

**VAASAN YLIOPISTO**  
**KAUPPATIETEELLINEN TIEDEKUNTA**  
**LASKENTATOIMEN JA RAHOITUKSEN LAITOS**

Miikka Kaurijoki

**MAKROTALOUDELLISTEN JULKAISUJEN VAIKUTUS**  
**VALUUTTAOPTIOIDEN IMPLISIITTISEEN VOLATILITEETTIIN**

Empiirinen tutkimus vuosilta 2001–2007

Laskentatoimen ja rahoituksen

Pro Gradu tutkielma

**VAASA 2008**

<b>SISÄLLYSLUETTELO</b>	<b>Sivu</b>
1. JOHDANTO	5
1.1. Aikaisempaa tutkimusta	7
1.2. Tutkimuksen ongelma ja rakenne	12
2. MARKKINATEHOKKUUS	15
2.1. Markkinatehokkuuden asteet	16
2.2. Tehokkaiden markkinoiden kritiikki	18
3. OPTIOMALLIT JA VOLATILITEETTI	20
3.1. Stokastisuuden oletus	20
3.2. Riskineutraalisuuden periaate	24
3.3. Black-Scholes optioteoria	26
3.3.1. Black-Scholes differentiaaliyhtälö	27
3.3.2. Black-Scholes optiohinnoittelumallit	30
3.4. Volatiliteetti	32
3.4.1. Implisiittinen volatiliteetti	33
3.4.2. Deterministinen volatiliteetti	35
3.5. Valuuttaoptioteoria	37
4. AINEISTO JA MENETELMÄT	46
4.1. Aineisto	46
4.1.1. Valuutat	47
4.1.2. Makrotaloudelliset julkaisut	54
4.2. Menetelmät	58
5. TULOKSET	63
5.1. Tulokset makrotaloudellisten julkaisujen vaikutuksista	64
5.1.1. Julkaisupäivien vaikutukset	65
5.1.2. Julkaisujen vaikutukset	68
5.2. Tulokset volatiliteettiodotusten symmetrisyydestä	73
6. PÄÄTELMÄ	76
LÄHDELUETTELO	78
LIITTEET	85



---

**VAASAN YLIOPISTO****Kauppätieteellinen tiedekunta****Tekijä:**

Miikka Kaurijoki

**Tutkielman nimi:**

Makrotaloudellisen julkaisujen vaikutus valuuttaoptioiden implisiittiseen volatilitettiin

**Ohjaaja:**

Jussi Nikkinen

**Tutkinto:**

Kauppätieteiden maisteri

**Laitos:**

Laskentatoimen ja rahoituksen laitos

**Oppiaine:**

Laskentatoimi ja rahoitus

**Linja:**

Rahoitus

**Aloitusvuosi:**

2004

**Valmistumisvuosi:**

2008

**Sivumäärä: 87**

---

Tutkielman tarkoituksena oli tutkia, kuinka makrotaloudelliset julkaisut vaikuttavat valuuttaoptioiden implisiittiseen volatilitettiin, sekä ovatko volatilitetioidotukset symmetrisiä suhteessa valuuttakurssin muutoksiin. Aiheen idea perustui tutkimuksen vähäisyyteen valuuttamarkkinoilla, sekä uuden vuosituhannen vaihteen jälkeisiin voimakkaasti vaihteleviin markkinoihin, mikä tarjoaa hyvän lähtökohdan perinteisesti rauhallisempien valuuttamarkkinoiden tutkimukselle. Analyysi suoritettiin vuosien 2001–2007 välillä euron, jenin ja punnan implisiittisten volatilitetioiden aikasarjoilla.

Tutkimuksellinen analyysi perustui teoreettisesti Black-Scholes-Merton optioteoriaan, jossa erityisesti deterministisen volatilitetin oletus oli tämän tutkimuksen aiheen soveltamisen kannalta keskeinen. Tämän pohjalta perusteltiin implisiittisen volatilitetin käyttö epävarmuuden mittarina makrotaloudellisten julkaisujen yhteydessä. Implisiittisen volatilitetin reaktioita tutkittiin regressiomallinnuksella, jossa selittävinä muuttujina käytettiin binaarimuuttujia. Makrotaloudellisten julkaisupäivien merkitystä tutkittiin yleisemmin myös tilastollisilla testeillä. Regressioiden luotettavuuden lisäämiseksi aikasarjojen autokorrelaatorakennetta analysoidiin diagnostisilla testeillä ja lisättiin tarvittavat autoregressiiviset oletukset.

Implisiittisen volatilitetin reaktiot makrotaloudellisille julkaisuille olivat laajempia kuin aikaisemmassa tutkimuksessa valuuttamarkkinoilla, mikä implikoi valuuttamarkkinoiden seuraavan tarkasti tiettyjä julkaisutapahtumia. Kaksi ensimmäistä tutkimushypoteesia implisiittisen volatilitetin muuttumisesta julkaisupäivinä ja niiden ulkopuolella saivat melko selvästi tukea, kun taas kolmannelle hypoteesille todisteet volatilitetioidotusten symmetrisyydestä olivat melko heikkoja. Myös valuuttamarkkinoilla implisiittisestä volatilitetista näyttäisi löytyvän samankaltainen, erityisesti osakemarkkinoilta tunnettu voimakkaampi suhtautuminen negatiivisiin kohde-etuuden muutoksiin.

---

**AVAINSANAT:** Valuuttaoptio, implisiittinen volatilitetti, makrotaloudelliset julkaisut



## 1. JOHDANTO

Volatiliteettiodotuksilla on nykyisin tärkeä merkitys rahoitusmarkkinoilla. Toisin sanoen odotukset tulevasta volatiliteetista heijastavat epävarmuutta tulevista hintamuutoksista. Volatiliteetti on tärkeimpiä yksittäisiä käsitteitä erityisesti rahoitusmarkkinoilla, sillä on suuri merkitys erilaisten rahoitusinstrumenttien hinnanmuodostukseen. Aktiivisesti rahoitusmarkkinoilla toimivat sijoittajat arvostavat erilaisia kohde-etuuksia, kuten esimerkiksi osakkeita, velkainstrumentteja ja valuuttoja markkinoille saapuvan informaation perusteella. Tehokkaasti toimivilla markkinoilla tämän informaation merkityksen tulisi heijastua kohde-etuuden hintaan nopeasti ja arvoltaan täysimääräisesti. Kohde-etuudesta hintansa johtavien rahoitusinstrumenttien hinnoittelumallien toimivuus rahoitusmarkkinoilla on eräs keskeisistä alan tutkimuksen haaroista.

Rahoituksessa optio on johdannainen, joka muodostaa arvonsa kohde-etuuden hinnasta. Tärkein option hintaan vaikuttavista tekijöistä on kohde-etuuden volatiliteetti, yleistäen voidaan sanoa option hinnoittelevalta volatiliteetiltä. Koska kohde-etuuden välitöntä volatiliteettia ei voi suoraan saada mistään, se voidaan laskea esimerkiksi iteratiivisilla menetelmillä option hinnasta. Tätä laskennallista volatiliteettia kutsutaan implisiittiseksi volatiliteetiksi. Jos option hinnoittelumalli on tehokkaiden markkinoiden oletusten mukaisesti relevantti, tulisi kohde-etuuden hintaan vaikuttavan informaation näkyä myös option hinnassa välittömästi. Tämän vuoksi option hinnasta estimoitua volatiliteettia voidaan pitää parhaana arviona volatiliteetista option jäljellä olevana juoksuaikana.

Johdannaisten suosio on lisääntynyt voimakkaasti erityisesti kahden viime vuosikymmenen aikana. Suosion kasvu selittyy pitkälle johdannaisten hinnoittelumallien kehityksen vuoksi, joista tunnetuin on alkuperäinen Blackin ja Scholesin (1973) kehittämä optioiden hinnoittelumalli. Mallista on kehitetty paljon variaatioita erilaisille kohde-etuuksille, jotka kuvaavat paremmin näiden vastaavia ominaisuuksia markkinoilla. Valuuttaoptio johtaa arvonsa valuuttakurssista; sitä käytetään pääasiassa valuuttakurssiriskiltä suojautumiseen, mihin se on alun perin kehitetty. Ensimmäisen kerran valuuttaoptiot tulivat laajasti käyttöön vuoden 1982 joulukuussa (Bodurtha & Courthadon 1986: 151).

Valuuttakurssien riskiin eli volatiliteettiin vaikuttaa keskeisesti sitä koskeva markkinainformaatio. Viime kädessä valuuttakurssi heijastaa kansantalouden tilaa, lisäksi siihen vaikuttavat myös nykyisen suhteellisen integroituneen kansainvälisen talouden ta-

pahtumat. Tämän vuoksi kansantalouden tilaa koskevien säännöllisten raportointien oletetaan vaikuttavan valuuttakurssiin julkaisun informaation arvon verran. Sijoittajat muokkaavat informaation pohjalta käsityksiään tulevasta kansantalouden suunnasta, millä voi olla merkittäviä vaikutuksia maan kansainväliseen kauppaan ja investointeihin. Jos informaatio poikkeaa vahvasti odotuksista, jotka voivat riippua taas vahvasti suhdannetilanteesta, saattaa tämä näkyä voimakkaana markkinaepävarmuuden kasvuna.

Lisääntyneen volatiliteetin myötä lisääntyy myös riski markkinoilla, minkä tulisi siirtyä suoraan option hintaan. Koska option implisiittinen volatiliteetti on arvio todellisesta volatiliteetista, voidaan implisiittinen volatiliteetti tulkita markkinaepävarmuuden mittariksi. Poonin ja Grangerin (2003) mukaan implisiittinen volatiliteetti tarjoaa olemassa olevan tutkimuksen valossa parhaan mittarin markkinoiden epävarmuuden arvioimiseksi, joistakin puutteistaan huolimatta. Valuuttaoptiosta johdettu implisiittinen volatiliteetti voidaan tulkita indikaattoriksi epävarmuudesta tai volatiliteettiodotuksista valuuttakurssin muutoksia kohtaan.

Kansainvälisesti keskeisimpien, eli vaihdetuimpien valuuttojen hinnat noteerataan dollareissa. Tämän vuoksi Yhdysvaltojen makrotaloudellisten julkaisujen vaikutus maailmantaloudessa keskeisimpien valuuttakurssien epävarmuuteen muodostavat selkeästi tarkoituksenmukaisen ja kiintoisan tutkimuksen kentän. Lisäksi analysoimalla negatiivisten ja positiivisten valuuttakurssimuutosten vaikutusta epävarmuuteen, saadaan tulkittua myös markkinoiden asennoituminen valuuttakurssiin vaikuttavaan informaatioon yleisemmällä tasolla. Taustalla on teoreettisesti volatiliteettiodotusten symmetrisyysoletus, toisin sanoen valuuttakurssin halpenemisen ja kallistumisen tulisi aiheuttaa samanlainen reaktio implisiittisessä volatiliteetissa.

Tehokkaiden markkinoiden tapauksessa optioiden tulisi siis heijastaa välittömästi kaikki saatavilla oleva relevantti informaatio. Kansantalouden tilaa koskevan makrotaloudellisen informaation tulisi täten näkyä jollakin tapaa valuuttakurssin hinnanmuutoksissa. Kansainvälisesti selvästi suurin talous on ollut perinteisesti Yhdysvallat, joka on näyttänyt perinteisesti suuntaa muille teollisuusmaille. Tämän vuoksi Yhdysvaltojen makrotaloudelliset julkaisut ovat tarkasti seurattuja kansainvälisesti, sekä ovat olleet myös rahoituksessa laajahkon tutkimuksen kohteena erityisesti osakemarkkinoilla. Näihin julkaisuihin perehdytään myös tässä tutkielmassa. Epävarmuuden mittaaminen ja hyödyntäminen lukuisilla tavoilla esimerkiksi rahoitusmarkkinoilla ja jopa rahapolitiikassa, ovat nousseet nykyisin erittäin merkittävään asemaan.

## 1.1. Aikaisempaa tutkimusta

Tutkielman aihepiiri muodostuu kolmesta pääasiallisesta aikaisemman tutkimuksen osasta, eli makrotaloudellisista julkaisuista, valuutoista ja implisiittisestä volatilitteetista. Ensimmäisenä näkökulmana ovat makrotaloudellisten uutisten vaikutukset optioiden implisiittiseen volatilitteettiin, sekä osakemarkkinoiden että valuuttamarkkinoiden vastaaviin. Toinen näkökulma käsittää makrotaloudellisten uutisten vaikutusten havainnointia valuuttamarkkinoilla. Kolmas keskeinen alue on valuuttaoptioiden implisiittinen volatilitteetti yleisesti, johon palataan tarkemmin vielä valuuttaoptioteorian yhteydessä. Nämä kolme näkökulmaa muodostavat tutkielman tutkimuksellisen aihepiirin.

Makrotaloudellisten julkaisujen vaikutusta optioiden hintoihin, erityisesti mielenkiinnon kohteena olevaan implisiittiseen volatilitteettiin, on aikaisemmin tutkittu kohtalaisesti erityisesti osakemarkkinoilla. Tulokset ovat melko hajaantuneita, riippuen pitkälti tutkittavasta kohde-etuudesta, markkinoista tai menetelmästä. Valuuttaoptioista johdetun implisiittisen volatilitteetin ja tähän vaikuttavien merkittävien makrotaloudellisten julkaisujen osalta aikaisempi tutkimus on yllättävän vähäistä. Näiden julkaisujen vaikutusta suoraan valuuttakursseihin on taas tutkittu enemmän.

### *Makrotaloudelliset uutiset ja implisiittinen volatilitteetti*

Kim ja Kim (2003) tutkivat Saksan markan, Japanin jenin, Britannian punnan, Sveitsin frangin ja Kanadan dollarin valuuttafutuurioptioista johdettujen implisiittisten volatilitteettien dynamiikkaa. Aikajana kattoi vuodet 1987–1998. Muiden ohessa tutkimuksen kaksi osa-aluetta testasi makrotaloudellisten julkaisujen vaikutusta implisiittiseen volatilitteettiin, sekä myös volatilitteettiodotusten symmetrisyyttä. Makrotaloudellisten julkaisujen vaikutuksista ei löydetty merkittäviä muutoksia, ainoastaan kauppataseen vaje ja työllisyysraportti aiheuttivat useammin merkitsevän reaktion. Sen sijaan volatilitteettiodotukset havaittiin symmetriseksi. Reaktio julkaisuihin on kuitenkin samansuuntainen aikaisempien hypoteesien kanssa, kuten esimerkiksi Ederingtonin ja Leen (1996) korkofutuuri- ja futuurioptioiden tapauksessa. Tuloksen voi tulkita siten, että epävarmuus valuuttamarkkinoilla pienenee, kun uutta tietoa on saatu. Lisäksi suuret muutokset kumpaankin suuntaan valuuttojen kurseissa näkyvät myös tasapuolisesti implisiittisten volatilitteettien kasvuna.

Ederingtonin ja Leen (1996) mukaan optioiden juoksuajalla implisiittisen volatilitteetin tulisi nousta säännöllisten makrotaloudellisten julkaisujen ulkopuolella, koska ajoitetun,

mahdollisesti tärkeän informaation laatu on epäselvää. Koska keskimäärin option juoksuajalla implisiittinen volatilitiiteetti on vakio, implisiittisen volatilitiiteetin tulisi taas laskea julkaisupäivänä julkaisun jälkeen, koska epävarmuus julkaisun laadusta häviää. Ajoittamattoman talousjulkaisun havaittiin nostavan implisiittistä volatilitiiteettia julkaisupäivänä, kun taas ajoitettujen havaittiin pääasiassa laskevan sitä. Implisiittisen volatilitiiteetin reaktio julkaisuille riippuu kuitenkin siitä, mikä on odotetun volatilitiiteetin taso ennen julkaisua. Korkea odotettu volatilitiiteetti johtaa yleensä suurempaan epävarmuuden laskuun julkaisupäivänä, kun taas korkea odottamaton volatilitiiteetti johtaa implisiittisen volatilitiiteetin kasvuun.

Ederingtonin ja Leen (1996) tutkimuksen aineisto käsitti vuodet 1988–1992. Mukana olivat T-obligaatio- ja eurodollarifutuurit, sekä Saksan markan futuurioptio. Tutkielman kannalta erityisesti kiinnostava, säännöllisten makrotaloudellisten uutisten vaikutus Saksan markan futuurioptioiden implisiittiselle volatilitiiteetille, huomattiin melko merkityksettömäksi. Valuuttafutuurioptio voidaan nähdä melko hyvänä substituuttina vaihtokurssille, koska option alla oleva futuuri on toteutettaessa tällöin riittävän lähellä todellista valuuttakurssia. Kuitenkin tutkimuksen hypoteesit odotetuista reaktioista saivat melko selvästi tukea. Makrotaloudellisista julkaisuista yleisimmin reaktion aiheuttivat työllisyysraportti, sekä tuottaja- ja kuluttajahintaindeksit.

Option implisiittisen volatilitiiteetin ja makrotaloudellisten julkaisujen dynamiikan tutkimuksesta valtaosa keskittyy osakemarkkinoiden optioihin. Esimerkiksi Nikkisen ja Sahlströmin (2004) mukaan päivää ennen USA:n keskeisimpien makrotaloudellisten indikaattoreiden julkaisua, S&P 100 implisiittisen volatilitiiteetti-indeksin (VIX) havaittiin nousevan, mutta vastaavasti taas laskevan odotetusti julkaisupäivänä, kun epävarmuus hälvenee. Työllisyysraportti aiheutti merkittävän reaktion, lisäksi tuottaja- ja kuluttajahintaindeksien yhteisvaikutus oli merkittävä. Myös Yhdysvaltojen keskuspankin korkopolitiikkaa ohjaavan avomarkkinakomitean (FOMC) kokouksen päivänä implisiittinen volatilitiiteetti laskee voimakkaasti, mutta selvää nousua ei ole havaittavissa koontumista edeltävänä aikana.

Donders ja Vorst (1996) analysoivat implisiittisen volatilitiiteetin reaktioita yritystasolla. Tutkimuksessa havaittiin, että implisiittinen volatilitiiteetti nousee päivinä ennen ajoitettuja yritysuutisia ja on huipussaan juuri ennen julkaisua. Tämän jälkeen se tippuu nopeasti, jopa alle pitkäaikaisen tasonsa, mutta palautuu kuitenkin viimeistään muutaman päivän sisällä tasolleen. Optioiden kohde-etuuksien volatilitiiteeteissa ei huomattu samanlaista ennen tai jälkeen julkaisupäivän efektiä kuin implisiittisissä volatilitiiteeteissa, joskin

itse julkaisupäivänä volatiliteetti oli hieman korkeampi. Optiomarkkinat saattavatkin herkästi ylireagoida, joka voi johtua sijoittajien spekuloinnista osakkeen julkaisupäivän hintamuutoksia kohtaan.

Isakov ja Perignon (2001) havaitsivat samankaltaisia tuloksia kuin Donders ja Vorst (1996). Tutkimuksessa jaoteltiin yritysten tulosjulkistukset positiivisiin ja negatiivisiin yllätyksiin sekä katsottiin, kuinka implisiittinen volatiliteetti käyttäytyy pääasiassa tulosjulkistuksen jälkeen. Huonojen uutisten jälkeen implisiittinen volatiliteetti säilyi korkealla noin kaksi päivää, jonka jälkeen se laskee muutaman päivän sisällä lähelle pitkäaikaista tasoaan. Hyvien uutisten kohdalla implisiittinen volatiliteetti putoaa heti ja palautuu normaaliksi melko nopeasti.

Makrotaloudellisten indikaattoreiden tärkeys rahoitusmarkkinoilla on ollut kasvavan mielenkiinnon kohteena. Esimerkiksi Graham, Nikkinen ja Sahlström (2003) tutkivat 11 makrotaloudellisen indikaattorin tärkeyttä osakkeiden arvotuksessa. Tutkimus sisälsi seuraavat makrotaloudelliset indikaattorit: tuottajahintaindeksi, kuluttajahintaindeksi, työllisyysraportti, työllistämiskuluindeksi, tuottavuus-kuluindeksi, reaalitytulot, viennin ja tuonnin hintaindeksit, vähittäiskauppa, bruttokansantuote sekä kaksi ostopääällikköindeksiä. Indikaattoreiden merkitystä tutkittiin VIX -indeksin, eli implisiittisten volatiliteettien avulla. Tilastollisesti merkitsevä reaktio löydettiin työllisyysraportista, tuotannon ostopääällikköindeksistä, tuottajahintaindeksistä, viennin ja tuonnin hintaindekseistä sekä työllistämiskuluindeksistä.

#### *Makrotaloudelliset uutiset ja valuuttamarkkinat*

Pearce ja Solakoglu (2007) käyttivät tiheää 5 minuutin aikasarjaa analysoidessaan Yhdysvaltojen makrotaloudellisten julkaisujen vaikutuksia Japanin jenin ja Saksan markan valuuttakurssiin. Uutisten vaikutus oli selvä ja tilastollisesti merkitsevä viiden minuutin aikavälillä havainnoituna. Huomattiin myös, että kun havainnointiväli kasvatettiin vähintään kuuteen tuntiin, julkaisujen vaikutukset valuuttakurssien volatiliteeteissa hävisivät. Tutkimuksessa epäiltiin myös, että joidenkin makrotalouselukujen vaikutukset valuuttakurssien volatiliteettiin riippuvat talouden tilasta.

Myös Andersen ja Bollerslev (1998) tutkivat viiden minuutin tiheällä aikasarjalla vuosien 1992–1993 valuuttakurssien liikkeitä vastauksena Saksan ja Yhdysvaltojen makrotaloudellisiin julkaisuihin. Ennen euroa markan ja dollarin vaihtokurssi oli vaihtomäärillä mitattuna suurin, joten sitä käytettiin analyysissä. Kokonaisuudessaan tärkeäksi luetta-

vat uutiset aiheuttavat hetkellisen volatiliteetin kohoamisen, mutta vaikutus ei säilynyt kauaa. Vertailun vuoksi tutkimuksessa oli mukana myös päivittäinen vuosien 1979–1993 aikasarja. Tällä havaintovälillä huomattiin uutisten vaikutuksen olevan hyvin heikko tai sitä ei ole havaittavissa.

Päivittäisellä aikasarjalla makrotaloudellisten julkaisujen vaikutuksesta valuuttakurssiin tutkineen Kimin (1998) mukaan julkaisut Australiasta kasvattivat vaihtokurssin volatiliteettia enemmän kuin Yhdysvaltalaiset julkaisut, eli Australian dollarin todettiin olevan herkempää kyseisen maan makrotalouden uutisille. Tutkittavana olivat Yhdysvaltojen ja Australian dollarin vaihtokurssi, sekä kuinka makrotaloudelliset julkaisut kummastakin maasta vaikuttavat maiden dollarien arvostukseen. Selvästi odottamattomat julkaisut kasvattivat vaihtokurssin volatiliteettia useaksi päiväksi eteenpäin. Vaikuttavia julkaisuja olivat Australian vaihtotaseen vaje, bruttokansantuote, kuluttajahintaindeksi, sekä Yhdysvaltojen kauppataseen vaje ja työllisyysraportti. Tutkimuksen aikaväli oli vuosilta 1985–1995.

Kim, McKenzie ja Faff (2004) tutkivat 6 tärkeän makrotaloudellisen uutisen vaikutusta osake-, velkakirja- ja valuuttamarkkinoilla. Huomattiin, että pelkästään näiden uutisten julkaisupäivä ei aiheuta reaktiota millään mainituilla markkinoilla, vaan lähinnä uutisten sisältö saa aikaan mahdollisen reaktion. Tutkimuksessa pyrittiin ottamaan huomioon markkinoiden odotukset julkaisujen laadusta. Kaikista herkimmin makrotalouden uutisten vaikutukset näkyivät kokonaisuudessaan osakemarkkinoilla, kun taas valuuttamarkkinoiden volatiliteetti pysyi matalimmalla. Vain kaksi indikaattoria kasvatti valuuttakurssien volatiliteettia hieman, mutta valuuttakurssien tapauksessa väliä ei ollut sillä, olivatko uutiset positiivisia vai negatiivisia. Tärkeimmäksi valuuttamarkkinoilla katsottiin kauppataseen vaje. Mukana olivat Saksan markka ja Japanin Jeni, tutkimusjakso sijoittui vuosille 1986–1998.

#### *Valuuttaoptioiden implisiittinen volatiliteetti*

Keskuspankit saattavat yrittää vaikuttaa valuuttakursseihin interventioilla, yrittämällä estää esimerkiksi haitallisia muutoksia tai vakauttamalla kurseja. Bonser-Neal ja Tanner (1996) arvioivat keskuspankkien interventioiden vaikutuksia Japanin jenin ja Saksan markan valuuttakurssien volatiliteettiin. Vaikutuksia kurssimuutoksiin tutkittiin valuuttaoptioiden implisiittisillä volatiliteeteilla. Volatiliteetin muutosten tutkiminen keskitettiin ennen interventiota havaittuun valuuttakurssin implisiittiseen volatiliteettiin, sillä tarkoitus oli kartoittaa kuinka tulevat interventiot vaikuttavat volatiliteettiodotuksiin.

Havaintojen tarkkailujakso perustui vuosien 1985–1991 välille. Yhteenvetona havaittiin, että markkinatoimijat eivät usko interventioiden vähentävän valuuttakurssien volatiliteettia, eli implisiittisillä volatiliteeteilla mitattuna ei havaittu merkittäviä muutoksia.

Nikkisen, Sahlströmin ja Vähämaan (2006) mukaan Euroopan merkittävimpien valuuttakurssien volatiliteettiodotukset ovat läheisesti kytkeytyneet toisiinsa. Englannin punnan, Sveitsin frangin ja yhteisvaluutta euron optioiden implisiittiset volatiliteetit seuraavat läheisesti toisiaan, euron volatiliteettiodotusten vaikuttaessa merkittävästi muiden tutkittujen valuutoiden volatiliteettiodotuksiin. Tutkimuksen aikajakso sijoittui vuosien 2001–2003 ajalle. Euro vaikuttaisi olevan selvästi dominoiva valuutta Euroopassa, jolla on vahva merkitys rahoituspoliittisten päätösten huomioimisessa. Tämä koskee paitsi eri maiden rahapolitiikkaa, myös Eurooppaan investoivia sijoittajia.

Valuuttaoptioiden implisiittisen volatiliteetin kyky selittää tulevaa valuuttakurssien volatiliteettia on todettu lukuisissa tutkimuksissa (Poon & Granger 2003: 501). Tämä tekee siitä mielenkiintoisen ja relevantin tekijän valuuttamarkkinoiden tutkimuksessa. Esimerkiksi Jorionin (1995) mukaan valuuttafutuurioptioiden implisiittinen volatiliteetti on merkittävästi parempi tulevan volatiliteetin selittäjänä kuin historiallinen volatiliteetti tai ARCH metodeilla saatava. Valuuttafutuurioptioita valuuttaoptioiden sijasta käyttämällä voidaan mahdollisesti pienentää ongelmia, jotka johtuvat valuuttaoptioiden ostomyynti tasojen (bid-ask spreads) eroista. Implisiittinen volatiliteetti voi kuitenkin olla harhainen estimaatti tulevasta volatiliteetista; ei ole kuitenkaan selvää kuinka merkittävää tämä on.

#### *Yhteenveto aikaisemmasta tutkimuksesta*

Yhteenvetona aikaisemmasta tutkimuksesta voi todeta, että implisiittisen volatiliteetin reaktio makrotaloudellisille julkaisuille tai muille uutisille riippuu vahvasti kohdeetuudesta sekä siitä, mikä on julkaisujen sisältö, yleinen markkinatilanne ja markkinoiden odotukset. Kuitenkin yleisimmin todettavissa oleva havainto on, että implisiittinen volatiliteetti monesti kasvaa ennen uutisia, jonka jälkeen putoaa lähelle keskiarvoaan tai palautuu hitaammin. Tämä efekti on löydetty erityisesti osakemarkkinoilla, jossa valtaosa aikaisemmasta tutkimuksesta on myös tehty. Valuuttamarkkinoista voi yleisesti todeta että ne eivät vaikuttaisi olevan muihin markkinoihin, kuten osake- ja velkakirja-markkinoihin, verrattuna erityisen herkkiä makrotaloudellisille uutisille.

Aikaisemman tutkimuksen perusteella useimmin makrotaloudellisista uutisista implisiittisen volatiliteetin reaktion aiheuttajaksi löydetään muun muassa kauppataseen jäämä, tuottajahintaindeksi, kuluttajahintaindeksi, teollisuustuotanto, työllisyysraportti sekä valtion budjettia koskevat luvut. Valuuttamarkkinoilla vaikuttavat erityisesti kauppataseen jäämä, työllisyysraportti, tuottajahintaindeksi ja rahan tarjonta ovat aiheuttaneet aikaisemmin merkittävimmän reaktion. Lähes kaikki mainitut koskevat USA:n makrotalouden informaatiota (ks. esim. Ederington & Lee 1996; Christie-David & Chaudry 2000; Graham, Nikkinen & Sahlström 2003, 2004; Kim & Kim 2003; Kim, McKenzie & Faff 2004; Simpson, Ramchader & Chaudry 2005.)

## 1.2. Tutkimuksen ongelma ja rakenne

Tutkielman tarkoituksena on analysoida, kuinka Yhdysvalloista tuleva makrotaloudellinen informaatio vaikuttaa valuuttaoptioiden implisiittiseen volatiliteettiin julkaisupäivänä, sekä yhtenä päivänä ennen ja jälkeen julkaisun. Pääpaino on makrotaloudellisten julkaisujen vaikutuksen tarkastelussa, mutta lisäksi analysoidaan valuuttakurssimuutosten vaikutusta implisiittiseen volatiliteettiin. Tällä pyritään syventämään epävarmuuteen vaikuttavan informaation laatua yleisellä tasolla. Tutkielman aihetta ei ole paljoakaan aikaisemmin tutkittu valuuttaoptioiden implisiittisellä volatiliteetilla, eikä tietävästi ainakaan 2000 -luvun puolelta olevalla havaintoaineistolla. Aihe on mielenkiintoinen, koska option implisiittistä volatiliteettia voidaan pitää epävarmuuden mittarina sekä myös ennusteena tulevasta volatiliteetista, joten on kiinnostavaa nähdä, kuinka makrotaloudelliset julkaisut tai informaatio tähän vaikuttavat.

Nykyisin rahoitusmarkkinoilla volatiliteetin ennustamisella ja tulkitsemisella on tärkeä merkitys esimerkiksi politiikan suunnittelussa, jolloin volatiliteettiennusteet tarjoavat indikaattorin talouden ja rahoitusmarkkinoiden haavoittuvuudesta (Poon & Granger 2003: 479). Tehokkaiden markkinoiden tapauksessa option implisiittisen volatiliteetin pitäisi heijastaa välittömästi kaikki relevantti saatavilla oleva informaatio. Tulevan volatiliteetin ennustamista on kokeiltu myös muilla menetelmillä, kuten historiallisilla volatiliteeteilla sekä erilaisilla ennustemalleilla, joista suosituimpia ovat GARCH -mallien eri variaatiot. Suurimmassa osassa tutkimuksia implisiittisen volatiliteetin on todettu olevan paras tulevan volatiliteetin selittäjänä, kuten esimerkiksi Poon ja Granger (2003) toteavat. Tämän vuoksi myös tässä tutkielmassa keskitytään implisiittiseen volatiliteettiin, vaikka ennustekyky ei suoranaisesti olekaan kohteena.

Tarkasteluun on otettu mukaan jenin, euron ja punnan dollareissa noteeratut valuuttakurssit suurimman vaihtomääränsä vuoksi. Näille kirjoitetuilla optioilla käydään kauppaa Philadelphian osakepörssissä (PHLX). Implisiittisen volatilitietin ja makrotaloudellisen informaation dynamiikkaa on tarkoitettu selvittää empiirisesti vuosien 2001–2007 havaintoaineistolla. Tutkimusmenetelmänä käytetään regressiota, jossa selittävät muuttujat ilmaistaan binaarimuuttujina. Optioiden implisiittiset volatilitietit on saatu Datastream -tietokannasta, jossa ne ovat esitetty niin sanottuina jatkuvien osto-optioiden aikasarjana. Eli option eripituisten maturiteettien ja toteutushintojen implisiittiset volatilitietit esitetään yhden maturiteetin ja toteutushinnan sarjana.

Makrotaloudellisista julkaisuista keskitytään sellaisiin, jotka markkinat katsovat merkittäviksi. Tässä suhteessa nojaututaan osittain subjektiiviseen näkemykseen, osittain aikaisempaan tutkimukseen, jossa on huomattu tiettyjen makrotaloudellisten julkaisujen aiheuttavan useasti reaktion valuuttamarkkinoilla tai yleisimmin implisiittisessä volatilitietissä (esim. Ederington & Lee 1996; Christie-David & Chaudry 2000; Graham, Nikkinen & Sahlström 2003, 2004; Kim & Kim 2003; Kim, McKenzie & Faff 2004; Simpson, Ramchader & Chaudry 2005). Näillä perusteilla mukaan ovat valittu tuottaja- ja kuluttajahintaindeksit, työllisyysraportti, kauppataseen vaje, vähittäiskauppa, tuotannon ostopääällikköindeksi, FOMC kokous ja FED raportointi. Julkaisuilla tarkoitetaan tässä tutkielmassa siis myös merkittäviä makrotaloudellisia tapahtumia varsinaisten indikaattoreiden lisäksi, joita ovat kaksi viimeiseksi mainittua. Koska Yhdysvaltain makrotaloudellisia lukuja pidetään kansainvälisellä tasolla tärkeimpänä, käytetään tässä tutkielmassa näitä julkaisuja.

Tutkimuksen ongelma voidaan kiteyttää kolmeen tutkimukselliseen hypoteesiin, joista ensimmäinen ja toinen hypoteesi muodostavat tutkimuksen ytimen. Kaksi ensimmäistä hypoteesia perustuvat Blackin ja Scholesin (1973) optiteoriaan, sekä Mertonin (1973) tärkeään oletukseen Black-Scholes mallin volatilitietin käyttäytymisestä. Merton (1973) osoitti, että kun Black-Scholes mallin vakioisen volatilitietin oletus korvataan option juoksuajan keskimääräisellä volatilitietillä, malli pitää yhä paikkaansa. Tämän mukaan volatilitietti saa siis vaihdella deterministisesti option juoksuajalla, mikä luo myös perustan tälle tutkimukselle. Toisin sanoen volatilitietin odotetaan muuttuvan tiettyinä hetkenä uuden informaation seurauksena, mutta muutoksen laatu ei kuitenkaan ole tiedossa. Implisiittisen volatilitietin odotetaan nousevan asteittain ennen julkaisua, jonka jälkeen se laskee epävarmuuden poistuttua. Mertonin (1973) mukaan päivittäinen implisiittinen volatilitietti edustaa neliössä keskimääräistä välitöntä volatilitiettiä option lopulla juoksuajalla.

Hypoteesien asettaminen perustuu aikaisempaan tutkimukseen, joista tunnetusti ja perustavasti edellä mainittua teoriaa sovelsivat Ederington ja Lee (1996) makrotaloudellisen informaation tapauksessa, sekä Donders ja Vorst (1996) yritystasolla. Kolmas hypoteesi liittyy varsin keskeisesti tutkielman aihealueeseen, joten sen tarkoitus on syventää analyysiä valuuttakurssia koskevan pitkäaikaisen informaation näkökulmasta. Kolmas hypoteesi perustuu Kimin ja Kimin (2003) tuloksiin sekä alan optio teoriaan. Tutkielman kolme hypoteesia asetetaan seuraavasti:

*H<sub>1</sub>: Valuuttaoptioiden implisiittinen volatilitiitti laskee Yhdysvaltojen makrotaloudellisten julkaisujen päivinä*

*H<sub>2</sub>: Valuuttaoptioiden implisiittinen volatilitiitti nousee Yhdysvaltojen makrotaloudellisten julkaisupäivien ulkopuolella.*

*H<sub>3</sub>: Valuuttamarkkinoiden volatilitiittiodotukset muodostuvat symmetrisesti negatiivisilla ja positiivisilla valuuttakurssimuutoksilla.*

Ensimmäisessä kappaleessa käsiteltiin johdanto aiheeseen, sekä perusta tutkimukselle. Toisessa kappaleessa käydään lyhyesti läpi tehokkaiden markkinoiden hypoteesi, sillä se on aihetta käsittelevän rahoitusteorian pohjana. Markkinatehokkuuden määritelmällä on siten perustavanlaatuinen merkitys tutkielman luonteen kannalta, sillä se heijastaa lopulta tulosten realistisuutta ja tutkimuksen rajoitteita laajassa kaavassa. Kolmannessa kappaleessa rakenne koostuu optioiden yleisestä teoriasta ja tähän liitettävät valuuttamarkkinoiden sovellusmuodot. Kappaleen tärkein merkitys on implisiittisen volatilitiitin käytön perustelussa, sillä se on reaktioita mittaava indikaattori tässä tutkimuksessa.

Tutkielman neljännessä kappaleessa esitellään aineistot ja menetelmät. Aineisto käsittää tutkielmassa käytettyjen valuuttojen ja makrotaloudellisten indikaattoreiden sisällön. Menetelmissä esitetään käytettävät ekonometriset ja tilastolliset menetelmät ja muodostetaan tutkimuksessa käytettävät mallit. Viides kappale esittelee regressioiden ja testien tulokset ja niiden tulkinnat. Seitsemännessä ja viimeisessä esitetään yhteenveto tutkielmasta ja tuloksista sekä päätetään tutkielma.

## 2. MARKKINATEHOKKUUS

Rahoitusmarkkinoilla hinnan muodostuminen on lähtökohta markkinoiden toimivuudelle. Hintamekanismin tehokkuus tai tehottomuus on ilmiö, joka muodostaa pohjan lopulta erittäin suuren osan tutkimuksesta rahoituksen viitekehysessä, sillä ilman toimivaa hintamekanismia ei ole myöskään toimivia markkinoita. Rahoitusteoriassa markkinatehokkuudella tarkoitetaan käsitystä, jonka mukaan tehokkailla markkinoilla rahoitusinstrumentista maksettava hinta on lähtökohtaisesti oikea. Jotta markkinat olisivat tehokkaita, tulee hintojen sisältää kaikki olemassa oleva relevantti markkinainformaatio. Tehokkailla markkinoilla hinnan muodostumisen perusajatuksena on, että kilpailu markkinoilla ajaa välittömästi kaiken olennaisen tiedon rahoitusinstrumentin hintaan. (Fama 1970; Jensen 1978.)

Tehokkailla markkinoilla suurin hinta, jonka sijoittajat ovat valmiita maksamaan rahoitushyödykkeestä, on sen tulevien kassavirtojen nykyhetkeen diskontattu arvo. Koron täytyy olla sen suuruinen, jotta se kompensoi sijoittajien kohtaaman epävarmuuden tulevaisuudessa saatavista kassavirroista. Tämä hinta on myös oikea markkinahinta tehokkailla markkinoilla; se voidaan ajatella myös hintana tietylle määrälle varmuutta, mikä muodostuu informaation pohjalta. Tehokkailla markkinoilla sijoittajat eivät pysty systemaattisesti ylisuuriin voittoihin, ainoastaan satunnaiset ylisuuret voitot ovat mahdollisia. Tähän liittyy tärkeä oletamus tuottojen satunnaisuudesta (Random Walk), jolloin tuotot muodostuvat täysin sattumavaraisesti ilman säännönmukaisuuksia. Miten hyvin tehokkaat markkinat toteutuvat käytännössä, on jatkuva tutkimuksen aihe sekä monenlaisten näkökulmien kenttä.

Tehokkaiden markkinoiden suosio sai varsinaisesti alkunsa Faman (1970) artikkelista, joka kokosi aiemman tutkimuksen ja eteni teoriasta käytännön testeihin tehokkuuden määrittelyssä. Idea tehokkaiden markkinoiden takana on varsinaisesti lähtöisin jo vuosisadan alusta, jonka jälkeen aiheeseen liittyy kymmenittäin tutkimuksia. Merkittävimpiä näistä ovat muun muassa Samuelson (1965), joka esitti ensimmäisenä että tehokkailla markkinoilla hinnat vaihtelevat ajassa satunnaisesti (ns. martingale -oletus), koska niihin vaikuttava informaatio on luonteeltaan ennakoimatonta. Roberts (1967) jakoi klassiseksi määritelmäksi tulleen tehokkaiden markkinoiden hypoteesin kolmeen asteeseen. Faman (1970) mukaan markkinat ovat tehokkaat, jos hinnat reagoivat uuteen informaatioon välittömästi ja harhattomasti minä tahansa ajan hetkenä. Vanhaa informaatiota ei voi tällöin käyttää, tai siitä ei ole hyötyä tulevien tuottojen ennustamisessa. Tämä on keskeinen idea tehokkaiden markkinoiden hypoteesissa. Markkinatehokkuus voidaan

jakaa kolmeen eri luokkaan informaation saatavuuden perusteella; heikot ehdot, keski-vahvat ehdot sekä vahvat ehdot.

## 2.1. Markkinatehokkuuden asteet

Markkinatehokkuus jaotellaan kolmeen luokkaan sen mukaan, miten hintoihin vaikuttava kaikki saatavilla oleva informaatio määritellään. Tehokkaiden markkinoiden hypoteesissa uuden informaation saapuminen muodostaa hintojen muuttumisen perustan, minkä katsotaan olevan luonteeltaan ennakoimatonta. Tätä ennakoimatonta hintavaihtelua kutsutaan myös tuottojen satunnaisuuden teoriaksi (Random Walk Theory).

Tärkeä käsite markkinatehokkuuden testaamisessa on informaation ja tehokkaiden markkinoiden hinnan tasapaino. Tässä tasapaino tarkoittaa, ettei hintoihin vaikuta mikään ulkopuolinen tekijä, jolloin hinta on tasapainossa olemassa olevan informaation kanssa. Tehokkaiden markkinoiden hypoteesi ei sellaisenaan ole määritelty erityisen hyvin; sen testaaminen vaatii sopivan markkinamallin eli arvonmääritysmallin. Markkinamallin ja tehokkaiden markkinoiden yhteys (Joint Hypothesis) määrittelee markkinatehokkuuden testauksen luotettavuuden. (Fama 1970; Brenner 1979.)

### *Heikot ehdot*

Heikkojen ehtojen mukainen markkinatehokkuus koskee mennyttä hintainformaatiota. Sen mukaan nykyiset markkinahinnat sisältävät jo kaiken menneen hintoihin liittyvän informaation, eikä ylimääräisiin voittoihin ole mahdollista päästä yrittämällä ennustaa tulevaa hintakehitystä menneiden hinta-aikasarjojen perusteella (Fama 1970). Markkinoilla voi käytännössä olla havaittavissa erilaisia anomaliaita, jotka puhuvat tehokkaiden markkinoiden hypoteesia vastaan. Markkinoiden tehokkuudessa ilmenevät ongelmat saattavat heijastua hinnoitteluvirheinä tai viivästyksinä rahoitushyödykkeen hintakehityksessä (Malkiel 2003). Tällöin saattaa olla mahdollista löytää menestyksekkäs sijoitusstrategia, joka käyttää hyväkseen mennyttä hintainformaatiota tai kaupankäynnin suuruutta tulevia tuottoja ennustettaessa. Tätä kutsutaan myös tekniseksi analyysiksi.

Monet sijoittajat uskovat, että on mahdollista löytää hinnoitteluvirheitä, samankaltaisuuksia ja muita tuottokuvioita menneistä hintasarjoista. Tekninen analyysi käsittää lukuisan määrän erilaisia menetelmiä joilla näitä tehottomuuksia yritetään löytää. Käytännössä on huomattu, että on hyvin vaikeaa muodostaa voitokkaita sijoitusstrategioita menneen hintainformaation perusteella, mikä puhuu vahvasti heikkojen ehtojen mukaisen tehokkuuden toteutumisen puolesta.

### *Keskivahvat ehdot*

Keskivahvat ehdot täyttävä markkinatehokkuus käsittää kaiken julkisesti saatavilla olevan informaation, mikä käsittää myös heikkojen ehtojen mukaisen markkinatehokkuuden. Julkista informaatiota on kaikki, mikä vaikuttaa rahoitushyödykkeen hintaan ja mikä on kaikkien saatavilla, tätä on esimerkiksi yhtiöiden tilinpäätökset tai makrotaloudelliset uutiset. Keskivahvojen ehtojen oletus on voimakkaampi, kuin heikkojen ehtojen tapauksessa, mutta silti systemaattisiin ylisuuriin voittoihin ei tulisi päästä tiedolla, mikä on kaikkien tiedossa.

Uuden informaation saapuessa tämän pitäisi välittömästi siirtyä rahoitushyödykkeen hintaan, jos keskivahvat ehdot ovat voimassa. Keskivahvojen ehtojen mukainen analyysi on voimassa myös tässä tutkielmassa, sillä uuden informaation tuleminen markkinoille muodostaa lähtökohdan analyysille informaation nopeasta siirtymisestä optioiden hintoihin tai implisiittiseen volatilitettiin. Testejä, joilla tutkitaan julkisen uuden informaation siirtymistä hintoihin, kutsutaan myös tapahtumien tutkimuksiksi (event studies). Tämä on nykyisin yleinen käsite keskivahvojen ehtojen mukaiselle tutkimukselle. Ensimmäisen tällaisen tutkimuksen suorittivat Fama, Fisher, Jensen ja Roll (1969) ja löysivät vahvat todisteet keskivahvojen markkinaehtojen puolesta. Faman (1970; 1991) mukaan suurin osa tutkimuksista tukee keskivahvojen ehtojen mukaista markkinatehokkuutta.

### *Vahvat ehdot*

Vahvat ehdot täyttävän markkinatehokkuuden tapauksessa nykyinen markkinahinta sisältää kaiken informaation, julkisen ja yksityisen, eli keskivahvojen ehtojen lisäksi vahvat ehdot sisältävät myös kaiken sisäpiiritiedon (Fama 1970). Kukaan ei pysty tällöin systemaattisiin ylisuuriin voittoihin markkinoilla, mikä tarkoittaa, ettei edes esimerkiksi yrityksen johto, joka on juuri tehnyt merkittävän osakekurssiin vaikuttavan päätöksen, pystyisi hyötymään tästä tiedosta. Näin siksi, koska osakekurssi sisältäisi välittömästi tämän tiedon päätöksen syntymishetken jälkeen. Kyseessä on siis erittäin ehdoton oletus markkinatehokkuudesta

Vahvojen ehtojen mukainen markkinatehokkuus ei selvästikään ole realistinen oletus todellisilla markkinoilla. Vahvojen ehtojen idea on toimia lähinnä vertailukohtana arvioille, kuinka merkitsevää markkinatehokkuudesta poikkeaminen on. Yllätyksettömästi empiirisissä testeissä ei ole löydetty juurikaan tukea vahvojen ehtojen mukaiselle markkinatehokkuudelle. Kuitenkin esimerkiksi Rozeff ja Zaman (1988) toteavat, että kun kaupankäyntikustannukset otetaan huomioon, voitot sisäpiiritiedolla kaupankäynnistä

eivät ole kovinkaan suuret; jopa taloudellisesti melko merkityksettömät riippuen kaupankäyntikustannusten suuruudesta.

## 2.2. Tehokkaiden markkinoiden kritiikki

Tehokkaiden markkinoiden hypoteesi on laajasti hyväksytty, sekä on saavuttanut laajan konsensuksen sen toimivuuden puolesta monilla eri markkinoilla monien eri tutkijoiden toimesta (Jensen 1978). Kuitenkin markkinoilla on havaittavissa erilaisia anomalioita, tai toistuvia kuvioita, jotka puhuvat markkinatehokkuutta vastaan. Malkielin (2003) mukaan tunnettuja aikaisemmassa tutkimuksessa havaittuja anomalioita ovat muuan muassa tammikuuilmiö, viikonpäivien erilaiset toistuvat tuottokuviot, erilaiset markkinailmiöt sekä monet muut anomaliat. On kuitenkin huomattu, että kun anomalia tulee yleiseen tietouteen, se yleensä häviää eikä ylimääräisten voittojen hankkiminen sitä hyödyntämällä ole enää mahdollista. Anomaliat voivat johtua useista eri syistä, joista useimmin mainittuja ovat markkinoiden psykologiset tekijät, informaatiokustannukset ja määrittelyvirheet tehokkuuden testauksessa.

Varsinaisesti merkittävin kritiikki tehokkaiden markkinoiden hypoteesia kohtaan tuli Grossmanin ja Stiglitzin (1980) taholta, jotka esittivät että tehokkaat markkinat ovat mahdottomat, koska informaatio ei ole ilmaista. Jos markkinat sisältäisivät täydellisesti kaiken informaation sen silti ollessa maksullista, sijoittajat eivät saisi kompensatiota keräämälleen informaatiolle. Tällöin kaupankäynnille ei olisi juurikaan syytä jolloin markkinat periaatteessa lakkaisivat olemasta. Markkinoiden anomaliat voidaan kääntää voittomahdollisuudeksi; se kannustaa keräämään informaatiota joka silloin luo mahdollisuuden suuremmille tuotoille. Vaikka suurilla ja likvideillä markkinoilla informaatiokustannukset ovat vain pieni osa ylisuurista tuotoista, ei voida sanoa kuinka merkitsevää tämä on. Grossmanin ja Stiglitzin (1980) mukaan ylisuuria tuottoja täytyy esiintyä, jos informaatio on maksullista. Täydellisesti informoidut tehokkaat markkinat eivät siis ole mahdolliset, koska todellisuudessa informaation hankinnasta aiheutuu kustannuksia.

Anomalioita on löydetty myös optiomarkkinoilla. Tehokkaiden markkinoiden hypoteesi on helppoa laajentaa optioihin, joilla pätee samat oletukset tehokkailla markkinoilla samalla tavalla kuin esimerkiksi kohde-etuudella. Varhaisessa tutkimuksessa Chiras ja Manaster (1978) havaitsivat, että optioiden implisiittinen volatiliteetti selittää odotettua osakkeen volatiliteettia paremmin kuin historiallisesta tuottosarjasta laskettu volatiliteetti. Kaupankäyntistrategia, joka hyödyntää optioiden hinnasta laskettua implisiittistä volatiliteettia, pystyy tuottamaan suurempia tuottoja kuin tehokkaasti toimivat markkinat

edellyttäisivät. Tämä viittaa siihen, että optiomarkkinat (CBOE) eivät toimi tehokkaasti. Jos markkinat ovat tehokkaat ja optioiden hinnoittelumalli oikein, tulisi optioiden implisiittisen volatilitietin olla paras arvio todellisesta volatilitietistä option jäljellä olevana juoksuaikana. Implisiittisen volatilitietin tulisi heijastaa välittömästi kaikki julkinen saatavilla oleva informaatio. Optioiden tapauksessa kuitenkin toteutushinnalla, sekä sen ja kohde-etuuden välisellä erolla on selvästi merkitystä kuinka hyvin implisiittinen volatilitietti toimii tehokkaiden markkinoiden oletusten mukaisesti (ks. esim. Poon & Granger 2003; Ederington & Guan 2005).

### 3. OPTIOMALLIT JA VOLATILITEETTI

Kappaleessa käydään läpi optioiden hinnoittelun keskeinen teoria, joka on tarpeellinen tutkimuksessa käytetyn implisiittisen volatiliteetin käytön selventämisessä. Optioteoriassa Blackin ja Scholesin (1973) ja myös Mertonin (1973) kehittämä teoria optioiden hinnoittelusta on erityisen ratkaisevassa roolissa, sillä teorian pohjalta kehitetyn hinnoittelumallin – myöhemmin myös muiden variaatioiden – antamasta option hinnasta arvioidaan tai lasketaan implisiittinen volatiliteetti. Tämä hinnoittelumalli ja sen oletukset toimivat myös perustana tutkielman hypoteeseille  $H_1$  ja  $H_2$ . Tämän vuoksi mallin teoreettinen viitekehys, sekä oletukset mallin taustalla ovat varsin keskeisiä tässä tutkielmassa, kuin myös tarpeelliset modifikaatiot oletuksissa, tai teoriassa valuuttaoptioiden aihepiirin mukaisesti.

Markkinatohokkuuden määritelmien yhteydessä tuli esille, että kohde-etuuden hinta vaihtelee jatkuvasti ajan mukana uuden informaation saapuessa, jonka katsotaan olevan luonteeltaan ennakoimatonta ja jatkuvaa. Tämä saa esimerkiksi osakkeen hinnan käyttäytymään ennalta arvaamattomasti, eli satunnaisesti. Muuttujan, joka käyttäytyy jatkuvassa ajassa satunnaisesti, sanotaan muuttuvan stokastisen prosessin mukaisesti (Hull 2006: 263). Tämä oletus on voimassa Blackin ja Scholesin (1973) kehittämässä optionhinnoittelumallissa, jossa osakkeen hinnan oletetaan seuraavan erityistä stokastista prosessia. Jos muuttujan tiedetään muuttuvan ennalta, täytyy volatiliteetissa huomioida deterministiset ominaisuudet. Tämä on merkittävä ominaisuus tutkielman aihepiirissä.

#### 3.1. Stokastisuuden oletus

Optioteoriassa osakkeen hinnan oletetaan muodostuvan stokastisesti, eli ennakoimattomasti. Geometrinen Brownin liike on erityinen stokastisen prosessin muoto, jota osakkeen hinnanmuodostuksen oletetaan yleensä seuraavan. Se on vain yksi ehdotus osakkeen hinnan käyttäytymiselle, mutta silti se on perustavanlaatuinen osa nykyistä optioteoriaa. Geometrinen Brownin liike muodostuu kahdesta osasta, odotetusta tuotosta  $\mu$  ja volatiliteetista  $\sigma$ , jotka ovat keskeiset muuttujat tämän prosessin mukaisessa osakkeen hinnan vaihtelun teoriassa (ks. esim. Hull 2006: 269–271). Muuttuja  $\mu$  on jatkuvan laskun periaatteella laskettu sijoittajan odotettu vuosituotto. Yleensä sijoittajat vaativat kompensatiota kohtaamalleen riskille, joten tällöin vaaditaan myös korkeampaa tuottoa, jos riski on korkea. Tästä seuraa, että muuttujan  $\mu$  pitäisi riippua osakkeen odotetun

tuoton riskistä, eli siitä riskin osasta, jota sijoittaja ei voi hajauttaa pois. Jos osakkeen volatilitteetti olisi aina nolla, silloin osakkeen hinnanmuutos  $\Delta S$  on muotoa

$$(1) \quad \Delta S = \mu S \Delta t.$$

Kun  $\Delta t \rightarrow 0$ , eli aikaväli tulee hyvin pieneksi, niin hinnanmuutos on

$$(2) \quad \frac{dS}{S} = \mu dt.$$

Osakkeen hinta aikajakson  $T$  lopussa saadaan integroimalla aikajaksojen 0 ja  $T$  välillä, jolloin

$$(3) \quad S_T = S_0 e^{\mu T}.$$

Muuttujat  $S_T$  ja  $S_0$  ovat osakkeen hinnat ajanhetkillä  $T$  ja 0. Kaava (3) ilmaisee, kuinka osakkeen hinta nousee odotetun tuoton  $\mu$  mukaisesti aikayksikköä kohden. Kuitenkin käytännössä osakkeen hinta muuttuu jatkuvasti riippuen eri tekijöistä, joten osakkeen hintaan kuuluu myös volatilitteetin oletus. Sopiva oletus tähän on, että aikavälillä  $\Delta t$  osakkeen tuoton prosenttimääräinen vaihtelu on sama riippumatta osakkeen hinnasta. Tämä tarkoittaa, että sijoittajan kohtaama epävarmuus tuotosta on sama kaikilla osakkeen hinnoilla. Edelleen tuoton keskihajonta pienellä aikavälillä  $\Delta t$  pitäisi olla tällöin suhteellinen osakkeen hintaan, jolloin saadaan

$$(4) \quad \frac{dS}{S} = \mu dt + \sigma dz,$$

missä  $dz$  on Wienerin prosessi. Kaava (4) ilmaisee osakkeen hinnan muutoksen suhteessa osakkeen nykyiseen hintaan. Se on myös kaikkein laajimmin käytetty oletus osakkeen hinnan käyttäytymiselle, toisin sanoen se on geometrinen Brownin liike. Tämän prosessin oletuksen mukaan sijoittajan tuotto pienellä aikavälillä  $\Delta t$  on normaalisti jakautunut, lisäksi kahden erillisen aikavälin tuotot ovat toisistaan riippumattomia. Jos esimerkiksi  $S$  on osakkeen hinta tietyllä hetkellä, sekä  $\Delta S$  osakkeen hinnan muutos seuraavalla aikaperiodilla, niin kaavan (4) diskreetti muoto voidaan ilmaista

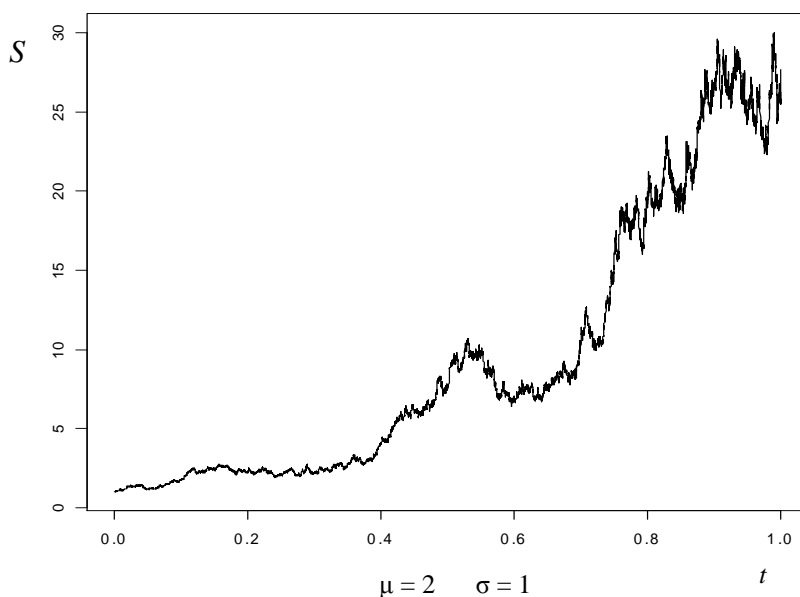
$$(5) \quad \frac{\Delta S}{S} = \mu \Delta t + \sigma \Delta z,$$

$$\Delta z = \varepsilon \sqrt{\Delta t}.$$

Muutos  $\Delta z$  on todennäköisyysjakauman mukainen muutos pienellä aikaperiodilla  $\Delta t$ ; parametrilla  $\varepsilon$  on standardisoitu normaalijakauma  $\Phi(0,1)$  eli odotusarvo on nolla. Osakkeen hinnan muutos noudattaa siis millä tahansa aikavälillä normaalijakaumaa keskiarvolla  $\mu \Delta t$  ja keskihajonnalla  $\sigma \sqrt{\Delta t}$ . Toisin sanoen

$$(6) \quad \frac{\Delta S}{S} \sim \Phi(\mu \Delta t, \sigma \sqrt{\Delta t}).$$

Wienerin prosessin  $dz$  ominaisuuksien mukaan mahdollisia osakkeen polkuja on teoriassa ääretön määrä, myös polun pituus on rajaton. Kaavan (5) mukaan osakkeen tuotto aikavälillä  $\Delta t$  koostuu odotetun tuoton komponentista  $\mu \Delta t$  (drift rate) ja stokastisesta komponentista  $\sigma \Delta z$  (variance rate). Edellinen kertoo keskiarvon muutoksen ja jälkimmäinen varianssin muutoksen aikayksikköä kohden, jolloin tuloksena on edellä esitetyn kaltainen stokastinen prosessi osakkeen hinnalle, eli geometrinen Brownin liike.



**Kuvio 1.** Geometristä Brownin liikettä noudattava simuloitu hinnan vaihtelu.

Kuviossa 1 esitetään simuloitu esimerkki geometrisen Brownin liikkeen mukaisesta osakkeen hintavaihtelusta. Samaan tulokseen päästään myös Coxin, Rossin ja Rubinsteinin (1979) kehittämän binomimallin pohjalta, jossa esimerkiksi osakkeen hinnalle on aina kaksi mahdollista suuntaa, ylös tai alas. Nämä vaihtoehdot jakaantuvat edelleen uudestaan samalla tavoin; jos näitä portaita muodostetaan erittäin suuri määrä ja todennäköisyydet kumpaankin suuntaan liikkumiselle ovat aina samat, lähenee tällainen diskreetti prosessi edellä kuvatun kaltaista stokastista prosessia  $dz$  (ks. esim. Cox & Rubinstein 1985: 168–170). Binomimalli on myös tunnettu ja laajasti käytetty numeerinen menetelmä optioiden hinnoittelussa. Siitä on hyötyä erityisesti optioiden hinnoittelun teoreettisen perustan ymmärtämisessä, kuin myös optioteoriassa tärkeän riskineutraalisuuden määrittelyssä.

Itön lause on tärkeä avustava käsite, kun siirretään geometrisen Brownin liikkeen oletukset johdannaisten hinnoitteluun. Sen avulla voidaan laskea muuttujan funktion stokastinen prosessi muuttujan itsensä seuraamasta stokastisesta prosessista (Hull 2006: 276). Tämä tarkoittaa, että esimerkiksi edellä kuvattu stokastinen komponentti  $dz$  eli Wienerin prosessi osakkeen hinnalle  $S$  on sama kuin osakkeen hinnan funktiolle, kuten esimerkiksi optioiden hinnoittelumallille. Molemmille pätee sama epävarmuuden oletus. Tämä liittyy stokastisessa laskennassa niin sanottuun ketjusääntöön, eli kuinka stokastiset muuttujat ovat suhteessa toisiinsa (Neftci 2000: 231). Itön lause helpottaa stokastisen mallinnuksen käsittelyä ja johtaa täsmälliseen laskentatapaan. Itön lauseeseen palaataan tarkemmin Blackin ja Scholesin (1973) differentiaaliyhtälön johtamisen yhteydessä.

Geometrista Brownin liikettä noudattavan osakkeen tuoton oletetaan olevan lyhyellä aikavälillä normaalisti jakautunut. Tällöin osakkeen hinta  $S_T$  on tulevaisuuden ajanhetkellä  $T$  lognormaalisti jakautunut. Lognormaalin jakauman ominaisuuksien perusteella tiedetään, että tällaisen jakauman omaava muuttuja voi saada arvoja nolasta teoriassa äärettömään (ks. esim. Cox & Ross 1985: 201–204). Tämä voidaan olettaa osakkeelle kuten myös muille vastaaville kohde-etuuksille, mutta erittäin suuret arvot ovat luonnollisesti epätodennäköisiä. Lognormaalisuus tarkoittaa, että jakauma on vinoutunut niin, että sillä on eri mediaani, keskiarvo ja keskiluku. Jos  $S_T$  on lognormaalisti jakautunut, tällöin osakkeen hinnan luonnollinen logaritmi on normaalisti jakautunut, eli  $\ln S_T$  on normaalisti jakautunut nykyhetken ja aikahetken  $T$  välillä. Koska muuttujat  $\mu$  ja  $\sigma$  oletetaan vakioiksi geometrisessa Brownin liikkeessä, voidaan Itön lauseella todistaa, että  $\ln$

$S_T$  noudattaa yleistä Wienerin prosessia (Cuthbertson & Nitzsche 2001: 448; Hull 2006: 275, 282). Toisin sanoen,

$$(7) \quad d \ln S = \left( \mu - \frac{\sigma^2}{2} \right) dt + \sigma dz.$$

$\ln S_T$  muuttuu vakioisesti nopeudella  $\mu - \sigma^2/2$  ja varianssi nopeudella  $\sigma^2$ . Tällöin termin  $\ln S_T$  muutos on normaalisti jakautunut aikavälillä 0 ja  $T$ , jolla on keskiarvo  $(\mu - \sigma^2/2)$  ja varianssi  $\sigma^2 T$ . Tämä tarkoittaa, että

$$(8) \quad \ln S_T \sim \Phi \left[ \ln S_0 + \left( \mu - \frac{\sigma^2}{2} \right) T, \sigma \sqrt{T} \right].$$

Kaavassa (8)  $\Phi(k,s)$  on normaalijakauma keskiarvolla  $k$  ja keskihajonnalla  $s$ . Muuttujalla on lognormaalijakauma, jos muuttujan luonnollinen logaritmi on normaalisti jakautunut. Kaava (8) näyttää, että  $\ln S_T$  on normaalisti jakautunut niin, että  $S_T$  on lognormaalisti jakautunut, lisäksi sillä on keskiarvo  $\ln S_0 + (\mu - \sigma^2/2)T$  ja keskihajonta  $\sigma \sqrt{\Delta t}$ . Kaavasta (8) ja lognormaalin jakauman ominaisuuksista tiedetään, että osakkeen odotettu arvo  $E(S_T)$  ajanhetkellä  $T$  on

$$(9) \quad E(S_T) = S_0 e^{\mu T}.$$

Lognormaalijakauma osakkeen hinnalle ajanhetkellä  $T$  määrittää todennäköisen arvon tulevalle osakkeen hinnalle. Geometrisen Brownin liikkeen oletuksesta seuraa, että jatkuvalla laskulla laskettu osakkeen tuotto (9) aikaperiodilla on siis normaalisti jakautunut.

### 3.2. Riskineutraalisuuden periaate

Optioiden hinnoittelussa tärkein yksittäinen oletus on riskineutraalisuuden periaate. Riskineutraalissa maailmassa kaikki sijoittajat ovat riskin suhteen samanlaisia, eivätkä he vaadi tällöin kohtaamalleen riskille kompensatiota. Odotettu tuotto kaikista tuotto-papereista on sama kuin riskitön korko. Tämä voidaan ilmaista kaavalla (10), jossa esi-

merkiksi osakkeen odotettu tuotto  $E(S_T)$  on sama kuin jatkuvalla laskulla laskettu riskitön korko. (Hull 2006: 245, 293.)

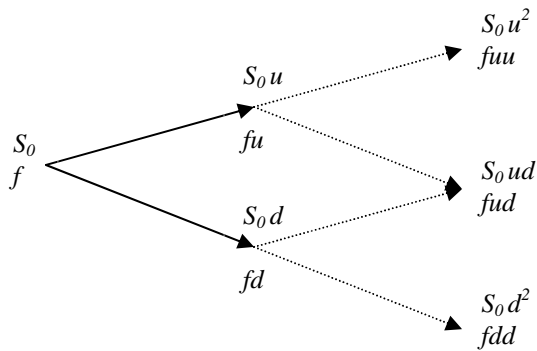
$$(10) \quad E(S_T) = S_0 e^{rT}.$$

On luonnollista olettaa, että kun todennäköisyys osakkeen hinnan nousemiselle kasvaa, tällöin myös osto-option arvo kasvaa tai vastaavasti myyntioption, jos todennäköisyys osakkeen hinnan laskemiselle kasvaa. Näin ei kuitenkaan ole, koska option arvo laskeaan sen alla olevan osakkeen pohjalta. Todennäköisyydet ylös- tai alaspäin liikkumiselle sisältyvät jo osakkeen hintaan, eikä niitä näin ollen tarvitse ottaa uudelleen huomioon. Riskineutraalisuus optioiden hinnoittelussa voidaan havainnollistaa yksinkertaisella binomimallilla (11). Osakkeen odotettu tuotto on yksinkertaisesti todennäköisyyksillä painotettu keskiarvo mahdollisista hintatulemisista, joten riskineutraalissa maailmassa tämän täytyy olla sama kuin kaavan (10) odotettu tuotto. Vaikka binomimallin johtamisessa ei tarvitse tehdä oletuksia todennäköisyyksistä osakkeen hinnan ylös- tai alaspäin liikkumiselle, niin muuttuja  $p$  voidaan kuitenkin sellaiseksi tulkita. (Cox & Ross 1985: 173–174.)

$$(11) \quad f = e^{-rT} [pf_u + (1-p)f_d],$$

$$p = \frac{e^{rT} - d}{u - d}.$$

Mallin (11) muuttujista  $f$  on option hinta,  $u$  todennäköisyys osakkeen hinnan ylöspäin liikkeelle, sekä  $d$  vastaavasti liikkeelle alaspäin. Kaavassa (10) näytetään, että oletuksena on riskineutraali maailma, kun asetetaan todennäköisyys nousulle  $p$ . Binomimalli havainnollistaa, että riskineutraalissa maailmassa option nykyinen arvo on sen tuleva kassavirta diskontattuna riskittömällä korolla. Tämä on esimerkki tärkeästä riskineutraalisuuden periaatteesta optioiden hinnoittelussa, jonka mukaan maailman voidaan olettaa olevan riskineutraali. Kuviossa 2 tämä on havainnollistettu kaksiportaisen binomipuun avulla, jossa esitetään osakkeen ja johdannaisen hinnat yhden ja kahden aikaperiodin jälkeen (ks. esim. Cox & Ross 1985: 171–178). Kuten kaavassa (11) ja kuviossa 2 näytetään, voidaan option hinta laskea riskineutraalissa maailmassa todennäköisyyksien mukaan riskittömällä korolla diskontattuna seuraavalta periodilta. (Cuthbertson & Nitzsche 2001: 199–200.)



**Kuvio 2.** Osakkeiden ja johdannaisten hintojen kaksiportainen binomipuu.

Riskineutraali maailma poikkeaa reaali maailmasta todennäköisyyden  $p$  osalta, sillä reaali maailmassa odotettu tuotto  $\mu$  poikkeaa riskineutraalin maailman odotetusta tuotosta  $r$  eli riskittömästä korosta. Reaali maailman odotettua tuottoa on vaikeaa määrittää tarkasti. Koska reaali maailmassa optio on riskisempi kuin osake, on tällöin myös kassavirtaa laskettaessa käytettävä diskonttokorko suurempi. Jos option arvoa ei tiedetä, ei myöskään tiedetä kuinka suuri tämän käytettävän diskonttokoron tulisi olla. Tästä syystä riskineutraalisuuden määritelmä on johdonmukainen arvostettaessa rahoitusyödykkeitä, sillä kaikkien odotettu tuotto on riskitön korko. Riskineutraalisuuden oletus on voimassa oletuksena myös Black-Scholes optioiden hinnoittelumallissa. (Cox ym. 1979; Hull 2006: 246–247.)

### 3.3. Black-Scholes optioteoria

Blackin ja Scholesin (1973) kehittämä, sekä Mertonin (1973) laajentama perustavanlaatuisen optioiden hinnoitteluteoria on mullistanut johdannaismarkkinat 1970-luvulta alkaen (ks. Cuthbertson & Nitzsche 2001: 221). Se on ollut lähtökohtana optionhinnoittelun ja rahoitussuunnittelun kasvulle ja menestykselle viimeisten 30 vuoden aikana. Malli optioiden hinnoille saadaan Black-Scholes (tai Black-Scholes-Merton) differentiaaliyhtälöstä, joka johdetaan tässä kappaleessa. Arbitraasittomuuden oletus on keskeinen yhtälön johtamisessa, koska tällöin voidaan olettaa johdannaisposition ja osakeposition sisältävän portfolion tuoton olevan sama kuin riskitön korko  $r$ . Riskitön portfolio muodostaa lähtökohdan, joka johtaa myös Blackin ja Scholesin (1973) differentiaaliyhtälöön (esim. Neftci 2000: 276–279).

Riskitön portfolio voidaan muodostaa, koska osakkeen ja sen johdannaisen hintoihin vaikuttaa sama epävarmuuden lähde, eli osakkeen hinnan muutokset. Millä tahansa lyhyellä aikavälillä kummankin hinnat korreloivat täydellisesti, joten voitto tai tappio toisessa johtaa samansuuruiseen kompensoivaan voittoon tai tappioon toisessa portfolion instrumentissa. Näin portfolion kokonaisarvo tiedetään varmuudella lyhyen aikavälin lopussa. Black-Scholes differentiaaliyhtälön johtamisessa tarvittavat oletukset ovat seuraavat: (Hull 2006: 289–291.)

1. Osakkeen hinta noudattaa geometrista Brownin liikettä, missä odotettu tuotto  $\mu$  ja volatilitteetti  $\sigma$  ovat vakioita.
2. Lyhyeksi myynti on sallittua.
3. Transaktiokustannuksia ja veroja ei ole.
4. Johdannaisen voimassaoloaikana ei jaeta osinkoja.
5. Riskittömiä arbitraasin mahdollisuuksia ei ole.
6. Kaupankäynti on jatkuvaa.
7. Riskitön korko  $r$  on vakio ja lisäksi sama kaikille juoksuajoille.

Jotkin näistä oletuksista eivät ole ehdottomia, kuten  $\sigma$  ja  $r$ , jotka voidaan esittää ajan funktioina. Tällä on tärkeä merkitys uudemman optioteorian kannalta, kuten esimerkiksi tässä tutkielmassa myöhemmin käytettävässä deterministisessä volatilitteetin oletuksessa.

### 3.3.1. Black-Scholes differentiaaliyhtälö

Black-Scholes optioiden hinnoittelumallit voidaan johtaa kahdella eri tavalla. Ratkaistaan joko Black-Scholes differentiaaliyhtälö (esim. Black & Scholes 1973), tai käytetään riskineutraalisuuden periaatetta (esim. Cox & Ross 1976). Molemmat menetelmät johtavat käytännössä samaan lopputulokseen. Metodien yhteys voidaan osoittaa Girsanovin teoreemaa soveltamalla, jossa liikutaan todellisesta riskineutraaliin todennäköisyyteen riskin pysyessä samana (ks. esim. Neftci 2000: 358–363). Black-Scholes mallissa oletetaan kaavan (12) mukainen stokastinen prosessi eli geometrinen Brownin liike, joka esiteltiin jo aikaisemmin hieman eri muodossa kaavoissa (4) tai (5).

$$(12) \quad \Delta S = \mu S \Delta t + \sigma S \Delta z.$$

Itön lause on hyödyllinen todistettaessa, että johdannaisen hinta voidaan esittää sen alla olevan stokastisen muuttujan sekä ajan funktiona. Lauseen avulla voidaan johtaa Black-Scholes hinnoittelumallien pohjalla oleva differentiaaliyhtälö (esim. Cuthbertson & Nitzsche 2001: 454; Hull 2006: 291–292). Oletetaan, että  $f$  on johdannaisen hinta, joka on kirjoitettu kohde-etuudelle  $S$  ja on täten riippuvainen tästä muuttujasta. Tällöin  $f$  on muuttujan  $S$  ja ajan  $t$  funktio, jolloin voidaan esittää, että

$$(13) \quad \Delta f = \left( \frac{\partial f}{\partial S} \mu S + \frac{\partial f}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial S^2} \sigma^2 S^2 \right) \Delta t + \frac{\partial f}{\partial S} \sigma S \Delta z.$$

Kaavoissa (12) ja (13) parametrit  $\Delta S$  ja  $\Delta f$  ovat muuttujien  $S$  ja  $f$  muutokset pienellä aikaperiodilla  $\Delta t$ . Itön lauseen mukaan stokastinen komponentti eli Wienerin prosessi  $\Delta z$ , on sama kummallekin muuttujalle  $S$  ja  $f$ . Tällöin Black-Scholes oletusten mukaisesta muodostetusta portfoliosta, jossa on johdannaisia ja osakkeita, voidaan Wienerin prosessi eliminoida. Sopivassa portfoliossa on tällöin

–1 johdannainen

ja  $+\frac{\partial f}{\partial S}$  verran osaketta,

jolloin portfoliossa on yhden johdannaisen sisältävä lyhyt positio (myyty johdannainen) ja pitkä osakepositio (ostettu osake). Portfolion arvo  $\Pi$  voidaan esittää

$$(14) \quad \Pi = -f + \frac{\partial f}{\partial S} S,$$

jolloin muutos portfolion arvossa  $\Delta \Pi$  aikaperiodilla  $\Delta t$  saadaan taas muotoon

$$(15) \quad \Delta \Pi = -\Delta f + \frac{\partial f}{\partial S} \Delta S.$$

Sijoittamalla kaavojen (12) ja (13) muuttujat  $\Delta S$  ja  $\Delta f$  kaavaan (15), voidaan esittää, että

$$(16) \quad \Delta \Pi = \left( -\frac{\partial f}{\partial t} - \frac{1}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial S^2} \sigma^2 S^2 \right) \Delta t.$$

Koska kaava (16) ei sisällä Wienerin prosessia, täytyy portfolion olla riskitön aikaperiodilla  $\Delta t$ . Edellä lueteltujen Black-Scholes oletusten mukaan, portfolion tuoton täytyy olla täsmälleen sama kuin lyhyen juoksuajan riskittömällä korkopapereilla. Jos portfolion tuotto olisi enemmän, arbitraasiin perustuvalla kaupalla voisi tehdä riskitöntä voittoa lainaamalla rahaa portfolion oston, koska lainan korko olisi pienempi kuin portfolion tuotto. Jos portfolio taas tuottaisi vähemmän kuin riskitön tuotto, voitaisiin portfolio myydä lyhyeksi ja ostaa riskittömiä korkopapereita. Koska portfolio on riskitön, on portfolion muutos

$$(17) \quad \Delta\Pi = r\Pi\Delta t,$$

missä  $r$  on riskitön korko. Sijoittamalla edelleen kaavat (14) ja (16) kaavaan (17), saadaan

$$(18) \quad \left( \frac{\partial f}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial S^2} \sigma^2 S^2 \right) \Delta t = r \left( f - \frac{\partial f}{\partial S} S \right) \Delta t,$$

jota voidaan yksinkertaistaa muotoon

$$(19) \quad \frac{\partial f}{\partial t} + rS \frac{\partial f}{\partial S} + \frac{1}{2} \sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 f}{\partial S^2} = rf.$$

Kaava (19) on Black-Scholes differentiaaliyhtälö. Sitä voidaan soveltaa moniin eri ratkaisuihin, toisin sanoen kaikkiin johdannaisiin, jotka voidaan määrittää kohde-etuuden  $S$  funktiona (Cuthbertson & Nitzsche 2001: 454). Differentiaaliyhtälön ratkaisu tietylle johdannaiselle riippuu sille asetetuista rajoitteista. Nämä rajaehdot määrittävät johdannaisen arvon muuttujien  $S$  ja  $t$  mahdollisten arvojen rajoilla. Jos  $K$  on option toteutus-hinta, voidaan Eurooppalaisen osto-option tapauksessa tärkein rajaehto ilmaista

$$f = \text{maksimi}(S - K, 0) \text{ kun } t = T.$$

Eurooppalaisen myyntioption tapauksessa rajaehto on

$$f = \text{maksimi}(K - S, 0) \text{ kun } t = T.$$

Eräs tärkeä huomio Black-Scholes differentiaaliyhtälöstä on syytä mainita. Se ei ole pysyvästi riskitön; se on teoriassa riskitön vain äärettömän lyhyen aikaa. Jos portfolio halutaan pitää riskittömänä, sitä täytyy painottaa jatkuvasti uudelleen johdannaisten ja osakkeiden suhteellisia määriä muuttamalla. (Hull 2006: 292.)

### 3.3.2. Black-Scholes optiohinnoittelumallit

Black-Scholes hinnoittelumalleihin voidaan päätyä joko ratkaisemalla differentiaaliyhtälö (19) sopivien rajoitteiden mukaan, tai käyttämällä riskineutraalisuuden periaatetta (esim. Cox & Ross 1976). Blackin ja Scholesin (1973) hinnoittelumallit Eurooppalaisille osinkoa maksamattomille osto- ja myyntioptioille  $c$  ja  $p$  ovat

$$(20) \quad c = S_0 N(d_1) - Ke^{-rT} N(d_2) \text{ ja}$$

$$(21) \quad p = Ke^{-rT} N(-d_2) - S_0 N(-d_1), \text{ missä}$$

$$d_1 = \frac{\ln(S_0/K) + (r + \sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}}$$

$$d_2 = \frac{\ln(S_0/K) + (r - \sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}} = d_1 - \sigma\sqrt{T}.$$

Yllä olevissa kaavoissa  $S_0$  on kohde-etuuden tämän hetken hinta,  $K$  on option toteutus-hinta,  $r$  riskitön tuotto,  $\sigma$  volatilitteetti,  $\ln$  luonnollinen logaritmi ja  $T$  on option juoksuai-ka. Funktio  $N(x)$  on todennäköisyysjakauman kertymäfunktio standardisoidulle normaali-jakaumalle. Toisin sanoen se on todennäköisyys sille, että standardisoidun normaalija-kauman  $\Phi(0,1)$  mukaisesti jakautunut muuttuja on vähemmän kuin  $x$ .

Black-Scholes oletusten mukaan yhtälön (19) kaikki muuttujat ovat täysin vapaita kai-kista sijoittajien riskipreferensseistä. Tämä johti Coxin ja Rossin (1976) tärkeään mene-telmään rahoitushyödykkeiden hinnoittelussa, eli riskineutraalisuuden periaatteeseen. Periaate menetelmän takana on riskineutraali maailma, jonka mukaan saadut optioiden hinnat ovat oikeita myös reaali maailmassa. Coxin ja Rossin (1976) mukaan näin voi-daan olettaa, koska riskipreferenssit eivät vaikuta Black-Scholes malliin. Olettamalla maailman olevan riskineutraali, yksinkertaistaa se paljon johdannaisten hinnoittelua. Jos esimerkiksi Eurooppalaisen osto-option odotettu arvo  $\hat{E}$  riskineutraalissa maailmassa on

$$\hat{E} [\text{maksimi}(S_T - K, 0)],$$

niin option hinta  $c$  saadaan diskonttaamalla tämä odotettu arvo riskittömällä korolla, eli tällöin option hinta on

$$(22) \quad c = e^{-rT} \hat{E} [\text{maksimi}(S_T - K, 0)].$$

Black-Scholes mallin oletuksena olevan stokastisen prosessin mukaan osakkeen hinta  $S_T$  on lognormaalisti jakautunut, lisäksi odotettu arvo  $\hat{E}(S_T)$  riskineutraalissa maailmassa on  $S_0 e^{rT}$ , kuten riskineutraalisuuden määritelmässä todettiin. Kaavan (8) mukaan  $\ln S_T$  on normaalisti jakautunut keskihajonnalla  $\sigma\sqrt{\Delta t}$ . Kaava (22) johtaa samaan lopputulokseen kuin kaavassa (20), kun tähän sijoitetaan Coxin ja Rossin (1976) saama tulos riskineutraalista lähestymistavasta (vrt. Neftci 2000: 297). Todistusta (esim. Cox & Ross 1976; Neftci 2000: 353–358) ei tässä käydä läpi tarkemmin, mutta termien selventämiseksi kaava (20) voidaan kirjoittaa myös

$$(23) \quad c = e^{-rT} [S_0 N(d_1) e^{rT} - KN(d_2)]$$

$N(d_2)$  on todennäköisyys option toteuttamiselle riskineutraalissa maailmassa niin, että  $KN(d_2)$  on toteutushinta kerrottuna todennäköisyydellä että toteutushinta maksetaan. Yhtälön osa  $S_0 N(d_1) e^{rT}$  on odotettu arvo muuttujalle joka vastaa arvoa  $S_T$  silloin, jos toteutuu  $S_T > K$ . Black-Scholes hinnoittelumalli (20) antaa saman hinnan myös Amerikkalaiselle osto-optiolla, jos osinkoja ei ole. Amerikkalaiselle myyntioptiolla ei ole esitetty eksaktia hinnoittelumallia. Hinnoittelumallit voidaan laajentaa käsittämään myös osingot Eurooppalaisten optioiden tapauksessa. Tämä tarkoittaa, että osakkeen hinnasta vähennetään tulevien osinkojen diskontattu nykyarvo. Amerikkalaisten optioiden tapauksessa osinkoja hankalampaa käsitellä, johtuen mahdollisuudesta toteuttaa optio ennen juoksuajan päättymistä. Hinnoittelumalleihin palataan vielä valuuttaoptioiden hinnoittelun yhteydessä. (Cox & Ross 1976; Hull 2006: 295–296, 301–302.)

### 3.4. Volatiliteetti

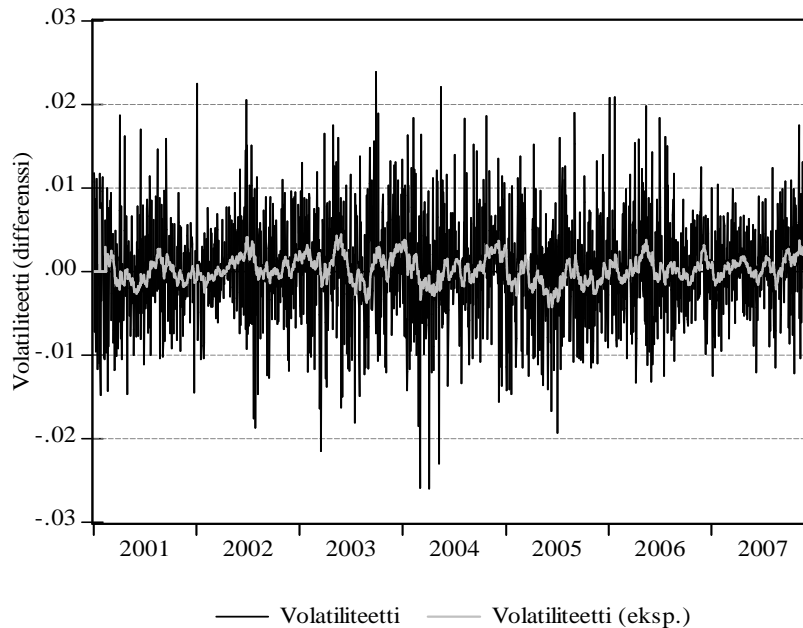
Rahoitusteoriassa volatiliteetti  $\sigma$  on mittaa epävarmuutta tuotoista. Esimerkiksi edellä käsitellyssä Black-Scholes mallissa se on erittäin keskeinen tekijä, sekä myös ainoa option hintaan vaikuttavista tekijöistä, jota ei voi suoraan havaita. Black-Scholes optio teoriassa käytetyn stokastisen prosessin määritelmien mukaisesti volatiliteetti voidaan määrittellä tuoton keskihajonnaksi vuoden aikana, jos tuotto lasketaan jatkuvan laskun periaatteella. Kaavasta (6) nähtiin normaalisti jakautuneen tuoton keskihajonnan, eli volatiliteetin kasvavan suhteellisesti ajan neliöjuuressa. Toisin sanoen epävarmuus kasvaa suhteellisesti jokaista seuraavaa aikayksikköä kohden, koska todennäköisyys hinnan liikkeelle kauas lähtötasosta nousee.

Koska volatiliteetti on teoreettinen käsite, joka voidaan laskea erilaisilla lähestymistavoilla, johtaa tämä myös erilaisiin volatiliteetin käsitteisiin. Kuitenkin perusmääritelmä pysyy samana: Se mittaa tuottojen hajontaa. Edellä volatiliteetin määritelmä perustui kohde-etuuden hinnan stokastiseen prosessiin, niin sanottuihin diffuusiomalleihin, jollaisen eräs tapaus on myös Blackin ja Scholesin (1973) stokastisen oletuksen differentiaaliyhtälö. Black-Scholes mallissa volatiliteetin oletettiin olevan vakio option juoksuajalla. Tämä ei kuitenkaan käytännössä pidä paikkaansa, sillä volatiliteetin on yleisesti todettu vaihtelevan riippuen option hinnan ja toteutushinnan suhteesta, vaikka juoksuajaka olisikin sama. Tämä on muun muassa johtanut useiden erilaisten hinnoittelumallien kehittämiseen. (Rubinstein 1985; Poon & Granger 2003: 485–487.)

Nykyisin luotettavampi lähestymistapa volatiliteetin määritelmään johdannaisten hinnoittelussa käsittää stokastisen volatiliteetin oletuksen. Stokastisia prosesseja on nykyisin useita, kuitenkin myös näissä on omat ongelmansa (Neftci 2000: 265–272). Yleisemmin Black-Scholes mallia on muutettu niin, että taustalla oleva stokastinen prosessi korvataan stokastisen volatiliteetin sisältävällä prosessilla. Tällaisia malleja on lukuisia, joista tunnettuja ovat esimerkiksi Hullin ja Whiten (1987) malli, sekä Hestonin (1993) malli jossa volatiliteetti korreloi kohde-etuuden hinnan kanssa.

Stokastista volatiliteettia voidaan havainnollistaa esimerkiksi tunnetulla GARCH (Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity) mallinnuksella, jonka variaatioita on useita. Tällöin puhutaan usein volatiliteetista, joka voi korreloida tekijöiden kanssa jotka vaikuttavat hintoihin tai olla korreloimatta. GARCH malleja käytetään erityisesti aikasarja-analyyseissä volatiliteetin mallintamiseen (esim. Engle 2001). Prosessi voidaan myös olettaa optioiden hinnoittelussa stokastiselle volatiliteetille (Duan 1995).

Yleisesti volatilitiitti voi olla joinakin aikakausina tai aikaperiodilla korkeammalla tai matalammalla kuin pitkän ajan keskiarvo. Ominaisuuksiltaan esimerkiksi GARCH volatilitiitti tapaa palautua pitkän ajan keskiarvoonsa (mean reverting). Kuviossa 3 on esimerkki pitkän aikavälin vaihtelevasta volatilitiitista, josta on selvästi nähtävissä, että volatilitiitin tasomuutokset kestävät eri ajan ja frekvenssi on vaihteleva.



**Kuvio 3.** Ajassa vaihteleva volatilitiitti ja sitä havainnollistava eksponentiaalinen muunnos.

### 3.4.1. Implisiittinen volatilitiitti

Implisiittinen volatilitiitti on option hinnasta laskettava volatilitiitin estimaatti, toisin sanoen markkinoiden arvio tulevasta volatilitiitista. Tämän vuoksi se on suora projektiio option hinnoitteluun käytetystä mallista, sekä sen taustalla olevista oletuksista. Toteutuneen volatilitiitin ja implisiittisen volatilitiitin ero on lähinnä markkinoiden odotuksissa, jotka sisältyvät implisiittiseen volatilitiittiin, mutta eivät toteutuneeseen volatilitiettiin. Siksi implisiittinen volatilitiitti ei välttämättä selitä hyvin todellista volatilitiittia. Esimerkiksi Black-Scholes mallia ei voida suoraan kääntää funktioksi niin, että implisiittinen volatilitiitti voidaan laskea suoraan. Se voidaan laskea erilaisilla arviointimenetelmillä, kuten yleisesti käytetyllä Newton-Raphson algoritmilla. Implisiittinen volatilitiitti on toisin sanoen volatilitiitti, jonka arvolla hinnoittelumalli antaa option hinnan markkinaodotusten mukaan. (Hull 2006: 300–301.)

Black-Scholes teorian mukaan implisiittisen volatilitteen pitäisi olla sama kaikille optioille, joilla on sama kohde-etuus ja toteutushinta. Näin ei kuitenkaan ole, sillä saman kohde-etuuden implisiittisten volatilitteettien on huomattu muodostavan käyrän, joka riippuu option toteutushinnasta, sekä sen ja kohde-etuuden hinnan suhteesta. Esimerkiksi Dumas, Fleming ja Whaley (1998: 2064) mukaan erot implisiittisissä volatiliteeteissa voivat johtua vaihtelevasta kohde-etuuden volatiliteetista, tai ettei kohde-etuuden hintajakauma ole lognormaali option juoksuajan päättyessä. Tämä on yhdenmukaista monissa tutkimuksissa havaitun niin sanotun Fisher Blackin ilmiön kanssa, jonka mukaan volatiliteetti laskee, kun osakkeiden hinnat nousevat ja päinvastoin.

Implisiittisten volatilitteettien muodostamat käyrät ovat yleensä erilaisia eri kohde-etuuksilla. Esimerkiksi valuuttaoptioilla implisiittinen jakauma, eli optioista saatu implisiittinen todennäköisyysjakauma, poikkeaa osakeoptioiden vastaavasta; valuuttaoptioihin palataan tarkemmin jäljempänä. Kuitenkin riippumatta kohde-etuudesta, Black-Scholes mallin antamat teoreettiset optioiden hinnat näyttäisivät poikkeavan todellisista hinnoista, eli optioiden hinnoista laskettu implisiittinen jakauma poikkeaa oletuksesta, jonka mukaan kohde-etuuden hinnat aikaperiodin lopussa ovat lognormaalisti jakautuneet.

Black-Scholes mallissa oletetaan että hinnat muuttuvat tasaisesti, eikä esimerkiksi suuria hyppäyksiä tapahdu, vaikka käytännössä suuremmatkin äkilliset hintamuutokset ovat melko tavallisia. Tämä näkyy implisiittisessä jakaumassa, koska siihen selvästi sisältyvät markkinoiden odotukset mahdollisista suurista hintamuutoksista. Toisin sanoen, esimerkiksi kaukana toteutushinnan ulkopuolella (out-of-the-money) olevilla optioilla on suurempi todennäköisyys siirtyä toteutushinnan sisäpuolelle (in-the-money), kuin mitä Black-Scholes teoriassa käytetty todennäköisyysjakauma antaa ymmärtää. Siksi Black-Scholes teoreettiset optioiden hinnat poikkeavat markkinahinnoista. Tämä implisiittisen jakauman vinouden luonne kuitenkin riippuu toteutushinnasta ja kohde-etuudesta. Esimerkiksi toteutushinnan lähellä Black-Scholes optioiden hinnat näyttäisivät olevan oikeita eli vastaavan markkinahintoja. (Cuthbertson & Nitzsche 2001: 263–264.)

Osakkeiden tapauksessa edellä mainittu ilmiö voi johtua suhteellisen velkavaikutuksen kasvun lisäämästä riskistä, kun osakkeiden hinnat laskevat, tai Rubinsteinin (1985) mukaan melko uudesta ilmiöstä vuoden 1987 romahduksen jälkeen, eli pörssiromahduksen pelosta joka näkyy nykyisin optioiden arvostuksessa. Kuitenkin suhteellisen aikaisin

Black-Scholes mallin kehittämisen jälkeen huomattiin mallin tehottomuus hinnoiteltaessa optioita, jotka ovat kaukana toteutushinnasta. Kuitenkin implisiittisen volatilitietin ajatellaan yleisesti olevan hyvä arvio tulevasta volatilitietista option jäljellä olevalla juoksuajalla, myös optiomarkkinat ovat siten myös tehokkaasti informoidut. Koska volatilitietti ei selvästikään ole vakio, tulisi rationaalisen sijoittajan käyttää option hinnoitteluun mallia, joka ottaa huomioon volatilitietin stokastisen luonteen. Implisiittisen volatilitietin selityskyvyn testaus on aina samalla optiomarkkinoiden tehokkuuden ja oikean hinnoittelumallin välisen toimivuuden testausta (Canina & Figlewski 1993: 659–661).

Implisiittisen volatilitietin kyky ennustaa todellista volatilitiettia on todettu lukuisissa tutkimuksissa. Esimerkiksi Latane ja Rendleman (1976), sekä Chiras ja Manaster (1978) esittivät ensimmäisten joukossa, että osakkeen implisiittinen volatilitietti on vahvasti korreloinut toteutuneen volatilitietin kanssa eri aikaperiodeilla. Lisäksi implisiittinen volatilitietti osoittautui paremmaksi tulevan volatilitietin ennusteeksi kuin menneistä hintasarjoista laskettu volatilitietti. Schmalenseen ja Trippin (1978) mukaan implisiittinen volatilitietti kasvaa, kun osakkeen hinta putoaa, lisäksi eri osakkeiden implisiittiset volatilitietit näyttäisivät liikkuvan samansuuntaisesti. Kritiikki implisiittisen volatilitietin ennustekyvylle on huomattavasti vähäisempää; kuitenkin esimerkiksi Canina ja Figlewski (1993) väittivät, ettei implisiittinen volatilitietti kykene selittämään tulevaa volatilitiettia, eikä se näin ollen heijasta kaikkea informaatiota tehokkaasti.

### 3.4.2. Deterministinen volatilitietti

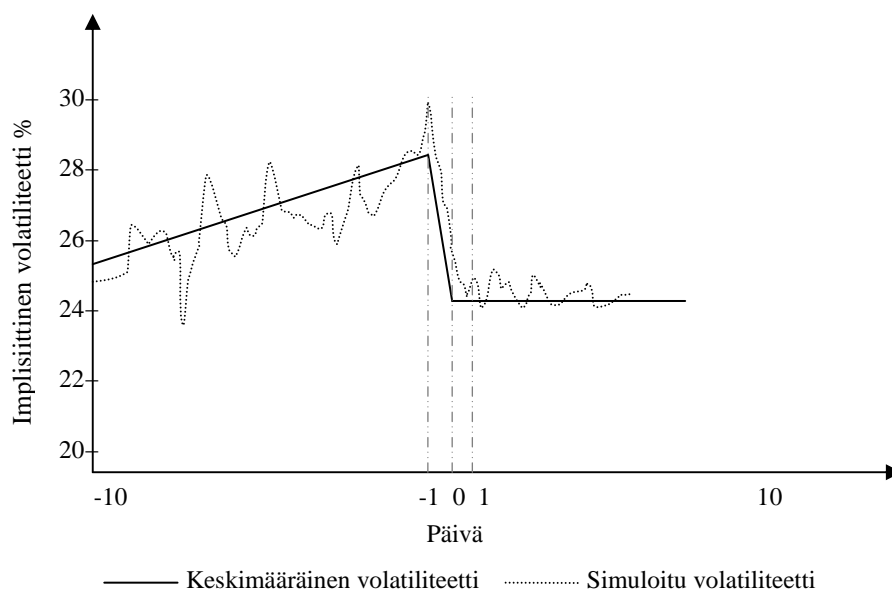
Black-Scholes mallissa oletettiin sekä hintamuutosten keskiarvon ja volatilitietin olevan vakioita, että peräkkäisten aikaperiodien tuotot ovat itsenäisiä ja omaavat identtisen jakauman. Volatilitietti voidaan määrittää myös deterministisesti ajan funktiona. Tämä tarkoittaa, että volatilitietin ei tarvitse olla vakio, vaan sen arvo saadaan aikaperiodin mukaan. Tällöin voidaan Mertonin (1973) mukaan olettaa, että implisiittinen volatilitietti, eli markkinoiden odotukset volatilitietista, vastaavat keskimääräistä volatilitiettia option jäljellä olevalla juoksuajalla  $T$ . Toisin sanoen volatilitietti  $\sigma^2$  voidaan korvata määritelmällä

$$\frac{1}{T} \int_t^{t+T} \sigma_s^2 ds.$$

Mertonin mukaan (1973) Black-Scholes malli on silti pitävä, jos vakioinen volatilitietti korvataan option jäljellä olevan juoksuajan keskimääräisellä volatilitietillä. Tämä on

tarpeellista teoreettisesti tapauksessa, jossa volatilitietin tiedetään muuttuvan jollakin ajanhetkellä, mutta sen laatua ei tiedetä. Tämä on esimerkiksi oletus makrotaloudellisten julkaisujen tapauksessa.

Tehokkailla markkinoilla informaation tulisi siirtyä täydellisesti ja välittömästi option hintaan. Jos tällaisilla markkinoilla informaation tulo ajankohta tiedetään, mutta ei sisältöä, kasvattaa se epävarmuutta jonka pitäisi olla huipussaan juuri ennen julkaisun ajankohtaa. Julkaisun jälkeen informaation pitäisi siirtyä hintoihin välittömästi, jolloin epävarmuus on hävinnyt ja uusi informaatio on sisäistetty. Dondersin ja Vorstin (1996) mukaan implisiittisen volatilitietin, eli keskimääräisen odotetun volatilitietin tulisi nousta periodilla ennen makrotaloudellisen uutisen julkaisua, koska sijoittajien epävarmuus kasvaa tällöin verrattuna muihin päiviin. Tämä on havainnollistettu kuviossa 3, jossa epävarmuus häviää julkaisupäivän aikana. Implisiittinen volatilitietti vastaa keskimäärin todellista volatilitiettiä, joka on luonteeltaan deterministinen.



**Kuvio 3.** Implisiittisen volatilitietin teoreettinen muuttuminen makrotaloudellisen julkaisun ympäräpäivinä (Donders & Vorst 1996).

Myös tässä tutkielmassa noudatetaan Dondersin ja Vorstin (1996), sekä myös Ederingtonin ja Leen (1996) aiheeseen soveltuvaa teoriaa implisiittisen volatilitietin käyttäytymisestä makrotaloudellisten uutisten ympärillä. Päivittäiset hintavaihtelut ovat satunnaismuuttujia, jotka voivat olla itsenäisesti mutta identtisesti jakautuneita normaaleina

kaupankäyntipäivinä. Makrotaloudellisten uutisten julkaisupäivinä odotetaan kuitenkin volatiliteetin olevan korkeampi. Koska implisiittinen volatiliteetti voidaan ilmaista keskimääräisenä odotettuna volatiliteettina  $\sigma_{kv}$  option lopulla juoksuajalla, voidaan volatiliteetti kirjoittaa ennen julkaisupäivää

$$(24) \quad \sigma_{kv} = \sqrt{\frac{t-1}{t} \sigma_{npv}^2 + \frac{1}{t} \sigma_{jpv}^2}.$$

Parametri  $\sigma_{npv}^2$  on normaalin päivän tuottojen varianssi ja  $\sigma_{jpv}^2$  vastaavasti makrotaloudellisen uutisten julkaisupäivän varianssi. Tämä kaava selittää keskimääräisen volatiliteetin ajan funktiona, joka on esitetty myös kuvaajana kuviossa 3. Tämä pätee edellyttäen, ettei muita julkaisupäiviä ole julkaisun jälkeen option lopulla juoksuajalla. Myös stokastisen volatiliteetin optionhinnoittelumallista saatu implisiittinen volatiliteetti näyttäisi vastaavan keskimääräistä odotettua volatiliteettia option lopulla juoksuajalla Mertonin deterministisen (1973) oletuksen mukaisesti. Heynenin, Kemnan ja Vorstin (1994) mukaan tämä pätee ainakin Hullin ja Whiten (1987) mallille, sekä myös tapauksessa, jossa volatiliteetti on ehdollinen ja ajoittain vaihteleva, eli seuraa GARCH tai vielä paremmin EGARCH (keskiarvo geometrisesti) prosessia optionhinnoittelumallin oletuksena. EGARCH malli ottaa huomioon epäsymmetrisyyden osakkeiden tuotoissa ja volatiliteetin muutoksissa. Jos EGARCH prosessi oletetaan volatiliteetille Heynenin yms. (1994) mukaan, tukee se hypoteesia sijoittajien rationaalisista odotuksista tehokkailla markkinoilla.

### 3.5. Valuuttaoptioteoria

Valuuttaoptioiden teoria tai hinnoittelu ei yleisesti poikkea perustavasti osakeoptioista. Erot liittyvät kohde-etuuteen, eli valuuttakurssin tuomat erityispiirteet hinnoitteluun ja siitä saataviin ominaisuuksiin. Black-Scholes hinnoittelumallit voidaan laajentaa Eurooppalaisille valuuttaoptioille (Garman & Kohlhagen 1983). Nyt kohde-etuus  $S_0$  merkitsee yhtä yksikköä jotain ulkomaanvaluuttaa kotimaan valuutassa, esimerkiksi euroissa ilmaistuna. Tällöin ulkomainen valuutta voidaan rinnastaa tuottoa tietyllä prosentilla maksavaksi investointi- tai rahoitushyödykkeeksi; kuten esimerkiksi osakkeelle maksettava osinko (aikaperiodille muutettuna tuotto prosenttina). Tämä tuotto on ulkomaanvaluutalle maksettava maan riskitön korko  $u$ . Ulkomaisen korkotason määrää ulkomaanvaluutan arvo. Tähän liittyy keskeisesti kansainvälisten rahoitusmarkkinoiden korkopariteettiteoria.

Jos ajatellaan, että ulkomaanvaluutan haltija saa tuottoa omistukselleen ulkomaisella korolla  $u$ , niin korkopariteettiteorian mukaan ulkomainen korko aiheuttaa valuutan kasvuvauhdin, eli kotimaisen koron  $r$ , olevan vähemmän määrän  $u$  kuin mitä se olisi jos ulkomaista tuottoa ei olisi. Jos  $S_0$  kasvaa korolla  $u$  arvoon  $S_T$  ajanhetkellä  $T$ , niin ulkomaisen tuoton puuttuessa se kasvaisi arvosta  $S_0$  tänään arvoon  $S_T e^{uT}$  ajanhetkellä  $T$ . Eli toisin sanoen ulkomaanvaluutan korolla  $u$  diskontattu nykyarvo vastaa Black-Scholes teorian mukaan valuuttakurssia  $S_0$  tapauksessa, jossa tuottoa ei makseta ulkomaanvaluutan haltijalle. Tapaus on vastaava aikaisemmin käsiteltyyn Black-Scholes teoriaan eurooppalaiselle osinkoa maksamattomalle osakkeelle. Tämän väitteen mukaan sama todennäköisyys jakauma pätee valuutan hinnalle ajanhetkellä  $T$  kummassakin seuraavassa tapauksessa:

1. Valuutan nykyarvolle  $S_0$  maksetaan tuottoa  $u$ .
2. Valuutan arvolle  $S_0 e^{-uT}$  ei makseta tuottoa.

Edellisestä saadaan hyödyllinen sääntö Eurooppalaisen option hinnoittelulle juoksuajalla  $T$ , jolloin valuutan nykyarvoa  $S_0$  voidaan vähentää tuoton  $u$  verran määrään  $S_0 e^{-uT}$ . Nyt option hinnoittelumallia voidaan käyttää samalla tavalla kuin osakkeelle, jolle ei makseta osinkoa. Tätä sääntöä soveltamalla voidaan määrittää rajoitteet Eurooppalaiselle optiolle, joka maksaa tuottoa  $u$ . Korvaamalla  $S_0$  kohdan 2 arvolla, voidaan alarajoite osto-optiolle  $c$  määrittää

$$c \geq \text{maksimi} (S_0 e^{-uT} - K e^{-rT}, 0),$$

sekä vastaavasti myyntioptiolle  $p$  korvaamalla edelleen  $S_0$ , jolloin rajaehto on

$$p \geq \text{maksimi} (K e^{-rT} - S_0 e^{-uT}, 0).$$

Toteutushinnan nykyarvo saadaan diskonttaamalla se riskittömällä korolla  $r$ , koska Eurooppalaisia optioita ei voi toteuttaa ennen juoksuajan päättyessä. Optioteoriassa tärkeän osto-myyntipariteetin käsitteen mukaan myynti- ja osto-optioiden arvo voidaan päätellä toisen hinnan mukaan. Tietyn pituisen juoksuajan ja toteutushinnan omaavan Eurooppalaisen osto-option arvo voidaan päätellä vastaavan juoksuajan ja toteutushinnan Eurooppalaisesta myyntioption arvosta, sekä päinvastoin. Päätelmä perustuu arbitraasittomuuden oletukseen, jolloin kahden portfolion, joissa on

A. Eurooppalainen osto-optio ja rahamäärä joka vastaa  $Ke^{-rT}$ ,

B. Eurooppalainen myyntioptio ja yksikkö kohde-etuutta,

arvojen täytyy vastata toisiaan. Tämä voidaan ilmaista

$$(25) \quad c + Ke^{-rT} = p + S_0 e^{-uT},$$

mikä on osto-myyntipariteetti valuuttaoptioille (Hull 2006: 313–314). Jos portfolioiden arvot eivät vastaa toisiaan, esiintyy arbitraasille mahdollisuus. Riskineutraalin määrittelmän mukaan arbitraasin mahdollisuutta ei tulisi esiintyä. Merton (1973) johti ensimmäisenä Black-Scholes hinnoittelumallit tapauksessa, jossa kohde-etuudelle maksetaan tuottoa tietyllä tuottoprosentilla. Tästä saadaan johdettua suoraan malli myös valuuttaoptioille, jossa oletetaan kaksi vakioista korkoa, kuten esimerkiksi Garmanin ja Kohlhagenin (1983) mallissa. Aikaisemmin johdettu differentiaaliyhtälö (19) saadaan nyt muotoon

$$(26) \quad \frac{\partial f}{\partial t} + (r - u)S \frac{\partial f}{\partial S} + \frac{1}{2} \sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 f}{\partial S^2} = rf.$$

Muuttuja  $u$  on riskitöntä tuottoa vastaava tuotto ulkomaisen valuutan haltijalle, sekä  $r$  kotimainen riskitön tuotto. Kuten aikaisemmin, yhtälö (26) ei sisällä yksityisiä riskipreferenssejä. Tällöin voidaan käyttää samoin riskineutraalisuuden periaatetta Black-Scholes perusteisen hinnoittelumallin johtamiseen valuuttaoptioille. Koska riskineutraalissa maailmassa valuutan odotettu tuotto on  $r$  ja sille maksetaan ulkomaista riskitöntä korkoa  $u$ , tällöin odotettu valuutan hinnan kasvuvauhti on  $(r-u)$ . Riskineutraali prosessi valuutan hinnalle on tällöin

$$(27) \quad dS = (r - u)Sdt + \sigma Sdz.$$

Koska hinnan odotettu kasvuvauhti on  $(r-u)$ , se diskontataan odotetulla tuotolla  $r$ , jolloin valuutan odotettu hinta aikana  $T$  on  $S_0 e^{(r-u)T}$ . Tällöin riskineutraalissa maailmassa odotettu tuotto optiosta on

$$e^{(r-u)T}S_0N(d_1) - KN(d_2).$$

Diskonttaamalla tuotto-odotuksella  $r$  aikana  $T$  johtaa valuuttaoptioiden hinnoittelumalleihin osto-optioille (28) ja myyntioptioille (29).

$$(28) \quad c = S_0 e^{-uT} N(d_1) - K e^{-rT} N(d_2).$$

$$(29) \quad p = K e^{-rT} N(-d_2) - S_0 e^{-uT} N(-d_1).$$

Koska valuuttakurssin arvo esitetään nyt  $S_0 e^{-uT}$ , niin parametri  $\ln(S_0 e^{-uT}/K)$  voidaan kirjoittaa  $\ln(S_0/K) - uT$ , jolloin kaavojen (28) ja (29) parametrit  $d_1$  ja  $d_2$  voidaan esittää

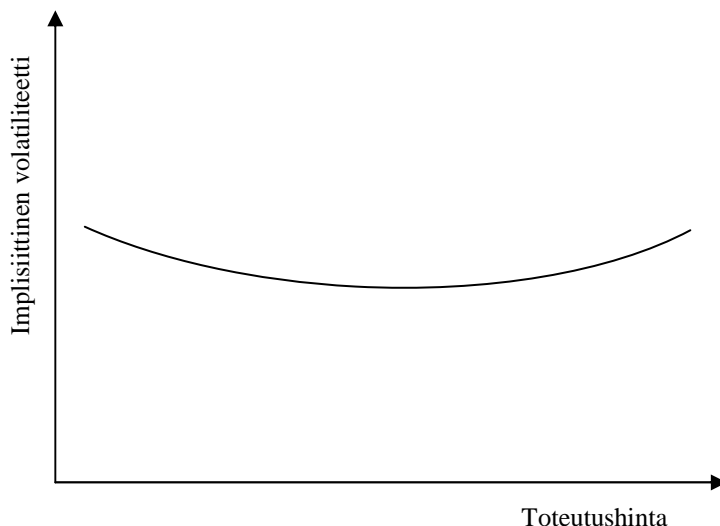
$$d_1 = \frac{\ln(S_0/K) + (r - u + \sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}},$$

$$d_2 = \frac{\ln(S_0/K) + (r - u - \sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}} = d_1 - \sigma\sqrt{T}.$$

Kuten osakeoptioiden tapauksessa, myös valuuttaoptioiden Black-Scholes hintojen implisiittiset volatilitteetit eivät ole vakioita toteutushintojen suhteen. Osto-myyntipariteetti on hyödyllinen volatilitteetikäyrän havainnollistamisessa, koska se perustuu arbitraasittomuuden oletukseen. Se ei täten sisällä mitään oletuksia hintojen todennäköisyysjakaumasta jollain tulevaisuuden aikana. Osto-myyntipariteettiteorian mukaan Black-Scholes teoreettisen osto-option hintavirheen (ero markkinahintaisesta osto-optiosta) tulisi olla täsmälleen sama kuin myyntioption hintavirheen, jos toteutushinta ja juoksu-aika ovat samoja. Tällöin volatilitteetti on sama osto- ja myyntioptiolle, jos optio hinnoitellaan Black-Scholes teorian mukaisesti. Jos puhutaan implisiittisen volatilitteetin suhteesta toteutushintaan tai juoksu-aikaan, ei ole väliä onko kysymyksessä osto- vai myyntioptio. Tämä pätee suunnilleen myös Amerikkalaisille optioille. (Hull 2006: 375–376.)

Markkinoiden muodostama volatilitteetikäyrä valuuttaoptioiden hinnoitteluun on havainnollistettu kuviossa 4. Tästä näkyy että implisiittinen volatilitteetti nousee, kun liikutaan kauemmas toteutushinnasta; joko kauas sisäpuolelle tai ulkopuolelle. Implisiittinen volatilitteetti on matalin toteutushinnan lähetyvillä. Tämä on varsin yleinen muoto

Black-Scholes teorian mallien mukaiselle valuuttaoption implisiittiselle volatilititeetikäyrälle.

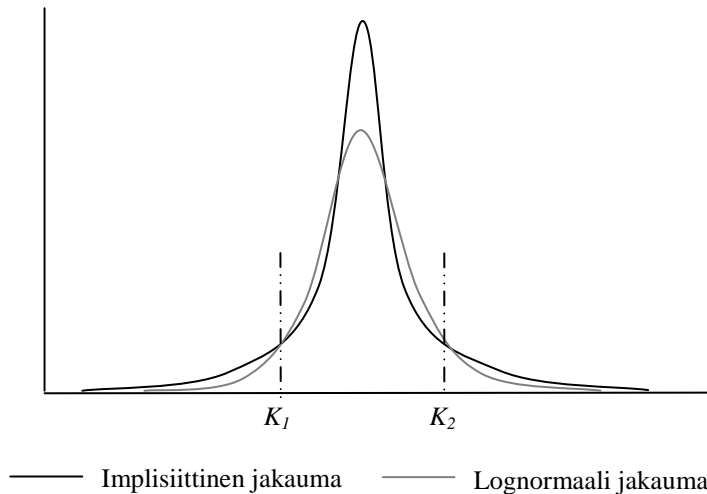


**Kuvio 4.** Valuuttaoption implisiittisten volatilititeettien muodostama käyrä toteutushinnan funktiona (Hull 2006: 377).

Implisiittinen volatilititeetikäyrä antaa ymmärtää, etteivät hinnat ole jakautuneet lognormaalisti ajanhetkellä  $T$ . Markkinoiden käyttämä todennäköisyysjakauma valuutan hinnalle saadaan implisiittisesti optioiden hinnoista toteutushinnan ja juoksuajan funktiona. Kuvion 5 implisiittinen jakauma vastaa implisiittistä volatilititeetikäyrää kuviossa 4. Harmaa viiva kuvaa Black-Scholes teorian mukaista lognormaalin jakauman oletusta. Kuvio 5 voidaan nähdä, että implisiittisellä jakaumalla on vahvemmat ääripääät kuin lognormaalilla jakaumalla, lisäksi se on myös korkeampi ja terävämpi. Tämän mukaan, sekä suuremmat että pienemmät liikkeet valuuttakursseissa ovat todennäköisempiä kuin mitä lognormaali jakauma antaa ymmärtää. Siksi on myös todennäköisempää, että esimerkiksi kaukana toteutushinnan ulkopuolella oleva optio palaa vielä toteutushinnan sisäpuolelle ennen juoksuajan loppua.

Kuvion 5 mukaan esimerkiksi kaukana toteutushinnan  $K_2$  ulkopuolella (alue ennen toteutushintaa  $K_2$ ) olevalle osto-optiolle todennäköisyys toteutua, eli valuuttakurssi palautuu sisäpuolelle, on suurempi kuin lognormaalin todennäköisyysjakauman mukaan. Sama pätee vastaavasti alhaisen toteutushinnan  $K_1$  myyntioptiolle, joka on kaukana toteutushinnan ulkopuolella (alue toteutushinnan  $K_1$  jälkeen). Implisiittisestä jakaumasta voi

odottaa, että sen mukaan optio on arvokkaampi, sekä implisiittinen volatilitteetti korkeampi, kuin lognormaalia jakaumaa noudattavat optiot. (Hull 2006: 377–378.)



**Kuvio 5.** Implisiittinen ja lognormaali jakauma valuuttaoptioille toteutushinnoilla  $K_1$  ja  $K_2$ .

Syyt, miksi valuuttakurssit eivät ole lognormaalisti jakautuneet, johtuvat stokastisesta volatilitteetista ja hintojen epätasaisesta kehityksestä eli ne sisältävät suurehkoja hyppäyksiä. Tavallisesti hyppäykset johtuvat esimerkiksi keskuspankin rahapoliittisista toimista, mikä saattaa näkyä myös implisiittisissä volatilitteeteissa (ks. Bonser-Neal & Tanner 1996). Juuri suuret hyppäykset aiheuttavat todennäköisyyksien kasvun erittäin suurillekin muutoksille valuuttakursseissa kuin myös osakkeissa, kuitenkin hyppäysten vaikutus optioiden hintoihin riippuu juoksuajan pituudesta. Kun option juoksu aika kasvaa, hyppäysten prosenttimääräinen vaikutus valuuttojen hintoihin ja implisiittiseen volatilitteetikäyrään vähenee, eli hyppäykset sulautuvat keskiarvoon pitkällä aikavälillä (Cuthbertson & Nitzsche 2001: 264–266). Volatilitteetikäyrän korostuneisuus vähenee pidemmän option juoksuajan myötä, toisin sanoen implisiittisen jakauman muoto lähennee lognormaalia jakaumaa.

Garmanin ja Kohlhagenin (1983) malli tai vastaava on nykyisin yleinen valuuttaoptioiden hinnoittelussa. Kummatkin korot, ulkomainen ja kotimainen oletetaan option lopulla juoksuajalla esimerkiksi Garmanin ja Kohlhagenin mallissa (1983) vakioiksi, vaikka todellisuudessa ne ovat enemmänkin luonteeltaan stokastisia. Lisäksi volatilitteetti on vakio, aivan kuten alkuperäisessä Black-Scholes mallissa. Valuuttaoptioiden hinnoitteluun soveltuvia malleja sekä niiden variaatioita on monia ja perusteiltaan erilaisia; esi-

merkkinä voidaan mainita stokastisten korkojen mallit (esim. Amin & Jarrow 1991; Hilliard, Madura & Tucker 1991), tai myös stokastisen volatiliteetin mallit (esim. Hull & White 1987).

Black-Scholes teoriassa todettiin, että optioiden hinnoittelussa riskin lähde on kohde-etuuden stokastinen prosessi. Uudemmissa malleissa riskin lähde hintakehityksen lisäksi on volatiliteetti itse, eli stokastinen prosessi volatiliteetille. Malleja kutsutaan yhteisesti stokastisen volatiliteetin malleiksi. Näiden on todettu toimivan yleisesti paremmin valuuttaoptioille kuin vakioisen volatiliteetin mallit, joiden on todettu hinnoittelevan huomattavasti huonommin valuuttaoptioita kuin osakeoptioita (esim. Melino & Turnbull 1990). Stokastisen volatiliteetin malleista esimerkiksi Hullin ja Whiten (1987), Hestonin (1993) ja Batesin (1996) mallien antamat valuuttaoptioiden hinnat ovat väitetyksi tarkempia kuin vakioisen volatiliteetin malleissa.

Hestonin (1993) mukaan kohde-etuuden hinnan ja volatiliteetin muutosten korrelaatiolla on tärkeä merkitys kohde-etuuden hinnan todennäköisyysjakauman muodolle. Tätä useimmat stokastiset mallit eivät ota huomioon. Korrelaatio volatiliteetin ja hinnan välillä aiheuttaa vinouden (skewness) kohde-etuuden hinnan todennäköisyysjakaumaan. Ilman korrelaatiota stokastinen volatiliteetti vaikuttaa vain jakauman huipukkuuteen (kurtosis). Malli on erityisen hyvä siinä mielessä, että se omaa täsmällisen ratkaisumuodon, sekä ottaa hinnoittelussa huomioon riskipreemion volatiliteetille. Mallista saadun implisiittisten volatiliteettien käyrän on todettu olevan huomattavasti tasaisempi, kuin vakioisen volatiliteetin malleista saatu. Toisin sanoen Hestonin (1993) malli pystyy hinnoittelemaan kaukana toteutushinnasta olevia optioita paremmin kuin Black-Scholes teorian mukainen malli. Kumpikin malleista tuottavat kuitenkin suunnilleen samat hinnat toteutushinnan lähetyvillä, missä suurin osa kaupastakin tehdään. Tämän vuoksi voi olla perusteltua väittää, että esimerkiksi Garman-Kohlhagen malli toimii riittävän hyvin valuuttamarkkinoilla. (Heston 1993.)

Guon (1998) testien mukaan Hestonin (1993) mallissa volatiliteetin prosessi on keskiarvoon palautuva, lisäksi se näyttäisi olevan negatiivisesti korreloitunut valuuttakurssin kanssa. Volatiliteetin hyppäykset pitkän ajan keskiarvon ympärillä häviävät myös nopeammin kuin osakemarkkinoilla. Tämä voi Guon (1998) mukaan johtua esimerkiksi valuuttamarkkinoiden paremmista informaatioresursseista ja nopeammasta kaupankäynnistä, tai osakemarkkinoiden pidempään säilyvästä yleisestä suunnasta (trend). Vaihtoehtoisesti erään oletuksen mukaan osakkeisiin verrattuna valuuttakurssien ei odoteta äkillisesti muuttuvan erityisen rajusti, vaan pysyvän tiettyjen rajojen sisällä.

Järjestäytyneillä kauppapaikoilla kaupattavat valuuttaoptiot ovat nykyisin useimmiten luonteeltaan Eurooppalaisia, kuten esimerkiksi Philadelphian osakepörssin valuuttaoptiot. Amerikkalaisten optioiden hinnoittelu on hankalampaa johtuen mahdollisuudesta toteuttaa ennen juoksuajan loppua, koska option aika-arvo täytyy huomioida. Uudemista stokastisista malleista esimerkiksi Batesin (1996) mallilla voidaan hinnoitella melko tehokkaasti Amerikkalaisia valuuttaoptioita. Valuuttaoptioita hinnoitellaan kuitenkin yleensä Eurooppalaisten optioiden hinnoittelumallien mukaan, kuten myös Garman-Kohlhagen mallilla. Suurimmilla valuuttaoptiomarkkinoilla, eli OTC markkinoilla kaupattavat valuuttaoptiot ovat yleisemmin Eurooppalaisia.

Shastrin ja Tandonin (1986) mukaan on kuitenkin myös johdonmukaista käyttää Eurooppalaisen valuuttaoption hinnoittelumallia vastaavan Amerikkalaisen osto-option hinnoitteluun, jos ulkomainen korko on pieni, sillä todennäköisyys aikaiseen toteuttamiseen on tällöin alhainen. Myyntioptioiden tapauksessa todennäköisyys toteuttamiseen kasvaa, jos ulkomainen korko on hyvin pieni. Käytännössä on melko harvoin optimaalista toteuttaa Amerikkalaista optiota; Amerikkalaisen option hinta vasta Eurooppalaista, jos kohde-etuudelle ei makseta tuottoa eli aikainen toteuttaminen ei kannata missään tapauksessa. Käytännössä Eurooppalaisten ja Amerikkalaisten valuuttaoptioiden hinnat ovat hyvin lähellä toisiaan, koska toteuttaminen kannattaa vain harvoin. (Shastri & Tandon 1986; Hull 2006: 215–217, 322–323.)

Valuuttaoptioiden ja niiden markkinoiden toimivuuden testaukseksi pörssissä kaupattavat valuuttaoptiot tarjoavat parhaan lähtökohdan informaation helpon saatavuuden vuoksi, vaikka ne muodostavat vain pienen osan valuuttaoptiomarkkinoista. Koska myös tämän tutkimuksen valuuttaoptioita kaupataan Philadelphian osakepörssissä, on aiheellista myös lyhyesti katsoa näiden valuuttaoptiomarkkinoiden tehokkuutta. Periaatteena on, että markkinat toimivat tehokkaasti, jos systemaattisiin ylimääraisiin voittoihin ei voida päästä millään sijoitus-strategialla. Valuuttaoptioiden implisiittisessä volatilitetissa tehokkuuden voi tulkita niin, että sen tulisi sisältää välittömästi kaikki saatavilla oleva informaatio, mikä vaikuttaa valuuttamarkkinoihin. Tämän vuoksi sen tulisi olla myös paras ennuste tulevasta valuuttakurssin volatilitetista. Jos näin ei ole, implikoi tämä tehottomuutta valuuttaoptioiden markkinoilla. Useimmissa tutkimuksissa on todettu, että implisiittinen volatilitetti on paras ennuste tulevasta volatilitetista valuuttamarkkinoilla (ks. esim. Poon & Granger 2003: 501).

Jos implisiittinen volatilitiitti on paras ennuste tulevasta volatilitiitista, muodostaa se perustellun lähtökohdan tutkimukselle informaation siirtymisestä markkinaodotuksiin. Xun ja Taylorin (1995) mukaan valuuttaoptiomarkkinoilla implisiittinen volatilitiitti sisältää enemmän informaatiota tulevasta volatilitiitista kuin historialliset tai GARCH mallien volatilitiitit. Tämä on osoitus siitä, että Philadelphian osakepörssin valuuttaoptiomarkkinat ovat informaation siirtymisen kannalta tehokkaat. Sijoittajat myös näyttäsivät olevan rationaalisia muodostaessaan odotuksia näillä markkinoilla, koska pitkän aikavälin volatilitiittiodotuksilla ei voida selittää paremmin lyhyen aikavälin volatilitiittia. Hypoteesi optiomarkkinoiden volatilitiittiodotusten harhattomuudesta tulevan volatilitiitin ennustamisessa näyttäisi Xun ja Taylorin (1995) mukaan saavan tukea (vrt. Jorion 1995). Valuuttaoptiomarkkinoiden havaittu informaationaalinen tehokkuus voi johtua alhaisista kustannuksista arbitraasiin perustuvassa kaupassa. Huolimatta päinvas-taisista tuloksista osakeoptiomarkkinoilla, Canina ja Figlewski (1993) arvelevat myös implisiittisen volatilitiitin merkityksen kasvavan markkinoilla, joilla arbitraasi on mahdollista alhaisilla kustannuksilla.

Todellisen markkinatehokkuuden mittarina voidaan pitää kuitenkin sitä, pystyykö mahdollisia tehottomuuksia hyödyntämällä tekemään voittoa, sen jälkeen kun transaktiokustannukset on vähennetty. Shastri ja Tandon (1986) väittävät, että valuuttaoptiomarkkinoilla aukeaa useita ylimääräisiä voitontekomahdollisuuksia, mutta tämä riippuu aikaperiodin pituudesta ja viiveestä, sekä merkittävässä määrin käytetystä optionhinnoittelumallista. Garman-Kohlhagen mallilla tehdyt markkinatehokkuustestit näyttäsivät tarjoavan mahdollisuuden ylimääräisiin voittoihin joissakin tapauksissa, jotka kuitenkin häviävät nopeasti.

Esimerkiksi Kimin ja Kimin (2003) mukaan ylimääräisten voittojen teko valuuttamarkkinoilla on vaikeaa yrittämällä hyötyä implisiittisen volatilitiitin reaktioista sen jälkeen, kun transaktiokustannukset ovat vähennetty. Makrotaloudellisten uutisten vaikutukset implisiittiseen volatilitiittiin ovat melko merkityksettömiä, jos asiaa katsotaan voitokkaan sijoitus-strategian muodostamisen kannalta. Edellä esiteltyt valuuttaoptiomarkkinoiden tehokkuusnäkökulmat implikoivat, että suuret yllätykset eivät ole todennäköisiä valuuttaoptiomarkkinoiden tehokkuuden tutkimuksessa, minkä piiriin myös makrotaloudellisten julkaisujen vaikutus kuuluu. Voidaan myös sanoa, etteivät valuuttamarkkinat ole yhtä volatiliita kuin osakemarkkinat; toisaalta myös tutkimus makrotaloudellisten uutisten vaikutuksesta valuuttamarkkinoihin on selvästi vähäisempää.

## 4. AINEISTO JA MENETELMÄT

Markkinatehokkuuden käsite muodosti pohjan nykymuotoisten markkinoiden teorialle, johon kaikki rahoitusteoreettiset arvostusmallit jollakin tavalla pohjautuvat. Näin on myös keskeisten optiomallien kohdalla. Tehokkuutta vastaten implisiittisen volatiliteetin tulisi toimia indikaattorina epävarmuudelle, jonka keskeisenä ajurina toimii makrotaloudellinen informaatio. Determinististen oletusten ja aihepiirin mukaan implisiittisellä volatiliteetilla voidaan tutkia valuuttamarkkinoiden käyttäytymistä markkinoille saapuvan informaation yhteydessä. Kappaleessa siirrytään empiirisen tapahtumatutkimuksen (keskivahva tehokkuus) suorittamisessa käytettäviin aineistoihin ja menetelmiin.

Suurella mittakaavassa makrotaloudelliset indikaattorit kertovat talouden tilasta. Suuren kansantalouksien kunnolla on merkittävä osuus kansainvälisessä taloudessa, sillä nämä näyttävät lähes poikkeuksetta suunnan jollakin vaikutuksella myös pienille kansantalouksille; harvemmin kuitenkin toisinpäin. Valuuttakurssit ovat keskeiset taloudelliselle kaupalle, se on mekanismi maiden välillä joihin heijastuu myös taloudellinen tilanne maiden välillä. Tutkimuksellisessa osuudessa mielenkiinto on kansainvälisesti tärkeiksi katsotuissa muuttujissa, joten myös aineisto on valittu tältä pohjalta.

### 4.1. Aineisto

Tutkielman kolme valuuttaa ovat yhteisvaluutta euro, Englannin punta ja Japanin jeni Yhdysvaltain dollareissa ilmaistuna. Näiden valuuttakursseille kirjoitettujen optioiden implisiittiset volatiliteetit muodostavat valuuttakurssiepävarmuutta edustavat aikasarjat, joista esitetään myös niitä kuvaileva statistiikka. Implisiittiset volatiliteetit on saatu Datastream tietokannasta. Sarjat ovat tasaoptioista estimoituja (at-the-money), sillä tällöin estimointivirheet ovat pienimmillään jopa eri mallien välillä; tämä on todettu lukuisissa tutkimuksissa (ks. esim. Heston 1993; Jorion 1995: 509).

Datastream tietokannan implisiittisten volatiliteettien aikasarjat lasketaan saman maturiteetin osto- ja myyntioptioista, jotka ovat mahdollisimman lähellä toteutushintaa, jolloin ne interpoloidaan toteutushintaa vastaavaksi. Menetelmällä saadaan toteutushinnassa oleva niin sanottu jatkuva optio, jolla on vakio 3 kuukauden juoksuaika. Tällöin mahdolliset reaktiot implisiittiseen volatiliteettiin eivät riipu juoksuajasta eivätkä kohde-

etuuden sijainnista toteutushintaan nähden. Näin määriteltyjä implisiittisten volatilitteettien aikasarjoja voidaan pitää tutkimuksen kannalta riittävinä.

Makrotaloudelliset indikaattorit valittiin Yhdysvalloista. Maan makrotaloudellisella informaatiolla oletetaan suurimpana talousmahtina luonnollisesti olevan suurin vaikutus tutkimuksen vaihdetuimpiin valuuttoihin, jotka noteerataan dollareissa. Julkaisujen valinta pohjautuu aikaisempaan tutkimukseen, markkinoilla tärkeimpänä pidettyihin sekä myös subjektiiviseen näkemykseen (esim. Ederington & Lee 1996; Christie-David & Chaudry 2000; Graham, Nikkinen & Sahlström 2003, 2004; Kim & Kim 2003; Kim, McKenzie & Faff 2004; Simpson, Ramchader & Chaudry 2005; Business Week 2008). Näiden pohjalta markkinoiden tärkeänä pitämät, sekä tutkimuksen perusteella implisiittiseen volatilitteettiin useimmin ja selvimmin reaktion aiheuttavat indikaattorit ovat otettu mukaan. Kuitenkin esimerkiksi bruttokansantuotteen tärkeydestä huolimatta se näyttäisi aiheuttavan vain harvoin reaktion, joten se jää tutkimuksen ulkopuolelle. Tutkielman makrotaloudelliset julkaisut käsittävät kuusi indikaattoria ja kaksi merkittävää rahapoliittista markkinatapahtumaa.

#### **4.1.1. Valuutat**

Järjestäytyneiden kauppapaikkojen valuuttaoptiokauppa on pieni osa valuuttaoptioiden kokonaiskaupasta, mistä selvästi suurin osa käydään pankkien ja muiden instituutioiden välisillä OTC markkinoilla. Valuuttaoptiokaupan määrä on kasvanut tasaisesti viime vuosina. OTC markkinoiden valuuttaoptioiden päivittäisen vaihdon arvo oli vuonna 2007 keskimäärin 9 % OTC markkinoiden valuuttajohdannaisten päivittäisestä arvosta. Vuoden 2007 lopussa OTC markkinoiden valuuttaoptioiden arvo oli 12 748 miljardia, kun taas järjestäytyneissä kauppapaikoissa kaupattujen valuuttaoptioiden arvo oli samana aikana 193,6 miljardia. (Bank For International Settlements 2007a.)

Kaikilla tutkimuksessa käytetyillä valuuttaoptioilla käydään kauppaa Philadelphian osakepörssissä (PHLX), mikä on maailman suurin valuuttaoptioiden järjestäytynyt kauppapaikka. Philadelphian osakepörssin valuuttaoptiokauppaa käydään kaupankäyntipäivinä aikavälillä 9.30–16.00 itäisen aikavyöhykkeen mukaan (GMT -4). Tutkimuksen valuuttaoptiot ovat valittu vastaavien valuttojen kansainvälisen vaihtomäärän perusteella, jonka mukaan ne ovat Yhdysvaltain dollarin jälkeen kolme vaihdetuinta valuuttaa. Valuuttapareilla verrattuna, jossa kaikkien valuttojen toinen pari on dollari, ovat euro, jeni ja punta vaihdetuimmat valuuttaparit. Järjestys valuutoissa pätee myös Philadel-

phian osakepörssin vastaavien valuuttaoptioiden kohdalla, joten nämä ovat myös tutkimuksen kannalta parhaat vaihtoehdot.

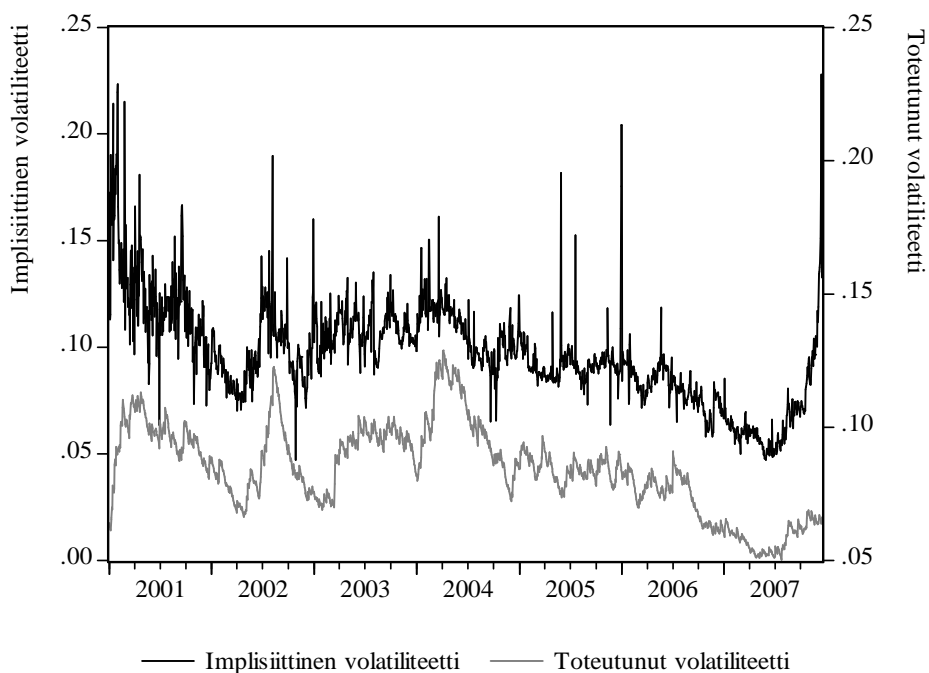
Tutkimus kattaa vuosittaisen kaupankäyntipäivien määrän mukaisen päivittäisen aineiston aikavälillä 01.01 2001–14.12 2007. Tälle jaksolle sijoittuvien päivittäisten implisiittisten volatiliteettien havaintomäärä on kaikilla kolmella sarjalla 1815. Implisiittisten volatiliteettien estimoinnissa on huomionarvoista, käytetäänkö vuosittaisia kalenteripäiviä, vai kaupankäyntipäiviä. Tällä on merkitystä optioiden maturiteettia määriteltäessä, sillä volatiliteetti on korkeampi pörssien auki olon aikana.

Kuvioissa 6, 7 ja 8 esitetään kunkin valuutan implisiittisten ja vertailun vuoksi toteutuneiden volatiliteettien aikasarjat. Toteutunut volatiliteetti on kohdistettu vuosittaisten kaupankäyntipäivien mukaiseksi kertomalla päivittäisten tuottojen keskihajonta vuosittaisten kaupankäyntipäivien määrän (254) neliöllä. Näin volatiliteetti saadaan paremmin vertailukelpoiseksi tämä tutkimuksen implisiittisen volatiliteetin kanssa. Implisiittisen ja toteutuneen volatiliteetin keskimääräiset tasot ovat täten lähes samoja, joten sarjojen paremmaksi havainnollistamiseksi kummankin sarjan skaalaukset ovat esitetty omilla pystyakseleillaan.

### *Euro*

Euroopan talous- ja rahaliiton maiden yhteisvaluutta euro on kansainvälisesti toiseksi suurin vaihtomäärällä mitattuna. Vuodesta 2002 käytössä ollut euro on ollut Yhdysvaltojen dollarin kanssa selvästi liikevaihdoltaan suurin valuuttapari kansainvälisillä valuuttamarkkinoilla. Sen osuus oli 27 % kaikista transaktioista vuonna 2007, mikä on pienentynyt toistuvasti muutamana viime vuonna. Tämä johtuu valuuttaparien vaihdon yleisestä hajaantumisesta kaikkien valuuttojen kesken. (Bank For International Settlements 2007b.)

Valuuttakurssien volatiliteetti on lisääntynyt 2000 luvulla samoin muiden rahoitusmarkkinoiden yleisen epävarmuuden mukana. Tämä on eräs motivoivista tekijöistä valuuttamarkkinareaktioiden tutkimukselle ajankohtaisella aineistolla. Kuviossa 6 on euron valuuttakurssin volatiliteetin ja sitä vastaavasta valuuttaoptiosta estimoidun volatiliteetin aikasarjojen kuvaajat ajan funktiona. Valuuttakurssin volatiliteetti edustaa toteutunutta eli historiallista volatiliteettia ja implisiittinen volatiliteetti vastaavasti volatiliteettiodotuksia todellisesta volatiliteetista.



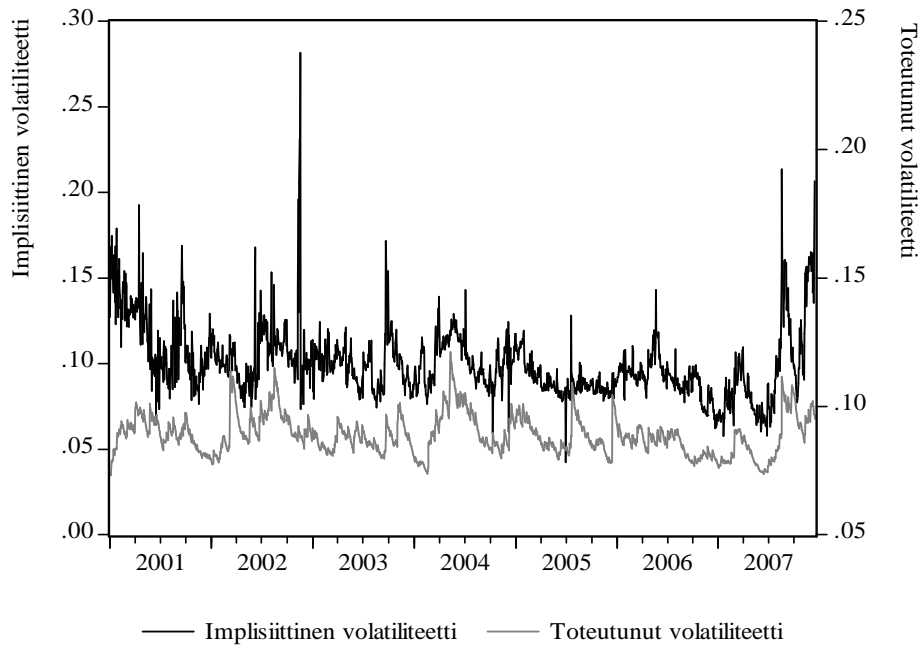
**Kuvio 6.** Euron valuuttaoptio implisiittinen volatiliiteetti sekä valuuttakurssin toteutunut volatiliiteetti aikavälillä 01.01 2001–14.12 2007.

Kuviosta 6 on selvästi nähtävissä valuuttakurssin volatiliiteetin tason vaihtelu suhteellisen pitkällä aikavälillä. Implisiittisen volatiliiteetin vaihtelu on selvästi suurempaa kuin todellinen volatiliiteetti, mikä useasti implikoi markkinoiden ylireagointia, kuitenkin kumpikin volatiliiteettisarja noudattaa likipitään samaa muotoa. Valuuttaoptiomarkkinoiden on silti todettu olevan rationaaliset muodostaessa odotuksia tulevasta volatiliiteetistä, kuin myös olevan informaation siirtymisen kannalta tehokkaat (ks. esim. Xu & Taylor 1995).

### *Jeni*

Japanin jeni on kansainvälisten valuuttamarkkinoiden toiseksi vaihdetuin valuuttapari vuoden 2007 tilastojen mukaan. Sen osuus maailman valuuttakaupasta liikevaihdolla mitattuna oli 13 %. Kuin myös euron tapauksessa, jeni on menettänyt osuuttaan aikaisemmista vuosista. Vähennys on suurin kaikista valuuttapareista, sillä vuonna 2001 sen osuus oli 20 % maailman valuuttakaupasta. Yleisesti niin sanottujen suurten valuuttojen suhteellisen osuuden vähentyminen johtuu valtaosin kehittyvien markkinoiden valuuttojen osuuden nopeasta kasvusta 2000 luvulla, jotka muodostivat jo 19 % yhteisesti valuuttamarkkinoiden liikevaihdosta. Kuitenkin toistaiseksi jeniä voidaan pitää edelleen

erittäin merkittävänä valuuttana kansainvälisessä kaupassa. (Bank For International Settlements 2007b.)



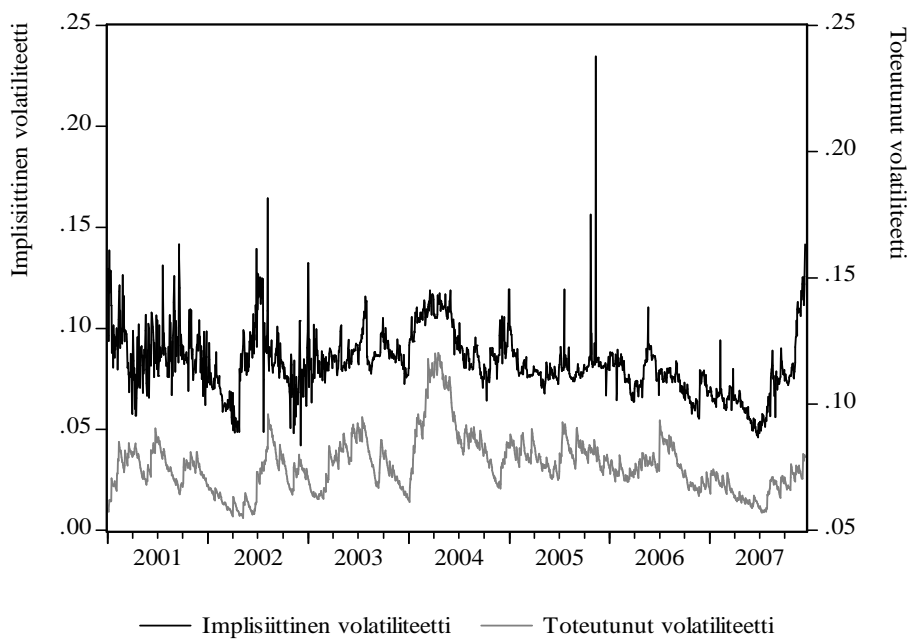
**Kuvio 7.** Jenin valuuttaoption implisiittinen volatilitteetti sekä valuuttakurssin toteutunut volatilitteetti aikavälillä 01.01 2001–14.12 2007.

Kuviosta 7 voidaan havaita, että jenin volatilitteetti ja täten myös odotukset käyttäytyvät melko tasaisesti pitkällä aikavälillä, eivätkä poikkeamat pidemmän ajan keskiarvosta ole aivan niin pysyviä kuin euron tapauksessa. Huomattavaa on, että etenkin euron ja jenin volatilitteettiodotukset poikkeavat toteutuneesta volatilitteetista selvästi enemmän kuin tavallisesti vuoden 2001 alkupuolella. Valittu aineisto ei yllä pidemmälle, mutta toisaalta vuosituhannen vaihe oli kaikilla markkinoilla melko poikkeava ajankohta. Odotukset poikkesivat selvästi toteutuneesta valuuttakurssin volatilitteetista, toisin kuin esimerkiksi osakemarkkinoilla.

### *Punta*

Englannin punta oli vuonna 2007 arvoltaan kansainvälisten valuuttamarkkinoiden kolmanneksi vaihdetuin valuutta 12 % osuudella. Vuoteen 2001 verrattuna sen osuus on hieman kasvanut, jolloin se muodosti 11 % osuuden markkinoista valuuttapareilla mitattuna. Tutkimuksen kolmen valuutan jälkeen seuraavaksi suurimmat ovat Australian dol-

lari (6 %), Sveitsin frangi (5 %) ja Kanadan dollari (4 %) (Bank For International Settlements 2007b). Näille kuudelle suurimmalle valuutalle on myös kirjoitettu valuuttaoptiot Philadelphian osakepörssissä. Punnan valinta tutkimukseen on muodoltaan lähinnä edustava suurimpana muista kuin valtavaluutoista. Sen on todettu seuraavan vahvasti euroa, kuin myös volatilitteettiodotusten, mutta ei kuitenkaan toisinpäin (esim. Nikkinen ym. 2006). Tämän vuoksi sen sisällyttäminen tutkimukseen liittyykin toisaalta lähinnä Euroopan muiden kuin euron valuuttakurssien edustukseen, sekä toisaalta myös niin sanottuihin toissijaisten valtavaluuttojen asemaan.



**Kuvio 8.** Punnan valuuttaoption implisiittinen volatilitteetti sekä valuuttakurssin toteutunut volatilitteetti aikavälillä 01.01 2001–14.12 2007.

Kuvioista 6 ja 8 voidaan havaita, että euron ja punnan implisiittisten volatilitteettisarjojen, myös toteutuneen volatilitteetin, muodostamat kuviot noudattavat likipitään samaa kaavaa. Myös jenistä on havaittavissa selviä samankaltaisuuksia euron ja punnan kursisodotusten kanssa, mutta se poikkeaa näistä kahdesta kuitenkin enemmän. Havaitut samankaltaisuudet kaikissa valuutoissa ovat yhdenmukaisia kansainvälisten valuuttamarkkinoiden läheisen integraation kanssa. Suurimpien valuuttakurssien liikkeet ovat varsin samanlaisia.

### *Yleisesti*

Kaikista kolmesta yllä olevasta kuviosta (6, 7, 8) on selvästi havaittavissa vuosituhanen alun vielä koholla olevat volatiliteettiodotukset, jonka jälkeen lyhyemmän aikavälin suuremmat vaihtelut ovat vähentyneet selvästi. Yksittäisiä korkeita hyppäyksiä esiintyy tutkimusajanjaksolla kaiken aikaa, näitä esiintyy silmämääräisesti eniten ja suurempina euron volatiliteettiodotuksissa. Viimeisin suuri, jopa tutkimusajanjaksoonkin nähden todella suuri, volatiliteettiodotusten kasvu näkyy vuoden 2007 jälkimmäisellä puoliskolla. Tämä liittyy todennäköisesti kyseisenä ajankohtana erityisesti Yhdysvalloissa alkaneeseen talouden todennäköiseen taantumaa, mikä puolestaan luonnollisesti nostaa epävarmuutta myös valuuttamarkkinoilla. Ilmiö on jonkin verran samanlainen osakemarkkinoiden kanssa, jossa on todettu yleisesti että volatiliteetti kasvaa kun osakemarkkinat laskevat ja toisinpäin.

Kasvanut markkinaepävarmuus luo toisaalta hyvät olosuhteet valuuttamarkkinaodotusten tutkimukselle makrotaloudellisten julkaisujen yhteydessä, jossa aikaisempi tutkimus ei pääsääntöisesti ole löytänyt merkittäviä reaktioita. Tutkimus on aikaisemmin ollut tämän aiheen puitteissa melko vähäistä, lisäksi aineistoa ei tämän tietämyksen valossa ole käsitelty ajankohtaisella aineistolla. Taulukossa 1 on esitetty tutkimuksen volatiliteettiaikasarjojen kuvaileva statistiikka absoluuttisella tasolla. Vaikka mielenkiinto on luonnollisesti implisiittisessä volatiliteetissa (IV), on vertailun vuoksi mukana myös toteutuneiden tuottojen volatiliteetti  $\sigma$  kunkin valuutan yhteydessä.

**Taulukko 1.** Volatiliteettiaikasarjoja kuvaava statistiikka.

Sarja	Keskiarvo	Keskihajonta	Vinous	Huipukkuus	Minimi	Maksimi
<i>IV</i>						
Euro	0.097	0.024	0.888	5.892	0.047	0.228
Jeni	0.100	0.021	1.731	9.983	0.043	0.282
Punta	0.083	0.016	1.033	8.539	0.042	0.235
$\sigma$						
Euro	0.084	0.016	0.043	2.680	0.050	0.129
Jeni	0.089	0.008	0.691	3.575	0.073	0.121
Punta	0.076	0.011	1.071	5.231	0.055	0.120

Taulukosta 1 on nähtävissä, että punnan implisiittisen volatilitietin keskiarvo ja vaihtelu ovat selvästi matalampia kuin eurolla ja jenillä. Muutoin sarjat vaikuttavat varsin samanlaisilta, joskin euron implisiittinen volatilitietti vaikuttaisi omaavan suurimman keskihajonnan, ollen kuitenkin hieman tasaisemmin jakautunut kuin muut valuutat. Samansuuntaisia ovat myös toteutuneet volatilitietin statistiset ominaisuudet.

Varsinkin taloudelliset aikasarjat ovat yleensä selvästi autokorreloituneita. Useamman viiveen hitaasti vähenevä korkea autokorrelaatio viittaa siihen, että volatilitiettimuutokset pois keskiarvosta tapaavat säilyvät pidempään. Toisin sanoen jos esimerkiksi korkeaa volatilitiettia seuraa todennäköisesti korkea volatilitietti, on sarja tällöin autokorreloitunut. Taulukossa 2 ovat implisiittisten sarjojen autokorrelaatiot kahdeksalla eri viiveellä, sekä absoluuttisilla tasoilla että suhteellisilla muutoksilla mitattuina. Muutokset ilmaistaan logaritmisella ensimmäisen differenssin määritelmällä  $\ln(IV_t/IV_{t-1})$ , missä  $IV$  on implisiittinen volatilitietti ajankohtana  $t$ .

**Taulukko 2.** Implisiittisten volatilitiettien autokorrelaatio  $\rho$  kahdeksalla eri viiveellä.

Sarja	$\rho_1$	$\rho_2$	$\rho_3$	$\rho_4$	$\rho_5$	$\rho_{10}$	$\rho_{15}$	$\rho_{20}$
<i>Taso</i>								
Euro	0.869	0.825	0.810	0.789	0.775	0.723	0.695	0.667
Jeni	0.828	0.765	0.723	0.664	0.645	0.526	0.445	0.371
Punta	0.799	0.749	0.723	0.696	0.670	0.589	0.544	0.512
<i>Muutos</i>								
Euro	-0.380	-0.052	0.042	-0.056	0.006	-0.045	0.024	0.037
Jeni	-0.355	-0.051	0.041	-0.068	0.013	0.039	0.062	0.004
Punta	-0.372	-0.056	-0.008	-0.011	-0.012	-0.011	0.028	0.002

Taulukosta 2 nähdään, että kaikissa kolmessa valuutassa on havaittavissa hyvin vahva ensimmäisen asteen autokorrelaatio. Lisäksi tasoilla mitattuna se laskee hyvin hitaasti, mikä myös implikoi volatilitiettiä odotusten keskiarvomuuutosten hidasta muuttumista. Muutosten mukaan myös toisen asteen autokorrelaatio on kaikilla kolmella valuutalla merkittävästi nähtävissä; eurolla ja jenillä aina neljänteen asteeseen.

#### 4.1.2. Makrotaloudelliset julkaisut

Tutkimuksen makrotaloudelliset julkaisut ovat Yhdysvalloista ja valittu pääasiassa aikaisemman tutkimuksen perusteella. Koska tutkimus julkaisujen vaikutuksesta valuuttamarkkinaodotuksiin on melko vähäistä, luotetaan tässä myös tutkimuksiin yleisimmistä valuuttakurssireaktioista ja julkaisujen vaikutuksista osakemarkkinoiden implisiittisiin volatilitetteihin (ks. kappale 1.1). Useasti osake- ja valuuttamarkkinoilla vaikuttavat samat tekijät, mutta reaktioiden laatu valuuttamarkkinoilla saattaa liittyä vahvemmin makrotaloudelliseen kokonaistilanteeseen. Valintaan vaikuttavat myös yleisesti markkinoilla tärkeimpänä pidetyt indikaattorit. Tutkimukseen valitut julkaisut, alkuperä ja niiden määrä tutkimusajanjaksolla esitetään taulukossa 3.

**Taulukko 3.** Makrotaloudelliset julkaisut toimittajan mukaan, ajoitettujen julkaisujen vuosittainen määrä ja tutkimuksessa esiintyvä julkaisukertojen kokonaismäärä.

Julkaisu	Toimittaja	Julkaisutiheys	# Määrä
Kuluttajahintaindeksi	Bureau of Labor Statistics	12	84
Tuottajahintaindeksi	Bureau of Labor Statistics	12	84
Työllisyysraportti	Bureau of Labor Statistics	12	84
Vähittäiskauppa	Census Bureau	12	84
Kauppataseen jäämä	Bureau of Economic Analysis	12	84
Ostopäällikköindeksi	Institute For Supply Management	12	84
FOMC kokous	Federal Reserve	8	56
FED raportti	Federal Reserve	2	14

Taulukon 3 julkaisut käsittävät kuusi varsinaista makrotaloudellista indikaattoria, sekä lisäksi kaksi markkinoiden tarkasti seuraamaa raportointia markkinoiden tilasta. Raportointeja on yleensä useamminkin vuodessa tarpeen mukaan, mutta etukäteen ilmoitetut määrät ja ajankohdat ovat tunnettuja sekä sisältyvät paremmin ajoitettujen julkaisujen määritelmään, joten vain näiden mukaiset raportoinnit ovat sisällytetty tutkimukseen. Kaikki tutkimuksen indikaattorit julkaistaan itäisen aikavyöhykkeen (Yhdysvaltojen itärannikko) mukaan klo 8.30 (GMT -4), josta poikkeuksena ostopäällikköindeksi klo 10.00 (GMT -4). FOMC ja FED raportointi eivät sisällä tarkkaa ajankohtaa, mutta ne tehdään yleensä keski- tai iltapäivällä (GMT -4). Lähtökohtaisesti tutkimuksen julkaisut esiintyvät kuukauden eri päivinä. Kuitenkin muutamissa tapauksissa julkaisut sattuvat

samalle päivälle, joten tällaiset havaitut päällekkäisyydet poistetaan. Julkaisujen sisältö ja julkaisupäivien ajankohta tarkistettiin useammasta lähteestä (esim. Business Week 2008; FX Words 2008). FED raportointi perustuu Federal Reserven ilmoittamaan puheenjohtajan pitämän puheen (chairman testimony) ajankohtaan.

### *Kuluttajahintaindeksi*

Kuluttajahintaindeksi (Consumer Price Index, CPI) on yleinen inflaation mittari. Se mittaa kuluttajan kiinteästi valitun päivittäisistä hyödykkeistä muodostuvan korin hintamuutoksia valittuun perusvuoteen verrattuna. Yhdysvalloissa kuukausittainen julkaisu on yksityiskohtainen raportti, joka sisältää hintaindeksit monille eri hyödykeryhmille. Nämä ilmoitetaan myös alueittain esimerkiksi kaupunkien keskiarvoina. Kuluttajahintaindeksiä pidetään yhtenä tärkeimmistä taloudellisista indikaattoreista. Kuluttajahintaindeksin arvo on sen kyvyssä ennakoida muutoksia markkinoilla, mikä saattaa näkyä muissa indikaattoreissa vasta myöhemmin. Siksi se on aina markkinoilla suuren huomion kohteena, jota markkinatoimijat seuraavat tarkasti. Sitä pidetään esimerkiksi tärkeimpänä indikaattorina tulevasta Yhdysvaltain keskuspankin (FED) korkopolitiikasta. Kuluttajahintaindeksi on mukana lähes kaikissa makrotaloudellisia julkaisuja käsittelevissä tutkimuksissa, mutta sen merkitys ei ole aina selvä. (Bureau of Labor Statistics 2008; Business Week 2008; FX Words 2008.)

### *Tuottajahintaindeksi*

Tuottajahintaindeksi (Producer Price Index, PPI) kertoo nimensä mukaisesti tuottajahintojen muutoksista. Julkaistava raportti sisältää kolme pääindikaattoria, jotka ovat jaoteltu tuotannon valmistusasteen mukaan. Indeksien tärkeys markkinoilla perustuu lähinnä sen kykyyn ennakoida kuluttajahintaindeksiä, sillä tuottajahintojen nousun ajatellaan heijastuvan edelleen kuluttajahintoihin. Tuottajahintaindeksiä tulkitaan myös myynnin ja tulojen pitempiäaikaisena suunnan näyttäjänä. Tuottajahintaindeksi on kuluttajahintaindeksin tavoin monesti tutkimuksissa mukana indikaattorina, sillä se julkaistaan yleensä 1–5 päivää ennen kuluttajahintaindeksiä jolloin se voi vaikuttaa merkittävästi markkinoilla. Toisaalta näiden indikaattoreiden julkaisun läheisyys ja samankaltaisuus voivat heikentää kummankin reaktioita. (Bureau of Labor Statistics 2008; Business Week 2008; FX Words 2008.)

### *Työllisyysraportti*

Työllisyystilanteen raportointi (Employee Situation Report) on eräs tärkeimmistä taloudellisista indikaattoreista, sillä se toimii vertailukohtana kaikelle työmarkkinoiden analysoinnille. Tärkeys on ensisijaisesti kokonaistyömarkkinatilanteen kartoittamisessa, sekä sen historiallisessa kyvyssä ennustaa taloudellisia suhdanteita. Työllisyystilanne talouden eri sektoreilla antaa yleensä tarkan kuvan siitä, mihin tilanne on kehittymässä. Raportti on erittäin yksityiskohtainen, esimerkiksi monella sen sisältämällä mittarilla on selkeä rooli talouden osa-alueiden tulkitsemisessa. Markkinat seuraavat työllisyysraporttia erittäin tarkasti; yllättävä raportti voi liikuttaa markkinoita rajustikin. Tämän vuoksi esimerkiksi myös Yhdysvaltain keskuspankki seuraa tarkasti raporttien sisältöä politiikan suunnittelussa. Tutkimuksellisessa mielessä työllisyysraportti on mielenkiintoinen, sillä monissa tutkimuksissa sen vaikutus on ollut merkittävä. (Bureau of Labor Statistics 2008; Business Week 2008; FX Words 2008.)

### *Vähittäiskauppa*

Vähittäiskauppamyynnin (Advanced Retail Sales) julkaisua pidetään tärkeänä markkinoilla. Indikaattori seuraa kuluttajille myytävien tavaroiden kokonaisarvon kehittymistä. Aktiivisuus vähittäistavarakaupassa kertoo talouden sen hetkisestä tilasta, sillä vähittäiskauppa muodostaa suurimman osan bruttokansantuotteesta. Vähittäiskaupan arvo kertoo myös yleisellä tasolla inflatorisista paineista. Indikaattorin suosio talouden tilanteen seuraamiseen perustuu osin sen ajankohtaisuuteen, sillä se julkaistaan vain kaksi viikkoa sen sisältämän ajanjakson päättymisestä. Vähittäiskaupan julkaisu on huomattu monesti merkittäväksi erityisesti osakemarkkinoilla, sillä on välittömiä implikaatioita yritysten taloudelliseen tilanteeseen. (Business Week 2008; Census Bureau 2008a; FX Words 2008.)

### *Kauppataseen jäämä*

Kauppataseen jäämä (Trade Balance Report) kertoo kansantalouden sen hetkisestä tilasta, sekä toimii vertailukohtana muille maille. Jäämä lasketaan talouden ulkomaisen viennin ja tuonnin erotuksena. Indikaattorin vahvuus on sen kyvyssä ennustaa tulevaa bruttokansantuotteen kehitystä tavalla, jota ei voi välttämättä havaita muilla mittareilla. Se voi aiheuttaa merkittävän markkinareaktion, jos jäämä poikkeaa selvästi edellisestä lukemasta, sillä markkinat odottavat sen säilyvän suunnilleen samalla tasolla. Kauppataseen jäämän on huomattu vaikuttavan valuuttamarkkinoilla, tosin vaikutusta ei ole mo-

nosti havaittavissa. Tämä voi johtua indikaattorin vaikeammasta tulkittavuudesta markkinoilla, sillä kauppataseen alijäämä ei aina ole huono asia. Yhdysvaltojen kauppatase on ollut kaksi viime vuosikymmentä alijäämäinen. (Census Bureau 2008b; FX Words 2008.)

### *Ostopäällikköindeksi*

Tuotannon ostopäällikköindeksi (ISM Purchasing Managers Index - Manufacturing) koostetaan maan kattavalla kyselytutkimuksella teollisuuden eri alojen ostopäälliköille, jossa he arvioivat teollisuuden tilannetta. Indeksiä pidetään johtavana indikaattorina teollisuuden ja koko talouden suhdannetilanteelle. Jos esimerkiksi tuotanto kasvaa, pitäisi näin olla myös talouden suhteen. Esimerkiksi keskuspankki käyttää ostopäällikköindeksiä tärkeänä indikaattorina talouden tilan analysoinnissa ja siten osin myös korkopolitiikan suunnasta päätettäessä. Indeksi on helposti tulkittava, sekä erittäin ajankohdainen, se julkaistaan tarkkailukuukaudesta seuraavan kuukauden ensimmäisenä kaupankäyntipäivänä. Sitä tulkitaan parhaiten tuottajahintaindeksin ja bruttokansantuotteen ohella, mutta se on todettu useasti merkittäväksi markkinareaktion aiheuttajaksi (Business Week 2008; FX Words 2008; Institute for Supply Management 2008.)

### *FOMC Kokoukset*

Yhdysvaltain keskuspankin avomarkkinakomitea (Federal Open Market Committee, FOMC) kokoontuu ajoitetusti kahdeksan kertaa vuodessa määrittämään rahapolitiikan suuntaa. Tärkeimmät päätökset koskevat korkopolitiikkaa, sekä kansantalouden rahan tarjontaa. Markkinat seuraavat tarkasti kokousta, sillä heti kokouksen jälkeen julkaistavassa raportissa esitetään tehdyt päätökset korkotavoitteista. Korkotavoitteiden muutokset määrittävät esimerkiksi avomarkkinaoperaatioiden kautta pankkien valuuttareserveihin, suunnan talouden korkotasolle ja vaikuttavat kansantalouden lainanottoon. Näillä pyritään vaikuttamaan talouden kehitykseen, työllisyyteen ja hintakehitykseen. Koska avomarkkinakomitean kokoukset ovat suuren julkisuuden kohteena, on mielenkiintoista sisällyttää nämä myös analyysiin, sillä vaikutuksen voi olettaa näkyvän valuuttamarkkinoilla. Joissakin tutkimuksissa (esim. Nikkinen & Sahlström 2004) kokouksilla on ollut merkittävä vaikutus osakemarkkinoiden volatiliiteettiodotuksiin. (Business Week 2008; Federal Open Market Committee 2008; FX Words 2008.)

### *FED raportti*

Yhdysvaltain keskuspankin (FED) raportointi kongressille kansantalouden tilasta on ollut merkittävässä määrin markkinoiden mielenkiinnon kohteena. Keskuspankin hallituksen puheenjohtaja pitää myös julkisen puheen rahapoliittisista päätöksistä puolivuositain, helmikuussa ja heinäkuussa (The Federal Reserve Board 2008). Raportin markkinavaikutuksista ei ole tutkimukselliselta kannalta aikaisempaa käsitystä, mutta sen oletetaan antavan lisätietoa rahapolitiikasta FOMC kokouksiin verrattuna. Markkinat seuraavat hyvin tarkasti puheenjohtajan käyttämää puheen kieliasua, aivan kuin FOMC kokouksissa. Jos markkinat tulkitsevat puheen sisällön erilaiseksi odotetusta, markkinat voivat reagoida välittömästi hyvin voimakkaasti (FX Words 2008.) Tutkimuksen aikajaksolla puheiden määrä on kuitenkin suhteellisen pieni

#### **4.2. Menetelmät**

Makrotaloudellisten julkaisujen vaikutus valuuttaoptioiden implisiittiseen volatilitettiin muodostaa tutkielman keskeisen analysoinnin kohteen. Ongelmaa lähestytään julkaisupäivänä, sekä lisäksi yhteensä kahtena muuna päivänä julkaisun ympärillä. Tilastollisilla testeillä testataan kolmen julkaisutapahtumapäivän yleistä vaikutusta verrattuna päiviin, jolloin julkaisuja tai niiden lähintä päivää ennen ja jälkeen julkaisun ei ole. Menetelmänä käytetään tilastollisia testejä, sekä informaation aiheuttamia reaktioita tutkittaessa regressiomallinnusta. Implisiittisen volatilitteen muutos määritetään tutkimuksessa ensimmäisen differenssin logaritimuunnoksena, toisin sanoen

$$(30) \quad \Delta IV_t = \ln(IV_t / IV_{t-1}).$$

Tilastollisilla testeillä pyritään analysoimaan tutkimuksen tapahtumapäivien yleistä volatilitteettimuutosta tilanteeseen, jossa tapahtumapäiviä ei ole. Testit tapahtumapäivien osalta muodostuvat kahdesta keskiarvotestistä, kahdesta mediaanitestistä sekä kahdesta todennäköisyysjakaumatestistä. Menetelmää ovat käyttäneet esimerkiksi Ederington ja Lee (1996). Testaukset tehdään kullekin valuutalle erikseen seuraavilla testeillä ja määrityksillä:

1. Keskiarvotesti ( $t$ -testi,  $H_0: IVK = 0$ ),

2. Keskiarvotesti 2 ( $t$ -testi,  $H_0: IVK_\alpha = IVK_J$ ),
3. Mediaanitesti (Wilcoxon Signed Rank,  $H_0: IVM = 0$ ),
4. Mediaanitesti (Kruskall-Wallis,  $H_0: IVM_\alpha = IVM_J$ ),
5. Jakaumatesti (Binomial Sign,  $H_0: IVP = 0.5$ ),
6. Jakaumatesti ( $\chi^2$ -testi,  $H_0: IVP_\alpha = IVP_J$ ).

Merkinnöistä keskiarvo on  $IVK$ , mediaani  $IVM$  ja todennäköisyys  $IVP$ . Indeksit  $\alpha$  ja  $J$  ovat volatilitteetti päivinä ilman julkaisua ja julkaisupäivinä. Julkaisupäivä, viivästetty julkaisupäivä, sekä ennakoitu julkaisupäivä ovat kolme eri tapahtumapäivää. Koska implisiittiset volatilitteetit ilmaistaan kaavan (30) määritelmällä, testataan poikkeavanko keskiarvo ja mediaani nolasta, tai jakaumatestin mukaan ovatko negatiiviset ja positiiviset muutokset yhtä todennäköisiä (testit 1, 3 ja 5). Testeillä 2, 4 ja 6 verrataan julkaisupäivien implisiittisen volatilitteetin (keskiarvo, mediaani, jakauma) vastaavuutta päiviin ilman julkaisuja koko tutkimuksen ajanjaksolla. Nollahypoteesi on testeissä yleisesti määritelty niin, ettei tapahtumapäivillä ole merkitystä. Siten nollahypoteesin hylkäys tarkoittaa tapahtumapäivän olevan tilastollisesti merkitsevä. Tutkielman tuloksissa testejä tulkitaan 5 % merkitsevyystasolla.

Tutkimushypoteesien  $H_1$  ja  $H_2$  testaamiseen muodostetaan regressiomalli. Malli pohjautuu osittain aikaisempaan tutkimukseen ajoitettujen markkinatapahtumien vaikutuksesta volatilitteettiodotuksiin, joita mitataan implisiittisillä volatilitteeteilla (Donders & Vorst 1996; Ederington & Lee 1996; Kim & Kim 2003; Nikkinen & Sahlström 2004). Implisiittisen volatilitteetin muuttumista tutkitaan julkaisupäivän lisäksi yhtenä päivänä ennen ja jälkeen makrotaloudellisen julkaisun. Kuvion 3 mukaisesti implisiittisen volatilitteetin, eli epävarmuuden odotetaan kasvavan päivinä ennen makrotaloudellista julkaisua, ollen huipussaan juuri ennen julkaisua (Donders & Vorst 1996).

Ederingtonin ja Leen (1996) mukaan implisiittinen volatilitteetti tapaa laskea julkaisupäivänä takaisin pidemmän keskiarvon lähetyville, koska epävarmuus häviää julkaisun tapahduttua. Sen sijaan päivinä jolloin julkaisua ei ole, implisiittisen volatilitteetin tulisi nousta. Käsitys perustuu implisiittisen volatilitteetin keskiarvoisuuteen option juoksuajalla Mertonin (1973) teorian mukaisesti (ks. kappale 3.4.2.) Koska ennen julkaisua implisiittisen volatilitteetin odotetaan kasvavan keskiarvon yläpuolelle epävar-

muuden kasvaessa, täytyy sen palautua se takaisin keskiarvoon epävarmuuden poistuttua. Optioteorian deterministisen volatilitietin määritelmän mukaan volatilitietin muutos on odotettu, mutta muutoksen laatu ei, joten mahdollisen muutoksen määrittely julkaisuajankohtana on tutkimuksen keskeinen kohta. Volatilitietin odotusten muuttumista makrotaloudellisten julkaisujen ympärillä analysoidaan seuraavalla mallilla:

$$(31) \quad \Delta IV_t = \alpha + \sum_{i=0}^8 \sum_{m=-1}^{+1} \lambda_{i,m} J_{i,m,t} + \varepsilon_t, \quad \varepsilon_t \sim N(0, \sigma_t^2).$$

Vaihtoehtoisessa määrittelyssä regressiomallista (31) jätetään pois julkaisun ympäröivät päivät, jotta saadaan tarkennettua tuloksia pelkästään julkaisujen osalta, jolloin regressiomalli (31) esitetään hieman suppeampana:

$$(32) \quad \Delta IV_t = \alpha + \sum_{i=0}^8 \lambda_i J_{i,t} + \varepsilon_t, \quad \varepsilon_t \sim N(0, \sigma_t^2).$$

Jos kaavan (31) virhetermin  $\varepsilon_t$  varianssi on heteroskedastinen, sovitetaan virhetermille sopiva GARCH(p,q) prosessi

$$(33) \quad \text{Var}(IV_t) = \sigma_t^2 = \beta_0 + \sum_{s=0}^q \beta_1 (IV_{t-1} / IV_{t-2})^2 + \sum_{s=0}^p \beta_2 \sigma_{t-1}^2.$$

Tulosten näkökulman laajentamiseksi suoritetaan regressio myös pienimmän neliösumman menetelmällä (OLS). Tällöin regressiomallin (31) virhetermille ei oleteta kaavan (33) mukaista prosessia.

Kaava (31) on regressiomalli, jossa  $J$  on binaarimuuttuja makrotaloudelliselle julkaisulle  $i$  päivinä  $m$ . Kunkin julkaisun binaarimuuttuja  $J$  saa arvon yksi kyseisen julkaisun tapahtumahetkellä, tai päivänä ympärillä, muutoin arvo on aina nolla; esimerkiksi ajankohdalla  $m = t-1$  binaarimuuttuja saa arvon yksi päivän jälkeen (viivästetty arvo) makrotaloudellisen uutisen julkaisun. Termi  $\alpha$  on vakio, mikä vastaa volatilitietin keskimääräistä muutosta päivinä, jolloin julkaisua ei ole. Toisin sanoen kaikki tutkimusaikajakson päivät jotka eivät kuulu regressiomallin binaarimuuttujien arvoille yksi. Muuttuja  $\lambda$  on kerroinestimaatti binaarimuuttujalle  $J$ , se ilmoittaa volatilitietin muutoksen julkaisun ja ajankohdan mukaan. Muuttuja  $\varepsilon_t$  on virhetermi, joka oletetaan normaalisti jakautuneeksi.

Vakion  $\alpha$  pitäisi olla hypoteesin  $H_2$  positiivinen, eli  $\alpha > 0$  koska implisiittisen volatiliiteetin voi odottaa nousevan päivinä ilman makrotaloudellisia julkaisuja. Kertoimen  $\lambda$  oletetaan hypoteesin  $H_1$  olevan negatiivinen, eli  $\lambda_i < 0$  varsinaisena julkaisupäivänä kaikille makrotaloudellisille julkaisuille, sillä hypoteesin yksi mukaan implisiittisen volatiliiteetin tulisi laskea epävarmuuden poistuttua (Ederington & Lee 1996). Sen sijaan ennen julkaisua kertoimen voi olevan positiivinen, koska epävarmuus todennäköisesti tällöin on korkealla; tämä tutkitaan päivänä ennen julkaisua. Tapahtumapäivinä oletuksena on, ettei muita merkittäviä ajoitettuja makrotaloudellisia tapahtumia ole näinä päivinä.

Taloudelliset aikasarjat ovat monesti autokorreloituneita. Näin on myös tämän tutkimuksen kolmen valuutan implisiittisen volatiliiteetin kohdalla, kuten todettiin taulukon 2 yhteydessä. Tämän vuoksi regressiomalliin (31) sisällytetään autokorrelaation korjaamiseksi testien perusteella parhaiten aikasarjoja kuvaava autoregressiivinen malli AR(p), missä q on regressoitavien viiveiden määrä. Koska volatiliiteetti ei selvästikään ole vakio, vaan vaihtelee ajan mukana todetusti, oletetaan virhetermille myös muuttuva keskiarvo MA(q) ottamaan huomioon tämä ominaisuus. Kummatkin komponentit sisältävä prosessi on ARMA(p,q) malli. Tämän mallin sisällyttäminen regressioon (31) korjaa autokorrelaatiota.

Jos virhetermin varianssi ei ole vakio, pelkkä ARMA malli ei välttämättä kuvaa aikasarjaa hyvin. Virhetermin varianssin ollessa heteroskedastinen, voidaan sille määrittää parhaiten aineistoon sopiva ARMA malli, jonka jälkeen sovitetaan sopiva GARCH prosessi. Tämä tehdään mallin (33) määrittämisen mukaan. GARCH mallissa virhetermin varianssi itse seuraa ARMA prosessia. Varianssin heteroskedastisuuden merkitsevyys testataan LM (Lagrange Multiplier) testillä, jolla selvitetään sisältääkö ARMA malli viitteitä heteroskedastisuudesta. Käytännössä volatiliiteettiaikasarjat ovat heteroskedastisia, joten oletettaessa GARCH prosessi implisiittisen volatiliiteetin varianssille, saadaan mahdollisesti luotettavampia tuloksia (ks. esim. Nikkinen & Sahlström 2004). Pienimmän neliösumman menetelmässä voidaan heteroskedastisuutta kontrolloida esimerkiksi Newey-West oletuksilla.

Jos regressiomallissa (31) virhetermin oletetaan seuraavan GARCH(p,q) prosessia kaavan (33) mukaisesti, on sen varianssi tällöin  $\sigma_t^2$ . Diagnostisilla testeillä saadaan parhaiten implisiittisten volatiliiteettien aikasarjoja kuvaavat ARMA mallit, jotka sisällytetään tutkimuksen regressiomalliin (31) kullekin valuutalle. Tämä käsittää sopivan AR(p) mallin etsimisen, koska itse muuttujan viivästetyillä arvoilla on lähinnä merkitystä au-

tokorrelaation määrittelyssä. Muuttuvan keskiarvon komponentin järjestys  $q$  on yksi, eli sisällytetään MA(1) prosessi virhetermin varianssin viivästetylle arvolle.

Markkinoilla informaatio on luonteeltaan jatkuvaa, valuuttakurssien volatiliteetti syntyy luonnollisesti tämän informaation pohjalta. Aikaisemmin esiteltyjen suurten julkaisujen lisäksi tutkitaan myös volatiliteettiodotusten muuttumista markkinoille saapuvan informaation laadun perusteella. Tällä analysoidaan tutkielman kolmas tutkimushypoteesi  $H_3$ . Valuuttakurssien negatiivisten ja positiivisten tuottojen oletetaan tällöin edustavan reaktioita markkinoille saapuvasta kaikesta relevantista informaatiosta, jotka heijastuvat valuuttoihin aivan samoin kuin makrotaloudellisten julkaisujen tapauksessa. Tällöin keskitytään implisiittisen volatiliteetin muutokseen valuuttakurssireaktioiden pohjalta.

Keskittymällä valuuttakurssimuutoksiin makrotaloudellisten julkaisujen laadun sijasta, saadaan informaation laadun vaikutus volatiliteettiodotuksiin yleisemmin pidemmällä aikavälillä. Lisäksi hyvien ja huonojen makrotaloudellisten julkaisujen määrittäminen on melko hankalaa, joten tässä käytetään markkinoiden arviota talouden kehitykselle. Hypoteesin  $H_3$  analysoinnissa muodostetaan regressiomalli Kimin ja Kimin (2003) mallin pohjalta. Mallissa on kaksi binaarimuuttujaa kummallekin positiivisille ja negatiivisille valuuttakurssimuutoksille, lisäksi binaarimuuttuja tutkimuksen kaikkien makrotaloudellisten julkaisupäivien eliminoinniseksi aikasarjoista. Mallissa käytetään samoja yllä kuvattuja autoregressiivisiä määrittämiä. Käytettävä regressiomalli on seuraavanlainen:

$$(34) \quad \Delta IV_t = \alpha + \sum_{i=0}^8 \alpha_i J_i + \gamma^+ R_t^+ + \gamma^- R_t^- + \varepsilon_t, \quad \varepsilon_t \sim N(0, \sigma_t^2).$$

Regressiomallissa (34)  $J$  on binaarimuuttuja makrotaloudellisille julkaisuille ilman ympäryspäiviä,  $R^+$  ja  $R^-$  ovat binaarimuuttujat positiivisille ja negatiivisille tuotoille. Virhetermi määritellään kuten kaavassa (33). Jos valuuttakurssin positiiviset ja negatiiviset muutokset kasvattavat merkittävästi implisiittistä volatiliteettia, silloin kertoimen  $\gamma^+$  tulisi olla merkittävästi positiivinen ja kertoimen  $\gamma^-$  vastaavasti negatiivinen. Volatiliteettiodotusten voi tällöin sanoa muodostuvan symmetrisesti. Jos vain toinen on merkittävä, volatiliteettiodotukset ovat asymmetrisiä. Teorian yhteydessä todettiin jo aikaisemmin, että erityisesti osake- ja velkakirjamarkkinoilla volatiliteettiodotukset ovat usein asymmetrisiä negatiivisten muutosten osalta, jolloin kerroin  $\gamma^-$  olisi merkittävästi negatiivinen. Tarkoituksena on tutkia, ovatko nämä tulokset löydettävissä myös valuutamarkkinoilla. Kertoimille  $\gamma^+$  ja  $\gamma^-$  tehdään myös  $\chi^2$ -testi, eli ovatko kertoimien erot tilastollisesti merkitseviä ( $H_0: \gamma^+ = \gamma^-$ ).

## 5. TULOKSET

Tutkielmassa analysoitiin makrotaloudellisten julkaisujen vaikutusta euron, jenin ja punnan dollarimääräisten valuuttaoptioiden implisiittiseen volatiliteettiin julkaisupäivänä, sekä myös yhtenä päivänä ennen ja jälkeen sen ympärillä. Lisäksi analysoitiin lyhyesti valuuttamarkkinoiden volatiliteettiodotusten symmetriaa, eli ovatko odotukset symmetrisiä negatiivisten ja positiivisten valuuttakurssimuutosten kanssa. Tutkimushypoteesit perustuvat aikaisempiin vastaavien ongelmien hypoteeseihin ja tuloksiin, joita sovellettiin valuuttamarkkinoille.

Tutkimusajanjakso valuuttaoptioiden tapauksessa on varsin uusi, joten tulosten vertaaminen aikaisempiin vastaaviin tutkimustuloksiin on mielenkiintoista, myös osakemarkkinoilta saatuihin tuloksiin. Valuuttamarkkinat tapaavat reagoida maltillisemmin ajoitettuun markkinainformaatioon, joten erityisesti 2000 -luvulla lisääntynyt epävarmuus ja valuuttaoptioiden implisiittinen volatiliteetti muodostavat lähtökohdan uudemmalle tutkimukselle.

Taulukossa 4 esitetään tulokset kullekin implisiittisen volatiliteetin sarjalle sopivan autoregressiivisen mallin testaamisesta. Testaamisessa käytettiin Box-Ljung Q-arvo testiä autokorrelaation ja osittaisautokorrelaation määrittelyssä 20 ensimmäisellä viiveellä, LR testiä (log-likelihood ratio), LM testiä sekä Akaiken minimointikriteeriä. Tulokset sisältävät sopivimman mallin ja niiden testiarvot, sekä autokorrelaation kahdella eri viiveellä. Q-testin kriittiset arvot 5 % ja 1 % merkitsevyystasoilla  $\chi^2$  jakaumassa ovat  $\chi^2(10)$  18.307 ja 23.209, sekä  $\chi^2(20)$  31.410 ja 37.566. Nollahypoteesin mukaan autokorrelaatiota ei ole.

**Taulukko 4.** Testisuureet implisiittisten volatiliteettien aikasarjoissa sopiville autoregressiivisille malleille.

Sarja	AR(p)	LR	p	LM	p	Akaike	Q(10)	Q(20)
Euro	AR(3)	8.263	0.004	162.818	0.000	-2.023	5.014	14.054
Jeni	AR(3)	12.469	0.000	152.732	0.000	-1.907	11.250	23.046
Punta	AR(1)	28.012	0.000	123.107	0.000	-1.971	4.046	11.941

Taulukon 4 testien mukaan kaikkien valuuttojen implisiittisten volatilitteettien aikasarjat ovat autokorreloimattomia testikriteerien mukaan valituilla sopivimmalla, tai pienimmän mahdollisen viiveen AR(p) mallilla. Mallit ovat valittu ensisijaisesti LR ja Q testeillä, joilla tutkittiin jokaisen autoregressiivisen termin lisäyksen aiheuttama merkitys autokorrelaation vähentämisessä 5 % merkitsevyystasolla. Toisin sanoen saatu AR malli on järjestykseltään pienin mahdollinen, jolla autokorrelaatio saadaan korjattua. Akaiken arvo toimii vahvistavana kriteerinä. Euro ja jeni vaativat AR(3) mallin lisäämistä regressiomalliin (31), kun taas punnalle riittää AR(1). Yleisesti ottaen mitä pienempi vaadittava AR mallin järjestys on, sitä parempi se on aikasarjan ekonometrisen luotettavuuden kannalta. Kaikkien valuuttojen AR kertoimet ovat selvästi positiivisia ja merkitseviä. LM testi indikoi kuitenkin vahvasti heteroskedastisuutta.

### 5.1. Tulokset makrotaloudellisten julkaisujen vaikutuksista

Taulukossa 4 esitettiin LM testi virhetermin varianssin heteroskedastisuudelle. Nollahypoteesin mukaan varianssiprosessi on homoskedastinen. Kuten on todettavissa, kaikissa sarjat ovat vahvasti heteroskedastisia, eli niissä on todettavissa ARCH efekti. Tämä implikoi sopivan GARCH mallin sovittamista jokaiselle sarjalle. Ylivoimaisesti käytetyin on GARCH(1,1) malli sen yksinkertaisuuden ja toimivuuden vuoksi. Sitä käytetään myös tässä, koska muut testatut mallit (EGARCH, GARCH(2,1), GARCH-M) eivät tarjonneet tässä tarkoituksessa merkittävästi lisähyötyä. Taulukossa 5 on esitetty regressiomallin (31) virhetermille GARCH spesifikaation tulokset (ARCH vakiota ei näytetä).

**Taulukko 5.** GARCH(1,1) varianssiprosessin tulokset regressiomallille (31).

Sarja	$\beta_1$ (ARCH)	p	$\beta_2$ (GARCH)	p	LM	p	Q(10)	Q(20)
Euro	0.499	0.000	0.433	0.000	5.115	0.998	4.238	11.473
Jeni	0.760	0.000	0.169	0.000	7.708	0.657	3.469	11.724
Punta	0.201	0.000	0.830	0.000	2.580	0.999	9.047	15.561

Taulukon 5 mukaan GARCH varianssin sovitus regressiomalliin vaikuttaisi onnistuneelta. LM testin mukaan virhetermin heteroskedastisuus voidaan mallintaa varsin hyvin GARCH(1,1) spesifikaatiolla kaikille valuutoille. Mainittakoon myös, että GARCH(1,0) tai GARCH(2,1) vaikuttasi toimivan punnalle hieman paremmin LR testin

ja Akaiken kriteerin mukaan. Kuitenkin Q testin mukaan autokorrelaatio kasvaa, lisäksi parannus on varsin pieni, joten GARCH(1,1) määrittys kaikille sarjoille katsotaan riittäväksi.

### 5.1.1. Julkaisupäivien vaikutukset

Taulukossa 6 esitetään suoritettavat tilastolliset testit tutkimuksen kaikkien makrotaloudellisten julkaisupäivien vaikutuksesta valuuttaoptioiden implisiittiseen volatilitettiin. Termi  $\alpha$  kuvaa päiviä, jolloin makrotaloudellista julkaisua ei ole. Jokainen julkaisutapahtumapäivä, tarkemmin sanoen julkaisupäivä, sekä päivä ennen ja jälkeen ovat analysoitu erikseen. Tämän vuoksi myös jokainen tapahtumapäivä sisältää oman arvons  $\alpha$ , koska tällöin muita päiviä ei oteta huomioon. Näin saadaan paremmin mukaan volatilitietin luonne yleisesti, kuin jättämällä kerralla pois kaikki selittävät julkaisupäivät. Esimerkiksi merkintä  $J(-1)$  tarkoittaa implisiittisen volatilitietin arvoa päivää ennen julkaisua, ei siis viivästettyä arvoa. Julkaisuttomat päivät merkitään vastaavasti  $\alpha (-1)$ , toisin sanoen kaikki muut päivät paitsi päivän ennen julkaisua. Taulukon 6 tulokset ilmoitetaan tilastollisina todennäköisyyksinä; merkitsevät tulokset ovat tummennetulla värillä. Taulukossa 6 ilmoitetaan myös julkaisutapahtumapäivien keskiarvo ja mediaani, sekä negatiivisten päivien prosentuaalinen osuus.

Taulukossa 6 tuloksissa viiden prosentin merkitsevyystasolla arvons 0.05 alitus johtaa nollahypoteesin hylkäykseen, mikä tarkoittaa merkitsevää tulosta normaalipäivistä poikkeamiselle. Tulosten mukaan on selvästi nähtävissä, että julkaisupäivä on selvästi merkityksellisin kaikilla valuutoilla. Varsinaisten julkaisupäivien keskiarvo on odotetusti negatiivinen kaikilla valuutoilla. Tapahtumapäivät ennen ja jälkeen julkaisun ovat myös keskiarvoltaan odotettuja, eli päivää ennen positiivinen ja päivän jälkeen vielä jotakuinkin matala, mutta kuitenkin ne ovat kokonaisuudessaan varsin merkityksettömiä. Näillä päivillä ainoastaan  $\chi^2$ -testi tapahtumapäivien ja normaalipäivien todennäköisyysjakauman samankaltaisuudesta johtaa nollahypoteesin hylkäykseen.

Varsinaisen julkaisupäivänä kaikilla valuutoilla nollahypoteesin hylkäykseen johtavat mediaanitestit (Wilcoxon), sekä kummatkin jakaumatestit (Binomial,  $\chi^2$ -testi). Tämä implikoi vahvasti, etteivät negatiiviset ja positiiviset muutokset ole yhtä todennäköisiä varsinaisena julkaisupäivänä. Negatiivisten päivien osuus on kaikilla valuutoilla tällöin selvästi suurempi kaikkiin muihin päiviin verrattuna. Eurolla ja jenillä tulokset ovat yleisesti ottaen hieman vahvempia kuin punnalla, jolla varsinainen julkaisupäivä näyttäisi olevan pääasiallisesti merkityksetön, erityisesti keskiarvotestien perusteella.

**Taulukko 6.** Makrotaloudellisten julkaisupäivien vaikutus valuuttaoptioiden implisiittiseen volatiliiteettiin.

Testit	$\alpha (0)$	J(0)	$\alpha (-1)$	J(-1)	$\alpha (+1)$	J(+1)
<i>Euro</i>						
Keskiarvo	0.003	-0.010	-0.000	0.002	0.000	-0.001
*Keskiarvotesti	0.273	<b>0.022</b>	0.915	0.727	0.912	0.772
*Keskiarvotesti (2)		0.089		0.784		0.823
Mediaani	0.000	-0.009	-0.001	0.002	0.000	0.000
*Wilcoxon Signed R.	0.148	<b>0.000</b>	0.244	0.308	0.599	0.833
*Kruskal-Wallis		<b>0.019</b>		0.946		0.490
Negatiiviset päivät	0.468	0.571	0.501	0.465	0.491	0.498
*Binomial Sign	0.699	<b>0.000</b>	<b>0.029</b>	0.382	0.282	0.299
* $\chi^2$ -testi		<b>0.000</b>		<b>0.000</b>		<b>0.000</b>
<i>Jeni</i>						
Keskiarvo	0.004	-0.013	-0.001	0.005	-0.000	0.002
*Keskiarvotesti	0.119	<b>0.004</b>	0.660	0.275	0.934	0.703
*Keskiarvotesti (2)		<b>0.030</b>		0.389		0.767
Mediaani	0.000	-0.007	0.000	0.000	0.000	0.000
*Wilcoxon Signed R.	0.299	<b>0.001</b>	0.314	0.763	0.295	0.720
*Kruskal-Wallis		0.100		0.999		1.000
Negatiiviset päivät	0.472	0.547	0.492	0.482	0.494	0.476
*Binomial Sign	0.720	<b>0.010</b>	0.194	0.735	0.259	0.961
* $\chi^2$ -testi		<b>0.000</b>		<b>0.000</b>		<b>0.000</b>
<i>Punta</i>						
Keskiarvo	0.002	-0.006	-0.001	0.003	0.002	-0.007
*Keskiarvotesti	0.511	0.130	0.780	0.560	0.382	0.138
*Keskiarvotesti (2)		0.264		0.653		0.253
Mediaani	0.000	-0.005	0.000	0.001	0.000	0.000
*Wilcoxon Signed R.	0.172	<b>0.001</b>	0.304	0.303	0.870	0.591
*Kruskal-Wallis		0.055		0.921		0.950
Negatiiviset päivät	0.463	0.559	0.489	0.477	0.490	0.473
*Binomial Sign	0.308	<b>0.002</b>	0.294	0.562	0.458	0.961
* $\chi^2$ -testi		<b>0.000</b>		<b>0.000</b>		<b>0.000</b>

Taulukossa 6 euron julkaisupäivän osalta tulokset osoittavat, että implisiittisen volatiliiteetin käyttäytyminen on tilastollisesti merkitsevän poikkeavaa verrattuna julkaisuuttomiin päiviin. Keskiarvo ja mediaani poikkeavat selvästi nollostasta, sekä negatiiviset muutokset ovat selvästi todennäköisempiä kuin muina päivinä. Päivää ennen julkaisua näyttäisivät negatiiviset muutokset olevan epätodennäköisempiä, mutta ei kuitenkaan merkitsevästi. Yleisesti ottaen tutkimuksen varsinaisen julkaisupäivän volatiliteettiodotusten todetaan muuttuvan eurolla selvästi.

Jenillä tulokset ovat melko samankaltaisia euron kanssa, joskin hieman lievempiä. Esimerkiksi Kruskal-Wallis testin perusteella nollahypoteesia ei hylätä samasta mediaanista julkaisuuttomien ja julkaisupäivien kanssa. Päivillä ennen ja jälkeen julkaisun ei vaikuttaisi olevan juurikaan merkitystä volatiliteettiodotusten kannalta. Edelleen jenillä varsinaisen julkaisupäivän todetaan olevan merkittävä lähes kaikilla testeillä. Negatiivisia päiviä on selvästi eniten julkaisupäivänä, päivää ennen julkaisua negatiivisia päiviä on odotetusti vähemmän, mutta merkityksettömästi. Myös jenin todetaan tukevan tutkimushypoteeseja julkaisupäivien puolesta, mutta hieman eri painotuksella euroon verrattuna. Jenillä toinen keskiarvotesti on merkittävä euroon verrattuna. Lisäksi keskiarvo näyttäisi olevan hieman voimakkaammin negatiivinen. Jo taulukosta 1 oli nähtävissä jenin volatiliiteetin olevan suurempi kuin kahdella muulla valuutalla. Tämä saattaa liittyä yleisesti tunnettuun Japanin keskuspankin aktiiviseen rooliin markkinoilla.

Punnan tapauksessa varsinaisen julkaisupäivän negatiivinen reaktio on pienempi kuin eurolla ja jenillä, sekä merkityksetön, kuitenkin negatiivisten päivien osuus julkaisupäivien volatiliiteetin osuudesta on edelleen melko selvästi vahvempi. Kuten myös eurolla ja jenillä, vain varsinaiset julkaisupäivät ovat merkityksellisiä. Tulokset ovat kuitenkin selvästi heikompia muihin verrattuna. Kummatkaan keskiarvotestit, sekä Kruskal-Wallis testi eivät johda nollahypoteesin hylkäykseen, mikä ilmentää heikompia todisteita tutkimuksen makrotaloudellisten julkaisupäivien merkityksellisyydestä punnan implisiittiseen volatiliiteettiin.

Punnan heikompia todisteita voi pitää periaatteessa yllätyksettöminä, sillä se on tutkittu kolmesta valuuttaoptiosta vaihdoltaan pienin ja volatiliiteetiltaan matalin (ks. taulukko 1), sekä oletettavasti siihen vaikuttaa sen nykyinen asema valuuttamarkkinoilla. Mielenkiinto kohdistuu punnan tapauksessa enemmän regression tuloksiin, sekä vertailuun euron kanssa eri indikaattoreiden vaikutuksesta. Esimerkiksi negatiivisten päivien osuus on varsinaisena julkaisupäivänä suurempi kuin jenillä, mutta näiden päivien negatiivinen keskiarvo on lähes puolet pienempi, sekä myös selvästi pienempi kuin eu-

rolla. Toinen keskiarvotesti menee varsinaisena julkaisupäivänä läpi ainoastaan jenillä, mikä implikoisi tämän testin mukaan, etteivät euron ja punnan keskiarvomuutoksilla ole 5 % merkitsevyystasolla eroa julkaisu- ja julkaisuttomien päivien välillä. Taulukon 6 perusteella voidaan kuitenkin yleisesti todeta, että varsinaiset julkaisupäivät poikkeavat selvästi ja merkitsevästi muista päivistä, mikä osaltaan tukee tutkielman ensimmäistä hypoteesia julkaisupäivän negatiivisesta muutoksesta tilastollisten todisteiden perusteella. Tuloksista voi myös nähdä lievää tukea myös toisella hypoteesille normaalipäivien positiivisuudesta, muttei kuitenkaan tilastollisesti kovin vakuuttavasti.

### 5.1.2. Julkaisujen vaikutukset

Taulukossa 7 esitetään tulokset regressiosta (31) kullekin valuutalle. Yksityiskohtaisemmin makrotaloudellisten julkaisujen vaikutusta tutkittiin varsinaisena julkaisupäivänä regressiomallin (32) avulla, jonka tulokset ovat taulukossa 8. Tulokset esitetään regressiomallien (31) ja (32) sekä niille tehdyn varianssiprosessin (33) GARCH(1,1) määrittämisestä aiemman mukaisesti (ks. taulukot 4 ja 5). Taulukoissa regressioista esitetään estimaatti (kerroin) ja tilastollinen todennäköisyys (p). Viiden prosentin merkitsevyystasolla merkitsevät julkaisujen kertoimet ovat jälleen tummennetulla värillä. Julkaisujen arvoissa (-1) ja (+1) tarkoittavat tapahtumia päivää ennen sekä päivän jälkeen julkaisun.

Taulukon 7 tulosten mukaan on nähtävissä, että yleisemmin eri valuutoilla makrotaloudellisista julkaisuista merkitsevän reaktion aiheuttavat ostopääallikköindeksi ja FED raportointi. Ostopääallikköindeksin vaikutus julkaisupäivänä on vahvasti hypoteesin  $H_1$  mukainen kaikilla valuutoilla. FED raportoinnin vaikutus implisiittiseen volatilitettiin on erittäin vahva, mutta kuitenkin päinvastainen odotetusta, sillä se nostaa epävarmuutta julkaisupäivänä. Myös työllisyysraportti oli melko vahva aiheuttaen eurolla ja jenillä reaktion. Punnalla taas vaikutti yksittäisenä tuottajahintaindeksi ja eurolla FOMC kokous. Reaktioiden lukuisuus julkaisujen ympärillä on myös sangen kiintoisaa.

Kaikilla julkaisuilla, pois lukien FED raportointi, on havaittavissa että julkaisupäivänä kerroinestimaatit ovat negatiivisia lähes kaikilla valuutoilla merkitsevyydestä riippumatta, mikä näyttäisi tukevan ensimmäistä tutkimushypoteesia. Lisäksi kaikki merkitsevät reaktiot ovat silti negatiivisia. Tutkimushypoteesi  $H_2$  saa myös selvästi tukea, sillä julkaisutapahtumattomien päivien kertoimet ovat merkitsevästi positiivisia. Tuloksia voi näin ollen pitää odotettuina kertoimien arvojen mukaan.

**Taulukko 7.** Makrotaloudellisten julkaisujen vaikutus valuuttaoptioiden implisiittiseen volatilitettiin.

Julkaisu	Euro	p	Jeni	p	Punta	p
Ei julkaisua ( $\alpha$ )	<b>0.004</b>	0.000	<b>0.003</b>	0.001	<b>0.002</b>	0.023
Kuluttajahintaindeksi (-1)	0.006	0.523	<b>0.012</b>	0.044	<b>0.025</b>	0.001
Kuluttajahintaindeksi	-0.017	0.052	-0.008	0.279	0.002	0.821
Kuluttajahintaindeksi (+1)	0.009	0.237	-0.011	0.142	-0.005	0.464
Tuottajahintaindeksi (-1)	0.005	0.547	<b>0.015</b>	0.032	0.003	0.711
Tuottajahintaindeksi	-0.005	0.559	-0.011	0.255	<b>-0.017</b>	0.029
Tuottajahintaindeksi (+1)	0.006	0.460	0.003	0.728	<b>-0.030</b>	0.000
Työllisyysraportti (-1)	0.001	0.956	-0.010	0.168	-0.005	0.600
Työllisyysraportti	<b>-0.022</b>	0.032	<b>-0.016</b>	0.013	-0.014	0.233
Työllisyysraportti (+1)	-0.007	0.425	0.012	0.109	-0.009	0.257
Vähittäiskauppa (-1)	-0.010	0.281	-0.010	0.298	-0.001	0.926
Vähittäiskauppa	-0.002	0.820	-0.013	0.107	-0.016	0.080
Vähittäiskauppa (+1)	<b>-0.021</b>	0.022	-0.004	0.634	<b>-0.022</b>	0.013
Kauppataseen jäämä (-1)	0.005	0.605	-0.004	0.634	0.008	0.327
Kauppataseen jäämä	0.002	0.867	-0.017	0.105	-0.008	0.374
Kauppataseen jäämä (+1)	-0.000	0.974	0.003	0.717	-0.008	0.284
Ostopäällikköindeksi (-1)	-0.005	0.479	-0.010	0.133	<b>0.019</b>	0.020
Ostopäällikköindeksi	<b>-0.038</b>	0.000	<b>-0.049</b>	0.000	<b>-0.027</b>	0.000
Ostopäällikköindeksi (+1)	0.010	0.187	0.001	0.827	-0.001	0.905
FOMC kokous (-1)	<b>0.018</b>	0.028	<b>-0.037</b>	0.000	0.011	0.371
FOMC kokous	<b>-0.022</b>	0.010	0.002	0.836	-0.004	0.667
FOMC kokous (+1)	-0.007	0.335	<b>0.017</b>	0.012	-0.012	0.171
FED raportti (-1)	<b>-0.077</b>	0.000	<b>-0.054</b>	0.000	<b>-0.040</b>	0.000
FED raportti	<b>0.108</b>	0.000	<b>0.050</b>	0.012	<b>0.082</b>	0.000
FED raportti (+1)	<b>-0.071</b>	0.001	-0.026	0.159	<b>-0.031</b>	0.042
AR(1)	<b>0.369</b>	0.000	<b>0.356</b>	0.000	<b>0.421</b>	0.000
AR(2)	<b>0.225</b>	0.000	<b>0.107</b>	0.000		
AR(3)	<b>0.094</b>	0.001	<b>0.080</b>	0.000		
MA(1)	<b>-0.912</b>	0.000	<b>-0.829</b>	0.000	<b>-0.783</b>	0.000
$\beta_1$ (ARCH)	<b>0.499</b>	0.000	<b>0.760</b>	0.000	<b>0.201</b>	0.000
$\beta_2$ (GARCH)	<b>0.433</b>	0.000	<b>0.169</b>	0.000	<b>0.830</b>	0.000
Selitysaste $R^2$	0.221		0.186		0.190	
F-testiarvo	<b>17.664</b>	0.000	<b>14.399</b>	0.000	<b>15.671</b>	0.000

FED raportointi käyttäytyy lähes päinvastaisesti odotuksista poiketen, joka näyttäisi nostavan julkaisupäivänä epävarmuutta selvästi kaikilla valuutoilla. Mielenkiintoisuutta lisää myös se, että julkaisun ympäröivinä implisiittisen volatilitietin muutos on kaikilla valuutoilla negatiivinen kaikkina näinä päivinä. Ilmiön tulkittavuus on hankalaa; tämä voi johtua julkaisun harvalukuisuudesta ja luonteesta, jota markkinat tulkitsevat tuloksen perusteella epävarmuutta lisääväksi. Tässä voi olla kyse selvästä markkinoiden ylireagoinnista. Julkaisua saatetaan tulkita myös pidemmän aikavälin talouspolitiikan suunnasta. Määrä on myös tutkimuksessa vähäinen, vain 14, mikä vähentää tuloksen luotettavuutta.

Jenillä ja punnalla kuluttajahintaindeksin reaktio on päivää ennen julkaisua merkitsevästi positiivinen, mikä implikoi että näillä valuuttamarkkinoilla julkaisu on varsin odotettu nostoen epävarmuutta. Sen sijaan merkittävää laskua ei tapahdu julkaisupäivänä eikä myöskään sen jälkeen. Ylireagoinnista voisi esimerkiksi kysymys olla silloin, jos voimakas epävarmuuden kasvu näkyisi julkaisun tapahduttua voimakkaana epävarmuuden laskuna. Täten reaktion tulkittavuus on tässä tapauksessa hankalaa. Huomioitavaa on myös, että eurolla reaktio kuluttajahintaindeksin julkaisupäivänä on käytännössä merkitsevä ja negatiivinen. Jenillä myös tuottajahintaindeksi katsotaan merkittäväksi päivää enne julkaisua. Inflaatio-odotuksilla näyttäisi olevan siten merkittävä vaikutus erityisesti jenin implisiittiseen volatilitettiin. Punnalla tuottajahintaindeksi laskee merkitsevästi julkaisupäivänä, mutta mielenkiintoisesti vielä enemmän päivän julkaisun jälkeen.

Eurolla ja punnalla vähittäiskaupan julkaisun jälkeinen päivä on merkitsevä, mikä näyttäisi laskevan epävarmuutta selvästi. Reaktio voi johtua julkaisun tulkittavuudesta. Kuitenkaan kumpanakaan päivänä ennen tätä reaktioita ei ole merkittävää kasvua implisiittisessä volatilitietissä. Ostopääällikköindeksin julkaisu nostaa merkitsevästi epävarmuutta punnalla, jonka jälkeen se laskee julkaisun tapahduttua. Sama ilmiö on huomattavissa eurolla FOMC kokouksen tapauksessa. Lisäksi jenillä FOMC kokouksen jälkeisenä päivänä näkyy epävarmuuden kasvua. Tässä kannattaa huomioida epävarmuuden lasku päivää ennen FOMC julkaisua.

Jenin tuloksia analysoitaessa kannattaa mahdollisesti huomioida Japanin ja Yhdysvaltojen aikaero, sillä Japanissa pörssi on jo kiinni saman päivän makrotaloudellisten julkaisujen aikaan. Vaikka valuuttaoptioilla käydään kauppaa Yhdysvalloissa samalla aikaerolla julkaisujen kanssa, saattaa osa reaktiosta siirtyä seuraavalle päivälle niiltä osin, kun julkaisun merkittäväksi katsovat toimijat eivät ole markkinoilla julkaisun aikaan. Reaktiot saattavat jakautua markkinoista johtuen siten eritavoin. Kuitenkin tässä tutki-

muksessa oletetaan suurimman reaktion tapahtuvan julkaisupäivänä. Punnän tuloksia analysoitaessa on syytä kiinnittää huomiota sen mahdolliseen seuraaja-asemaan suhteessa euroon. Tätä implikoi myös joidenkin tulosten samankaltaisuus euron kanssa.

Lievästi yllättävää tuloksissa oli perinteisesti valuuttamarkkinoilla vahvan kauppataseen jäämän merkityksettömyys markkinoilla (ks. esim. Kim & Kim 2003; Kim ym. 2004). Tämä saattaa johtua markkinoiden luonteen muuttumisesta viime vuosina, jolloin informaation ajankohtaisuus korostuu. Kauppataseen jäämä julkaistaan vasta kaksi kuukautta kohdekuukauden jälkeen. Tätä on hyvä verrata ostopääallikköindeksiin, joka on kaikista ajankohtaisin indikaattori. Se on saatavilla ainoastaan muutama päivä kohdekuukauden jälkeen, mikä lisää sen merkitystä nykyisen kaltaisilla markkinoilla.

Yleisesti ottaen päivää ennen julkaisua olevissa estimaateissa tendenssi on odotetusti positiivinen. Julkaisupäivän jälkeiset estimaatit tapaavat olla hienoisesti negatiivisia. Negatiivisuus ei ole yllättävää, koska jos epävarmuuden odotetaan laskevan julkaisupäivänä, tilanne voi todennäköisesti säilyä jonkin aikaa. Tämä johtuu todennäköisesti julkaisujen laadusta ja markkinoiden tulkinnasta (esim. Isakov & Perignon 2001). Indikaattoreiden erisuuruinen tärkeys valuuttakursseille voi todennäköisesti johtua kyseisen valuuttaparin talouksien kansainvälisen, tai sitä käyttävän kaupan rakenteesta. Yleisemmin taulukon 7 tulokset ovat melko odotettuja implisiittisen volatiliiteetin käyttäytymisestä kolmena tutkittuna julkaisujen tapahtumapäivänä, mikä tukee kahta ensimmäistä tutkimushypoteesia.

Jotta makrotaloudellisten julkaisujen vaikutusta saadaan tarkennettua pelkästään julkaisupäivänä, jätettiin regressiomallista (31) pois ympäryspäivät, mitkä saattavat vaikuttaa tuloksiin kokonaisregressiossa. Muutoin määritykset säilyvät samoina. Tulokset tästä regressiosta (32) esitetään taulukossa 8. Yleisesti ottaen tulokset ovat samoja kuin taulukossa 7, mikä vahvistaa osaltaan regression (31) tuloksia. Hypoteesit  $H_1$  ja  $H_2$  näyttäsivät saavan jälleen tukea regression etumerkkien perusteella. Punnalla reaktio muuttuu lievästi merkityksettömäksi, ollen silti kuitenkin positiivinen. Suurin muutos varsinaisissa julkaisuissa on FED raportoinnin reaktioiden pienentyminen, säilyen silti kuitenkin merkittävästi positiivisena. Jenillä kauppataseen jäämä muuttuu merkittäväksi laskevien epävarmuutta julkaisupäivänä. Ero ei ole kuitenkaan kovin suuri verrattuna tulokseen taulukossa 7. Punnalla myös vähittäiskauppa on melko lähellä merkittävyysrajaa molemmissa regressioissa, eurolla kuluttajahintaindeksi. Yleisesti ottaen taulukoiden 7 ja 8 tuloksia voidaan pitää varsin lupaavina ja mielenkiintoisina.

**Taulukko 8.** Makrotaloudellisten julkaisujen vaikutus valuuttaoptioiden implisiittiseen volatilitettiin ilman julkaisun ympäryspäiviä.

Julkaisu	Euro	p	Jeni	p	Punta	p
Ei julkaisua ( $\alpha$ )	<b>0.003</b>	0.000	<b>0.001</b>	0.046	0.002	0.071
Kuluttajahintaindeksi	-0.014	0.059	-0.003	0.686	-0.009	0.226
Tuottajahintaindeksi	-0.001	0.870	0.002	0.848	<b>-0.020</b>	0.005
Työllisyysraportti	<b>-0.021</b>	0.011	<b>-0.012</b>	0.001	-0.017	0.104
Vähittäiskauppa	-0.008	0.332	-0.004	0.576	-0.016	0.078
Kauppataseen jäämä	0.001	0.859	<b>-0.017</b>	0.028	-0.003	0.735
Ostopäällikköindeksi	<b>-0.036</b>	0.000	<b>-0.051</b>	0.000	<b>-0.020</b>	0.001
FOMC kokous	<b>-0.020</b>	0.002	-0.005	0.409	-0.002	0.813
FED raportti	<b>0.038</b>	0.000	<b>0.027</b>	0.002	<b>0.047</b>	0.000
AR(1)	<b>0.362</b>	0.000	<b>0.347</b>	0.000	<b>0.393</b>	0.000
AR(2)	<b>0.219</b>	0.000	<b>0.104</b>	0.001		
AR(3)	<b>0.095</b>	0.001	<b>0.067</b>	0.006		
MA(1)	<b>-0.900</b>	0.000	<b>-0.822</b>	0.000	<b>-0.738</b>	0.000
$\beta_1$ (ARCH)	<b>0.408</b>	0.000	<b>0.628</b>	0.000	<b>0.132</b>	0.000
$\beta_2$ (GARCH)	<b>0.426</b>	0.000	<b>0.198</b>	0.000	<b>0.860</b>	0.000
Selitysaste $R^2$	0.236		0.194		0.194	
F-testiarvo	<b>38.372</b>	0.000	<b>30.087</b>	0.000	<b>34.549</b>	0.000

Monen muuttujan regressiomalleissa tuloksiin saattaa vaikuttaa merkittävässä määrin käytetyt oletukset ja määrittelyt. Yllä olevissa taulukoissa 7 ja 8 tulokset implisiittisten volatilitteettien aikasarjojen autoregressiivisiin määrittelyihin. Vaikka suoritettujen diagnostisten testien perusteella määrittelyt näyttäisivät varsin onnistuneilta, erilaiset menetelmät kuitenkin tuottavat erilaisia tuloksia. Tulosten näkökulman laajentamiseksi regressiot (31) ja (32) suoritettiin myös pienimmän neliösumman menetelmällä (OLS), mikä voidaan katsoa luotettavuuden lisäämiseksi tuloksiin. Tuloksien merkitsevyydessä esiintyy jo huomattavasti enemmän vaihtelua, mutta silti pääosin samat julkaisut vaikuttavat samoilla valuutoilla. Tulokset OLS regressioista ovat sijoitettu liitteeseen 1 regressiosta (31) ja liitteeseen 2 regressiosta (32).

OLS regressiossa ostopäällikköindeksi säilyi edelleen vahvana, tosin ei enää punnan tapauksessa. FED raportointi ei ole enää merkittävä millään valuutalla, ainoastaan jenil-

lä julkaisun jälkeisenä päivänä. Jenin tapauksessa tulokset säilyvät muutoinkin parhaimmin. Esimerkiksi kuluttajahintaindeksin päivä ennen julkaisua on edelleen positiivinen. Myös työllisyysraportin reaktio säilyy julkaisupäivänä. Punnalla tuottajahintaindeksillä on edelleen selvä vaikutus julkaisupäivänä. Muutoin euron ja punnan tulokset ovat selvästi laimentuneet OLS regression perusteella. Lisäksi ainoastaan jenillä julkaittomien ( $\alpha$ ) päivien merkitsevyys säilyy. Muutoin regressioiden etumerkit säilyvät lähes ennallaan, hypoteesien  $H_1$  ja  $H_2$  mukaan. OLS regression tuloksia voi pitää luotettavuuden lisääjänä niiltä osin, kun makrotaloudellisten julkaisujen reaktiot säilyvät samoina GARCH ja OLS regressioissa, lisäksi myös mainittujen hypoteesien tukemisessa.

Suoritettujen regressioiden perusteella voidaan yleisesti todeta, että ainoa laajimmin kaikilla valuutoilla merkityksensä säilyttävä makrotaloudellinen julkaisu on ostopäälikköindeksi. Valuuttakohtaisemmin merkitsevyyden kaikissa regressioissa julkaisupäivänä säilyttää lisäksi jenillä työttömyysraportti ja punnalla tuottajahintaindeksi. Näiden tuloksia voidaan pitää luotettavana kaikkien regressioiden perusteella. Huomioitavaa on myös, että eurolla kuluttajahintaindeksi säilyy käytännössä koko ajan hyvin lähellä 5 % merkitsevyytason rajaa. Yleisesti ottaen tulosten perusteella voidaan sanoa, että tutkimuksen hypoteesit  $H_1$  ja  $H_2$  saavat melko vahvasti tukea tulosten perusteella. Ainoastaan FED raportin reaktio on useammassa regressiossa jatkuvasti positiivinen julkaisupäivänä.

## 5.2. Tulokset volatiliateettiodotusten symmetrisyydestä

Taulukossa 12 esitetään regressiomallin (34) tulokset kaikille valuutoille volatiliateettiodotusten symmetrisyyden testauksesta. Regression tarkoitus oli luoda lyhyt katsaus volatiliateettiodotusten muodostumisen luonteesta kohde-etuuden negatiivisille ja positiivisille muutoksille. Regressiomallissa (34) ei esitetty julkaisupäivän ympärispäiviä, sillä ne eivät pääsääntöisesti ole merkitseviä kuten myös aikaisemmin havaittiin, joten ne eivät myöskään sisälly taulukon yhdeksän makrotaloudellisten julkaisujen kontrollointi parametriin (# Julkaisut). Myös regressiomallista (34) on suoritettu OLS regressio tulosten näkökulman laajentamiseksi. Tämä on esitetty liitteessä 3. Taulukoissa merkitsevät tulokset ovat edelleen tummennetulla värillä 5 % merkitsevyytasolla.

**Taulukko 9.** Regressiomallin (34) tulokset volatilitteettiodotusten asymmetrisyydestä valuutoittain.

Selittäjät	Euro	p	Jeni	p	Punta	p
Vakio $\alpha$	0.008	0.166	<b>0.042</b>	0.000	<b>0.013</b>	0.047
# Julkaisut	<b>-0.015</b>	0.000	<b>-0.007</b>	0.003	<b>-0.014</b>	0.000
Muutos $\gamma^-$	-0.015	0.072	<b>-0.051</b>	0.000	<b>-0.015</b>	0.027
Muutos $\gamma^+$	-0.000	0.985	<b>-0.034</b>	0.000	-0.008	0.252
AR(1)	<b>0.369</b>	0.000	<b>0.325</b>	0.000	<b>0.407</b>	0.000
AR(2)	<b>0.222</b>	0.000	<b>0.106</b>	0.002		
AR(3)	<b>0.093</b>	0.001	<b>0.054</b>	0.035		
MA(1)	<b>-0.924</b>	0.000	<b>-0.812</b>	0.000	<b>-0.769</b>	0.000
$\beta_1$ (ARCH)	<b>0.413</b>	0.000	<b>0.555</b>	0.000	<b>0.128</b>	0.000
$\beta_2$ (GARCH)	<b>0.422</b>	0.000	<b>0.323</b>	0.000	<b>0.864</b>	0.000
$\chi^2$ -testi ( $\gamma^+ = \gamma^-$ )	<b>4.462</b>	0.035	<b>26.571</b>	0.000	0.647	0.421
Selitysaste $R^2$	0.238		0.196		0.206	

Kimin ja Kimin (2003) tulosten mukaan viiden valuutan valuuttafutuurioptioiden implisiittisen volatilitteetin vastaukset kohde-etuuden negatiivisille ja positiivisille muutoksille ovat symmetrisiä. Tämä on vastakkainen efekti varsin tavanomaiseen tulokseen osake- tai velkakirjamarkkinoilla, jossa implisiittisen volatilitteetin on huomattu useissa tutkimuksessa olevan asymmetrinen; toisin sanoen reaktio on voimakkaampi kohde-etuuden negatiivisten muutosten seurauksena. Taulukosta 12 on välittömästi nähtävissä, että hypoteesi  $H_3$  ei saa vahvasti tukea volatilitteettiodotusten symmetrisyydestä. Vaikutus näyttäisi olevan varsin samankaltainen kuin osake- ja velkakirjamarkkinoilla, eli tulokset ovat varsin vastakkaisia Kimin ja Kimin (2003) kanssa. Tuloksia on hyvä verrata myös OLS regression tuloksiin. Niiden mukaan negatiiviset muutokset näyttäisivät edelleen vahvemmilta reaktion aiheuttajilta, tosin ainoastaan enää punnalla merkitsevästi. Makrotaloudellisten julkaisujen muuttuja on edelleen selvästi negatiivinen.

Valuuttojen  $\gamma^-$  kertoimet ovat suurempia kuin  $\gamma^+$  kertoimet, lisäksi melko vahvasti merkitseviä, tosin eurolla jää hieman 5 % tasolla ulkopuolelle. Ainoastaan jenillä positiivinen kerroin on merkitsevä, joskin silti pienempi kuin negatiivinen kerroin. Kuitenkaan vastoin odotuksia mikään positiivisten muutosten  $\gamma^+$  kertoimista ei ole positiivinen. Tulosten tulkinnassa kannattaa huomioida, että nyt merkitsevä tulos negatiivisten ja positiivisten kertoimien osalta tulkitaan implisiittisen volatilitteetin nousuksi, eli tulkinnat tehdään valuuttakurssimuutosten mukaan. Osake- ja velkakirja markkinoilla yleinen

efekti on Kimin ja Kimin (2003) mukaan kummankin kertoimen negatiivisuus, mutta  $\gamma^+$  ei yleensä kuitenkaan merkitsevästi. Taulukon 12 tulokset voidaan tulkita niin, että dollarin vahvistuessa tutkimuksen valuuttoja vastaan, eli  $\gamma^-$ , implisiittisen volatilitietin reaktio on voimakkaampi, kuin toisin päin. Tämä implikoi melko selvästi volatilitietin tiodotusten asymmetrisyyttä. Kuitenkin punnalla  $\chi^2$ -testi ei johda nollahypoteesin hylkäämiseen, mikä tarkoittaisi että volatilitietin tiodotukset seuraavat melko heikosti punnan valuuttakurssimuutoksia.

Jenin tapauksessa dollarin heikkeneminen jeniä vastaan, eli  $\gamma^+$  näyttäisi nostavan epävarmuutta merkitsevästi, mutta implisiittisen volatilitietin muutos on silti merkittävämpi negatiivisille valuuttakurssimuutoksille. Eurolla ja punnalla implisiittinen volatilitietin korreloi heikosti niiden vahvistuessa dollaria vastaan. Pääsääntöisesti voidaan todeta, että erityisesti osakemarkkinoilla hyvin tunnettu implisiittisen volatilitietin asymmetrisyys näyttäisi pitävän paikkaansa myös valuuttamarkkinoilla. Kuitenkin OLS regression perusteella ilmiön merkitsevyys vähenee. Markkinoille negatiivinen informaatio näyttäisi nostavan epävarmuutta enemmän kuin positiivinen informaatio. Tosin valuuttakurssien keskinäiset muutokset eivät ole suoraan luettavissa negatiiviseksi, vaan johtuvat monista eri tekijöistä. Regression poikkeavat tulokset valuuttamarkkinoilla aikaisempaan verrattuna saattavat johtua valuuttamarkkinoillakin lisääntyneestä volatilitietin tista 2000-luvun puolella, mikä puolestaan lisää niiden herkkyyttä negatiiviselle informaatiolle.

## 6. PÄÄTELMÄ

Tutkielman tarkoituksena oli analysoida makrotaloudellisten julkaisujen ja valuuttakurssimuutosten vaikutusta valuuttaoptioiden implisiittiseen volatilitettiin, minkä voidaan tulkita myös volatilitteettiodotusten tai markkinaepävarmuuden mittariksi. Peruslähtökohta tutkimukselle oli aiheen vähäinen tutkimus valuuttamarkkinoilla, kun taas osakemarkkinoilla se on selvästi laajempaa. Erityisesti 2000-luvun puolella lisääntynyt volatilitteetti tarjoaa mielenkiintoisen tutkimuskohteen myös perinteisesti rauhallisemmillä valuuttamarkkinoilla. Rahoitusmarkkinoilla volatilitteettiodotukset ovat nousseet varsin keskeiseen asemaan, joilla on monia tärkeitä sovelluksia esimerkiksi indikaattoreina, kaupan suunnittelussa ja jopa rahapolitiikassa.

Tutkimuksen aiheen rahoitusteoreettinen pohja perustuu markkinatehokkuuden käsitteelle, sillä erilaisten hinnoittelumallien rajoitteiden ymmärtäminen ja mallien sovelletavuus perustuu tähän käsitteeseen, ainakin laajassa mittakaavassa. Näin on myös Black-Scholes-Merton optioteorian kanssa, johon nykyinen optioiden hinnoittelu suurelta osin perustuu. Myös tämän tutkimuksen implisiittisen volatilitteetin teoreettinen perusta ja sen käyttäminen informaation vaikutuksia tutkittaessa perustuu tähän teoriaan, jonka tärkein sovellutus tutkimuksen aihepiirissä oli deterministisen volatilitteetin käsite. Implisiittisen volatilitteetin laskemisessa on lukuisia erilaisia menetelmiä ja teorioita. Mallien paremmuudelle ei ole yksiselitteistä testiä, esimerkiksi puutteistaan huolimatta Black-Scholes teorian mukainen malli toimii hyvin toteutushinnan lähellä. Eri mallien erot ovat tällöin lähes merkityksettömiä.

Tutkielman empiria muodostui euron, jenin ja punnan valuuttaoptioiden implisiittisen volatilitteetin reaktioiden analysoinnista. Reaktioita tutkittiin merkittäväksi katsottujen makrotaloudellisten indikaattoreiden, kahden tärkeän rahapolitiikka koskevan tapahtuman, sekä valuuttakurssimuutosten pohjalta. Makrotaloudellisten julkaisujen vaikutus tutkittiin niiden julkaisupäivänä ja kahtena päivänä julkaisun ympärillä. Tämä muodosti kahden ensimmäisen tutkimushypoteesin analysoinnin. Lisäksi tilastollisilla testeillä syvennettiin tutkimukseen valittujen julkaisupäivien merkitystä yhteisesti. Valuuttakurssimuutosten vaikutuksen analyysillä pyrittiin lähinnä valottamaan yhteyttä volatilitteettiodotusten muutoksista suhteessa valuuttakurssiin, jonka voidaan ajatella edustavan relevanttia markkinainformaatiota. Tämän tarkoituksena oli osoittaa taustaa sille, kuinka makrotaloudellisen tilanteen pidemmän ajan laadulla voi mahdollisesti olla merkitystä.

Tulokset olivat monelta osin varsin kiinnostavia. Jeni poikkesi kahdesta muusta valuuttasta eniten, tämä ei sinänsä ole kovin yllättävää; sillä on oma selvä taloudellinen vaikutuspiirinsä suhteessa muihin tutkimuksen valuuttoihin. Punta taas saattaa kahta muuta valuuttaa pienempänä seurata luonnollisesti euroa. Kuitenkin kokonaisuudessaan voidaan todeta, että kolmen valuutan joukossa pääasiassa samat makrotaloudelliset julkaisut aiheuttivat reaktioita. Julkaisupäivien osalta voidaan todeta, että tilastollisten testien perusteella vain varsinaisena julkaisupäivänä volatiliteetti-reaktiot ovat yleisimmin merkittäviä, ympäryspäivinä todisteita on huomattavasti vähemmän.

Laajemmin merkittävimmän reaktion aiheuttanut makrotaloudellinen julkaisu oli selvästi tuotannon ostopäällikköindeksi, joka julkaisupäivänä laski implisiittistä volatiliteettia selvästi kaikilla valuutoilla ja monilla eri regressioilla. Työllisyysraportin vaikutus oli myös odotetusti vahva eurolla ja erityisesti jenillä. Punnalla tuottajahintaindeksi oli merkittävin, mikä taas ei aiheuttanut vahvoja reaktioita muilla valuutoilla. Regression perusteella löytyi myös yllättävän merkitseviä reaktioita julkaisun ympäryspäivinä; esimerkiksi jenillä kuluttaja- ja tuottajahintaindeksien estimaatit olivat selvästi positiivisia ennen julkaisua. FOMC ja FED raportointi olivat yleisesti myös melko merkitseviä, nämä kuitenkin riippuivat vahvasti käytetyistä regression määritelmistä. Erityisesti FED raportoinnin voimakkaiden reaktioiden lisäksi yllätti myös kertoimien vastakkaisuus verrattuna tutkimushypoteeseihin. Toisaalta myös raporttien määrä oli varsin pieni, joka voi olla ongelma luotettavuuden kannalta. Kokonaisuudessaan tutkimustulokset näyttäsivät pääsääntöisesti tukevan asetettuja kahta ensimmäistä tutkimushypoteesia. Regressioiden etumerkit olivat pääosin odotettuja kaikkina kolmena tapahtumapäivänä ja eri määrityksillä testattuna. Lisäksi reaktioiden lukuisuutta voidaan pitää positiivisena aikaisempiin tutkimuksiin verrattuna.

Ajankohtaisuuden merkitys lienee lisääntynyt makrotaloudellisissa indikaattoreissa myös valuuttamarkkinoilla. Tässä mielessä voidaan sanoa valuuttamarkkinoiden lähenyneen volatiileja osakemarkkinoita. Tätä tukisi myös löydetty, samankaltainen mutta melko lievä volatiliteettiodotusten asymmetrisyys osakemarkkinoiden kanssa, mikä näkyi myös kolmannen hypoteesin kannalta heikohkoina todisteina sen puolesta. Tulosten perusteella ajankohtaisten indikaattoreiden tutkimus markkinaepävarmuuden aiheuttajana saattaisi olla tuloksellista. Painotus voi siirtyä yhä enemmän perinteisesti vahvoina pidettyjen indikaattoreiden sijasta informaation nopeaan saatavuuteen ja tulokkaisuuteen nykyisten markkinoiden luonteen mukaisesti. Tämä avaa uusia mahdollisuuksia tutkimukselle erityisesti valuuttamarkkinoilla, jossa aikaisempi tutkimus informaation vaikutuksesta epävarmuuteen on vähäistä.

## LÄHDELUETTELO

- Amin, Kaushik I. & Robert A. Jarrow (1991). Pricing foreign currency options under stochastic interest rates. *Journal of International Money and Finance* 10, 310–329.
- Andersen, Torben G. & Tim Bollerslev (1998). Deutsche Mark-Dollar Volatility: Intraday Activity Patterns, Macroeconomic Announcements, and Longer Run Dependencies. *The Journal of Finance* 53:1, 219-265.
- Bank For International Settlements (2007a). The International Banking Market Statistical Annex [online]. [Siteerattu 22.07 2008]. Saatavana Internetissä: <[http://www.bis.org/publ/qtrpdf/r\\_qa0806.pdf#page=108](http://www.bis.org/publ/qtrpdf/r_qa0806.pdf#page=108)>.
- Bank For International Settlements (2007b). Triennial Central Bank Survey [online]. [Siteerattu 22.07 2008]. Saatavana Internetissä: <<http://www.bis.org/publ/rpfx07t.pdf?noframes=1>>.
- Bates, David S. (1996). Jumps and Stochastic Volatility: Exchange Rate Process Implicit in PHLX Foreign Currency Options. *Review of Financial Studies* 9:1, 69–107.
- Black, Fischer & Myron Scholes (1973). The Pricing of Options and Corporate Liabilities. *The Journal of Political Economy* 81:3, 637–654.
- Bodurtha, James L. & Georges R. Courtadon (1986). Efficiency Tests of the Foreign Currency Options Market. *The Journal of Finance* 41:1, 151–162.
- Bonser-Neal, Catherine & Glenn Tanner (1996). Central bank intervention and the volatility of foreign exchange rates: Evidence from the options market. *Journal of International Money and Finance* 15:6, 853–878.
- Brenner, Menachem (1979). The Sensitivity of the Efficient Market Hypothesis to Alternative Specifications of the Market Model. *The Journal of Finance* 34:4, 915–929.

- Bureau of Labor Statistics (2008). Economic News Releases. [online]. [Siteerattu 27.09 2008]. Saatavana Internetissä: <<http://www.bls.gov/bls/newsrels.htm>>.
- Business Week (2008). Government and Economics. [online]. [Siteerattu 02.08 2008]. Saatavana Internetissä: <<http://investing.businessweek.com/research/learningcenter/subjects/subjects.asp?subject=GovernmentandEconomics>>.
- Canina, Linda & Stephen L. Figlewski (1993). The Informational Content of Implied Volatility. *The Review of Financial Studies* 6:3, 659–681.
- Census Bureau (2008a). Advance Monthly Sales for Retail and Food Services. [online]. [Siteerattu 27.09 2008]. Saatavana Internetissä: <<http://www.census.gov/marts/www/marts.html>>.
- Census Bureau (2008b). U.S International Trade in Goods and Services. [online]. [Siteerattu 27.09 2008]. Saatavana Internetissä: <[http://www.census.gov/foreign-trade/Press-Release/current\\_press\\_release/press.html](http://www.census.gov/foreign-trade/Press-Release/current_press_release/press.html)>.
- Chen, En-Te & Adam Clements (2007). S&P 500 implied volatility and monetary policy announcements. *Finance Research Letters* 4, 227–232.
- Chiras, Donald P. & Steven Manaster. (1978). The Information Content of Option Prices and a Test of Market Efficiency. *Journal of Financial Economics* 6:2/3, 213–234.
- Christie-David, Rohan & Mukesh Chaudry (2000). Currency futures, news releases, and uncertainty resolution. *Global Finance Journal* 11, 109–127.
- Cox, John C. & Mark Rubinstein (1985). *Options Markets*. Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey 07632. 498 s. ISBN 0-13-638205-3.
- Cox, John C. & Stephen A. Ross (1976). The Valuation of Options For Alternative Stochastic Processes. *Journal of Financial Economics* 3, 145–166.
- Cox, John C.; Stephen A. Ross & Mark Rubinstein (1979). Option Pricing: A Simplified Approach. *Journal of Financial Economics* 7, 229–263.

- Cuthbertson, Keith & Dirk Nitzsche (2001). *Financial Engineering: Derivatives and Risk Management*. John Wiley & Sons Ltd. England. 776 s. ISBN 0-471-49584-0.
- Donders, Monique W. M. & Ton C. F. Vorst (1996). The impact of firm specific news on implied volatilities. *Journal of Banking & Finance* 20, 1447–1461.
- Duan, Jin-Chuan (1995). The GARCH Option Pricing Model. *Mathematical Finance* 5, 13–32.
- Dumas, Bernard; Jeff Fleming & Robert E. Whaley (1998). Implied Volatility Functions: Empirical Tests. *The Journal of Finance* 53:6, 2059–2106.
- Ederington, Louis H. & Jae Ha Lee (1996). The Creation and Resolution of Market Uncertainty: The Impact of Information Releases on Implied Volatility. *The Journal of Financial and Quantitative Analysis* 31:4, 513–539.
- Ederington, Louis H. & Wei Guan (2005). The information frowns in option prices. *Journal of Banking & Finance* 29, 1429–1457.
- Engle, Robert (2001). GARCH 101: The Use of ARCH/GARCH Models in Applied Econometrics. *The Journal of Economic Perspectives* 15:4, 157–168.
- Fama, Eugene F.; Lawrence Fischer; Michael Jensen & Richard Roll (1969). The Adjustment of Stock Prices to New Information. *International Economic Review* 10, 1–21.
- Fama, Eugene F. (1970). Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work. *The Journal of Finance* 25:2, 383–417.
- Fama, Eugene F. (1991). Efficient Capital Markets: II. *The Journal of Finance* 46:5, 1575–1617.
- Federal Open Market Committee (2008). About the FOMC. [online]. [Siteerattu 27.09 2008]. Saatavana Internetissä:  
<<http://www.federalreserve.gov/monetarypolicy/fomc.htm>>.

- Federal Reserve Board (2008). Monetary Policy Report to the Congress. [online]. [Siteerattu 27.09 2008]. Saatavana Internetissä: <<http://www.federalreserve.gov/boarddocs/hh/>>.
- FX Words (2008). Economic Indicators for the United States. [online]. [Siteerattu 27.09 2008]. Saatavana Internetissä: <<http://www.fxwords.com/e/economic-events-for-the-united-states.html>>.
- Garman, Mark B. & Steven W. Kohlhagen (1983). Foreign Currency Option Values. *Journal of International Money and Finance* 2, 231–237.
- Graham, Michael; Jussi Nikkinen & Petri Sahlström (2003). Relative Importance of Scheduled Macroeconomic News for Stock Market Investors. *Journal of Economics and Finance* 27:2, 153–165.
- Grossman, Sanford J. & Joseph E. Stiglitz (1980). On the Impossibility of Informationally Efficient Markets. *The American Economic Review* 70:3, 393–408.
- Guo, Dajiang. (1998). The Risk Premium of Volatility Implicit in Currency Options. *Journal of Business & Economic Statistics* 16, 498–507.
- Heston, Steven L. (1993). A Closed-Form Solution for Options with Stochastic Volatility with Applications to Bond and Currency Options. *Review of Financial Studies* 6, 327–343.
- Heynen, Ronald; Angelien Kemna & Ton Vorst (1994). Analysis of the Term Structure of Implied Volatilities. *The Journal of Financial and Quantitative Analysis* 29:1, 31–56.
- Hilliard, Jimmy E; Jeff Madura & Alan L. Tucker (1991). Currency Option Pricing with Stochastic Domestic and Foreign Interest Rates. *The Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 26:2, 139–151.
- Hull, John C. (2006). *Options, Futures and Other Derivatives*. 6. painos. Upper Saddle River, New Jersey, 07458. Pearson Prentice Hall Inc. ISBN 0-13-149908-4.

- Hull, John C. & Alan White (1987). The Pricing of Options on Assets with Stochastic Volatilities. *The Journal of Finance* 42:2, 281–300.
- Institute For Supply Management (2008). Overview of the Manufacturing ISM Report On Business. [online]. [Siteerattu 27.09 2008]. Saatavana Internetissä: <<http://www.ism.ws/ISMReport/content.cfm?ItemNumber=14166&navItemNumber=12963>>.
- Isakov, Dusan & Christophe Perignon (2001). Evolution of market uncertainty around earnings announcements. *Journal of Banking & Finance* 25, 1769–1788.
- Jensen, Michael C. (1978). Some Anomalous Evidence Regarding Market Efficiency. *Journal of Financial Economics* 6:2/3, 95–101.
- Jorion, Philippe (1995). Predicting Volatility in the Foreign Exchange Market. *The Journal of Finance* 50:2, 507–528.
- Kim, Minho & Minchoul Kim (2003). Implied volatility dynamics in the foreign exchange markets. *Journal of International Money and Finance* 22, 511–528.
- Kim, Suk-Joong (1998). Do Australian and the US macroeconomic news announcements affect the USD/AUD exchange rate? Some evidence from E-GARCH estimations. *Journal of Multinational Financial Management* 8, 233–248.
- Kim, Suk-Joong; Michael D. McKenzie & Robert W. Faff (2004). Macroeconomic news announcements and the role of expectations: evidence for US bond, stock and foreign exchange markets. *Journal of Multinational Financial Management* 14, 217–232.
- Latane, Henry A. & Richard J. Rendleman (1976). Standard Deviations of Stock Price Ratios Implied in Option Prices. *The Journal of Finance* 31:2, 369–381.
- Malkiel, Burton G. (2003). The Efficient Market Hypothesis and Its Critics. *The Journal of Economic Perspectives* 17:1, 59–82.
- Melino, Angelo & Stuart M. Turnbull (1990). Pricing foreign currency options with stochastic volatility. *Journal of Econometrics* 45:1–2, 239–265.

- Merton, Robert C. (1973). Theory of Rational Option Pricing. *Bell Journal of Economics and Management Science* 4, 141–83.
- Neftci, Salih N. (2000). *An Introduction to the Mathematics of Financial Derivatives*. 2. painos. Elsevier Science. Academic Press, San Diego California. 527s. ISBN 0-12-515392-9.
- Nikkinen, Jussi & Petri Sahlström (2004). Impact of the federal open market committee's meetings and scheduled macroeconomic news on stock market uncertainty. *International Review of Financial Analysis* 13, 1–12.
- Nikkinen, Jussi; Petri Sahlström & Sami Vähämaa (2006). Implied volatility linkages among major European currencies. *International Financial Markets, Institutions and Money* 16, 87–103.
- Pearce, Douglas K. & M. Nihat Solakoglu (2007). Macroeconomic news and exchange rates. *International Financial Markets, Institutions & Money* 17, 307–325.
- Poon, Ser-Huang & Clive W. J. Granger (2003). Forecasting Volatility in Financial Markets: A Review. *Journal of Economic Literature* 41:2, 478–539.
- Roberts, Harry (1967). Statistical versus Clinical Prediction of the Stock Market. *Unpublished Manuscript, Center for Research in Security Prices*. University of Chicago.
- Rozeff, Michael F. & Mir A. Zaman (1988). Market Efficiency and Insider Trading: New Evidence. *The Journal of Business* 61:1, 25–44.
- Rubinstein, Mark (1985). Nonparametric Tests of Alternative Option Pricing Models Using All Reported Trades and Quotes on the 30 Most Active CBOE Option Classes from August 23, 1976 Through August 31, 1978. *The Journal of Finance* 40:2, 455–480.
- Schmalensee, Richard & Robert R. Trippi (1978). Common Stock Volatility Expectations Implied by Option Premia. *The Journal of Finance* 33:1, 129–147.

- Shastri, Kuldeep & Kishore Tandon (1986). Valuation of Foreign Currency Options: Some Empirical Tests. *The Journal of Financial and Quantitative Analysis* 21:2, 145–160.
- Simpson, Marc W.; Sanjay Ramchander & Mukesh Chaudry (2005). The impact of macroeconomic surprises on spot and forward foreign exchange markets. *Journal of International Money and Finance* 24, 693–718.
- Xu, Xinzhong & Stephen J. Taylor (1995). Conditional volatility and the informational efficiency of the PHLX currency options market. *Journal of Banking & Finance* 19, 803–821.

## LIITTEET

**Liite 1.** Makrotaloudellisten julkaisujen vaikutus valuuttaoptioiden implisiittiseen volatilitettiin pienimmän neliösumman menetelmällä.

Julkaisu	Euro	p	Jeni	p	Punta	p
Ei julkaisua ( $\alpha$ )	0.003	0.401	<b>0.005</b>	0.028	0.003	0.261
Kuluttajahintaindeksi (-1)	-0.002	0.884	<b>0.026</b>	0.027	0.006	0.657
Kuluttajahintaindeksi	-0.016	0.057	-0.009	0.394	-0.007	0.428
Kuluttajahintaindeksi (+1)	0.006	0.499	-0.004	0.724	-0.009	0.577
Tuottajahintaindeksi (-1)	0.002	0.878	0.018	0.120	-0.012	0.558
Tuottajahintaindeksi	-0.002	0.809	-0.019	0.059	<b>-0.022</b>	0.023
Tuottajahintaindeksi (+1)	<b>0.022</b>	0.018	0.001	0.952	0.015	0.218
Työllisyysraportti (-1)	0.002	0.790	-0.007	0.518	0.006	0.544
Työllisyysraportti	-0.010	0.326	<b>-0.017</b>	0.014	-0.007	0.408
Työllisyysraportti (+1)	-0.000	0.995	-0.002	0.902	-0.007	0.471
Vähittäiskauppa (-1)	-0.005	0.521	-0.000	0.963	0.010	0.367
Vähittäiskauppa	-0.002	0.866	-0.004	0.631	-0.004	0.720
Vähittäiskauppa (+1)	-0.002	0.833	0.007	0.507	0.000	0.998
Kauppataseen jäämä (-1)	0.009	0.207	-0.008	0.372	<b>0.022</b>	0.002
Kauppataseen jäämä	-0.002	0.800	-0.027	0.174	-0.004	0.617
Kauppataseen jäämä (+1)	0.006	0.541	-0.001	0.908	-0.012	0.572
Ostopäällikköindeksi (-1)	0.003	0.862	-0.004	0.778	0.019	0.117
Ostopäällikköindeksi	<b>-0.037</b>	0.003	<b>-0.049</b>	0.001	-0.015	0.197
Ostopäällikköindeksi (+1)	-0.008	0.588	-0.007	0.501	-0.023	0.071
FOMC kokous (-1)	0.011	0.329	0.005	0.683	0.000	0.983
FOMC kokous	-0.011	0.292	-0.022	0.169	0.003	0.728
FOMC kokous (+1)	-0.073	0.608	0.016	0.421	-0.022	0.095
FED raportti (-1)	0.006	0.698	0.001	0.972	-0.021	0.327
FED raportti	0.058	0.114	0.031	0.355	0.037	0.168
FED raportti (+1)	-0.073	0.060	<b>-0.061</b>	0.012	-0.057	0.105
Selitysaste $R^2$	0.004		0.009		0.001	
F-testiarvo	1.327	0.133	<b>1.661</b>	0.023	1.254	0.184

**Liite 2.** Makrotaloudellisten julkaisujen vaikutus valuuttaoptioiden implisiittiseen volatilitettiin ilman julkaisun ympäryspäiviä pienimmän neliösumman menetelmällä.

Julkaisu	Euro	p	Jeni	p	Punta	p
Ei julkaisua ( $\alpha$ )	0.003	0.083	<b>0.005</b>	0.002	0.002	0.234
Kuluttajahintaindeksi	-0.016	0.133	-0.008	0.466	-0.002	0.731
Tuottajahintaindeksi	-0.003	0.714	-0.010	0.263	<b>-0.020</b>	0.013
Työllisyysraportti	-0.012	0.260	<b>-0.018</b>	0.011	-0.009	0.298
Vähittäiskauppa	0.000	0.946	0.000	0.950	-0.007	0.437
Kauppataseen jäämä	-0.004	0.633	-0.024	0.185	-0.005	0.591
Ostopäällikköindeksi	<b>-0.038</b>	0.003	<b>-0.048</b>	0.001	-0.015	0.197
FOMC kokous	-0.012	0.271	-0.022	0.196	0.007	0.483
FED raportti	0.059	0.096	0.032	0.329	0.040	0.125
Selitysaste $R^2$	0.006		0.010		0.000	
F-testiarvo	<b>2.355</b>	0.016	<b>3.214</b>	0.001	0.969	0.458

**Liite 3.** Tulokset volatilitteettiodotusten asymmetrisyydestä valuutoittain pienimmän neliösumman menetelmällä.

Selittäjät	Euro	p	Jeni	p	Punta	p
Vakio $\alpha$	0.006	0.614	0.021	0.276	0.020	0.054
# Julkaisut	<b>-0.013</b>	0.007	<b>-0.018</b>	0.000	-0.008	0.076
Muutos $\gamma^-$	-0.004	0.696	-0.020	0.295	<b>-0.023</b>	0.042
Muutos $\gamma^+$	-0.001	0.915	-0.013	0.504	-0.016	0.157
Selitysaste $R^2$	0.002		0.005		0.002	