

Jyväskylän Yliopisto
Taloustieteiden tiedekunta

IMPLISIITTINEN VOLATILITEETTI
KURSSIMUUTOSTEN
ENNUSTAJANA

Pro Gradu
Jyväskylä Elokuu 2001
Tekijä: Mira Hukka
Ohjaaja: Juhani Raatikainen

Implisiittinen volatilitiitti kurssimuutosten ennustajana
Laatija: Mira Hukka
Ohjaaja: Juhani Raatikainen
Jyväskylän Yliopisto
Taloustieteiden tiedekunta
Kansantaloustiede
Pro gradu-tutkielma
Elokuussa 2001
49 sivua

TIIVISTELMÄ

Tämän tutkielman tarkoitus on Faman tehokkuuden keskivahvojen ehtojen testaaminen FOX -indeksioptiomarkkinoilla lyhyenaikavälin ennustettavuusnäkökulmasta. Silloin, kun markkinat ovat tehokkaat, ei ole arbitraasi-voittojen mahdollisuutta. Tehokkailla markkinoilla arvopaperien hinnat sisältävät kaiken informaation, jonka sijoittaja tarvitsee. Vaikka teoriassa näin oletetaan, markkinat ovat todellisuudessa hyvin harvoin täysin tehokkaat. Myös tämä tutkielma puoltaa hypoteesia, että markkinoilta on mahdollista löytää tehottomuuksia.

Tutkielman tarkoituksena oli testata onko mahdollista ennustaa osakekurssikehitystä Black-76 mallista lasketulla implisiittisellä volatilisiteetillä. Näkökulmaksi on rajattu koko markkinan ennakoitavuus vaihtoehdoisen yksittäisen osakkeen tutkimisen sijasta. Tutkielman empiirinen osuus on toteutettu Grangerin kausaalisuusmallia hyväksikäyttäen. Tarkoituksena oli selvittää edeltääkö FOX-indeksin muutoksia implisiittisen volatilisiteetin muutos.

Tutkielman perusteella voidaan olettaa, että implisiittisen volatilisiteetin avulla on mahdollista ennustaa osakekurssikehitystä. Samaan tulokseen ovat tulleet myös aikaisemmat tutkimukset mm. Allan M. Malz (2000).

AVAINSANAT

Granger-kausalisuus, implisiittinen volatilisiteetti, Black-76, markkinoiden tehokkuus, FOX-indeksi

1	JOHDANTO	1
1.1	TUTKIMUKSEN TAUSTAA	1
1.2	TUTKIMUSONGELMA.....	1
1.3	TUTKIMUKSEN KULKU	2
1.4	OSAKEMARKKINOIDEN INFORMATIIVINEN TEHOKKUUS	2
1.5	KRITIIKKIÄ TEHOKKUUTTA VASTAAN.....	4
1.6	TEHOKKUUDEN EMPIIRINEN TESTAAMINEN	5
1.7	HEIKKOJEN EHTOJEN TUTKIMUKSET	7
1.8	VAHVOJEN- JA PUOLIVAHVOJEN EHTOJEN TUTKIMUKSET	7
2	OPTIOIDEN PERUSKÄSITTEET, TEOREETTISET RAJAEHDOT JA HINNOITTELU.....	10
2.1	OPTIOIDEN PERUSKÄSITTEITÄ	10
2.2	OPTION TEOREETTISEN ARVON MÄÄRITYS	12
2.3	OPTIOIDEN TEOREETTISET RAJAEHDOT JA NIIDEN TOTEUTUMINEN SUOMESSA	12
2.4	RAJAEHTOJEN TOTEUTUMINEN SUOMALAISILLA INDEKSIPTIOMARKKINOILLA	13
2.5	BLACK-SCOLES- MALLI	14
2.5.1	<i>Osakehintojen käyttäytymistä kuvaava malli.....</i>	<i>15</i>
2.5.2	<i>Wiener –prosessi.....</i>	<i>15</i>
2.5.3	<i>Wiener-prosessi jolla on suunta (generalised Wiener Process).....</i>	<i>17</i>
2.5.4	<i>Black-Sholes mallin Perusoletukset.....</i>	<i>18</i>
2.5.5	<i>Black-Scholes-differentiaaliyhtälön johto</i>	<i>18</i>
2.5.6	<i>Black&Scholes- optiohinnoittelukaavat.....</i>	<i>20</i>
2.5.7	<i>Black-76-malli</i>	<i>21</i>
3	IMPLISIITTINEN VOLATILITEETTI JA VOLATILISUUSHYMY	23
3.1	VOLATILITEETTI KÄSITTEENÄ	23
3.2	PERINTEISET VOLATILITEETTIESTIMAATTORIT	23
3.3	VOLATILITEETTI OSAKEMARKKINOILLA	24
3.4	VOLATILITEETIN LASKEMINEN	25
3.5	VOLATILISUUSHYMY	26
3.6	AIKAISEMPIA TUTKIMUKSIA	27
3.6.1	<i>Rubinstein</i>	<i>27</i>
3.6.2	<i>Allan M. Malz</i>	<i>29</i>
3.6.3	<i>Latané & Rendleman (1976) ja Beckers (1981)</i>	<i>29</i>
3.6.4	<i>Jatkotutkimuksia Latanen ja Rendlemanin työhön</i>	<i>31</i>
3.6.5	<i>Harvey ja Whaley</i>	<i>32</i>
3.6.6	<i>Bates (1991).....</i>	<i>32</i>
3.6.7	<i>Gemill (1996).....</i>	<i>33</i>
3.6.8	<i>Jeff Fleming</i>	<i>33</i>
4	TUTKIMUSAINIESTON ESITTELY	34
4.1	FOX-INDEKSI	34
4.2	FOX-INDEKSIPTIOT JA –FUTUURIT	36
4.3	TILASTOAINIESTON KUVAUS	37
5	EMPIIRINEN TUTKIMUS FOX-INDEKSIPTIOILLA	41
5.1	GRANGER- KAUSAALISUUSMALLI	41
5.2	KAUSAALISUUDEN TESTAUS	43
5.3	TULOKSET JA NIIDEN TULKINTA	43
5.4	JOHTOPÄÄTÖKSET	46
	LÄHTEET.....	48

1 JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen taustaa

Rahoitusmarkkinoiden informatiivista hinnoittelun tehokkuutta on tutkittu paljon erityisesti Faman heikkojen ehtojen mielessä. Empiiristen tulosten mukaan ainakin tiettyä ennustettavuutta on olemassa, ja mitä ilmeisimmin ainakin joissakin tapauksissa tämä olisi myös taloudellisesti hyödynnettävissä. Pääosa Faman puolivahvojen ehtojen tutkimuksista on toteutettu lineaarisilla malleilla. Sen sijaan vähemmän, joskin jossain määrin on tutkittu optiomarkkinoiden hinnoittelussa käyttämän implisiittisen volatiilisuuden ennustekykyä. Tämä on kiinnostava kysymys erityisesti, koska kyse on optiomarkkinoiden hinnoittelun toteuttamisesta ja koska kyse on voimakkaasti epälineaarista riippuvuussuhteesta.

Silloin kun markkinat ovat tehokkaat ei ole arbitraasi -voittojen mahdollisuutta. Tehokkailla markkinoilla arvopaperien hinnat sisältävät kaiken informaation, jonka sijoittaja tarvitsee. Vaikka teoriassa näin oletetaan, markkinat ovat todellisuudessa hyvin harvoin täysin tehokkaat. Osakemarkkinoiden muutoksia mitataan erilaisten osakeindeksien avulla. useat osakeindeksit ovat tyypiltään markkinaosuuspainotettuja ja sisältävät tällöin vain ne osakkeet, joiden hinnanmuutokset kuvastavat hyvin koko osakemarkkinoiden muutoksia. Tässä tutkielmassa tullaan tarkastelemaan FOX- indeksiä, joka on eniten käytetty Suomen osakemarkkinoiden yleismittari ja se vastaa hyvin keskimääräistä suomalaisten yhtiöiden osakkeista muodostettua hajautetun osakesalkun koostumusta.

1.2 Tutkimusongelma

Tutkimuksen tavoite on Faman tehokkuuden keskivahvojen ehtojen testaaminen FOX-indeksioptiomarkkinoilla lyhyenaikavälin ennustettavuusnäkökulmasta. Testaan voidaanko osakekurssikehitystä ennustaa Black-76- mallista lasketulla implisiittisellä volatiilisuudella. Rajaan näkökulmaksi koko markkinan ennakoitavuuden vaihtoehtoisen yksittäisten osakkeiden tutkimisen sijasta. Sovelluksena tästä käytetään Fox-indeksiä, joka on markkina-

arvopainotteinen osakehintaindeksi. Se lasketaan jatkuva-aikaisesti Helsingin Pörssin 25:n vaihdetuimman osakkeen viimeisestä kaupantekokursseista. Siinä on kunkin yhtiön osakkeiden yhteenlaskettu paino rajoitettu 20 prosenttiin.

1.3 Tutkimuksen kulku

Kahdessa ensimmäisessä kappaleessa tutustutaan tehokkuuden käsitteeseen, optioiden peruskäsitteisiin ja optioiden hinnoitteluun. Esittelen muutaman keskeisen optiohinnoittelumallin, joista tärkein on Black&Sholes malli, sekä siihen pohjautuva indeksiopiomarkkinoilla laajasti sovellettu Black-76- malli.

Kolmannessa kappaleessa esitellään implisiittisen volatilitteetti käsitteenä, jonka jälkeen siihen perehdytään tarkemmin ja esitellään sen laskeminen ja ennustaminen. Aikaisemmista tutkimuksista esitellään muutamia tärkeimpiä. Erityisesti Allan M. Malzin tutkimus (2000) on keskeinen tässä työssä, koska empiirinen osuus perustuu pitkälti siinä esitettyyn metodologiaan. Lopuksi esitellään varsinainen empiirinen tutkimus.

1.4 Osakemarkkinoiden informatiivinen tehokkuus

Rahoitusmarkkinan tehokkuus voidaan jakaa kolmeen osaan: markkinoiden informaatiotehokkuuteen, operationaaliseen tehokkuuteen ja allokaatiiviseen tehokkuuteen. Yleensä rahoitusmarkkinan tehokkuus tarkoittaa arvopaperien hinnoittelumekanismien tehokkuutta, eli informaatiotehokkuutta. Tehokkailla markkinoilla osakkeen hinta on arvopaperien tuottovaatimuksella diskontatun kassavirran hyvä estimaatti. Mikäli markkinoilla esiintyy yli- tai aliarvostettuja osakkeita –ja kaikki informaatio on vapaasti saatavilla suuri joukko voittoa tavoittelevia sijoittajia ostaa ja myy näitä yli- tai aliarvostettuja osakkeita, kunnes niiden hinta arbitrage-prosessin seurauksena asettuu oikeaan arvoonsa (Yli-Olli, 1988,3). Informatiivisesti tehokkailla pääomamarkkinoilla arvopaperin hinta on niin lähellä sen todellista arvoa, ettei kukaan voi systemaattisesti ansaita suurempia voittoja kuin sijoittajat keskimäärin.

Tehokkaiden markkinoiden hypoteesi, Faman (1970) esittämä markkinan tehokkuuden kolmijako, on yksi merkittävimmistä rahoitusteorian perusteista. Fama esittää, että markkinan

tehokkuus määrittyy sen mukaan, kuinka nopeasti ja täydellisesti arvopaperien hinnat heijastavat uuden oleellisen tiedon. Tehokkailla markkinoilla arvopaperien hinnat sisältävät täysin kaiken olemassa olevan historiallisen ja nykyisen informaation ja lisäksi sisältävät kaiken sen ennustettavissa olevan tiedon, joka vaikuttaa tulevaisuuden hintoihin. Teoriassa Fama on määrittänyt kolme informaation prosessoinnin tehokkuuden muotoa: heikko tehokkuus (Weak Form Efficiency), puolivahva tehokkuus (Semi Strong Efficiency) ja vahva tehokkuus (Strong Form Efficiency).

Tehokkuuden heikot ehdot täyttävillä markkinoilla arvopaperien hintoihin sisältyy kaikki menneeseen hintakehitykseen liittyvä informaatio. Tämän mukaan kaupankäyntistrategiat, joiden päätöksenteko perustuu historialliseen tietoon, eivät voi tuottaa ylisuuria tuottoja. Arvopaperien hinnat eivät ole ennustettavissa ja muuttuvat ainoastaan uuden informaation tullessa sijoittajien tietoon.

Keskivahvat ehdot täyttävillä markkinoilla kaikki julkistettu informaatio heijastuu välittömästi arvopaperien hintoihin. Arvopaperien hinnat muuttuvat heti uuden relevantin tiedon tullessa julkisesti saataville.

Vahvat ehdot täyttävillä markkinoilla kaikki eli julkistettu että julkaisematon informaatio heijastuu välittömästi arvopaperien hintoihin. Tämä ääripään toteutuminen olettaa, että yrityskohtainen strateginen tieto on jo heijastunut markkinoiden hintoihin. Lisäksi toteutuminen edellyttää, että kaikki yksityinenkin tieto heijastuu hinnoissa välittömästi jonkin strategisen päätöksen synnyttyä, vaikka päätöstä ei olisikaan vielä julkistettu. Vahvojen ehtojen toteutumisista ei ole käytännössä osoitettu millään osakemarkkinoilla (Malkamäki 1990, 34-35).

Pääomamarkkinat voivat olla täydellisesti informaatiotehokkaat vain silloin, kun informaation käsittelyyn ei tarvita lainkaan resursseja. Koska informaation hankinta aiheuttaa ja tulee aiheuttamaan kustannuksia, ei aivan täydellisen tehokkaita markkinoita tule olemaan.

1.5 Kritiikkiä tehokkuutta vastaan

Osakemarkkinoiden tehokkuutta vastaan on esitetty joitakin vastaväitteitä. Maailmanlaajuisesti osakemarkkinoita on raportoitu säännönmukaisia poikkeamia tehokkuudesta. Havaintoja on tehty esimerkiksi seuraavista säännönmukaisuuksista:

- (1) yritykset, joilla on pieni markkina-arvo, tuottavat hyvin
- (2) osakkeiden tuotot ovat korkeita vuodenvaihteessa/kuunvaihteessa
- (3) viikon loppupuolella osakkeiden tuotot ovat suurempia kuin alkupuolella

Nämä havainnot ovat ristiriidassa tehokkaiden markkinoiden toiminnan kanssa. Niiden tulisi kadota markkinoilta arbitraasin seurauksena varsinkin, koska anomaliat tunnetaan ympäri maailmaa ja niitä esiintyy myös keskeisimmillä osakemarkkinoilla.

Martikainen (1995, 115-116) esittää, että osakemarkkinoiden tehokkuuden puolustajat ovat argumentoineet mm. että markkinoille saapuvat kassavirrat eivät aina ajoitu tasaisesti. Esimerkkinä palkanmaksupäivät ovat kuukauden lopussa tai 15. päivä. Yhdeksi selitykseksi on esitetty psykologisia tekijöitä. Sijoittajat voivat kiinnostua yrityksistä, jotka ovat usein esillä ja joilla on suuri P/E luku (Price/Earnings). Martikainen tuo esille myös mahdollisuuden, että anomaliat ovat mittausvirheitä.

Grossman & Stiglitz (1980) ovat tutkineet informatiivisesti tehokkaita markkinoita ja tulleet johtopäätökseen, että markkinoiden informatiivinen tehokkuus ei ole mahdollista käytännössä. Tutkimuksessaan he jakoivat sijoittajat informoituihin ja ei-informoituihin ja käsittelivät heidän toimiaan. Informoidut yksilöt pystyvät havaitsemaan ja hankkimaan tietoa jollakin kustannuksella riskiarvopapereihin liittyvästä hintavaikuttajasta, kun taas ei-informoidut sijoittajat havaitsevat vain riskillisen arvopaperien hinnan. Jos informaatio on halpaa, tasapainohinta on olemassa ja se heijastaa informoitujen sijoittajien tietämystä. Jos näin on, Grossman ja Spliglitz osoittavat, että tällaiset markkinat tulisivat olemaan ohuet johtuen sijoittajien homogeenisista odotuksista. Grossman & Stiglitz esittävät että, jos ihmisten pääomat ja uskomukset ovat samanlaiset, kilpailukykyinen tasapaino markkinoilla jättäisi sijoittajat alkuperäisen suuruisiin pääomavaroihin. Edelleen, jos markkinoille pääsyyn liittyy transaktiokustannuksia, sijoittajan ei olisi kannattavaa edes saapua markkinoille. Jotta kauppaa syntyisi, sekä usko-

musten että suhtautumisen riskiin on oltava heterogeenisiä (Grossmann & Stiglitz 1980, 393-407).

Grossmann & Stiglitz esittävät seuraavanlaisia tuloksia:

- (1) Mitä enemmän markkinoilla on informoituja yksilöitä sitä informatiivisempi on hinnanmuodostusmekanismi.
- (2) Mitä vähemmän informoituja yksilöitä on, sitä pienempi on heidän odotettu hyötynsä suhteessa ei-informoituihin yksilöihin
- (3) Mitä enemmän markkinoilla on ”hälinää” (noise), sitä tehottomampi hinnanmuodostusjärjestelmä on ja sitä pienempi ei-informoitujen odotettu hyöty
- (4) Markkinoilla joilla ei ole hälinää, hinnat ilmaisevat kaiken informaation, eikä tällöin ole kannustetta ostaa informaatiota
- (5) Markkinat ovat ohuempia, jos informoitujen yksilöiden prosentuaalinen osuus on joko lähellä nollaa tai jos lähes kaikki yksilöt edustavat informoituja yksilöitä

Kaikki taloustieteilijät eivät usko tehokkaiden markkinoiden hypoteesiin, eikä varsinkaan argumenttiin, että osakkeiden hinnat välittömästi heijastavat uutta informaatiota. Tällaista ajattelutapaa edustavat esimerkiksi ”chartistit” tai ns. teknisen analyysin edustajat. He uskovat, että uusi informaatio heijastuu hitaasti osakehintoihin, minkä vuoksi informaation käyttäminen ei ole heille kaikkein tärkeintä. Markkinoiden toiminta on tehotonta eivätkä markkinat huomioi kaikkea oleellista informaatiota. Koska sopeutuminen uuteen informaatioon tapahtuu hitaasti, osakehintojen muutokset pyrkivät pysymään samansuuntaisina. Menneitä osakehintoja tutkimalla on heidän mielestään mahdollista ennustaa tulevia hintoja. Siis, jos osakkeet ovat esim. nousseet, ne myös tämän ajattelutavan mukaan tulevat nousemaan ainakin jonkin aikaa edelleen (Fama 1970).

1.6 Tehokkuuden empiirinen testaaminen

Osakemarkkinoiden tehokkuutta on testattu runsaasti viimeisten vuosikymmenien aikana. Tehokkuuden teoreettisten mallien mukainen empiirinen testaus on keskittynyt käsittelemään informaation sisältymistä hintoihin. Tehokkuuden jakamista eri asteisiin informaation mukaan (heikkoon, puolivahvaan, vahvaan) on tällöin testien rajoittava tekijä.

Empiiriset **sarjakorrelaatiotestit** osakkeiden hintojen kehityksestä ovat puoltaneet markkinatehokkuutta. (Fama 1970,393-394). Knudsen, Larsen ja Ostergraad (1987) ovat tutkineet Tanskan obligaatiomarkkinoiden tehokkuutta sarjakorrelaatiotestien avulla. He laskivat suurimman yksittäisen valtion obligaation (12% Dansk Stat S 2001) päivittäisten pörssinoteerausten perusteella velkakirjan päivittäiset tuotot ja laskivat tuotoille sarjakorrelaatiokertoimen 1-15 päivän viiveille puolivuotisjaksoilla vuosina 1983-1987. He totesivat merkittävien sarjakorrelaatiokertoimien poikkeamien esiintyvän tietyinä ajanjaksoina (vuosi 1986) ja yleisesti pitemmillä viiveillä. Lisäksi he havaitsivat tärkeimmillä 1 päivän viiveellä esiintyvän yleisesti pientä positiivista korrelaatiota. lisäksi toisena riippumattomuustestinä tutkimuksessa käytettiin Box-Pierce'in Q-testiä. Testin perusteella Knudsen, Jensen ja Ostergraad totesivat, ettei merkittävää riippuvuutta päivittäisten obligaatiotuottojen välillä voida havaita ja näin ollen markkinatehokkuus toteutui Tanskan obligaatiomarkkinoilla (Knudsen et al 1987a, 14).

Suodatintestien avulla on tutkittu tuottavien teknisten sijoitusstrategioiden olemassaoloa. Mm Alexander (1961) sekä Fama ja Blume (1966) tutkivat osakehintojen historiallista kehitystä seuraavasti: osta osake, kun hinta nousee $x\%$, myy osake, kun hinta laskee $x\%$ (short position) ja osta osake jälleen, kun hinta nousee $x\%$ (long position). Tätä strategiaa jatketaan tietyn ajan ja verrataan tuottoa yksinkertaiseen osta ja pidä -strategian tuottoon. Tulokset osoittivat, että pienillä suodattimilla 0,5-1,5% hyvin lyhyellä aikavälillä oli mahdollista saada osta-ja-pidä strategiaa parempia tuottoja. Kuitenkin kun otetaan huomioon transaktiokustannukset, ylimääräiset tuotot häviävät ja tulokset puoltavat markkinatehokkuushypoteesia (Fama, 1970, 395).

Knudsen, Larsen ja Ostergaard jatkoivat myöhemmin Tanskan obligaatiomarkkinoiden tehokkuuden testaamista teknisten analyysimallien olemassaolon pohjalta. He testasivat mahdollisuutta saada ylimääräisiä tuottoja eli havaita markkinoiden tehottomuutta kolmen erilaisen teknisen analyysimallin avulla. Tulokset puolsivat testattujen analyysimallien hyväksikäytön kannattavuutta sijoittajille, jotka eivät ole aiemmin hyödyntäneet teknistä analyysiä. He totesivat kuitenkin, että analyysien laaja käyttö sijoittajien keskuudessa saattaa myös ohjata kursseja niin, että ylimääräisiä voittomahdollisuuksia ei muodostu lainkaan (Knudsen et al 1987b, 30)

1.7 Heikkojen ehtojen tutkimukset

Heikon asteen testejä on sovellettu paljon erityisesti osakemarkkinoihin ja testit ovat yleisesti puoltaneet markkinatehokkuushypoteesia. Vanhimmat testit käyttävät random-walk mallia, mutta tulokset ovat enemmänkin myöhemmin omaksutun fair-game mallia (Fama, 1970, 389). Random-walk mallin oletus tuottojen todennäköisyysjakauman pysymisestä vakiona on liian vaativa. Koska yritysten riskit muuttuvat ajan kuluessa, myös niiden liikkeeseen laskemien arvopaperien tuottojen varianssi muuttuu (Copeland et al 1988,348). Tämä ei estä markkinatehokkuuden toteutumista.

Ensimmäinen empiirisen tutkimuksen osakemarkkinoiden tehokkuudesta Suomessa teki Korhonen vuonna 1977. Tutkimusaineistona hänellä oli 18 Helsingin Arvopaperipörssissä noteeratun yrityksen osakkeen indeksi vuosilta 1966-1971. Korhonen tutki tehokkuuden heikkojen ehtojen toteutumista korrelaatio- ja run-testien avulla. Hänen tutkimuksensa tulokset osoittivat, että Suomen osakemarkkinat täyttävät tehokkuuden heikot ehdot viikkoaineistolla.

Berglund (1990) tutki selvittämättömiä säännönmukaisuuksia ei anomalioita osakkeiden tuottojen käyttäytymisessä aikavälillä 1970-1983. Hän käytti havaintoaineistona kaikkia Helsingin Arvopaperipörssissä noteerattujen yritysten osakkeita. Tehokkailla osakemarkkinoilla ei pitäisi anomalioita esiintyä, sillä ne mahdollistavat keskimääräisiä suurempia tuottoja. Tämän tutkimuksen tulokset osoittivat viikonlopun, tammikuun, pörssin pienten yritysten tuottojen olevan keskimääräistä suurempia. Berglund havaitsi myös merkittävää autokorrelaatiota päivätuottojen välillä, mutta ei viikko- ja kuukausituottojen osalta.

Knif ja Löflund (1997) ovat koonneet kaikki Suomen osakemarkkinoita koskevat tutkimukset, vuosilta 1987-1997. Heidän johtopäätöksensä on, että merkitsevää positiivista autokorrelaatiota esiintyy päivä- viikko- ja kuukausituottojen välillä.

1.8 Vahvojen- ja puolivahvojen ehtojen tutkimukset

Osakemarkkinoiden puolivahvojen ehtojen toteutumista on empiirisesti testattu niin kutsutulla Event-testeillä. Aikaisemmin on tutkittu miten osakkeiden hinnat reagoivat tiettyihin tapahtumiin, kuten osakkeiden nimellisarvon pienentämiseen eli splittaukseen, rahasto- eli il-

maisosakeantehiin sekä voitto ja osinkojakoilmoituksiin. Jos markkinat ovat tehokkaat, niin osakkeiden hintareaktiot kertovat parhaiten julkaistun informaation merkityksen.

Yhteenvetona Suomessa tehdyistä tehokkuuden puolivahvojen ehtojen Event-tutkimuksista ovat tehneet Heikkilä ja Ikäheimo (1997). Heidän katsauksensa sisälsi 6 merkittävää event - tutkimusta (Korhonen, 1975; Berglund et al., 1985 ja 1987; Hietala & Löyttyniemi, 1991; Ikäheimo & Heikkilä, 1993 ja 1996; Kivinen, 1995) ja niiden tuloksia. Nämä tutkimukset tukevat hypoteesia, että merkintäoikeuksien anti, rahastoanti ja molempien edellä mainittujen tapahtumien yhteisjulkaisu- ilmoitukset antavat markkinoille positiivisia signaaleja eli ilmaisevat yrityksen johdon epäsuoraa sanomaa osinkojen noususta. Heikkilä ja Ikäheimo käsittelivät myös tutkimuksia, joissa tutkittiin osakemarkkinoiden reaktiota osinkoilmoituksiin ja yhteyttä osinkojen muutosten ja epänormaalin tuoton välillä. Korhonen (1976) käytti vuosien 1966-1971 viikkoaineistoa ja totesi, että osinkojen informaationsisältö on pieni. Kuitenkin Back (1976) tutki 25 suomalaista yritystä vuosina 1972-1976 ja raportoi, että odottamaton muutos osingossa välittää markkinoille oleellista informaatiota. Ero näiden kahden tutkimuksen välillä voi johtua eri aika-periodista. Myöhemmin Martikainen et al. (1993) totesivat heikon riippuvuussuhteen odottamattoman osinkojen muutoksen ja epänormaalin tuoton välillä, jota mitattiin markkinakorjatulla tuotolla. Lisäksi he totesivat, että osingot välittävät informaatiota 300 päivään asti yhtiökokouksen jälkeen ja siten sisältävät informaatiota yrityksen arvon ja osinkopolitiikan välillä. Niistä on tehtä johtopäätöksen, että 80-luvun alkuun asti osingoilla ei ollut merkittävää vaikutusta osakkeen tuottoon. Myöhemmät event-tutkimukset kuitenkin osoittavat, että 80-luvun alusta lähtien osinkoilmoitukset voivat välittää relevanttia informaatiota markkinoille.

Osakehintojen muutosten riippuvuutta toisistaan on tutkittu **run-testien** avulla. Tässä tutkitaan peräkkäisten hinnanmuutosten suuntaa (+, - tai 0) ja suuruutta. Yksi run on aina samanmerkinen hinnanmuutosten jakso. Testissä verrataan todellisia ja teoreettisia hinnanmuutosjaksojen lukumääriä. Osakemarkkinoita koskevat tutkimukset (Fama 1965, Osborne 1962) osoittavat, että suuria hinnanmuutoksia seuraa yleensä suuret muutokset, joiden suunta (+ tai -) on satunnainen. Nämä tulokset puoltavat tehokkuushypoteesia (Fama 1970, 396). Niederhoffer ja Osborne (1966) esittivät omassa tutkimuksessaan hivenen poikkeavia tuloksia. Heidän tutkimuksensa mukaan peräkkäiset samansuuntaiset hinnanmuutokset ovat todennäköisempiä kuin erisuuntaiset eli (+|+) tai (-|-) muutokset ovat todennäköisempiä kuin (+|-) tai (-|+). Hei-

dän tuloksensa osoittivat kuitenkin vasta vahvan asteen markkinahottomuutta (Fama 1970, 397).

2 OPTIOIDEN PERUSKÄSITTEET, TEOREETTISET RAJEHDOT ja HINNOITTELU

2.1 Optioiden peruskäsitteitä

Optio on oikeus, mutta ei velvollisuus, ostaa tai myydä kohde-etuutena olevaa hyödykettä tietyillä ehdoilla määräaikana tai ajankohtana. Kohde-etuudet vaihtelevat hyvin laajasti, mutta oleellisinta optiokaupassa on, että hyvin harvoin varsinaiset hyödykkeet vaihtavat omistajaa. Toki osa sopimuksista on sellaisia, joissa hyödyke vaihtaa sopimuksen toteutuessa omistajaa. Näistä voidaan mainita esimerkiksi Helsingin Arvopaperi- ja johdannaispörssi OY:n (HEX OY) noteeraamat STOX-osakeoptiot. FOX-indeksioptioiden selvitys perustuu netto-arvon tilitykseen eli option kohde-etuutena oleva osakekori ei vaihda omistajaa option lunastuksen yhteydessä. Kauppaa käydään pikemminkin oikeuksilla ja velvollisuuksilla myydä tai ostaa hyödykkeitä sovittuun hintaan tulevaisuudessa. Tyypillisimpiä kohde-etuuksia ovat osakkeet, osakeindeksit, valuutat, korot ja raaka-aineet.

Osto-optio on oikeus, mutta ei velvollisuus ostaa kohde-etuus tulevaisuudessa ennalta määrättyyn hintaan eli merkintähintaan. *Myyntioptiolla* tarkoitetaan luonnollisesti käänteistä transaktiota eli se antaa oikeuden, mutta ei velvollisuutta, myydä kohde-etuus tulevaisuudessa määrättyyn hintaan. Osakekaupassa on aina kaksi osapuolta; haltija ja asettaja. Edellä mainitut oikeudet koskevat ainoastaan haltijaa. Asettajalla on siis haltijan vaatiessa velvollisuus toteuttaa kauppa. Korvauksena oikeudestaan haltija maksaa asettajalle optiosopimuksen hinnan eli optiopreemion.

Optiot voidaan jaotella eurooppalaisiin ja amerikkalaisiin. Eurooppalaisen option voi toteuttaa vain erääntymispäivänä, kun taas amerikkalaisen option voi toteuttaa milloin tahansa voimassaoloaikana. Se, että optiolla on liukuva maturiteetti eli voimassaoloaika, hankaloittaa erityisesti amerikkalaisen myyntioption hinnoittelua: kohde-etuudelle mahdollisesti maksettavat osingot voivat tehdä option toteuttamisen ennen erääntymispäivää optimaaliseksi ja näin ns.

suljetun muodon ratkaisun löytäminen amerikkalaisen myyntioption hinnalle on mahdotonta. (Cox ja Rubinstein, 1985)

Optioita voidaan jaotella myös niiden toteutumisen todennäköisyyden mukaan eli toisin sanoen sen mukaan, mikä niiden merkintähinnan suhde on kohde-etuuden sen hetkiseen hintaan. Taulukossa 1 esitetään kyseinen jaottelu sekä osto- että myyntioptioille.

Taulukko 1. Optioiden jaottelu plus-, tasa-, ja miinusoptioihin (in-the-money, at-the-money- ja out-of-the-money-optioihin).

Merkintähinnan suhde kohde-etuuden hintaan	Osto-optio	Myyntioptio
Merkintähinta < kohde-etuuden hinta	Plusoptio	Miinusoptio
Merkintähinta = Kohde-etuuden hinta	Tasaoptio	Tasaoptio
Merkintähinta > kohde-etuuden hinta	Miinusoptio	Plusoptio

Jos edellä esitettyä jaottelua tarkastellaan esim. option haltijan näkökulmasta, voidaan todeta, että plusoptiot tuottaisivat positiivisen kassavirran haltijalle, mikäli ne toteutettaisiin välittömästi. Tasaoptioiden ja miinusoptioiden tapauksessa kassavirta muodostuisi nolllaksi. Eräiden rajoittavien, lähinnä optiokaupan transaktiokustannuksia koskevien oletusten ollessa voimassa, voidaan plusoptioiden olettaa tulevan toteutetuiksi erääntymispäivänään.

Jaottelua voidaan vielä tarvittaessa tarkentaa siten, että plus- ja miinusoptiot jaetaan vielä kahteen eri luokkaan, jolloin ”äärimmäisten” optioiden tapauksessa puhutaan ns. deep-in-the-money ja deep-at-the-money-optioista. Taulukossa 1 esitetyt rajat eivät kuitenkaan ole ehdottomia: hyvin usein empiirisissä tutkimuksissa tasaoptioiksi luokitelluille optioille sallitaan pieni poikkeama yhtä suuruudesta (esim. $0.97 < \text{merkintähinta} / \text{kohde-etuuden hinta} < 1.03$).

Erään mielenkiintoisen ja alan kirjallisuudessa melko vähän käsitellyn jaotteluperustan muodostaa option maturiteetin mahdollinen stokastisuus. ”Haavoittuvaiset optiot” (vulnerable options) ovat sopimuksia, joihin liittyy riski option asettajan maksukyvyystä tai jopa korkeita konkurssitodennäköisyyksiä. On selvää, että tällaisten optiosopimusten hinnat ovat normaali- en sopimusten hintoja alhaisempia. ”Tyrmäysoptiot” (knockout options) eroavat perinteisistä sopimuksista siten, että ne lakkaavat olemasta voimassa, jos kohde-etuuden hinta saavuttaa

jonkun tietyn rajan. Molemmat optiosopimukset kuuluvat ns. Eksoottisiin optioihin ja ovat poikkeuksetta tyypiltään amerikkalaisia. Esim. Suomen optiomarkkinoilla vastaavia sopimuksia ei tiettävästi toistaiseksi ainakaan laajamittaisesti esiinny. (Hull, 1993;419,459)

2.2 Option teoreettisen arvon määrittäminen

Option arvo koostuu kahdesta osatekijästä: aika-arvosta ja perusarvosta. Perusarvoksi kutsutaan sitä osaa hinnasta, joka muodostuu kohde-etuuden ja totutushinnan erotuksesta. Osto- tai myyntioption perusarvo ei näin ollen voi koskaan olla negatiivinen. Aika-arvo on option hinnan eli preemion ja perusarvon erotus. Aika-arvo vähenee voimassaoloajan kuluessa ja päätymispäivänä se on aina nolla. Option teoreettinen arvo kuvaa sitä, mikä option arvon pitäisi olla. Option arvoon vaikuttavat tekijät voidaan jakaa tekijöihin, jotka vaikuttavat option perusarvoon ja tekijöihin, jotka vaikuttavat option aika-arvoon.

Perusarvoon vaikuttavat kohde-etuuden arvo ja option toteutushinta. Kohde-etuuden hinnan nousulla on osto-optioon positiivinen- ja myyntioption negatiivinen vaikutus. Toteutushinnalla on päinvastainen vaikutus, eli toteutushinnan noustessa osto-option hinta laskee ja myyntioption nousee.

Aika-arvoon vaikuttavat mm. riskitön markkinakorko, option jäljellä oleva voimassaoloaika ja kohde-etuuden hinnan volatilitteetti. Korkotason nousulla on osto-optioon positiivinen- ja myyntioption negatiivinen vaikutus. Voimassaoloajan pitenemisellä ja volatilitteetin kasvulla on molemmilla sekä osto- että myyntioption hintaa nostattava vaikutus. Osingon maksu puolestaan vaikuttaa osto-option hintaa nostavasti ja myyntioption hintaa laskevasti.

Edellisten lisäksi on paljon tekijöitä, jotka vaikuttavat option hintaan epäsuorasti, mutta joiden vaikutuksen suuruutta ja suuntaa on vaikeaa perustella. Näiden mahdollinen vaikutus liittyy läheisesti kohde-etuuden hintaan, volatilitteettiin tai yleiseen korkotasoon. Tällaisia tekijöitä ovat mm. kohde-etuuden hintaan kohdistuvat odotukset, muiden sijoituskohteiden ominaisuudet, sijoittajien suhde riskiin, verotus ja kaupankäyntikustannukset.

2.3 Optioiden teoreettiset rajaehdot ja niiden toteutuminen Suomessa

Optioiden hinnoittelun peruslähtökohdan muodostavat ns. rajaehdot, jotka osoittavat tehokaiden markkinoiden näkökulmasta katsoen tapauskohtaisesti vähimmäishinnat optioille eli määräävät maksettavan preemion alarajan. Rajaehdot määrittelevät option hinnan esim. termiin tai kohde-etuuden hinnan perusteella ja eivät tee mitään muita oletuksia markkinoista kuten sen, että markkinoilla toimivien sijoittajien preferenssit ovat hyvin käyttäytyviä. Hintojen tarkempi määrittely rajaehtojes sisällä voidaan tietenkin suorittaa käyttämällä haluttua hinnoittelumallia, joka ottaa huomioon kulloisetkin markkinaolosuhteet ja niiden vaikutukset hintoihin. Tässä esitettävät rajaehdot indeksioptioille perustuvat riskittömien voittojen eliminointumiseen rajaehtojes sisällä.

Indeksioptioiden rajaehdoja ja niiden toteutumista on tutkittu huomattavasti vähemmän kuin esim. osakeoptioiden rajaehdoja, mikä suurelta osin johtuu indeksioptioiden lyhyemmästä kaupankäynnin historiasta. On myös esitetty, että indeksioptioilla käytävä kauppa koettaisiin hankalammaksi kuin osakeoptioilla käytävä kauppa ja tästä syystä myöskään rajaehtojes tutkimiseen ei ole panostettu vastaavalla tavalla. Toinen selkeä trendi tutkimuksessa on ollut keskittyminen pääasiallisesti osto-optioihin. Tätä on perusteltu myyntioptioiden pienemmällä kaupankäynnin volyymeillä ja mahdollisuudella tarkastella myyntioptioiden rajaehdoja ns. myynti-osto-pariteetin (put-call-parity) tai myynti-osto-futuuri-pariteetin (put-call-futures-parity) avulla.

2.4 Rajaehtojes toteutuminen Suomalaisilla indeksioptiomarkkinoilla

Rajaehdoja on testattu lukuisilla eri tavoilla ja monenlaisella aineistolla. Varhaisimpia tutkimuksia on Mihir Bhattacharyan tutkimus vuodelta 1983, jossa rajaehtojes toteutumista testattiin CBOE:n noteeraamalla amerikkalaisilla osto-optioilla 196 päivän aikana ajanjaksolla elokuu 1976 - kesäkuu 1977. Tutkimuksessa havaittiin joitain poikkeamia sekä edellä esitettyjen tyyppisistä rajaehdoista että hiukan tiukemmista rajaehdoista. Johtopäätöksenä mainitaan kuitenkin, että näihin väärinhinnoitteluihin perustuvan kaupankäynnin seurauksena saatavat voitot eivät implikoivat optiomarkkinoiden tehottomuutta ja toisaalta, suurin osa näistä voitoista häviää transaktiokustannusten huomioonottamisen jälkeen.

Galai (1978 ja Halpern ja Turnbull (1985) ovat saaneet tutkimuksissaan hieman toisenlaisia tuloksia. Galai testasi rajaehtojen toteutumista CBOE:n kuuden ensimmäisen toimintakauden aikana, käyttäen päivittäisiä sulkemishintoja. Hänen mukaansa hypoteesi päivittäisten sulkemishintojen sijaitsemisesta tiettyjen rajaehtojen sisällä voidaan hylätä ja toisaalta hylkäämistä ei voitu selittää täydellisellä ennakkotietämyksellä tulevista osingoista eikä myöskään mahdollisella datan epätarkkuudella. Halpernin ja Turnbullin tutkimuksen johtopäätöksenä oli, että vääristymiä rajaehdoista esiintyi todellisten transaktiokustannusten huomioon ottamisen jälkeenkin, trendi vääristymien määrässä tarkasteluperiodin (2vuotta) aikana oli kasvava ja lisäksi havaitut vääristymät tuntuivat muuttuvan yhä merkittävämmäksi.

Suomalaisella aineistolla rajaehtoja ei juurikaan ole tutkittu. Vesa Puttonen on ainoa, joka on tutkinut rajaehtojen toteutumista suomalaisella aineistolla. Hänen väitöskirjansa "The efficiency of the Finnish Stock Index Derivatives Markets" on laajin ja kattavin aiheesta tehty tutkimus Suomessa. Puttosen työssä tarkastellaan rajaehtojen pitävyyttä niin Fox-indeksiin perustuvien termiinien kuin optioidenkin osalta ajanjaksolla 2.5.1988-21.12.1990 eli tarkasteluperiodi kattaa SOM:in toimintahistoriasta ensimmäiset puolitoista vuotta.

Ex post -testeillä havaittiin ainoastaan yksi poikkeama myyntioptioiden teoreettisista rajaehdoista, joten myyntioptioiden osalta rajaehdot pitivät hyvin paikkansa. Osto-optioiden tapauksessa tulokset olivat kaksijakoisia. Kun rajaehdon määrittäminen perustui Fox-indeksitermiiniin, ei poikkeamia esiintynyt. Jos taas rajaehto määriteltiin suhteessa Fox-indeksiin, löydettiin lukuisia poikkeamia. Puttosen mukaan havaitut erot eivät voi johtua käytettävästä datasta tai sen ominaisuuksista, koska samoja korkonoteerauksia ja transaktiokustannusten määritelmiä käytettiin sekä osto- että myyntioptiolle ja näin ollen poikkeamia olisi pitänyt esiintyä myös myyntioptioiden osalta.

2.5 Black-Scholes- malli

Osakkeen hintoja kuvaa ns. Wiener-prosessi. Tämä on tärkeä paitsi siksi, että Black-Scholes –mallin perusteellinen ymmärtäminen auttaa tutkielman kulun seuraamisessa, myös siksi, että osakkeiden hintojen muuttumisen taustalla olevan prosessin tunteminen on olennaista. Koko tutkielmahan perustuu nimenomaan osakkeiden tuottojen hajontaan, eli ns. volatilitettiin.

Tutkielmaa ja sen tuloksia tulkittaessa on olennaisen tärkeää tuntea Black-Scholes- mallin oletukset ja niiden taustalla olevat aikasarjaprosessit, jotta voidaan pitää mielessä mallin rajoitteet.

2.5.1 Osakehintojen käyttäytymistä kuvaava malli

Minkä tahansa muuttujan, jonka arvo muuttuu ajan kuluessa satunnaisesti, sanotaan noudattavan stokastista prosessia. Stokastiset prosessit voidaan edelleen jakaa jatkuviin ja ei-jatkuviin. Ei-jatkuvassa stokastisessa prosessissa muuttujan arvo voi muuttua ainoastaan tiettyinä hetkinä, mutta jatkuva stokastinen muuttujan arvo voi muuttua milloin tahansa. Lisäksi stokastinen prosessi voidaan jakaa myös muuttujien mittaustarkkuuden suhteen jatkuviin ja diskreetteihin. Edellisessä muuttuja voi saada mitä tahansa arvoja tiettyjen rajojen sisäpuolella, jälkimmäisessä ainoastaan tietyt arvot ovat mahdollisia. (Hull 1993;190). Seuraavassa johdetaan jatkuva, jatkuvan satunnaismuuttujan stokastinen prosessi, joka kuvaa osakehintojen käyttäytymistä.

2.5.2 Wiener –prosessi

Osakehintojen käyttäytymisen pohjana on niin sanottu Markovin ominaisuus, jonka mukaan ainoastaan muuttujan nykyinen arvo on relevantti tulevaisuuden arvoja ennustettaessa. Toisin sanoen, jos osakkeen A arvo on tänään 50 mk, sisältää tämä arvo kaiken sen informaation, mitä tarvitaan osakkeen tulevan hinnan ennustamiseen. Ei ole mitään merkitystä sillä, mikä osakkeen hinta oli eilen tai viikko sitten. Tämä teoria on yhtenevä myös heikon markkinatehokkuuden oletuksen kanssa, jonka mukaan kaikki entisten hintojen antama informaatio on täysin sisältyneenä osakkeen nykyisessä hinnassa. (Brealey&Myers 1991,916;Hull 1993, s.191)

Osakkeen hintakäyttäytymistä voidaan kuvastaa käyttäen ns. Wiener -prosessia, joka on eräs Markowin prosessin muoto. Wiener-prosessi pohjautuu kahteen ominaisuuteen, joissa käytetään seuraavia merkintöjä:

z	Wiener -prosessia noudattava muuttuja
t	aika
Δt	lyhyt aikaperiodi
Δz	z :n muutos lyhyen periodin aikana.

1. ominaisuus: Δz ja Δt liittyvät toisiinsa seuraavan yhtälön kautta:

$\Delta z = \sum \epsilon \sqrt{\Delta t}$ jossa ϵ on satunnainen otanta standardoidusta normaalijakaumasta.

2. ominaisuus: Δz :n arvot millä tahansa kahdella eri aikaperiodilla Δt ovat toisistaan riippumattomat.

Ensimmäisestä ominaisuudesta johtuen Δz itse noudattaa normaalijakaumaa seuraavin ominaisuuksin:

Δz : odotusarvo = 0 (koska standardoidun normaalijakauman odotusarvo on 0)

Δz :n keskihajonta = $\sqrt{\Delta t}$ (koska standardoidun normaalijakauman keskihajonta on 1)

Δz :n varianssi = Δt (keskihajonnan toinen potenssi)

Tutkitaan seuraavaksi z :n arvoa pidemmällä aikaperiodilla T , ja merkitään z :n muutosta tänä aikana termillä $z(T) - z(0)$. T :n voidaan katsoa olevan N pientä aikaperiodia Δt , eli $N = T/\Delta t$. tällöin:

$$(1) \quad z(T) - z(0) = \sum_{i=1}^N \epsilon_i \sqrt{\Delta t}$$

jossa ϵ_i ($1, 2, \dots, N$) ovat satunnaisotantoja standardoidusta normaalijakaumasta. Normaalijakauman perusominaisuuksista johtuen yhtälön (1) $z(T) - z(0)$ on normaalijakautunut seuraavilla ominaisuuksilla:

$(z(T) - z(0))$:n odotusarvo = 0 (koska standardoidun normaalijakauman odotusarvo on 0)

$(z(T) - z(0))$:n varianssi = $N \Delta t = T$ (koska standardoidun normaalijakauman varianssi on 1 ja riippumattomat varianssit ovat lisättäviä)

$(z(T) - z(0))$:n keskihajonta = \sqrt{T}

Näin on määritelty Wiener-prosessin perusmuoto, jolla ei ole suuntaa (drift) ja jonka varianssiaste on yksi. Edellinen tarkoittaa sitä, että minkä tahansa z :n tulevaisuuden arvon odotusarvo on sama kuin z :n nykyinen arvo, ja jälkimmäinen tarkoittaa sitä, että z :n arvon muutoksen varianssi aikaperiodilla T on $1 \cdot T = T$. Esimerkiksi, jos z saa tänään arvon 25. Tällöin Wiener-prosessia noudattaen, kun T on yksi vuosi, on odotusarvo z :lle vuodenkuluttua 25 ja keskihajonta $\sqrt{1} = 1$. Kahden vuoden vastaavat arvot ovat 25 ja $\sqrt{2} = 1.414$. Odotusarvo siis pysyy ajan kuluessa samana, mutta epävarmuus kasvaa. (Hull 1993, ss.192-193)

2.5.3 Wiener-prosessi jolla on suunta (generalised Wiener Process)

Nyt ajatellaan, että Wiener-prosessilla on suunta. Tässä tapauksessa muuttujan odotusarvo ei enää pysy samana ajan kuluessa, vaan prosessi saa suunnan. Yleistetty Wiener-prosessi voidaan esittää seuraavalla yhtälöllä:

$$(2) \quad dx = adt + b dz$$

Yhtälön oikean puolen ajatellaan koostuvan kahdesta eri osasta, joista ensimmäinen, adt , implikoi, että x :llä on a :n suuruinen suunta. Tämä voidaan nähdä tutkimalla yhtälöä kaksi ilman termiä $b dz$, jolloin $dx = adt$, eli $(dx/dt) = a$. Toisin sanoen T :n suuruisen ajan kuluessa x kasvaa aT :n verran. Termissä $b dz$ z noudattaa Wiener-prosessia, kuten edellisessä kappaleessa todettiin. Tällöin kaksi saa seuraavan muodon, jos aikaperiodiksi otetaan Δt :

$$(3) \quad \Delta x = a \Delta t + b \varepsilon \sqrt{\Delta t}$$

Jossa ε on satunnainen otanta standardoidusta normaalijakaumasta. Näin ollen termin $b \varepsilon \sqrt{\Delta t}$ voidaan katsoa lisäävän ”melua” (noise) x :n seuraamalle uralle. Samoin kuin edel

lisessä kappaleessa voidaan aikaperiodille T määritellä seuraavat arvot:

x :n muutoksen odotusarvo = aT

x :n muutoksen keskihajonta = $b\sqrt{T}$

x :n muutoksen varianssi = b^2T

Yhtälön kaksi Wiener-prosessilla on siis a :n suuruinen suunta ja b^2 :n suuruinen varianssiaste. Ajan kuluessa yleistetyn Wiener-prosessin odotusarvo kasvaa tasaisesti, toisin kuin Wiener-prosessin perusmuodossa, mutta epävarmuus kasvaa, kuten perusmuodossakin. (Hull 1993, ss. 192-196)

2.5.4 Black-Sholes mallin Perusoletukset

Vuonna 1973 Fischer ja Myron Scholes julkaisivat vallankumouksellisen artikkelin, jossa johdetaan uusi optioiden hinnoittelumalli; ns. Black-Scholes-malli. Tämä malli on varsin yksinkertainen ja todennäköisesti siksi se on saavuttanut markkinoilla hallitsevan aseman. Black ja Scholes lähtevät liikkeelle seuraavista perusoletuksista (Black-Scholes 1973, ss.640-641):

- 1) Mallissa käytetty lyhyen ajanjakson korko on tunnettu ja vakio option voimassaoloaikana.
- 2) Osakkeen hinta noudattaa edellä kuvatulla tavalla lognormaalista jakaumaa
- 3) Osake ei maksa osinkoja eikä muita vastaavia etuja.
- 4) Optio on eurooppalainen.
- 5) Osakkeen tai option ostamiseen tai myymiseen ei liity transaktiokustannuksia eikä veroja. On mahdollista ostaa minkäläinen osuus arvopaperista tahansa (ts. myös mielivaltaisen pieni osa).
- 6) Arvopaperien lyhyeksi myynti on sallittua ilman mitään rajoituksia.
- 7) Arbitraasimahdollisuuksia ei ole markkinoilla olemassa.

Käytännössä kaikki nämä yksinkertaistavat oletukset eivät tietenkään toteudu, esimerkiksi lyhyen aikavälin korko ei luonnollisestikaan ole vakio. Malli antaa silti relevantteja hintoja optioille, joten yksinkertaistavat oletukset eivät muodosta esteitä sen käytölle. Myöhemmissä tutkimuksissa joitakin näistä oletuksista on kyetty poistamaan.

2.5.5 Black-Scholes-differentiaaliyhtälön johto

Black-Scholes –differentiaaliyhtälön avulla kyetään ratkaisemaan BS -optiohinnoittelukaava. Differentiaaliyhtälöä johdettaessa käytetään hyväksi olettamusta, jonka mukaan markkinoilla ei ole arbitraasimahdollisuuksia. Tällöin kyetään muodostamaan portfoliot johdannaisinstrumenteista ja osakkeista sekä toisaalta riskittömästä korkosijoituksesta, joiden tuotto pitää olla samansuuruinen.

Oletetaan aluksi, että osakkeen hinta noudattaa Wiener-prosessia:

$$(4) \quad \Delta S = \mu S \Delta t + \sigma S \Delta z$$

Merkitään kirjaimella f johdannaisinstrumentin hintaa, joka riippuu osakkeen hinnasta S . Muuttuja f on jokin S :n ja t :n funktio:

$$(5) \quad \Delta f = \left(\frac{\partial f}{\partial S} \mu S + \frac{\partial f}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial S^2} \sigma^2 S^2 \right) \Delta t + \frac{\partial f}{\partial S} \sigma S \Delta z$$

Nyt on tärkeä huomata, että sekä f että S riippuvat samasta epävarmuuden lähteestä, eli Δz yhtälöissä (4) ja (5) on sama. Tällöin voidaan tämä epävarmuus poistaa valitsemalla sopiva portfolio, ts. osakkeesta tuleva epävarmuus poistuu täydellisesti johdannaisinstrumentista tulevalla vastakkaisuuntaisella epävarmuudella. Näin saadaan poistettua epävarmuutta tuova Wiener-prosessi, jolloin siis portfolio on riskitön, j tätä voidaan verrata riskittömään korkosijoitukseen. Osoittautuu, että Wiener-prosessi voidaan eliminoida valitsemalla portfolio seuraavasti:

-1: johdannaisinstrumentti

+ $\frac{\partial f}{\partial S}$: osakkeet

Tämän portfolion omistaja myy siis lyhyeksi yhden johdannaisinstrumentin ja ostaa $\partial f / \partial S$ osakkeita. Määritellään P kyseisen portfolion arvoksi:

$$(6) \quad P = -f + \frac{\partial f}{\partial S} S$$

Tällöin portfolion arvon muutos ΔP aikavälillä Δt on seuraava:

$$(7) \quad \Delta P = -\Delta f + \frac{\partial f}{\partial S} \Delta S$$

Sijoittamalla yhtälöistä (4) ja (5) yhtälöön (7) saadaan:

$$(8) \quad \Delta P = \left(-\frac{\partial f}{\partial t} - \frac{1}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial S^2} \sigma^2 S^2 \right) \Delta t$$

Yhtälö (8) ei sisällä Wiener-prosessia (Δz), joten sen tuotto on riskitön. Edellä esitettyjen oletusten perusteella tämän portfolion on annettava sama tuotto kuin riskittömän korkosijoituksen, muussa tapauksessa arbitraasimahdollisuuksia on olemassa. Jos esimerkiksi edellä kuvattu portfolio tuottaisi vähemmän kuin riskittömän koron, voisivat sijoittajat myydä portfolioa ja sijoittaa rahat riskittömään korkoon. Tällöin portfolion hinta laskee ja sen seurauksena sen tuotto nousee, ja arbitraasimahdollisuudet katoavat. Tämän seurauksena siis portfolion tuotto ΔP pitää olla sama kuin riskitön korkosijoitus, eli $\Delta P = rP\Delta t$, jossa r on riskitön korko. Sijoittamalla tähän edelleen yhtälöistä (6) ja (8) saadaan:

$$(9) \quad \left(\frac{\partial f}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial S^2} \sigma^2 S^2 \right) \Delta t = r \left(f - \frac{\partial f}{\partial S} S \right) \Delta t$$

ja tästä edelleen

$$(10) \quad \frac{\partial f}{\partial t} + rS \frac{\partial f}{\partial S} + \frac{1}{2} \sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 f}{\partial S^2} = rf$$

Tämä on Black-Scholes- differentiaaliyhtälö, jota käytetään BS-kaavan johdossa. Tässä yhteydessä on syytä huomata, että portfolio P ei ole ikuisesti riskitön, vaan ainoastaan hyvin lyhyen aikaa. Tämä johtuu siitä, että S :n ja t :n muuttuessa myös $\partial f / \partial S$ muuttuu. Riskittömyyden säilyttämiseksi on johdannaisinstrumentin ja osakkeen suhteellista osuutta portfoliossa jatkuvasti muutettava. (Black&Sholes 1973, ss. 642-645; Hull 1993, ss219-220)

2.5.6 Black&Scholes- optiohinnoittelukaavat

Black ja Scholes onnistuivat vuonna 1973 julkaistussa artikkelissaan ratkaisemaan differentiaaliyhtälönsä ja päätyivät BS-optiohinnoittelukaavoihin. Rajaehdon osittaisdifferentiaaliyhtälön (9) ratkaisemiselle antaa osto-option odotusarvosta option päättymispäivänä:

$$(11) \quad E[\max(S_T - X, 0)]$$

jossa E on odotusarvo ja S_T osakkeen hinta option päättymispäivänä. Option arvo hetkellä t (joka siis ennen T:tä). Tästä voimme siirtyä suoraan tulokseen, joka on BS-hinnoittelukaava eurooppalaiselle osto-optiolle:

$$(12) \quad c = SN(d_1) - Xe^{-r(T-t)}N(d_2), \quad \text{jossa}$$

$$(13) \quad d_1 = \frac{\ln(S/X) + (r + \sigma^2/2)(T-t)}{\sigma\sqrt{T-t}}$$

$$(14) \quad d_2 = \frac{\ln(S/X) + (r - \sigma^2/2)(T-t)}{\sigma\sqrt{T-t}} = d_1 - \sigma\sqrt{T-t}$$

ja N(x) on standardoidun normaalijakauman kertymäfunktio. (Black&Sholes 1973, s. 644)

BS-malli näyttää varsin monimutkaiselta, mutta loppujen lopuksi sen tulkinta voidaan nähdä melko yksinkertaisena. Periaatteessa se on vain osakkeen nykyisen hinnan S ja option lunastushinnan X (diskontattuna nykyhetken, koska lunastushinta täytyy maksaa vasta päättymispäivänä) erotus, aivan kuten eurooppalaisen osto-option tapauksessa intuitiivisesti järkevää onkin. Nykyhetken t ja päättymispäivän välillä T voi osakkeen hinta vielä kuitenkin muuttua, ja toisaalta ei ole varmaa, tullaanko lunastushintaa loppujen lopuksi maksamaan; voihan optio olla päättymispäivänä myös arvoton jolloin sitä ei käytetä. Tätä osakkeen hinnan muutoksen epävarmuutta on jotenkin mallitettava ja se tehdään yleensä olettamalla osakkeen hinnan noudattavan edellä kuvatulla tavalla lognormaalista jakaumaa. Osakkeen hinnan epävarmuuden ”vangitsemiseksi” BS-malliin otetaan käyttöön termit $N(d_1)$ ja $N(d_2)$. D_1 ei ole periaatteessa mitään muuta kuin lognormaalisen osakkeen hinnan odotettu tuotto jaettuna sen keskihajonnalla, eli eräänlainen riskiin suhteutettu tuottokerroin. Luonnollisesti, mitä suurempi riskisuh-

teutettu tuotto on, sitä varmemmin nykyinen osakkeen hinta S on luotettava ennuste tulevalle option päättymispäivän arvolle. D_2 puolestaan otetaan huomioon, että osakkeen hinnan suuri keskihajonta nostaa osto-option arvoa, koska mahdollisuudet suuriin osakkeen hinnannousuihin ovat paremmat. Tämän vuoksi $d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{(T-t)}$, eli mitä suurempi on σ , sitä pienempiä arvoja saa d_2 , ja edelleen sitä pienempiä arvoja saa $N(d_2)$. Tämä johtaa puolestaan edelleen suurempiin option arvoihin c .

2.5.7 Black-76-malli

Tutkimuksessani kohteena on indeksi eikä yksittäinen osake, joten BS-mallin soveltaminen ei ole realistisesti järkevää. Tutkimuksessani ei ole mahdollista laskea option hintaa laskemalla S :n (joka olisi tässä tapauksessa siis indeksin arvo tiettyinä päivinä) ja lunastushinnan erotusta, koska itse indeksillä ei käytännössä ole mahdollista käydä kauppaa. Fischer Black esitteli kuitenkin vuonna 1976 ns. Black-76-mallin, joka mahdollistaa BS-mallin soveltamisen myös indeksioptioille. Kaava perustuu siihen, että BS mallissa yksinkertaisesti osakkeen arvo S korvataan indeksioptioiden tilanteessa relevantimmalla indeksifutuurin arvolla F . Futuuri voi olla teoreettisessa arvossaan tai se voi poiketa siitä, tulos on kuitenkin aina oikea. Itse indeksin arvoa ei käytetä, sillä se saattaa poiketa futuurin diskontatusta arvosta ja mahdollistaa arbitraasivoiton. Lähtökohtana Black-76-mallin johdolle toimii seuraava yhtälö:

$$(15) \quad F = Se^{r(T-t)}$$

Yhtälön (15) mukaan siis indeksifutuurin erääntymishetkellä T pitää olla sama kuin mitä saadaan sijoittamalla vastaava osake (portfolio) S hetkellä riskittömällä korolla r . Black-76 optionhinnoittelumalli on lähes identtinen B&S-mallin kanssa. Erona on se, että kohde-etuuden hinta on korvattu futuurin diskontatulla arvolla. On myös huomattava, että Black-76 kaavaa ei voi käyttää kuin eurooppalaisen option hinnoitteluun.

3 IMPLISIITTINEN VOLATILITEETTI JA VOLATIILISUUSHYMY

3.1 Volatiliteetti käsitteenä

Volatiliteetti samaistetaan usein edellisessä luvussa esiintyneen keskihajonnan σ eli standardipoikkeaman käsitteeseen. Rahoitusalan kirjallisuudessa tämä termi, ja siihen liittyvät käsitteet historiallinen ja implisiittinen volatiliteetti ovat olleet usein tutkimuksen kohteena. Yleensä tutkimuksissa haetaan mahdollisimman oikeaa volatiliteetti termiä B-S-kaavaan, ja tähän liittyy läheisesti optiomarkkinoiden tehokkuuden tutkiminen.

Implisiittinen volatiliteetti (implied volatility) on optioiden markkinahinnoista laskettu volatiliteetti, joka kuvaa optiomarkkinoiden epävarmuusoletuksia. Se on optiomarkkinoiden ennuste tulevasta volatiliteetista. Implisiittinen volatiliteetti saadaan ratkaisemalla Black&Sholes-malli volatiliteetin suhteen asettamalla option hinnaksi markkinahinta. Mitä suurempi on laskennallinen volatiliteetti sitä suurempi on markkinoilla vallitseva epätietoisuus tulevasta kohde-etuuden kurssitasosta. *Historiallinen volatiliteetti* (historical volatility) on jo havaituista option kohde-etuuden hinnoista laskettu volatiliteetti. Se voidaan lakea mille periodille tahansa, mutta vain ajassa taaksepäin. Ei ole olemassa tarkkaa sääntöä siitä, miten pitkältä ajanjaksolta volatiliteetti tulisi laskea. (Puttonen, 1996, ss. 115-119) Lisäksi HEX:issä lasketaan myös *markkinavolatiliteettia*, joka saadaan laskemalla keskiarvo heti optiosarjojen laskennallisista volatiliteeteista. Markkinavolatiliteetti on HEX:in laskema tunnusluku, jota käytetään hyväksi mm. määrittäessä vakuusvaatimusten suuruutta.

3.2 Perinteiset volatiliteettiestimaattorit

Perinteisin ja yksinkertaisin tapa määrittää kohde-etuuden volatiliteetti on laskea kohde-etuuden logaritmistien muutosten keskihajonta joltain kiinteältä liukumajaksolta ennen tarkasteluhetkeä ja muuttaa tämä vuositason volatiliteetiksi. Näin laskettua volatiliteettia kutsutaan historialliseksi volatiliteetiksi. Ongelmana tässä menetelmässä on määrittää se, kuinka pitkältä

ajanjaksolta kyseinen volatilitiitti tulisi laskea, jotta se heijastaisi volatilitiitin vaihteluja tehokkaasti. Suomalaisissa indeksiopiotutkimuksissa historiallinen volatilitiitti on yleensä laskettu 10, 40 tai 50 päivän liukuvana keskihajontana (Jokivuolle 1991;45). Historiallisen volatilitiitin laskeminen voidaan esittää seuraavana lausekkeena:

$$(16) \quad \sigma_{HIST} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (R_i - \bar{R})^2}{N-1}}$$

σ_{HIST}	= Historiallinen volatilitiitti
N	= tarkasteluperiodin pituus
R_i	= kohde-etuuden tuotto päivinä i
\bar{R}	= kohde-etuuden tuottojen keskiarvo

3.3 Volatilitiitti osakemarkkinoilla

Jokaisella markkinoilla noteeratulla optiolla on tietty implisiittinen volatilitiitti. Näiden implisiittisten volatilitiittien tulisi olla samoja kaikille optioille, joilla on sama alla oleva tuote. Jos siis osakkeen hinta noudattaa geometristä Brownin liikettä¹ volatilitiitillä σ ja markkinat hinnoittelevat sen B&S-mallin mukaan, silloin B&S-mallin antama arvo on option markkinahinta. Implisiittinen ja mahdollisimman pitkältä ajan jaksolta laskettu historiallinen volatilitiitti yhtyvät tällöin. Todellisuudessa implisiittistä volatilitiittia laskettaessa saman alla olevan arvopaperin optioille joiden totutushinnat ja voimassaoloajat eroavat toisistaan, saadaan tuloksia, että implisiittiset volatilitiitit eroavat ensinnäkin toteutushinnasta toiseen ja toiseksi voimassaoloajasta toiseen.

Implisiittisen volatilitiitin merkitys varsinaiselle optiokaupalle on muodostunut nykyisin tärkeäksi, sillä option ali-/ylihinnoittelu perustuu muiden optionhinnoittelutermien yksiselitteisyyden vuoksi juuri volatilitiittiin. Tästä syystä option hinta sinällään ei ole enää sikäli tärkeä

¹ Geometrinen Brownin liike kuvaa osakkeen tulevan hinnan todennäköisyysjakaumaa. Vuonna 1964 M. Osborne esitteli mallin osakemarkkinoiden tutkimisessa ja sovelsi Brownin liikettä osakkeen hinnan ennustamisessa. osakkeen hinnan muutoksen havaittiin olevan suhteessa osakkeen alkuperäiseen hintaan. Eli odotettu prosentuaal-

kuin miten se liittyy option implisiittiseen volatiliteettiin. Markkinoilla käydäänkin kauppaa ostamalla ja myymällä volatiliteettia varsinaisen hinnan sijaan. Mikäli implisiittinen volatiliteetti koetaan alhaiseksi pidetään optiota automaattisesti alihinnoiteltuna ja näin hyvänä ostona, päinvastoin korkean volatiliteetin suhteen (Black,1976, ss.177). Korkeaan implisiittiseen volatiliteettiin myydään ja alhaiseen ostetaan. Implisiittistä volatiliteettia voidaan pitää tulevaisuuden ennustajana, esim. kriisitilanteessa kohde-etuuden markkinoilla. Implisiittinen volatiliteetti riippuu ainoastaan tämän hetkisistä optiohinnoista ja muista optiohinnoittelumalliin kuuluvista tekijöistä tällä hetkellä. Historiallinen volatiliteetti sen sijaan keskittyy menneeseen, se huomioi vain menneen ajan kohde-etuuden hintakehityksen. Yksi viimeaikaisten näkyvimmistä esimerkeistä lienee ollut öljyfutuurioptioiden volatiliteettien käyttäytyminen Persianlahden sodan aikana. (Barnaud F. 1992) Implisiittisen volatiliteetin käyttöä perustellaan sillä, että sen sanotaan historiallisen tiedon ohella heijastavan markkinaosapuolten näkemyksiä tulevaisuudesta. Historiallinen volatiliteetti ottaa huomioon vain menneen aikasarjan.

3.4 Volatiliteetin laskeminen

Määritellään aluksi osakkeen tuotto seuraavasti:

$$(17) \quad u_t = \ln(S_t/S_{t-1})$$

jossa S on osakkeen hinta (tai indeksin taso) hetkellä t ja t-1, eli u ilmaisee päivittäisen tuoton. Muokkaamalla hieman kaavaa (16) voidaan lakea BS-mallissa esiintyvä σ (tuottojen keskihajonta) kaavan (18) mukaan:

$$(18) \quad \sigma = \sqrt{\left(\frac{1}{T-1} \sum (u_{i-} - \bar{u})^2 \right)}$$

jossa n on havaintojen lukumäärä ja \bar{u} on keskiarvo. Mikäli tätä kaavaa käytetään historiallisista arvoista laskettavaan keskihajontaan, saadaan selville todellinen historiallinen volatiliteetti, jota voidaan käyttää BS-mallissa. Tämä volatiliteetti voidaan saattaa vuositasolle ker-

linen muutos osakkeen hinnassa on sama riippumatta sen alkuperäisestä hinnasta. eli absoluuttiset hinnan muutokset eroavat, mutta suhteelliset muutokset ovat samoja.

tomalla päivittäisistä havainnoista laskettu σ vuosittaisten kauppapäivien lukumäärän (n. 250) neliöjuurella. (Hull 1993, ss.215-216)

B-S- mallissa yhtälön (12) oikealla puolella olevista viidestä termistä neljä on tunnettuja. X ja T määritellään optiosopimuksessa ja S(F) ja r ovat markkinoilta saatavaa tietoa. Myös option hinta c on markkinoilta saatavaa tietoa. Ainoa tuntematon on σ . Yhtälö voidaan iteroimalla keskihajonnan suhteen, jolloin saadaan selville ns. implisiittinen volatilitiiteetti. Tämä on markkinoiden muodostama optiohinnan implikoima perustana olevan indeksin (tai osakkeen) tuoton keskihajonta. Koska optiohinnan voidaan katsoa sisältävän kaiken markkinoilla saatavissa olevan informaation, ja koska implisiittinen volatilitiiteetti on markkinoiden näkemys siitä, mikä on option pohjana olevan tuotteen volatilitiiteetti nykyhetkestä option erääntymispäivään, on mahdollista, että implisiittisen volatilitiiteetin avulla kyetään ennustamaan ensinnäkin option hinnan tulevaa implisiittistä volatilitiiteettiä ja sitä kautta option pohjana olevan indeksin tulevaa volatilitiiteettiä.

3.5 Volatiilisuushymy

Markkinoilla havaittu implisiittinen volatilitiiteettirakenne voidaan pilkkoa kahteen eri osaan: volatiilisuushymyyn ja volatilitiiteetin termiinirakenteeseen. *Volatiilisuushymy* kuvaa, sitä, miten implisiittinen volatilitiiteetti vaihtelee optioiden toteutushinnan mukaan, kun niiden päättymispäivä on kaikilla sama. Esimerkiksi voidaan ajatella 3 kuukauden optiota indeksiin S. Nyt siis volatiilisuushymy kuvaa eri toteutushintojen ja implisiittisen volatilitiiteetin suhdetta kyseisille 3 kuukauden indeksioptiosarjoille.

Volatilitiiteetin termiinirakenne puolestaan kuvaa sitä, miten tasaoption (at-the-money) implisiittinen volatilitiiteetti vaihtelee ajan mukana ennen option päättymispäivää. Kuvattaessa indeksin S volatilitiiteetin termiinirakennetta tarkastellaan optioiden jäljelläoloajan ja kaikkien S:n tasaoptioiden implisiittisen volatilitiiteettien suhdetta. Nimi implisiittisen volatilitiiteetin termiinirakenne tulee korkomarkkinoilta ja korkojen termiinirakenteesta. Optioilla on kaikilla tietty implisiittinen volatilitiiteetti, joka tekee B&S -arvon yhtä suureksi option markkina-arvon kanssa. Vastaavasti korkomarkkinoilla jokaisella joukkovelkakirjalla on tietty tuotto.

Vuoden 1987 lokakuun pörssiromahduksen jälkeen käsite volatiilisuushymy ja sen esiintyminen eri markkinoilla on tullut suurempaan tietoisuuteen. Miksi näin on tapahtunut ei kuitenkaan pystytä selittämään yksiselitteisesti. Seuraavassa on muutama mahdollinen selitys ilmiölle.

Mark Rubinstein katsoo, että vuoden 1987 romahdus kenties muutti sijoittajien suhtautumista indeksioptioihin. Vertaamalla romahdusta edeltänyttä volatiilisuushymyn muotoa romahdusta seuranneeseen huomataan selvä ero. Miinusoitot tulivat huomattavasti kalliimmiksi, johtaen tilanteeseen put-call- pariteetin kautta, jossa matalan toteutushinnan optioilla oli huomattavasti korkeampi implisiittinen volatilitteetti kuin korkean toteutushinnan optioilla. Rubinstein on nimennyt tämän havaintonsa ”crash-o-phobiaksi” (Rubinstein, 1997).

3.6 Aikaisempia tutkimuksia

Implisiittistä volatilitteettiä on käytetty tutkimuksissa useaan eri tarkoitukseen. Eräät tutkimukset ovat keskittyneet tutkimaan implisiittisen volatilitteetin, markkinavolatilitteetin muutosten ja eräiden makrotaloudellisten muuttujien välisiä suhteita. Osa on keskittynyt käyttämään implisiittistä volatilitteettiä epätavallisen aktiviteetin mittarina markkinoilla, mihin luokkaan tämäkin tutkimus kuuluu. Yleisintä on kuitenkin ollut käyttää implisiittistä volatilitteettiä tulevan volatilitteetin ennustamiseen. Tässä on esitelty tarkemmin muutama alan tutkimus, joilla katson olevan merkitystä myös oman tutkimukseni motivoinnin kannalta. Näitä tutkimuksia käytetään myöhemmin tämän tutkimuksen tulosten vertailuun.

3.6.1 Rubinstein²

Mark Rubinstein on tutkinut optiohinnoittelua jo 1970-luvulta alkaen. Hän on kehittänyt mm. optioiden binomihinnoittelumallin. Rubinstein osoitti, kuinka B&S –kaavan voi johtaa takaperin. Ajan jatkuvuuden oletuksen sijaan oletettiin ajan olevan epäjatkuva. Tuoton ei oletettu noudattavan normaalijakaumaa, vaan saavan tietyllä ajanjaksolla toisen kahdesta mahdollisesta arvosta. Tästä ominaisuudesta johtuen mallia kutsutaan binomimalliksi.

² Rubinstein M. 1994. ”Implied binominal trees”. The Journal of Finance, Vol.LXIX; 3.

Vuonna 1985 Rubinstein julkaisi tutkimuksen, jossa hän oli tutkinut kolmeakymmentä S&P 500 indeksissä mukana ollutta yksittäistä osaketta ja niiden optioita. Tarkoituksena oli testata B&S-mallia yksittäisillä osakeoptioilla. Tutkimuksessa oli mukana vuosien 1976-1978 välinen ajanjakso. Tutkimuksen johtopätös oli, että B&S-mallin tulokset olivat riittävän tarkkoja. Tämän tutkimuksen mukaan B&S-mallin minimivaatimuksena voitiin pitää sitä, että kaikilla optioilla, joilla on sama perusta ja maturiteetti mutta eri toteutushinta, tulisi olla yhtenevä implisiittinen volatiliteetti. Testissä tämä vaatimus täyttyi ja B&S –mallin harhaisuuden aste ei ollut tilastollisesti merkitsevä.

Tutkimuksessa käytettiin ns. minimax –menetelmää harhaisuuden merkitsevyyden selittämiseksi. Menetelmässä valitaan kaksi saman perustan omaavaa optiota, joilla on sama maturiteetti, mutta eri toteutushinta. Tämän jälkeen lasketaan valittujen optioiden markkinahintojen ja B&S –mallin antamien hintojen välinen erotus. Muuttamalla mallin olettaa volatiliteettia nollassa ja äärettömän välillä ja toistamalla äskeisen laskutehtävän saadaan erotuksista funktion. Minimax-suure on näiden erotuksien minimiarvo. Voidaan sanoa, että riippumatta volatiliteettista B&S –mallilla on ainakin tämän minimiarvon suuruinen harhaisuus.

Vuonna 1994 Rubinstein toisti minimax-menetelmän S&P 500 –indeksioptioilla. Aikaperiodina oli tällä kertaa 1986-1992. Tulokset olivat aluksi rohkaisevia; Vuonna 1986 minimax –suureen antamat virheet olivat melko pieniä sekä prosentuaalisesti että rahamääräisesti. Kuitenkin vuodesta 1987 lähtien harhaisuus on kasvanut nopeassa tahdissa. Rubinstein selittää tätä kehitystä syyskuun 1987 pörssiromahduksen aiheuttamalla muutoksella sijoittajien asenteissa indeksioptioihin. Miinus myyntioptiot tulivat arvokkaammiksi johtaen tilanteeseen vuonna 1987, jolloin matalan toteutushinnan omaavilla optioilla oli huomattavasti korkeampi implisiittinen volatiliteetti verrattuna vastaaviin korkean toteutushinnan optioihin. Tämä tendenssi on Rubinsteinin mukaan jatkunut vuodesta 1987 lähtien ja tullut tunnetuksi käsitteenä volatiilisuushymy.

3.6.2 Allan M. Malz³

Oma tutkimukseni pohjautuu pitkälti Allan M. Malzin (2000) tekemään tutkimukseen, jossa on tarkasteltu implisiittisen volatilitiitin kykyä signaloida markkinahäiriöitä. Hänen tutkimuksessaan on käytetty lyhyitä korkoja, valtion obligaatioiden hintoja, ja raakaöljyä kuvaamaan Chicago Mercantile Exchange (CME), Chicago Board of Trade (CBOT), London International Financial Futures and Options Exchange (Liffe), ja New York Exchange (Nymex) futuurisopimuksia. Tutkimuksessa tarkastellaan myös eräitä valuuttakursseja. Dollari-jeni ja dollari-euro, jotka ovat eniten käytettyjä vaihtokursseja ovat tarkastelun kohteena. Englannin punta-euro vaihtokurssi, dollari-peso vaihtokurssi ja dollari-bath vaihtokurssit ovat myös tarkastelussa mukana. Tutkimuksessa käytettiin tutkimusmetodina Grangerin kausaalisuusmallia, jolla tarkasteltiin ajanjaksoa 28.1.1983-8.10.1999.

Käytetyn aineiston perusteella voidaan päätellä, että implisiittinen volatilitiitti sisältää sellaista informaatiota, jolla voidaan tehdä ennusteita tulevista suurista tuotoista. Vastaavaa informaatiota ei ole muissa riskinhallinnan metodeissa otettu huomioon. Tutkimuksessa saatiin tuloksia, joiden mukaan omaisuuserien hintojen suuria muutoksia edeltää usein merkityksellinen implisiittisen volatilitiitin kasvu.

3.6.3 Latané & Rendleman (1976) ja Beckers (1981)

Usein on havaittu, että historiallisella volatilitiitillä lasketut optioiden arvot (käyttäen esim. BS-mallia) ovat reilusti korkeammat kuin markkinoilta havaitut arvot. Tällöin on syytä olettaa, että markkinoilla toimivien sijoittajien odotukset tulevasta volatilitiitista ovat alhaisemmat kuin edeltävältä jaksolta laskettu historiallinen volatilitiitti, jolla teoreettinen hinta ja markkinahinta ovat yhtäläisiä, saadaan implisiittinen volatilitiitti, jonka voidaan katsoa heijastavan markkinoiden odotusta tulevasta volatilitiitista.

Koska markkinoilla noteerataan yhtäaikaaisesti lukuisia eri optiosopimuksia, voidaan markkinoiden volatilitiittia estimoida yksittäisten sopimusten implisiittisten volatilitiittien perus-

³ Malz A. 2000. "Do implied volatilities provide early warning of market stress?". The Riskmetrics Group, Working Paper Number 00-01

teella. Tähän tarkoitukseen soveltuvia tekniikoita ovat esittäneet mm. Latane ja Rendleman (1976) ja Beckers (1981). Esitettävät tavat eivät luonnollisestikaan odota markkinoiden volatiliiteettia vakioksi.

Latanen ja Rendlemanin mukaan havaitut implisiittiset volatiliiteetit ennustavat tulevaa volatiliiteettia paremmin kuin historialliset volatiliiteetit ja että eri sopimuksista lasketuista implisiittisistä volatiliiteeteista voidaan muodostaa painotettu keskiarvo koko markkinoiden volatiliiteetin määrittämiseksi. Painoina kunkin optiosopimuksen kohdalla tulisi käyttää option vega eli option hinnan osittaisderivaattaa volatiliiteetin suhteen. Kritiikkiä kyseinen tapa on saanut siitä, että painot eivät välttämättä summaudu ykköseen. Beckersin ratkaisu eri sopimusten painoarvoon markkinoiden volatiliiteettia määrittäessä on yksinkertainen: lukuisien eri painotustapojen kokeilujen jälkeen hän päätyy ehdottamaan, että markkinoiden volatiliiteetti on yhtäläinen sen sopimuksen volatiliiteetin kanssa, jolla on suurin vega-arvo.

3.6.4 Jatkotutkimuksia Latanen ja Rendlemanin työhön

Implisiittisen volatilisyyden käsitettä kehittivät edelleen tutkimuksissaan mm. Schmalensee ja Trippi (1978) sekä Day ja Lewis (1988). Jatkotutkimukset ovat keskittyneet lähinnä erilaisien painotusstrategioiden esittelyyn ja markkinoiden tehokkuuden tutkimiseen.

Dayn ja Lewinin tutkimuksessa keskityttiin epänormaalien käyttäytymisen kuvaamiseen optiomarkkinoilla tutkimalla indeksioptioiden implisiittisen volatilisyyden antamaa ennustetta tulevasta indeksin volatilisyydestä indeksifutuuriin ja indeksioptioiden erääntymispäivän läheisyydessä. Tarkastelukohteena olivat indeksioptiot New Yorkin ja Chicagon optiomarkkinoilla aikavälillä 1.1.1983-31.12.1986. Aikaisempiin tutkimustuloksiin perustuen on syytä olettaa, että edellä mainittujen erääntymispäivien läheisyydessä indeksioptioiden hinnat ovat liian korkealla tasolla, eli implisiittisessä volatilisyydessä tapahtuu ennalta arvaamattomia muutoksia ylöspäin, koska markkinaosapuolet purkavat suojaus- ja spekulatiivisia positiivisia osto-optioiden arvomuutoksia. Day ja Lewis löytävät tätä oletusta tukevia empiirisiä tuloksia. Erääntymispäiviä edeltävinä päivinä indeksioptiomarkkinoilla on havaittavissa epänormaaleja positiivisia osto-optioiden arvomuutoksia.

Schmalensee ja Trippi (1978) käsitelivät tutkimuksessaan Black&Scholes -mallin volatilisyyden vaihtelua ja vaihtelun syitä implisiittisen volatilisyyden avulla, tarkasteluajanjaksoilla 29.4.1974-23.5.1975, tutkimuksen kohteena olivat Chicagon optiomarkkinat. Tutkimuksessa havaittiin, että osakkeiden volatilisyyden ei pysynyt vakiona optioiden voimassaoloaikana, ja että markkinoiden ennusteet osakkeiden tulevasta volatilisyydestä ovat yllättävän vähän riippuvaisia historiallisesta volatilisyydestä. Tutkimuksessa havaittiin myös, että osakehintojen nousuun liittyy pääsääntöisesti todellisten osakehintojen volatilisyyden lasku. Tutkimus vahvistaa Latanen ja Rendlemanin saamia tuloksia, joiden mukaan eri osakkeista johdannaisten optioiden implisiittiset volatilisyydet ovat vahvasti toisiinsa korreloituneita, eli markkinoille tuleva uusi informaatio vaikuttaa samansuuntaisesti kaikkiin volatilisyyden odotuksiin. (Schmalensee&Trippi 1978;129-147)

3.6.5 Harvey ja Whaley⁴

Harvey ja Whaleyn (1992) tutkimuksessa tarkasteltiin USA:n S&P 100 indeksiopiomarkkinoita, jotka ovat maailman suurimmat indeksiopiomarkkinat maailmassa. He tutkivat opiomarkkinoita implisiittisen volatilititeetin avulla arbitraasimahdollisuuksien löytämiseksi tarkasteluajanjaksolla 1983-1989. Tutkimuksessa laskettiin osto- ja myyntioptioiden implisiittiset volatilititeetit em. aikajaksolle. Tämän jälkeen rakennettiin PNS-regressioon perustuva malli, jolla pyrittiin ennustamaan seuraavan päivän implisiittisiä volatilititeetteja. tämän jälkeen suoritettiin kauppastrategiasimultaatio. Jokaiseen strategiaan liitettiin ns. filteri, joka tarkoittaa sitä, että kauppaan ryhdytään kunakin päivänä ainoastaan, mikäli malli ennustaa riittävän suurta muutosta option hinnassa.

Lopullisena tuloksena on, että arbitraasimahdollisuuksia ei ole, tai ne ovat hyvin pieniä. Strategia tuottaa pitkälti transaktiokustannuksista johtuen tappiota kaikissa muissa tapauksissa, paitsi suurimman filterin kohdalla, ja tällöinkin voitto on taloudellisesti hyvin pieni. Tutkimuksen johtopäätöksenä toetaan, että vaikka implisiittinen volatilititeetti onkin ennustettavissa, ei ennustettavuudella ole kyettä rakentamaan kauppastrategiaa, joka toisi taloudellisesti merkittäviä voittoja. Näöin ollen S&P 100 indeksiopiomarkkinat ovat tutkimuksen mukaan tehokkaat. (Harvey&Whaley 1992:ss.44-73)

3.6.6 Bates (1991)

David S. Batesin tutkimuksessa (The Journal of Finance, 1991, vol 3) oli tutkimuskohteena S&P 500 –indeksioptioiden hinnat vuosien 1985-87 väliseltä ajanjaksolta. Tarkoituksena oli tutkia optioiden hintojen implikoimaa implisiittistä volatilititeettiä ennen ja jälkeen vuoden 1987 pörssilaskun. Ennakkohypoteesina oli, että markkinat romahtivat, koska sen odotettiin romahtavan.

Bates tutki indeksioptioiden hintojen perusteella muodostetun todennäköisyysjakauman muotoa. Hän kehitti mittarin, jota hän kutsuu ”vinouspreemioksi”. Tutkimuksessa tarkasteltiin myös tuntikohtaisella aineistolla vinouspreemion käyttäytymistä perjantaina 16.10.1987, joka on päivää ennen romahdusta. Tämä aineisto indikoi, että romahdus tuli täytenä yllätyksenä;

⁴ Harvey, C.R., Whaley, R.E., “Market volatility prediction and the efficiency of the S&P 100 index option mar-

vinouspremio oli positiivinen. Jos markkinoilla oli vuonna 1987 rationaalinen kupla ("rational bubble"), sen olisi pitänyt lauaa jo elokuun alkuviikoilla, eikä lokakuun puolivälin jälkeen, kuten nyt tapahtui.

3.6.7 Gemill (1996)

Gordon Gemillin vuonna 1996 julkaisemassa tutkimuksessa (The Journal of Future markets, 1996, vol 16) tarkoituksena oli selvittää volatiilisuushymyn muodon muuttumista ajan yli ja sen ennustekykä markkinamuutoksiin. Ennakkohypoteesina oli, että osakemarkkinoiden tuottojen jakauma on vasemmalle vino; kun markkinat laskevat, niistä tulee volatiilimmat. Aineistona Gemillillä oli päättävät kurssit Lontoon FTSE 100 –indeksioptioista vuosien 1985-1990 väliseltä ajalta.

Tarkasteluajanjakson implisiittinen volatilitteetti oli keskimäärin noin 20%. Implisiittisessä volatilitteetissa ei tapahtunut päivää ennen pörssilaskua (15.10.1987) nousua. Mutta jaettaessa tarkasteluajanjakso ennen ja jälkeen romahduksen vallinneisiin tilanteisiin, voitiin huomata, että implisiittinen volatilitteetti oli romahduksen jälkeisenä ajanjaksona noin 1,5% korkeampi.

3.6.8 Jeff Fleming⁵

Jeff Fleming tutki S&P 100 –indeksiosakemarkkinoita ajanjaksolla lokakuu 1985 - huhtikuu 1992. Tutkimuksessa tarkasteltiin S&P 100-indeksin implisiittisen volatilitteetin kykyä ennakoita tulevaa osake markkinoiden volatilitteettia. Tutkimuksen tulokset ehdottavat, että lineaarinen malli, joka korjaa implisiittisen volatiilisuuden poikkeaman, voi tarjota käyttökelpoisen estimaattorin markkinapohjaiselle volatiilisuudelle.

ket", Journal of Financial Economics 31 (1992a), 43-73

⁵ J. Fleming; The quality of market volatility forecasts implied by S&P 100 index option prices, Journal of Empirical Finance 5 (1998) 317-345

4 TUTKIMUSaineiston ESITTELY

4.1 FOX-indeksi

The Finnish Traded Stock Index –FOX –on markkina-arvopainotteinen osakehintaindeksi. Se lasketaan jatkuva-aikaisesti Helsingin Pörssin 25:n vaihdetuimman osakkeen viimeisestä kaupantekokursseista. Siinä on kunkin yhtiön osakkeiden yhteenlaskettu paino rajoitettu 20 prosenttiin. Kun näiden osakkeiden kurssit nousevat, myös FOX- indeksi nousee, ja päinvastoin. Käytännössä tämä tarkoittaa suurien yritysten osakkeiden painon pienentämistä indeksissä. Esim. Nokian markkina-arvo oli vuoden 1997 syksyllä noin 30 prosenttia koko Helsingin Pörssin markkina-arvosta ja indeksiin kuuluvien markkina-arvosta 40 prosenttia ilman painorajoitetta.

FOX on osakehintaindeksi. Osinkojen irtoamista ei huomioida indeksiä laskettaessa. Osingon maksun alettua osakkeen kurssi tavallisesti laskee hyppäyksellisesti, mikä näkyy pudotuksena myös indeksissä. Vuoden 1997 keväällä osingot pudottivat indeksin noin 20 pistettä, joka on noin 2 prosenttia indeksin arvosta. Suurin osa Fox-osakkeiden osingoista maksettiin ennen huhtikuun indeksijohdannaissarjojen erääntymistä. Suomessa kaikki listautuneet yhtiöt maksavat osinkoa kerran vuodessa. Hex ylläpitää listaa osingoista ja niiden vaikutuksesta FOX-indeksiin.

HEX:in kaupallisen osakeindeksin, FOX:n avulla on luotu käyttökelpoinen ja selvästi määritelty mitta Suomen osakemarkkinoiden muutokselle. Fox-osakeindeksi kuvaa Suomen osakemarkkinoiden muutoksia samalla kun se on havainnollinen, helppokäyttöinen ja riittävän neutraali suhteessa yksittäisen osakkeen muutoksiin. Fox-indeksiä lasketaan reaaliaikaisesti koko pörssipäivän ajan. Indeksii päivittyy välittömästi, kun indeksiin kuuluvalla osakkeella tehdään vähintään pörssierän suuruinen kauppa. FOX:n arvo julistetaan heti useissa tietovälitteissä. Indeksii laskijana toimii HEX ja indeksii laskentaa valvoo ulkopuolinen indeksiasiamies.

Fox-indeksiä kehitettäessä pyrittiin mahdollisimman hyvään korrelaatioon arvopaperipörssin yleiskehityksen kanssa. Alla on verrattu Fox-indeksiä kaikki pörssiosakkeet kattavaan HEX-yleisindeksiin. Tarkastelujakso 2.5.1988-31.12.1997 alkaa samasta päivästä kuin FOX- tuotteilla alettiin käymään kauppaa. Tunnusluvut on laskettu olettaen, että painorajoite olisi ollut käytössä Fox-indeksin laskennan alusta lähtien.

Taulukko 1. FOX 25 vs HEX (Lähde: Suomen optimeklarit Oy (1997b) Fox-indeksiopiot ja termiinit)

<i>FOX 25 vs HEX</i>	
Beta	1,073
Korrelaatio	0,930
Selitysaste	0,865

Indeksin beta on lasketun regressiosuoran kulmakerroin, ts. 1%-yksikön muutos vertailuindeksissä aiheuttaa odotusarvoltaan betan suuruisen muutoksen FOX- indeksissä. Selitysaste sadalla kerrottuna kuvaa sitä, montako prosenttia FOX:n muutoksesta on selitettävissä vertailuindeksin muutoksella, loppuosa muutoksesta on satunnaista.

Vaikka FOX- indeksi ja HEX- yleisindeksi poikkeavat sisällöltään ja joiltakin laskentateknisiltä ratkaisuiltaan, poikkeavuuksista ei ole aiheutunut systemaattista eroa indeksipistelukuihin sinä aikana, jolloin HEX:ssä on käyty kauppaa FOX- tuotteilla. Yhtenevyys näkyy myös indeksien volatiliteteissa, joka on keskeinen tekijä optioita hinnoiteltaessa.

Markkinoiden muuttuessa myös Fox-indeksin on huomattu kaipaavan muutoksia, joten Fox-indeksin nimi muuttuu 1.9.2001 alkaen HEX25:ksi. Uusi indeksi muodostuu edellisen kalenteripuolivuotiskauden 25 vaihdetuimmasta osakkeesta. Indeksien laskentatapa muuttuu 1.8.2001 alkaen siten, että yhtiökohtaisen maksimipaino indeksissä alenee nykyisestä 20 prosentista 10 prosenttiin (Kauppalehti; 14.5.2001).

Taulukko 2. Vuosittaiset historialliset volatilitetit Ajanjaksolta 2.5.1988-31.12.1997
(Lähde: Suomen optiomeklarit Oy (1997b) Fox-indeksioptiot ja termiinit)

	<i>FOX</i>	<i>HEX</i>
1988	9,11	10,13
1989	13,16	10,03
1990	16,03	11,51
1991	20,09	15,98
1992	25,79	21,96
1993	22,81	20,95
1994	18,09	16,69
1995	22,88	18,38
1996	15,44	14,54
1997	23,17	23,52

4.2 Fox-indeksioptiot ja –futuurit

Fox-indeksioptioiden ja –futuurien kohde-etuutena on HEX:n laskema Fox-indeksi. Kaupankäynnin Fox-indeksioptioilla alkoi toukokuussa 1988.

Fox-indeksioptiot ovat ns. eurooppalaisia optioita. Tällä tarkoitetaan sitä, että optiot voidaan toteuttaa ainoastaan option päättymispäivänä. Fox-indeksioption ostajalla ei ole oikeutta ostaa tai myydä mitään tiettyä arvopaperia, koska option kohde-etuutena on laskennallinen indeksi, jota ei fyysisesti ole olemassa. Sen sijaan ostajalla on oikeus saada option mahdollinen positiivinen nettoarvo, joka saadaan vähentämällä Fox-indeksin päättymispäivän mukaisesta euromääräisestä arvosta se toteutushinta, johon hänellä on option tuoma oikeus tämä indeksi ostaa. Tämä ns. nettoarvon tilitys suoritetaan automaattisesti option päättymispäivänä. Myyntioption ostajalla on puolestaan oikeus saada hyväkseen se positiivinen nettoarvo, joka saadaan vähentämällä toteutushinnasta, johon hänellä option tuoma oikeus myydä indeksi Fox-indeksin päättymispäivän mukainen euromääräinen arvo.

4.3 Tilastoaineiston kuvaus

Tutkimuksessa käytetty tilastoaineisto sisältää koko fox-indeksin päivittäisen historian ajankaksolta 1.6.1995 – 16.2.2000. Fox-indeksin tuotto on laskettu logaritmisena tuottona. Logaritminen tuotto lasketaan kaavan 19 mukaan:

$$(19) \quad \ln(R_i) = \ln(R_i) - \ln(R_0)$$

Jos kurssi nousee 100:sta pisteestä 110 pisteeseen on $\ln(110) - \ln(100) = 0,0953 = 9,53\%$.

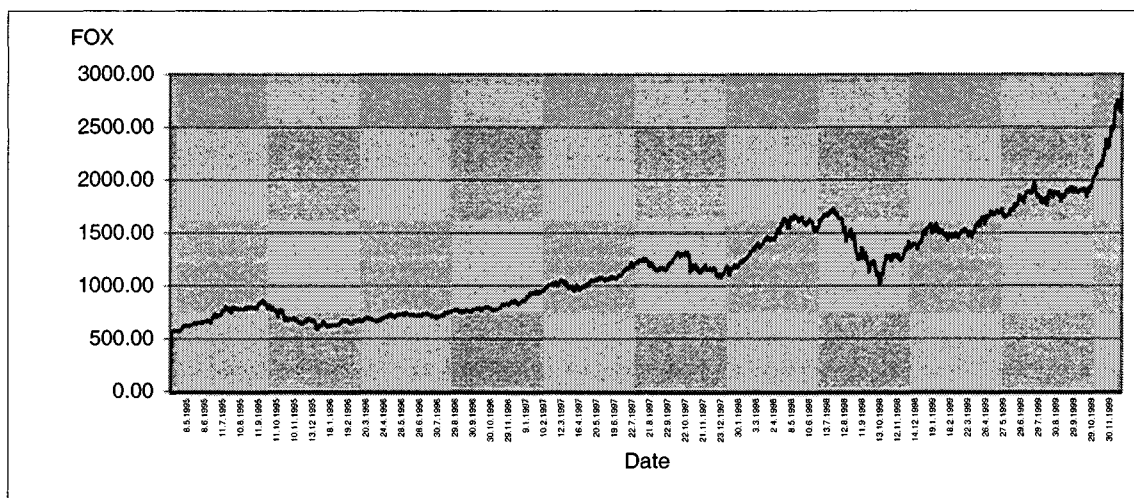
Aineisto saatiin Helsingin Pörssistä ja se sisältää myös Helsingin Pörssin laskeman implisiittisen volatilitiitin, joka on laskettu keskiarvona kaikkien optiosarjojen implisiittisistä volatilitiiteista. Lyhyt volatilitiitti tarkoittaa lähinnä erääntymistä olevien sarjojen implisiittistä volatilitiiteettiä ja pitkä volatilitiitti vastaavasti lyhyiden sarjojen jälkeen erääntyvien sarjojen implisiittisiä volatilitiiteetteja. Samaa Helsingin Pörssin laskemaa implisiittistä volatilitiiteettiä on käytetty myös aikaisemmissakin tutkimuksissa (mm. Parkkinen, 1999), näin ollen tutkimustulokset ovat hyvin vertailukelpoisia käytettäessä samaa sarjaa.

Taulukko 3. Fox-indeksin rakenne 4.4.2000 (Hex, 2000,18)

<i>4.3.1.1.1.1 OSAKESARJAT</i>	<i>OSAKKEIDEN LUKUMÄÄRÄ</i>	<i>4.3.1.1.2 HINTA, EUR</i>	<i>PAINO, %</i>
NORDIC BALTIC	850,000,000	5,65	5,36
POHJOLA B	21,452,918	80,01	1,91
SAMPO A	60,560,000	39,40	2,66
KESKO B	58,476,393	14,10	0,92
TIETOENATOR	77,014,923	59,00	5,07
KCI KONECRANES	15,000,000	30,20	0,51
METSO	135,817,275	14,60	2,21
METRA B	40,265,142	19,20	0,86
OUTOKUMPU A	124,529,660	13,00	1,81
RAUTARUUKKI K	138,886,445	5,90	0,91
METSÄ-SERLA B	102,658,875	11,13	1,03
STORA-ENSO A	208,951,188	17,10	3,21
STORA-ENSO R	550,628,501	17,01	8,41
UPM-KYMMENE	266,300,325	38,80	9,28
FORTUM	784,782,635	4,67	3,29
HUHTAMÄKI VAN LEER	31,475,963	33,50	1,18
RAISIO YHTYMÄ	165,149,030	2,62	0,48
EIMO	9,800,000	38,00	0,42
HPY HOLDING	84,315,450	39,00	3,67
JOT AUTOMATION GROUP	170,617,200	8,30	1,58
NOKIA A	102,146,760	207,95	23,69
PERLOS	51,220,000	33,70	1,93
SONERA	268,814,894	62,40	18,71
ORION-YHTYMÄ B	32,952,874	27,29	1,00
AMER-YHTYMÄ A	24,326,895	27,20	0,74

Fox-indeksin peruspäiväksi valittiin 4.3.1988, jonka kurssitasoa merkittiin 500:lla. Kun painorajoite otettiin käyttöön 1.11.1995, indeksin arvo oli 677,74. Tästä päivämäärästä indeksi on laskettu takautuvasti painorajoitettuna peruspäivään ja pisteluvuksi on saatu 569,04. Jatkossa kaikki indeksiarvot ovat uuden indeksin mukaisesti laskettuja. Vanhan indeksin arvot eroavat maksimissaan 13 prosenttia uuden indeksin arvosta. Optiokaupan alkaessa 2.5.1988 Fox-indeksin arvo oli 626,69.

Kuva 1. FOX-indeksin kehitys 1.6.1995 – 16.2.2000



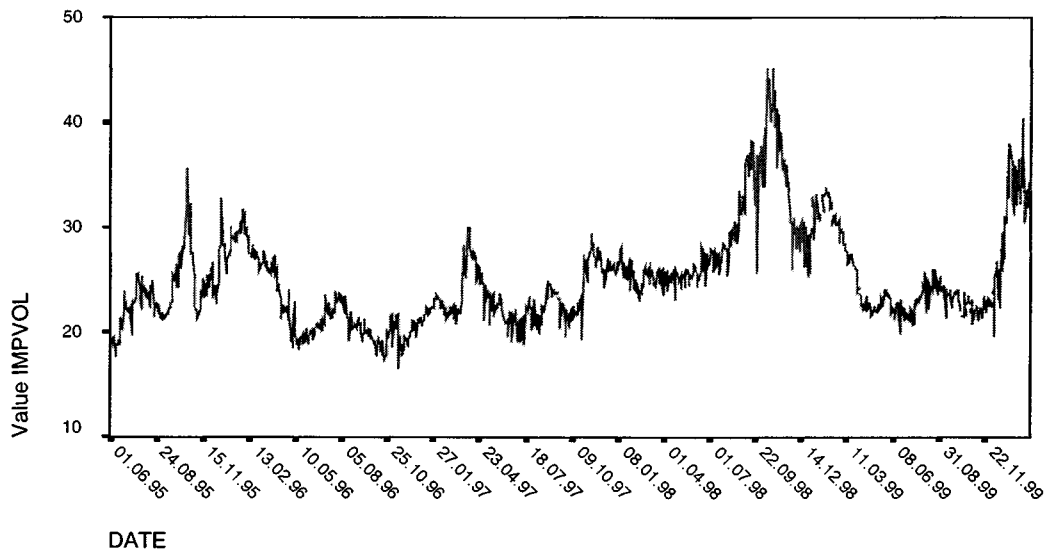
Tarkasteluajanjaksolla FOX –indeksin alhaisin pisteluku oli ajanjaksolla 19.12.1995 588,28 ja vastaavasti korkein pisteluku 3439 saavutettiin 8.2.2000. Periodin aloituspisteluku oli 644 ja vastaavasti päätösluku oli 3206. Täten muutosprosentiksi tarkastelu periodilla tuli 398 prosenttia.

Taulukko 5. Aineiston yhteenveto

	<i>n</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Mean</i>	<i>Std. Deviation</i>
fox_tuot	1177	-0,8	0,8	0,0013	0,01623
Open	1177	588,28	3439,84	1257,0348	565,40688
Close	1180	588,28	3439,84	1258,6770	567,85445
Impvol	1158	16,53	45,19	25,0981	4,66919
Valid n	1155				

Implisiittistä volatilitteettia ei ole saatavissa jokaiselle kaupankäyntipäivälle, koska joinain päivinä kaupankäynti on ollut hyvin marginaalista, tai lähestulkoon olematonta. Yhteenvedosta huomaamme, että Fox-indeksin tuotto on vaihdellut –8%:sta +8%:iin. kahdeksan prosentin kurssiromahdus tapahtui 28.10.1997 implisiittisen volatilitteetin ollessa samaan aikaan suhteellisen alhainen 19,25.

Kuva 2. Implisiittiset volatilitetit 1.6.1995 – 16.2.2000



Tarkasteltaessa implisiittisen volatilitetin vaihtelua periodilla 1.6.1995 – 16.2.2000, huomataan sen olevan alhaisimmillaan periodin alussa alhaisimman arvonsa 16,58 se saavutti 14.11.1996. Korkeimmillaan se oli 9.10.1998 saaden arvon 45,19.

5 EMPIIRINEN TUTKIMUS FOX-INDEKSIOPPIOILLA

Tässä luvussa toteutetaan tutkielman empiirinen osuus, jossa tarkastellaan Fox-indeksistä lasketun implisiittisen volatilitietin ja Fox-indeksin tuoton välistä kausaalisuutta. Tarkoituksena on selvittää edeltääkö Fox-indeksin muutoksia implisiittisen volatilitietin muutos. Aluksi tarkastellaan Granger-kausalisuuden käsitettä ja siihen liittyvää teoriaa. Tämän jälkeen esitellään tutkimusaineisto, tutkimustulokset ja lopuksi tehdään johtopäätökset.

5.1 Granger- kausalisuusmalli

Eräs tapa tutkia voidaanko implisiittisen volatilitietin avulla ennustaa tulevia normaalisuudesta poikkeavia Fox-indeksin tuottoja, on käyttää Grangerin kausalisuustestiä. Granger kausalisuus kertoo muuttujien välisestä kausalisuudesta. Grangerin testi olettaa, että kaikki relevantti informaatio, jota voidaan käyttää muuttujien x_t ja y_t , tulevaisuuden arvojen ennustamiseen, sisältyy yksinomaan näiden aikaisempiin arvoihin eli niiden aikasarjoihin.

Kahden muuttujan välistä kausalisuutta voidaan mitata muuttujien viivästetyillä arvoilla. Jos esimerkiksi implisiittisen volatilitietin viivästetyt arvot parantavat Fox-indeksin ennustuksia, voidaan sanoa, että implisiittinen volatilitietin Granger-vaikuttaa FOX:iin. Eli implisiittisen volatilitietin muutokset edeltävät FOX-indeksin tuottojen muutoksia. Nollahypoteesina on, että sarjojen välillä ei ole kausalisuutta.

Granger-testin regressiot ovat vektoriautoregressiivisiä regressioita (VAR-regressioita) ja kausalisuustesti vaatii stationaarisia eli kiinteitä muuttujia. Yksi Granger-testiin liittyvistä keskeisistä seikoista on käytettyjen viiveiden pituus regressioissa. Viiveitä suositellaan käytettäväksi monta, mutta riippuu aineistosta, miten monta viivettä pitää olla mukana regressioissa. Tässä tutkimuksessa viiveitä on käytetty yhdestä viiteen.

Granger kausaalisuustesti (Granger 1969,429) koostuu kahdesta regressiomallista ja F-testistä. Ensimmäiseksi testataan regressiomallia, jossa y_t :n arvoja selitetään omilla menneillä arvoilla:

$$(20) \quad \Delta y_t = \delta_0 + \sum_{j=1}^m \beta_j \Delta y_{t-j} + \mu_t \quad t = 1, \dots, T, \text{ jossa viiveiden määrä on } m$$

Toisessa vaiheessa mallin selittäviksi muuttujiksi lisätään x_t :n viivästetyt arvot:

$$(21) \quad \Delta y_t = \delta_0 + \sum_{i=1}^m \alpha_i \Delta x_{t-i} + \sum_{j=1}^m \beta_j \Delta y_{t-j} + e_t \quad t = 1, \dots, T,$$

Kolmannessa vaiheessa tehdään F-testi, jolla on jakaumana $F(k_1 - k_0, n - k_1 - 1)$

$$(22) \quad F[(n - k_1 - 1)/(k_1 - k_0)][(R_1^2 - R_0^2)/(1 - R_1^2)], \text{ missä}$$

R_0^2	on ensimmäisen regression R^2
R_1^2	on toisen regression R^2
k_0	on ensimmäisen regression selittävien muuttujien määrä
k_1	on toisen regression selittävien muuttujien määrä
n	on havaintojen määrä regressiossa

Koska tulevaa ei voida käyttää menneen ennustamiseen voidaan päätellä, että x_t :n Granger-aiheuttaessa muuttujan y_t pitää muutoksien x_t :ssä edeltää y_t :n muutoksia. Siten, jos regressio y_t :lle paranee otettaessa x_t :n viivästetyt arvot mukaan, voidaan todeta, että x_t Granger-aiheuttaa y_t :n. Vastaava määritelmä voidaan johtaa sille, että y_t Granger-aiheuttaa x_t :n.

Mallin hyvyden ja testauksen arviointia varten tehdään oletukset virhetermin käyttäytymisestä. Ensinnäkin virhetermin tulee olla normaalisti jakautunut. Lisäksi virhetermin odotusarvon oletetaan olevan nolla ($E(u_i) = 0$) ja varianssi oletetaan vakioksi eli homoskedastiseksi ($\text{Var}(u_i) = \delta^2$), eikä virhetermi saa olla autokorreloitunut.

Kun F-testistä saadaan tulokseksi tilastollisesti merkittävä arvo, tarkoittaa se, että x_t :llä on Granger kausaali vaikutus y_t :n arvoon. Tutkittaessa kausaalisuhdetta päinvastaiseen suuntaan,

vaihdetaan x_t :n ja y_t :n paikkoja. Jos kausaalisuhde havaitaan myös päinvastaiseen suuntaan, arvojen tulkitaan antavan palautetta toisilleen. Tässä tutkimuksessa ei kuitenkaan olla kiinnostuneita kausaalisuuden suunnasta, vaan halutaan saada vain vahvistus kausaalisuuden olemassaololle.

5.2 Kausaalisuuden testaus

Ensimmäiseksi Grangerin testissä muodostetaan rajoitettu regressio, jossa implisiittisen volatiliiteetin arvoja selitetään omilla menneillä arvoilla:

$$(23) \quad \Delta FOX_tuot_t = \delta_0 + \sum_{j=1}^m \beta_j \Delta FOX_tuot_{t-j} + \mu_t$$

Toista regressiota kutsutaan rajoittamattomaksi regressioksi. Tähän regressioon otetaan mukaan Fox-indeksin tuottojen viivästetyt arvot:

$$(24) \quad \Delta FOX_tuot_t = \delta_0 + \sum_{i=1}^m \alpha_i \Delta impvol_{t-i} + \sum_{j=1}^m \beta_j \Delta FOX_tuot_{t-j} + e_t$$

Kolmannessa vaiheessa tehdään F-testi, jonka perusteella nollahypoteesi joko hylätään tai se jää voimaan. Jos estimoitu F-testisuure ylittää valitun merkitsevyytason kriittisen arvon, nollahypoteesi hylätään ja kausaalisuhteen todetaan olevan voimassa. Molemmat regressiot suoritetaan viiteen kertaan ottaen joka kerta yksi viive enemmän mukaan, kunnes regressio on suoritettu viidellä viiveellä.

5.3 Tulokset ja niiden tulkinta

Testaus suoritettiin kaikille viiveille erikseen, ja näin ollen testejä tuli yhteensä viisi. Selitettävänä muuttujana oli fox-indeksin tuotto ja selitettävänä muuttujina viivemuuttujat yhdestä viiteen. Taulukossa 6. näkyvät ensimmäisen regressiomallin avulla lasketut merkitsevyyssasteet siten, että selittävinä muuttujina ovat viivästetyt arvot. Selitysasteella (R^2) voidaan yksiselitteisesti ja objektiivisesti mitata regressiosuoran hyvyttä eli aineiston ja mallin yhteenso-

pivuuden astetta. Perusideana on jakaa kokonaishajonta kahteen osaan: selitettyyn hajontaan ja selittämättömään hajontaan. Selitysaste kertoo selitetyn hajonnan suhteen kokonaishajontaan, eli minkä osuuden riippumattomat muuttujat yhdessä selittävät riippuvan muuttujan kokonaisvaihtelusta.

Taulukko 6. Ensimmäisen regressiomallin selitysasteet eri viiveillä

Viiveiden määrä regressiossa	1	2	3	4	5
R^2	0.895	0.913	0.916	0.917	0.916

Taulukossa 7 näkyvät toisen regressiomallin mukaan lasketut selitysasteet viidelle viiveelle siten, että selittäviä muuttujia ovat fox-indeksin tuoton omien viivästettyjen termien lisäksi myös implisiittisen volatilitietin viivästetyt arvot. taulukosta voidaan havaita, että selitysasteet ovat hyviä ja hieman suurempia kuin ensimmäisessä regressiossa.

Taulukko 7. Toisen regressiomallin mukaan lasketut selitysasteet eri viiveillä

Viiveiden määrä regressiossa	1	2	3	4	5
R^2	0.898	0.918	0.922	0.923	0.923

Taulukossa 8 on edellisten taulukoiden selitysasteiden avulla johdetut Granger kausaalisuustestin tulokset. Nollahypoteesi on $H_0 = \alpha_1 = 0$, jolloin kausaalisuutta ei havaita. Taulukossa on aineistosta lasketut F-arvot ja tilastolliset F-arvot merkitsevyystasoilla 25%, 10%, 5% ja 1%. Taulukossa on tummennettu hyväksytyt merkitsevyydet. Jos F-arvo ylittää F-jakauman mukaisen arvon se hyväksytään. Otoksen koko on mainittu sarakkeessa n, otoskoko vaihtelee viiveiden mukaan, koska aineistossa on päiviä, joille ei ole ollut mahdollista laskea implisiittistä volatilitietä alhaisen kaupankäynti transaktioiden määrän vuoksi.

Taulukko 8. Granger-kausalisuustestin tulokset.

Viiveiden määrä regressiossa	<i>n</i>	<i>F</i> -jakauma	<i>F</i> -laskettu	<i>Pr</i> 0.25	<i>Pr</i> 0.1	<i>Pr</i> 0.05	<i>Pr</i> 0.01
1	1131	1,1128	27.946	9.85	63.6	254	
2	1109	2,1104	33.329	3.48	9.49	19.5	99.5
3	1088	3,1081	27.093	2.47	5.13	8.53	26.1
4	1069	4,1060	22.661	2.08	3.76	5.63	13.5
5	1048	5,1037	20.4007	1.87	3.1	4.36	9.02

F-testisuureen arvo kasvoi lisättäessä viiveitä regressioon. F-testin arvoista nähdään, että nollahypoteesi `kausalisuutta ei havaita´ F-testin arvoksi kahden viiveen regressiossa on saatu 33,329. Kriittisten arvojen mukaan se riittää kausalisuhteen toteamiseksi 5%:n merkitsevyystasolla, joka on tilastollisesti merkittävä, jotta nollahypoteesi voidaan hylätä toteamalla, että aineisto ei tue sitä tarpeeksi. Nollahypoteesi voidaan hylätä kaikissa muissakin tapauksissa, mutta yhden prosentin merkitsevyystasoon päästään vasta kolmen, neljän ja viiden viiveen regressioissa. Ainoastaan yhden viiveen regressiossa voidaan todeta, että kausalisuutta ei havaita.

Verrattaessa tutkimustuloksia aikaisempiin vastaaviin tutkimuksiin, voidaan todeta tulosten olevan samansuuntaisia. Allan M. Malz (2000) päätyi tulokseen, että Implisiittinen volatiliiteetti voi antaa merkkejä tulevasta kuohunnasta markkinoilla. Hänen tutkimuksessaan tultiin johtopäätökseen, että omaisuuserien hintojen suuria muutoksia edeltää usein merkityksellinen implisiittisen volatiliiteetin kasvu.

Implisiittisen volatiliiteetin ennustekykä puoltavat myös monet muut tutkimukset. Kuten esimerkiksi David S. Batesin tutkimus vuodelta 1991 (The journal of Finance, 1991, vol3), jossa tutkimuskohneena oli S&P 500-indeksioptioiden hinnat. Samoin ennustekykä puoltaa Gordon Gemillin vuonna 1996 julkaisema tutkimus (The Journal of Future markets, 1996, vol 16), jossa Gemmil huomasi, että implisiittisessä volatiliiteetissa ei tapahtunut nousua päivää ennen pörssilaskua (15.10.1987), mutta implisiittinen volatiliiteetti oli romahduksen jälkeisenä ajanjaksona noin 1,5% korkeampi. Samaa linjaa jatkaa Jeff Fleming tutkimuksessaan (The quality of market volatility forecasts implied by S&P 100 index option prices, 1998), jossa todetaan implisiittisen volatiliiteetin sisältävän relevanttia informaatiota tulevasta volatiliiteetista.

5.4 Johtopäätökset

Tämän työn tarkoituksena on ollut tutkia kausaalisuhdetta Granger-testin mukaan fox-indeksin tuoton ja siitä lasketun implisiittisen volatilitiitin tapauksessa. Pyrkimyksenä tutkimuksessa on ollut löytää tilastollisesti merkitseviä kertoimia ja tulkita niitä. Estimointimenetelmänä oli PNS. Mallissa oli mukana siis sekä selitettävän että selittävän muuttujan viiveitä, millä oli omat ongelmansa estimointia ajatellen. Osakkeiden hintoihin vaikuttavat varmasti monet muutkin tekijät, joita ei ollut regressiossa mukana, mikä voi aiheuttaa esim. autokorrelaation muodossa spesifiointi ongelmia. Estimointitavan virheellisyydestä ei voida kuitenkaan sanoa liian vahvoja argumentteja pelkän mahdollisen autokorrelaatio-ongelman vuoksi. esim. Aspren (1988 ,591) on selittänyt osakekurssia vain yhdellä ainoalla muuttujalla ja hyväksynyt mahdollisten autokorrelaation, koska esim. fox-indeksi jo itsessään on autokorreloitu data.

Tämän aineiston selitysasteet olivat korkeita, joka indikoi aineiston ja mallin yhteensopivuuden riittävää astetta. Nollahypoteesi oli $H_0 = \alpha_1 = 0$, jolloin kausaalisuutta ei havaita. Aineiston perusteella laskettiin F-arvot merkitsevyystasolla 25%, 10%, 5% ja 1%. Tutkimuksessa F-testisuureen arvo kasvoi lisättäessä viiveitä regressioon. F-testin arvoista voitiin päätellä, että nollahypoteesi `kausalisuutta ei havaita` voitiin hylätä kaikissa muissa tapauksissa, paitsi yhden viiveen regressiossa, jonka osalta voidaan todeta, että kausaalisuutta ei havaittu. Yhden prosentin merkitsevyystasoon päästiin kolmen, neljän ja viiden viiveen regressioissa.

Tutkimusta olisi kiinnostavaa jatkaa käsittelemällä yksittäisiä, poikkeuksellisia markkinatilanteita kuten voimakasta kurssinousua tai -laskua lyhyenä ajanjaksona. Lisäksi olisi kiinnostavaa tehdä markkinatehokkuuteen liittyviä testejä. Autokorrelaation osuutta voitaisiin tarkentaa tutkimalla esimerkiksi Fox-termiin ja Nokia osakekurssin välisiä viiveitä. Nokia on Fox-korin osakkeista likvidein eli yleinen osakemarkkinoita koskeva uusi informaatio heijastuu siihen erittäin helposti ja nopeasti. Jos indeksitermiini johtaa Nokian osaketta, voidaan olla varmoja Fox-indeksin ennustekyvystä osakemarkkinoihin nähden.

Lähteet

Asprem, Mads (1988): Stock Returns, Real Activity, Inflation and Money. The American Economic Review, September 1981, 545-565.

Beaver W.H. (1981): Market Efficiency, The Accounting Rev. 56:January 1981, 23-27.

Barnaud Frédéric, Dabouineau Jean (1992): Past Correction, Risk, (Syyskuu 1992)

Baumol, W.J.(1965): The Stock Market and Economic Efficiency, 6th edition, New York, 1965

Beckers, S. (1981): Standard Deviations Implied on Option Prices as Predictors of Future Stock Price Variability. Journal of Banking and Finance 5:3, s.363-368

Bergerlund T. (1990): Predicting volatility of Stock indexes for option pricing on a small security market. ETLA Keskustelualoitteita, No330.

David S. Bates (1991) The Journal of Finance, 1991, vol 3

Bhattacharya, M. (1983): Transaction Data Tests of Efficiency of the Chicago Board Options Exchange. Journal of Financial Economics 12:2, s.161-185.

Black F, Scholes M, (1973): The Pricing of Options and Corporate Liabilities, Journal of Political Economy 81 (Toukokuu-Kesäkuu 1973), 637-659

Black Fisher (1976): The Pricing of Commodity Contracts, The Journal of Financial Economics,3,1976.

Brealey Richard A., Myers Stewart C., (1999): Principles of Corporate Finance. McGraw-Hill Inc.,USA.

Copeland, T.E. & Weston, J. Fred (1988): Financial Theory and Corporate Policy, 3. painos

Cotner, J. (1991): Index option pricing: Do investors pay for skewness?. Journal of future markets Fall 1991.

Cox, J.C., Rubinstein, M. (1985): Options Markets. Prentice-Hall

Day Theodore, Lewis C.M. (1988): The Behaviour of the Volatility implicit in the prices of Stock Index Options, Journal of Financial Economics 22 (1988), 103-122.

Fama, E.F., (1970): The Behaviour of Stock Market Prices. Journal of Business 1965, No1,34-105

- Fama, E.F., (1970): Efficient Capital Markets: A Review of theory and Empirical Work. The Journal of Finance 1970, No2, 383-417
- J. Fleming (1998) The quality of market volatility forecasts implied by S&P 100 index option prices, Journal of Empirical Finance 5 (1998) 317-345
- Galai, D (1978): Empirical Tests of Boundary Conditions for CBOE options. Journal of Financial Economics 9:4, s. 321-346
- Gemill G. (1996): Did Option traders anticipate the crash? Evidence from volatility smiles in the U.K. with U.S. comparisons. The Journal of Futures Markets vol 16, No8, 881-897
- Gordon Gemill (1996): The Journal of Future markets, 1996, vol 16
- Granger, C.W. (1969): Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-spectral Methods. Econometrica, Vol37, July, s.424-438.
- Grossman, Sanford J. & Stiglitz, Joseph E. (1980): On The Impossibility of informationally Efficient Markets. The American Economic Review, June 1980, vol.70, no.3.
- Gujarati D. (1995): Basic Econometrics. McGraw-Hill Inc., U.P.A. 3rd Edition
- Halpern, P.J. ja Turnbull, S.M. (1985): Empirical Tests of Boundary Conditions for Toronto Stock Exchange Options. Journal of Finance 40:2, s.481-500.
- Harvey, Cambell R., Whaley, R.E. (1992): Market volatility prediction and the efficiency of the S&P 100 index option market. Journal of Financial Economics 31, ss.44-73
- HEX, Helsingin Arvopaperi- ja johdannaispörssi (2000): Opi optiot, itseopiskeluaineisto
- Hull, John C. (1997): Options, Futures and Other derivatives (Prentice Hall), 3. painos
- Hull, John C. (1993). Options, Futures and Other derivative securities, Prentice Hall Inc
- Jokivuolle Esa, Koskinen Y. (1991): Financial Options and futures Markets. Bank of Finland Bulletin, special issue 1991, s.23-28
- Jokivuolle Esa (1990): Suomalaisten Fox-indeksioptioiden hinnoittelu Monte Carlo-simulointia käyttäen, Suomen Pankin keskustelualoite 13/90, HKI 1990.
- Kahra H. ja Kanto Antti J. (1991): The Behaviour of the Implicit Volatility in the premiums of Fox-options. The Economic Working Papers, 5/91.
- Korhonen A. (1977): Stock Prices, Information and the Efficiency of the Finnish Stock Market: Empirical tests, Hkkk A:23, 1977
- Latane, H., Rendleman, R. (1976): Standard Deviations of Stock Price Ratios Implied on Option Prices. Journal of Finance 31:2, s.369-382

Malkamäki M., Martikainen T., Rahamarkkinat, Weilin&Göös, Jyväskylä, 1990

Allan M. Malz (2000): Do Implied volatilities provide early warnings of distress? The Risk-Metrics Group, Working Paper No 00-01

Martikainen, Teppo. (1995): Arvopaperit. WSOY, Juva. Suomi.

Puttonen, V ja Valtonen, E (1996): Johdannaismarkkinat. WSOY

Puttonen, V. (1993): The Efficiency of the Finnish Stock Index Derivatives Market. Acta wa-saensia, No 31, Vaasa 1993, Academic Dissertation.

Parkkinen Henri (1999): ETLA, keskusteluaiheita, Black-Scholes-malli ja regressiopohjainen lähestymistapa stokastisen volatiliiteetin estimointiin- katsaus suomalaisten Fox-indeksioptioiden hinnoitteluun.

Rubinstein, M. (1997): Implied binominal trees. The Journal of Finance vol LXIX;3.

Schmalensee Richard, Trippi Richard R. (1978): Common Stock volatility expectations implied by option prices. Journal of Finance 33 (1978), 129-147.

Suomen Optimeklarit Oy (1997b) Fox-indeksioptiot ja termiinit

Yli-Olli P. (1988): Osakemarkkinoiden pelisäännöt ja tehokkuus” Kansantaloudellinen aika-kauskirja, Vol. 84:1, 1988