudella, olen ilmoittanut niiden käytöstä voimassa olevan ohjeistuksen mukaisesti ja otan täyden vastuun tämän työni sisällöstä kokonaisuudessaan.

1. Käytetty työkalu: OpenAI:n ChatGPT (GPT-5.3 ilmaisversio)

- käytön vaihe: kirjallisuuden etsiminen, tiivistäminen sekä kirjoitusasun tarkastelu
- käyttötarkoitus: Käytin ChatGPT:tä tukena etsiessäni tutkimusaiheeseeni liittyviä tieteellisiä artikkeleita. Käytin sitä apuna tiivistäessäni löytämiäni artikkeleita nopeasti luettaviksi, jotta kykenin määrittämään, onko artikkeli relevantti aiheeni kannalta. Lisäksi käytin sitä yksittäisten lauseiden uudelleenmuotoilussa, epäselvien pilkutuksien selventämiseen sekä synonyymien etsimiseksi mahdollisen toiston poistamiseksi. Lopuksi tarkastelin lähdeluetteloni yhdenmukaisuutta yksittäisten huolimattomuusvirheiden varalta.
 - Esimerkkihaku: Analysoi ja tiivistä artikkeli:” First to “Read” the News: News Analytics and Algorithmic Trading B Von Schwitz, DB Keim, M Massa The Review of Asset Pricing Studies 2020”
- todentaminen: Tekoäly tiivistä artikkelin pääpointit sekä tutkimuksen tulokset, jonka jälkeen tiesin pääpiirteittäin, käsitteleekö se aiheeni kannalta relevantteja asioita. Mikäli artikkeli oli lupaava, luin sitä itse läpi saadakseni siitä syvemmän ymmärryksen. Viitatessani käytin aina referoimani artikkelin alkuperäistä tekstiä, en tekoälyn tuottamaa tiivistystä. Tutkielman rakenne ja kaikki teksti on yksittäisiä sanoja tai yksittäisiä lauserakenteita lukuun ottamatta täysin itse tuotettua.

2. Käytetty työkalu: DeepL

- käytön vaihe: yksittäisten lauseiden ja sanojen suomentaminen

- käyttötarkoitus: Käytin tekoälypohjaista kääntäjää kääntämään yksittäisiä sanoja tai lauseita, joita en itse ymmärtänyt artikkelin vieraskielisyyden tai akateemisen sanaston ja esitystyylin takia.
- todentaminen: Tarkistin epäselvissä tapauksissa yksittäisiä sanoja vielä erikseen perinteisestä sähköisestä sanakirjasta.