

986

dupl.

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO
Taloustieteiden tiedekunta

**METSÄTEOLLISUUSYRITYKSEN VALUE AT RISK:
MENETELMÄVALINNAN VAIKUTUS TULOSSIIN**

Laskentatoimi, pro gradu –tutkielma
Syyskuu 2001

Laatija: Riku Karhunen

Ohjaaja: Prof. Juhani Raatikainen

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO TALOUSTIETEIDEN TIEDEKUNTA

Tekijä Riku Karhunen	
Työn nimi Metsäteollisuusyrityksen Value at Risk: menetelmävalinnan vaikutus tuloksiin	
Oppiaine Laskentatoimi	Työn laji Pro gradu -tutkielma
Aika 24.9.2001	Sivumäärä 104
Tiivistelmä – Abstract <p>Tutkimuksen tarkoituksena oli kuvata metsäteollisuusyrityksen valuutta- ja korkoriskiä Value at Risk -menetelmällä. Value at Risk –laskentaa käytetään portfoliotason riskienhallinnan käytännön apuvälineenä treasury-ympäristössä. Tutkimukselle asetettiin kaksi tehtävää; ensimmäisenä tavoitteena oli tarjota kokonaisnäkökulma yrityksen markkinariskeistä. Toisena tavoitteena oli kuvata Value at Risk –menetelmien teoreettinen rakenne sekä selvittää menetelmien soveltuvuus osaksi metsäteollisuusyrityksen markkinariskienhallintajärjestelmää. Tutkimusongelmana oli selvittää kuinka eri menetelmien antamat tulokset eroavat toisistaan ja millaisiin toimenpidesuosituksiin ne johtavat.</p> <p>Liiketoiminnan harjoittamisessa syntyvää riskiasemaa kuvattiin Value at Risk –menetelmällä vuoden ja 15:n vuoden tarkasteluajanjaksolla. Value at Risk -luvut laskettiin normaalijakaumaan perustuvalla Monte Carlo simulaatiolla käyttäen historiallista varianssi-kovarianssimatriisia. Se laskettiin kuukausittaisista historiallisista valuutta- ja korkonoteerauksista eksponentiaalisen painotuksen menetelmällä. Valuutta- ja korkoaineisto oli ajalta 31.3.1994-28.12.2000. Yrityksen positio kuvattiin nettovientivirtana ja joukkovelkakirjalainojen kassavirtana. Vertailukohteena oli myös nurkkaluku, joka ottaa huomioon vain valuuttakurssiriskin.</p> <p>Menetelmien antamat tulokset erosivat merkittävästi toisistaan. Vuoden Value at Risk –menetelmällä suurimmat riskitekijät olivat dollari ja punta, korkojen merkityksen jäädessä vähemmälle. 15:n vuoden tarkasteluajanjaksolla pitkät korot nousivat merkittäviksi riskitekijöiksi dollarin ja punnan rinnalle. Nurkkaluvulla mallinnettaessa suurimmaksi riskitekijäksi nousi punta. Mallit antoivat hyvin erilaisen kuvan yrityksen riskiasemasta ja johtavat näin ollen erilaisiin toimenpidesuosituksiin. Aineiston pienuudesta ja position määrittämisestä johtuen tuloksia voidaan pitää suuntaa antavina.</p> <p>Value at Risk –menetelmän käyttöönotto yritys ympäristössä ei ole täysin ongelmatonta. Yrityksen kassavirtojen määrän ja ajankohdan määrittäminen voi olla melko hankalaa, jolloin avointa positiota ei tarkasti tunneta. Tarkempiin tuloksiin pyrkiminen edellyttää jatkotutkimusta mm. tuottojen jakaumista ja oletusten voimassaolosta. Yrityksen suurimpana haasteena voidaan kuitenkin pitää luotettavan ja ajan tasalla olevan riskiposition määrittelyä.</p>	
Asiasanat Value at Risk, valuuttariski, korkoriski, riskienhallinta	
Säilytyspaikka Jyväskylän yliopisto / Taloustieteiden tiedekunta	

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO.....	5
1.1 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset	10
1.2 Tutkimuksen kulku.....	14
1.3 Johdatus esimerkkiyritykseen	14
1.4 Aikaisemmat tutkimukset.....	15
2 RISKIENHALLINNAN TAUSTAA.....	21
2.1 Riskin mittaus.....	21
2.2 Rahoitusteoreettisia oletuksia nykyiselle riskienhallinnalle	27
2.3 Value at Risk –menetelmän historia	30
2.3.1 Baselin pankkivalvontakomission suositukset VaR-menetelmässä.....	32
2.3.2 G-30 suositus johdannaisten käytölle	34
2.4 VaR:in johtaminen yleiselle jakaumalle	35
2.5 VaR:in johtaminen parametriselle jakaumalle	36
2.6 Portfolion Value at Risk.....	39
3 SIMULOINTIMENETELMÄT	41
3.1 Varianssin ja korrelaation estimointimenetelmät.....	42
3.2 Luottamusvälin määrittäminen sekä estimointivirheet keskiarvossa ja varianssissa	48
3.3 Delta -malli.....	49
3.4 Delta-gamma -malli	53
3.5 Historiallinen simulointi	54
3.6 Monte Carlo -simulointi.....	55
3.6.1 Markkinamuuttujien stokastinen prosessi.....	56
3.6.2 VaR –mallin laskeminen monimuuttujien tapauksessa	58
3.7 Stressitestaus	60
3.8 Yhteenveto simulointimenetelmistä.....	61
3.9 Value at Risk -menetelmien sovellettavuuden rajoitteita.....	62

4 RISKIEHALLINTA YRITYKSEN NÄKÖKULMASTA	64
4.1 Yrityksen riskienhallintajärjestelmän rakentaminen.....	65
4.2 Tuloksen ja markkinariskin mittaaminen	66
4.3 Positioiden jakaminen	69
4.4 Markkinaskenaariot.....	71
4.5 Arvostus ja riskin laskeminen	73
5 EMPIIRISEN TUTKIMUKSEN TOTEUTTAMINEN.....	74
5.1 Aineisto ja riskifaktorit	74
5.2 Mallin toteutus ja tulokset.....	76
5.2.1 Profit at Risk	80
5.2.2 Cash Flow at Risk	84
5.2.3 Nurkkaluku	91
5.3 Tulosten yhteenveto	93
6 JOHTOPÄÄTÖKSET	96
LÄHTEET	100

1 JOHDANTO

Yritysten toimintaympäristössä on tapahtunut melkoisia muutoksia viime vuosikymmeninä. Rahoitusmarkkinat olivat varsin kehittymättömät 1980-luvun puoliväliin saakka, jolloin ne alkoivat säännöstelyn purkamisen seurauksena kasvaa nopeasti. Tästä johtuen valuuttakurssien, korkojen ja hyödykkeiden hinnanmuutokset nopeutuivat ja suurenivat. Nopea kehitys on johtanut siihen, että myös yritysjohtajien on ollut pakko perehtyä markkinariskeihin, niiden seurantaan ja niiltä suojautumiseen. Rahoitusmarkkinoiden avautuminen tulikin monelle yritykselle liian nopeasti, kuten valuuttaluotoista realisoituneet satojen miljoonien markkojen kurssitappiot osoittavat. Tappiot aiheutuivat siitä, että rahoitusmarkkinoiden riskejä ei osattu tunnistaa eikä hallita.

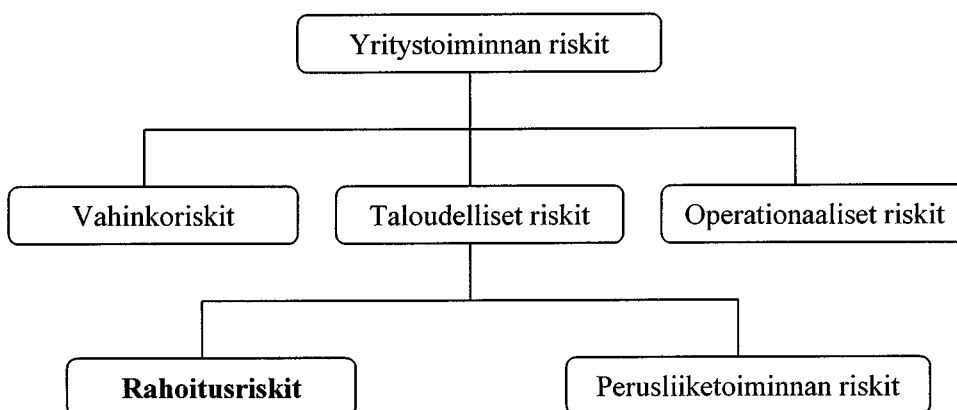
Yrityksissä raha- ja valuuttamarkkinoista vastuussa on rahoitusosasto, se vastaa usein myös yrityksen riskienhallinnasta. Jaurin (1997, 12) mukaan riskienhallinnan perustehtävänä on turvata yrityksen toiminnan jatkuvuus. Batlinin ja Schachterin (2000, 2) mukaan riskienhallinnan fundamentaalisenä tavoitteena on saada aikaan parempia päätöksiä kaikilla liiketoiminnan tasoilla ja näin kasvattaa osakkeenomistajien varallisuutta. Yritys altistuukin melkoiselle määrälle erilaisia riskejä (kuviot 1 ja 2). Tämä tutkimus käsittelee markkinariskejä yritysympäristössä. Metsäteollisuusyritysten kannalta näistä merkittävimpiä ovat valuutta- ja korkoriskit. Jotkut yritykset sijoittavat likvidejä varojaan myös osakemarkkinoille ja tätä kautta niille syntyy osakesijoitusten hintariski. Hyödykkeiden hintojen vaihtelu voi olla myös voimakasta, joten hyödykkeisiin sisältyy hintariski. Yrityksen rahoitusriskejä on tarkasteltava kutakin omana kokonaisuutenaan, jotta ne voitaisiin tunnistaa ja hallita. Tarkastelussa ei saa kuitenkaan unohtaa rahoitusriskien vuorovaikutusta, jota korrelaatiot lineaarisessa muodossa mittaavat. Kaikki edellä mainitut tekijät vaikuttavat yrityksen kokonaisriskiin. (Kasanen, Lundström, Puttonen & Vejjola 1997, 24-30.) Shimpi (1999, 28) käyttää rahoitusriskien vuorovaikutuksesta käsitettä integroitu riskienhallinta ja yhdistää sen samalla pääomien hallintaan sanoin ”Capital management and risk management are two sides of the same coin”, vaikkakin perinteinen rahoitusteoria käsittelee niitä erillisinä.

Yrityksen valuuttariskin moniulotteisuuden vuoksi se jaetaan usein pienempiin osapositioniin määrittelyn helpottamiseksi. Valuuttariskille voidaan valita kolme sisällöltään erilaista määritelmää (kuvio 3), jotka esiintyvät sekä akateemisessa kirjallisuudessa että käytännössä. Ensimmäiseksi voidaan määritellä *transaktiopositio* (*transaction exposure*), johon kuuluvat kaikki sopimusperusteiset valuuttamääräiset virrat kuten lainanlyhennykset, koronmaksut, myyntisaatavat ja ostovelat. Transaktioriski syntyy sopimuksen tekohetken ja (maksun) toteutushetken välillä. Toinen osa muodostaa *ekonomisen position* (*economic exposure*), joka muodostuu kilpailukyvyyn muutoksista valuuttakurssien vaihtelujen seurauksena. Ekonominen tai taloudellinen riski on vaikeimmin mitattava riski, koska se on luonteeltaan strateginen. Valuuttakurssin vaihtelu vaikuttaa yrityksen kilpailukykyyn ja kilpailukyvyyn herkkyys on riippuvainen yrityksen valuuttajakaumasta verrattuna sen kilpailijoihin. Kolmas valuuttariskin osa-alue on *translaatiopositio* (*translation exposure*), tämä koskee erityisesti ulkomaisia tytäryhtiöitä omistavia yrityksiä. Translaatoriski syntyy, kun kirjanpidon valuuttamääräiset erät muunnetaan tilinpäätöshetkellä kotimaan valuuttamääräiseksi. (Kasanen ym. 1997, 125-127.)

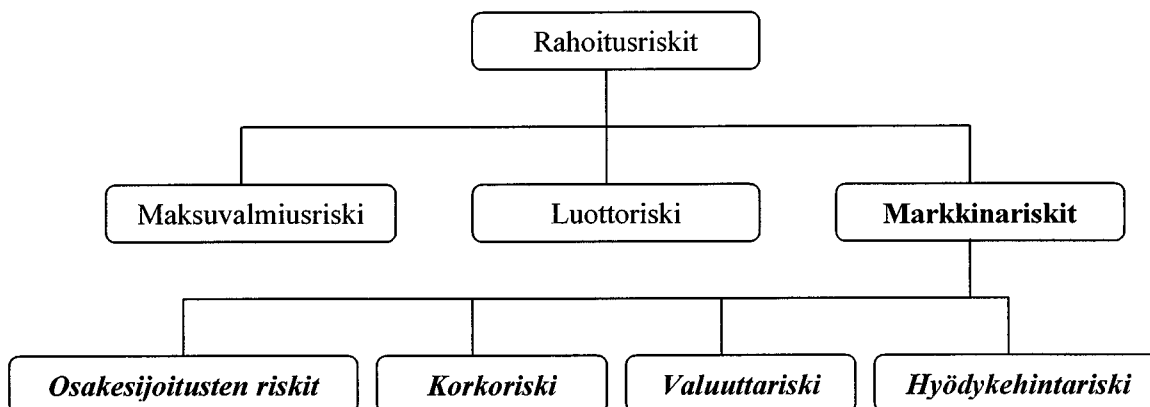
Korkoriskin tarkastelu voidaan jakaa vielä pienempiin osiin, *finanssierien* ja *liiketoiminnan korkoherkkyyteen*. Tämä on analogista transaktiopositio- ja ekonomisen position välisessä rajankäynnissä valuuttakurssiriskin kyseessä ollessa. Välittömästi korkotasosta riippuvia finanssieriä ovat mm. korolliset lainat ja sijoitukset. Liiketoiminnan korkoherkkyys muodostuu korkotason välillisistä vaikutuksista operatiivisen liiketoiminnan tulokseen ja arvoon. Korkoriski koostuu *korkovirtariskistä* ja *hintariskistä*. Yrityksen korkovirtariski koostuu saatavien ja velkaerien korkotuotoista ja -maksuista tietyllä periodilla. Nettovelkainen yritys hyötyy korkojen laskusta, mikäli laina on vaihtuvakorkoista tai korkosidonnaisuusaika on lyhyt. Korkojen laskiessa laskevat myös velanhoitokustannukset ja vastaavasti vaihtuvakorkoisten sijoitusten tuotto alenee. Kiinteäkorkoisessa lainassa ei ole korkovirtariskiä lainan voimassaoloaikana, mutta riski syntyy velan tai saatavan erääntymisen ja uusimisen tekohetkellä. Näin ollen muuttunut korkotaso vaikuttaa yrityksen korkovirtoihin. Korkovirtariski kasvaa siis korkosidonnaisuusajan lyhentyessä. Hintariski muodostuu, kun yrityksen saatavan ja velan nykyarvo muuttuu korkotason muuttuessa. Yrityksen pitkäaikaisen kiinteäkorkoisen sijoituksen arvo laskee markkinakorkojen noustessa, tällöin pitkä korkosidonnaisuusaika johtaa suureen hintariskiin. Diskonttauskoron laskiessa lainan

vaihtoehtokustannus kasvaa sitä suuremmaksi, mitä pidemmästä korkosidonnaisuusajasta on kysymys. (Kasanen ym. 1997, 196-197; Leppiniemi & Puttonen 1996, 189-191.)

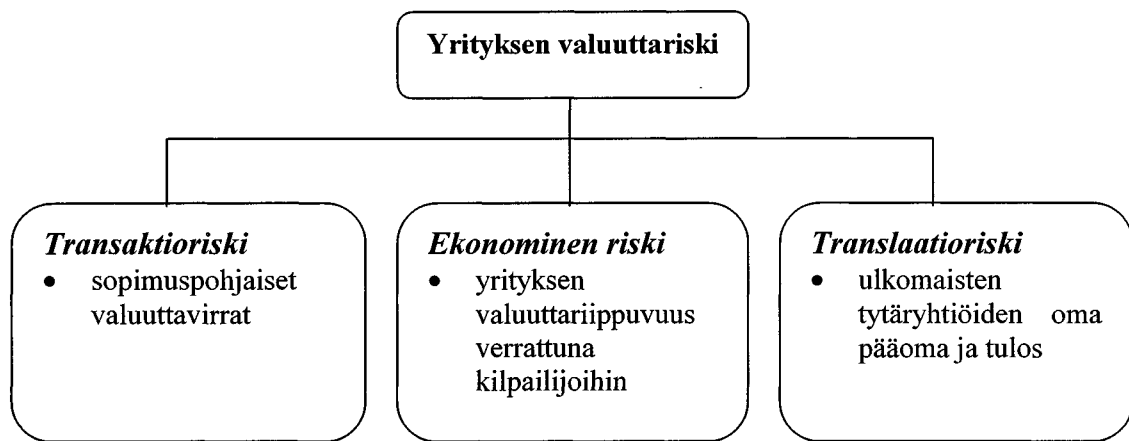
Kuten kuvioista (1-3) havaitaan, yritykset ovat avoimia melkoiselle joukolle erilaisia riskejä. Yrityksillä onkin tänä päivänä mahdollisuus investoida varsin tehokkaisiin riskienhallintajärjestelmiin. Järjestelmien kehittyessä yritysjohtajat saavat parempaa informaatiota suojautuakseen markkinariskiltä, jolla tässä tutkimuksessa tarkoitetaan epävarmuutta portfolion tulevasta arvosta markkinatekijöiden vaihdellessa.



KUVIO 1. Yritystoiminnan riskit (Kasanen ym. 1997, 24)



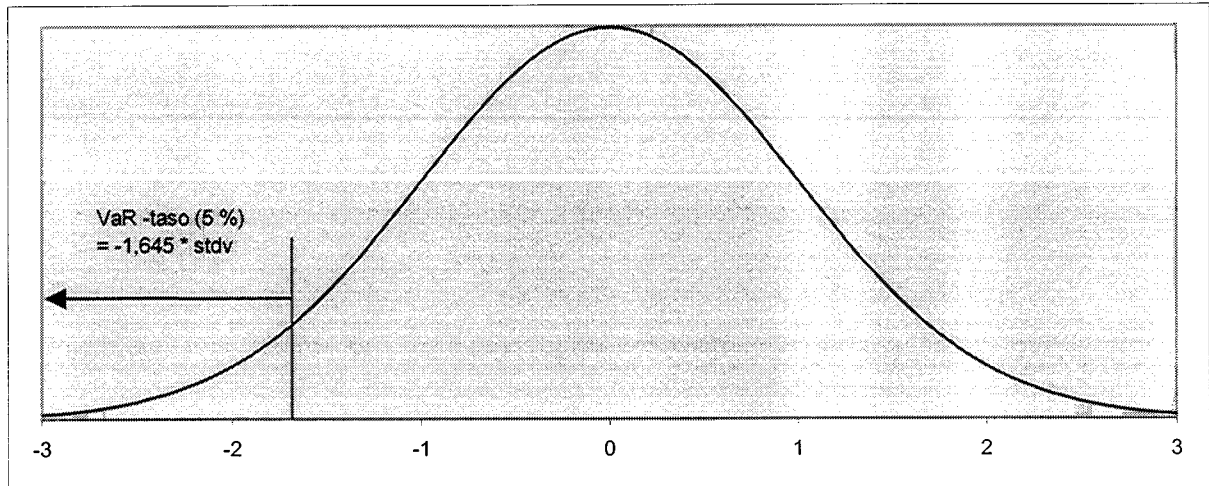
KUVIO 2. Rahoitustoiminnan riskit (Kasanen ym. 1997, 27)



KUVIO 3. Yrityksen valuuttariskin komponentit (Kasanen ym. 1997, 126)

Tutkimuksessa käytetään tällä hetkellä suosituinta markkinariskienhallintaan kehitettyä välinettä, Value at Risk -menetelmää (VaR). Sillä ennustetaan epävarmuuden määrää. Menetelmä on saavuttanut nopeasti suosiota tehokkaana markkinariskienhallintatyökaluna. Value at Risk -analyysillä voidaan mitata markkinariskiä. Tämä syntyy, kun jonkin kassavirran, option tai obligaation hinta vaihtelee korkojen ja valuuttakurssien vaihdella. Markkinahintojen muutokset kuvataan salkun arvon jakaumalla. Jakauma kertoo sen todennäköisyyden, millä yksittäiseen tuottotasoon voidaan päätyä. 5 %:n VaR-luku tarkoittaa, että 5 %:n todennäköisyydellä portfolion arvo laskee VaR-luvun mukaisen euromäärän tai enemmän. (Jauri 1997, 17-18.) Jorion (1997, 86) määrittelee VaR-luvun suurimmaksi odotettavissa olevaksi tappioksi normaaleissa markkinaolosuhteissa annetulla aikavälillä ja luottamustasolla. Tämä tarkoittaa sitä, että normaalijakauman kohdalla esim. 95 %:n varmuudella muuttuja ei tule pienemmäksi kuin keskiarvo miinus $1,645 \cdot \text{volatiliteetti}$. Esimerkiksi jos dollarimääräisen saatavan arvo on 1 000 000 euroa ja valuuttakurssin historiallinen volatiliteetti on 4,6 %. Tällöin dollarisaatavan arvo ei mene alaspäin enempää kuin 75 670 euroa 95 %:n todennäköisyydellä ($= -1,645 \cdot 0,046 \cdot 1\,000\,000$). VaR-luku ilmaistaan kuitenkin tyypillisesti positiivisena lukuna vaikka sillä tarkoitetaan sen suuruista tappiota.

Kuviossa 4 on kuvattuna kumulatiivinen normaalijakauma, jonka keskiarvo on nolla ja varianssi on yksi. Jakaumaa merkitään jatkossa $N(0, 1)$ jakaumaksi. VaR -tason ja volatilitietin välinen yhteys määritetään volatilitietin ja kumulatiivisen normaalijakauman pisteen $(-1,645)$ tulona. Kertymäpisteen miinusmerkki tarkoittaa muuttujan arvon laskua.



KUVIO 4. $N(0, 1)$ normaalijakauman kertymäpiste ja sitä vastaava kumulatiivisen jakauman arvo, Value at Risk 5 %

Perinteisesti riskien mittaamisessa käytetty skenaarioanalyysi¹ on vaikeammin intuitiivisesti tulkittavissa, eikä sitä voida yhdistää suoraan muiden markkinoiden riskeihin. Suurin ero VaR – analyysiin on se, että tarkasteltavat skenaariot määritellään ad hoc –periaatteella. Menetelmä ei tuota arviota eri markkinatilanteiden todennäköisyyksistä. Value at Risk tuo selkeän parannuksen aikaisempaan menetelmään.

Riskienhallinnassa terminologia eroaa hieman rahoitusteorian näkökulmasta. Perinteisesti rahoitusteoriassa portfolion riskipitoisuutta on kuvattu volatilitietillä. Volatilitietti (keskihajonta) mittaa tuoton epävarmuutta koko jakaumasta sekä voiton että tappion osalta. Rahoitusteorian näkökulmasta tarkasteltuna riski ei ole pelkästään tappio, vaan se on myös voitonmahdollisuus. Näin ollen riski on epävarmuutta tulevasta arvonkehityksestä. Riskin ymmärtäminen taloudelliseen tulokseen liittyvänä todennäköisyysjakaumana on riskienhallinnan ensimmäinen askel. VaR –menetelmä keskittyy kuitenkin vain jakauman

¹ Skenaarioanalyysissä hintojen muutosten arviointi ei perustu volatilitietin eikä korrelaatioiden laskemiseen historiallisesta aineistosta. Näin ollen se antaa tilastollisesti melko epäluotettavia tuloksia.

vasemman (tappio) hännän tarkasteluun (kuviot 4). Toisinaan käytetään myös nimitystä yksipuolinen riski. Menetelmä soveltuu hyvin riskienhallinnan käyttöön, koska se mittaa negatiivisten tuottojen todennäköisyyttä. Riskienhallinta voidaankin määrittellä tulevan taloudellisen arvon todennäköisyysjakauman tavoitteelliseksi muuttamiseksi, esimerkiksi optioilla. Se ei tarkoita kaikkien riskien poistamista, vaan riskitason ja riskin suunnan muuttamista yrityksen sietokyvyn ja taloudellisen näkemyksen mukaiseksi. Yritysjohdon tulisikin kysyä: mitä pitäisi suojata ja onko suojaus taloudellisesti kannattava. Rahoitusteorian mukaan taloudellinen suojautuminen rahoitusmarkkinoiden riskeiltä on järkevää, jos se lisää omistajien varallisuutta. On kuitenkin huomattava, että epävarmuuden vähentäminen ei sinänsä lisää omistajien varallisuutta, jos sijoittajat voivat vähentää riskiä hajauttamalla. (Kasanen ym. 1997, 57-58, 81.)

Yrityksen markkinariskien hallinta alkaa kuitenkin position tunnistamisesta, joka sisältää positiorakenteen määrittämisen, osaposition määrityksen ja positioraportoinnin. Markkinariskienhallinnassa antoisin kehitysalue ei kuitenkaan ole uusien suojaustoimenpiteiden kehittäminen, sillä suojaustransaktioiden tehostamispotentiaali on rajallinen. Huomattavasti tärkeämpää on ymmärtää liiketoiminnassa syntyviä valuuttariskejä. Näin ollen kysymys ”Koska ja millä instrumentilla kannattaa suojata?” ei riitä, vaan peruskysymys kuuluu ”*Millaisen riskiaseman eli position liiketoiminnan harjoittaminen synnyttää?*” Ensimmäistä kysymystä ei kannata edes harkita ennen kuin jälkimmäiseen kysymykseen on löydetty tyydyttävä vastaus. Liiketoiminnan valuuttariskien ymmärtäminen vaatii monimutkaisten finanssi-instrumenttien hallinnan lisäksi myös hyvää liiketoimintatuntemusta. (Kasanen ym. 1997, 123.)

1.1 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset

Tutkimuksessa tarkastellaan Value at Risk –menetelmää ja sen soveltamista osaksi metsäteollisuusyrityksen riskienhallintajärjestelmää. Value at Risk –menetelmällä voidaan mitata markkinariskejä ja se pohjautuu tilastotieteelliseen malliin pääomamarkkinoista.

Tutkimuksen tavoitteena on tarjota kokonaisnäkökulma yrityksen markkinariskienhallintaan sekä esitellä VaR -laskentaa portfoliotason riskienhallinnan käytännön apuvälineenä treasury-

ympäristössä. Tutkimus selvittää Value at Risk –menetelmien teoreettisen rakenteen sekä menetelmän soveltuvuuden osaksi metsäteollisuusyrityksen (esimerkkiyrityksenä on UPM Kymmene Oyj) markkinariskienhallintajärjestelmää. Edellisessä luvussa todettiin perinteisten riskimittareiden puutteellisuus markkinariskienhallinnassa. Tältä osin yrityksen markkinariskienhallinta kaipaava lisätutkimusta.

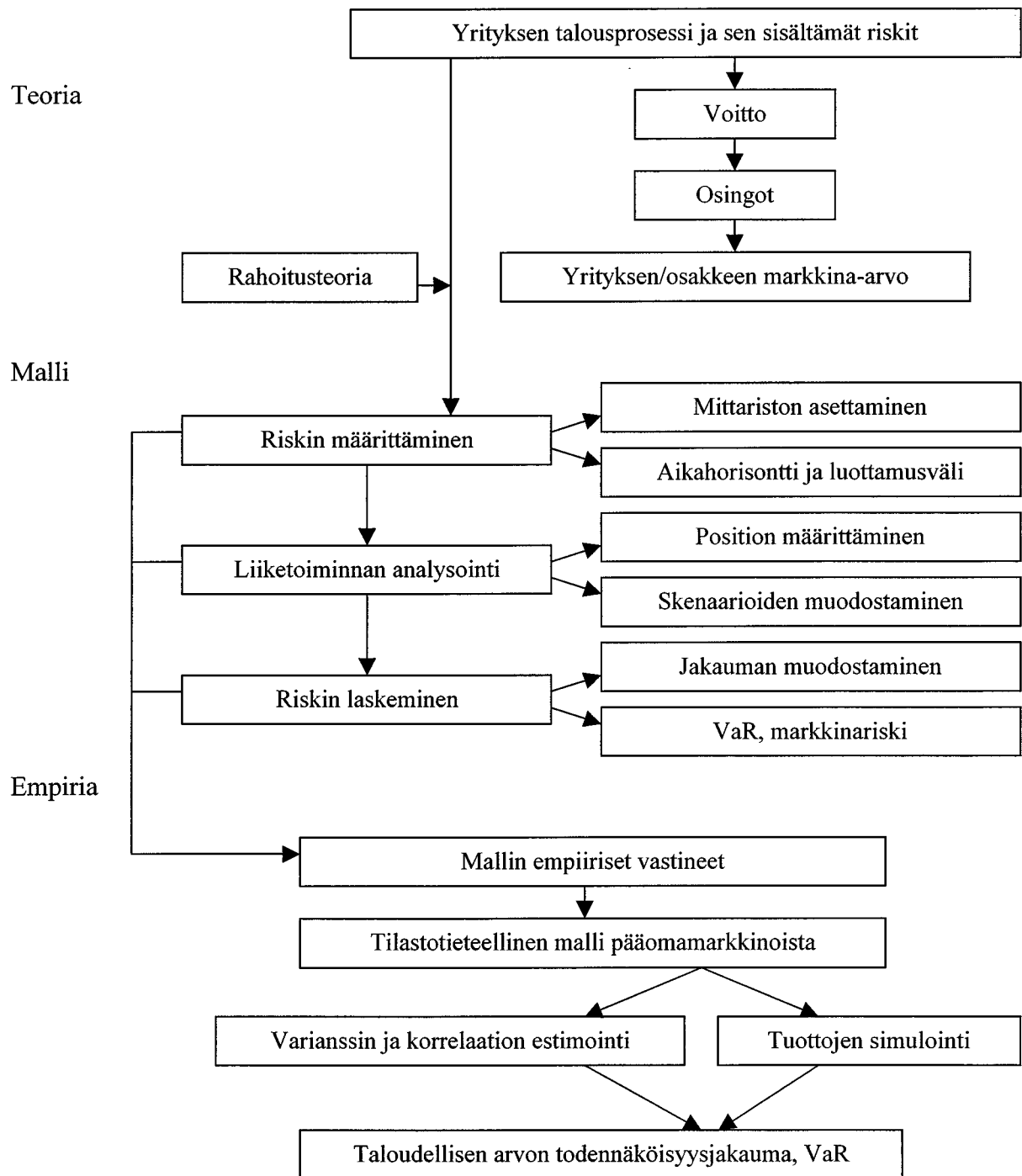
Tutkimusongelmaksi asetetaan yrityksen toimintaa koskevien kuvausten (menetelmävalinnan) vaikutus käsitykseen yrityksen riskeistä. Tutkimuksessa tarkastellaan, kuinka eri menetelmien antamat tulokset eroavat toisistaan. Samalla pyritään löytämään vastaukset kysymyksiin, kuinka liiketoiminnassa syntyvää markkinariskiä voidaan mallintaa, millaisen riskiaseman liiketoiminnan harjoittaminen synnyttää, ja mitä menetelmän valinta vaikuttaa tuloksiin. Tuloksista voidaan arvioida, millaisiin toimenpidesuosituksiin eri menetelmät johtavat. Verrattavia menetelmiä on kolme, jotka määritetään transaktioriskin pohjalta. Tällöin mukaan tulevat kaikki sopimusperusteiset valuuttamääräiset kassavirrat. Ensimmäisenä menetelmä on *Profit at Risk*, jossa vuoden ennustetusta vientivirrasta vähennetään joukkovelkakirjalainojen korkomenot. Toisena menetelmänä on *Cash Flow at Risk*, jossa 15:n vuoden vientivirrasta vähennetään lainojen arvo. Kolmantena menetelmä on *Nurkkaluku*, jossa muodostetaan valuutoittain nettopositio huomioituna 10 %:n valuuttakurssimuutoksella. Kolmea eri menetelmää verrataan keskenään ja tarkastellaan menetelmävalinnan vaikutusta tuloksiin ja toimenpidesuosituksiin.

Teoriaosuudessa pyritään käymään läpi kaikki VaR-mallin kannalta olennaiset seikat. Riskit käsitellään jakaumina, joita käsitellään yleisellä tasolla. Empiirinen osuus rajataan yhteen metsäteollisuusyritykseen (UPM-Kymmene Oyj), koska tarkoituksena on tarkastella menetelmävalinnan vaikutusta tuloksiin ja toimenpidesuosituksiin. Toisaalta UPM on yksi alansa suurimmista yrityksistä ja se kuvaa varsin hyvin koko toimialaa. Yrityksen toiminta oletetaan vakioksi ja tutkitaan, kuinka paljon rahoitusmarkkinainstrumenttien hintojen muutokset vaikuttavat yrityksen toiminnan (kassavirtojen) arvoon. Riskitekijöiksi mallissa otetaan valuuttojen ja korkojen hintamuutokset. Muut riskitekijät oletetaan vakioiksi tai ennalta määräytyiksi. Riski ilmaistaan siis valuuttamääräisten kassavirtojen vaihteluna ja aikahorisontti on yksi kuukausi.

Yrityksen riskiasema määritetään transaktiositiona. Transaktiopositio kuvaa sitä vaikutusta, joka syntyy, kun tietyn ajankohdan valuuttakurssilla tehdyn sopimuksen kassavirrat toteutuvat muuttuneilla kurseilla. Positio määritellään suhteessa yrityksen perusvaluuttaan, tässä tapauksessa euroon. Positio sisältää kaikki sopimusperusteiset valuuttamääräiset virrat, joiden toteutumisesta on riittävä varmuus, tässä se on määritetty vientivirtana (nettovaluuttavirta) ja korkomaksuina. Yrityksen positio on määritetty 28.12.2000, joka sisältää valuuttamääräiset vientivirrat, joukkovelkakirjalainat ja niiden korkokustannukset.

Hirsijärven, Remeksen ja Sajavaaran (2000, 129) jaottelun mukaan tutkimus noudattaa kvantitatiivista lähestymistapaa. Taustalla on talousteorioita, joiden pohjalta määritetään mallin riskitekijät. Kattavasta aineistosta muodostuu mallin empiiriset vastineet ja päätelmät tehdään tilastolliseen analyysiin perustuen. Tammisen (1993, 131) mukaan tutkimus on lähellä koettelevaa tutkimusta olevia menetelmiä. VaR-menetelmä pohjautuu tilastotieteelliseen malliin pääomamarkkinoista, jolloin se soveltuu hyvin Tammisen jaotteluun.

Kuviossa 5 on tiivistetty tutkimuksen VaR -mallin rakentamisen vaiheet. Lähtökohdaksi on yrityksen talousprosessi ja siihen sisältyvät riskit. Taustalla on talousteoreettiset perusteet, erityisesti moderni rahoitusteoria. Yrityksen riskienhallinta mallin voidaan ajatella muodostuvan kolmesta osasta, riskin määrittämisestä, liiketoiminnan analysoinnista ja riskin laskemisesta. Näistä teoreettisista lähtökohdista muodostetaan tilastotieteellinen malli pääomamarkkinoista.



KUVIO 5. VaR –mallin rakentamisen eri vaiheet

1.2 Tutkimuksen kulku

Tutkimuksen johdannossa tarkastellaan vielä esimerkkiyritystä sekä käydään läpi joitakin aikaisempia tutkimuksia riskienhallinnasta yritysympäristössä. Luku kaksi käsittelee modernin riskienhallinnan syntyä ja sen taustalla olevia teorioita. Teoriat sisältävät tärkeitä riskienhallinnan peruseriaatteita. Luvussa kaksi tulee esille myös viranomaissuosituksia, kuten Baselin pankkivalvontakomission ja G-30 suositukset riskienhallinnalle. Luku kolme käsittelee pääpiirteittäin analyyttiset ja simulaatiopohjaiset Value at Risk –menetelmät sekä niiden rajoitteet. Luku neljä koostuu lähinnä J. P. Morganin tavasta rakentaa yrityksen riskienhallintajärjestelmä. Tutkimuksen empiirinen osuus on luvussa viisi, joka tarkastelee kohdeyrityksen riskiaseman kuvaamista kolmella eri lähestymistavalla. Menetelminä ovat Profit at Risk, Cash Flow at Risk ja nurkkaluku. Pääpainona luvussa viisi on aineisto, oletukset sekä toteutus ja tulokset. Luku kuusi sisältää tutkimuksen johtopäätökset.

1.3 Johdatus esimerkkiyritykseen

Tutkimuksessa esimerkkiyritykseksi on valittu suomalainen metsäteollisuusyritys, UPM-Kymmene Oyj. UPM soveltuu hyvin kohdeyritykseksi, koska sen liiketoiminta on kansainvälistä. Yrityksellä on tuotantolaitoksia 14 maassa ja lisäksi yhtiöllä on koko maailman kattava myyntiverkosto. Tärkeimpien markkinoiden – EU-maiden ja Yhdysvaltojen – yhteenlaskettu myynti muodostaa yli 80 % konsernin liikevaihdosta. Toiminnan luonteesta johtuen yritykselle muodostuu varsin merkittäviä valuutta- ja korkoriskejä. Yrityksen merkittävimmät transaktioriskit muodostuvat valuuttakurssien ja korkojen vaihtelusta. Rahoituksen hoito ja rahoitusriskienhallinta on keskitetty konsernin rahoitusosastolle. Keskityksen tavoitteena on tehokas riskienhallinta, kustannussäästöt sekä rahavirtojen optimointi. Riskienhallinnan tavoitteena on suojata konsernia rahoitusmarkkinoilla tapahtuvilta epäsuotuisilta muutoksilta ja siten turvata omalta osaltaan tuloskehitys.

UPM-Kymmenen vuosikertomuksen (2000) mukaan liiketoiminta keskittyy painopapereihin, omaan kehitysohjelmaan perustuviin erikoispapereihin ja jalosteisiin sekä puuteollisuuden

tuotteisiin. Konsernin liikevaihto oli vuonna 2000 9,583 mrd. euroa ja tilikauden voitoksi se kirjasi 1,366 mrd. euroa. Konsernin palveluksessa oli vuoden 2000 lopussa 32 755 henkilöä, joista Suomessa 20 719. Yhtiön tavoitteena on ylläpitää vakavaraisuutta (omavaraisuusaste 46 %), joka mahdollistaa yhtiön pitkäjänteisen kehityksen ja pääomamarkkinoiden hyödyntämisen. Yhtiön taloudellisena päämääränä on omistaja-arvon kasvattaminen (ROE 21,9 %).

Pääomamarkkinoiden paine on lisännyt yritysten tiedonantovelvoitteita erityisesti julkisesti noteeratuissa yrityksissä. Tämä asettaa yritykselle haasteita ennustaa esimerkiksi vuosineljänneksittäin ilmoitettavan osakekohtaisen tuloksen (EPS) suuruus, josta sijoittajat ovat olleet viimeaikoina erityisen kiinnostuneita. Tästä johtuen yritysten on pystyttävä ennakoimaan tuloskehitystä yhä tarkemmin tyydyttääkseen pääomamarkkinoita. Yritys pystyy kuitenkin tekemään jonkinlaisen arvion tulevasta kehityksestä, jos se pystyy tunnistamaan liiketoimintaan liittyvät riskitekijät riittävän hyvin. Yrityksen johdon tulisivat miettiä, mitä riskejä sen kannattaa ottaa ja miltä suojautua. Yleisesti ottaen yrityksen kannattaa ottaa niitä riskejä, joiden kantamisessa sillä on suhteellinen etu. Toisaalta yrityksen tulisi suojautua niiltä riskeiltä, joiden kantamisessa sillä ei ole suhteellista etua. Yrityksen riskipositiot tulevat tarkemmin esille luvussa viisi. Tällöin määritellään tarkemmin, mitä markkinariskipositioita esimerkkiyritykseen sisältyy.

1.4 Aikaisemmat tutkimukset

Yritysten taloudellista suojautumista koskevissa tutkimuksissa on havaittu myös muita hyötyjä kuin pelkkä epävarmuuden vähentäminen. Smithin (1995) ja Shimkon (1995) mukaan taloudellinen suojautuminen tuottaa taloudellista lisäarvoa omistajille. Taloudellinen suojautuminen on suositeltavaa erityisesti silloin, kun tulosheilahtelut ovat erityisen suuria. Yrityksellä voi olla myös suuria investointeja, jotka edellyttävät vierasta pääomaa. Tällöin suuret ja äkilliset tulosheilahtelut voivat pelottaa rahoittajia ja nostaa rahoituskustannuksia. Rahoittajat edellyttävät suuren velkapääoman yrityksiltä tasaista kehitystä. Tällöin taloudellinen suojaus antaa velansietokykyä, jolla voidaan lisätä omistajien tuottoja. Yritysjohdolla on myös paremmat mahdollisuudet keskittyä ydinliiketoiminnan kehittämiseen, kun rahoitusmarkkinoiden epävarmuutta on pienennetty. (Kasanen ym. 1997, 86.)

Erityisesti yritysten valuuttariskiä koskevia tutkimuksia on lukuisia. Hyry (1995) tutki reaalityaloudessa toimivien liikeyritysten valuuttariskien hallintaa valuuttakurssiepävarmuudessa. Hyryn mukaan pk -yritysten valuuttariskien suojautuminen on pääasiassa keskittynyt varsinaisen liiketuloksen suojaamiseen ja kansainvälisten rahoituslaitosten valuuttastrategiat painottuvat spekulatiivisiin valuuttatoimiin. Myös Helokivi (1993) tutki teemaahaastattelulla kahden yrityksen valuuttariskienhallintaa. Tutkimuksessa tehtiin katsaus valuuttapäätöksistä vastaavan henkilön näkökulmasta erilaisiin valuuttariskeiltä suojautumistapoihin sisäisesti ja ulkoisesti. Helokivi käsitteli myös valuuttariskiin liittyvää päätöksentekoa ja prosessin etenemistä. Tutkimuksessa hän päätyi siihen, että valuuttariskienhallinta ja päätöksenteko edellyttää tulevan kurssikehityksen arviointia. Teemaahaastattelun yritykset käyttivät ulkoisia lähteitä kurssikehityksen arvioinnissa.

Toinen teemaahaastatteluna toteutettu tutkimus on Hakkaraisen & Saarisen (1993) tutkimus suomalaisyrityksien valuuttahallinnon muutoksista muuttuvassa valuuttaympäristössä. Aineistona tutkimuksessa oli kahdeksan kauppa- tai teollisuusyritystä. Tutkimus keskittyi kahteen pääteemaan, ensinnäkin millainen on yrityksen valuuttahallinto ja toisaalta mitkä ovat keskeisimmät valuuttaympäristön muutokset Suomessa ja kuinka niihin on mahdollisesti reagoitu yrityksen valuuttahallinnossa. Tuloksena oli, että johto laatii riskilimiitit ja valuuttastrategiat. Yritykset eivät itse laadi valuuttakurssiennusteita, vaan ne hankitaan ulkoisista lähteistä. Valuuttaympäristön muutoksia tapahtui erityisesti kesällä 1991, kun FIM kytkettiin EMS -valuuttojen ECU -koriin sekä valuuttasäännöstelyä alettiin purkaa asteittain. Varhaisemmista tutkimuksista mainittakoon Vaarnavuon (1985) tekemä kirjallisuuskatsaus valuuttariskien hallintamenetelmistä Suomessa. Työ käsitteli devalvaation tuomia ongelmia, valuuttariskien suojautumiskeinojen kartoittamista sekä valuuttastrategioita. Tuloksena todettiin, että kelluvat valuuttakurssit asettavat suuria haasteita mm. vientiteollisuudelle.

Kansainvälisiä tutkimuksia on Allenin (1998, 29-31) tutkimus Englannissa kaupan esteiden vapautumisen ja globalisaation vaikutuksesta yritysten liiketoimintaan. Hän pitää mahdottomana kansallisten hallitusten ylläpitämää kiinteää valuuttakurssia, mikä tuo uusia riskejä kaikenlaiseen liiketoimintaan. Tutkimuksessaan Allen keskittyy punnan vahvistumiseen

Euroopan ja Aasian valuuttoja vastaan kesästä 1996 eteenpäin. Usein valuuttakurssin volatilitteetti tuo ongelmia lyhyen aikavälin operationaaliseen valvontaan, siirtyen edelleen keskipitkän aikavälin taktiselle tasolle ja pitkän aikavälin strategiselle tasolle. Valuuttakurssin muutokset vaikuttavat pidemmällä ajalla yrityksen strategiselle tasolle kilpailukyvn muuttumisen seurauksena. Globaalissa yritysmpäristössä rajojen yli tapahtuvat investoinnit, raaka-aineiden hankinta ja fuusio edellyttävät, että yrityksen johto pystyy tunnistamaan ja hallitsemaan valuuttariskit. Tämä voi olla yrityksille mahdollisuus tai uhka, riippuen yritysten sopeutumiskyvystä.

Useissa kansainvälisissä tutkimuksissa on todettu, että riskienhallintastrategiat ovat lisääntyneet viimeisten vuosikymmenten aikana merkittävästi. Riskienhallintatoimintojen arvon mittaaminen (omistajille) on vaikeaa. Tappioiden estämisen vaikutusta tai riskien vähentämistä ei käytännössä ole helppo mitata. On kuitenkin olemassa useita malleja, joilla yritysten arvo voidaan määritellä, kuten Gordonin (1959) *Dividend Growth Model*, Sharpen (1964) *Capital Asset Pricing Model* (CAPM²) ja Rossin (1976) *Arbitrage Pricing Theory* (APT). Mielenkiintoisena seikkana voidaan pitää myös sitä, että jos CAP -mallia pidetään validina, rationaaliset investoijat eliminoivat yritysmaatset riskit muodostamalla hyvin hajautetun portfolion altistuen ainoastaan systemaattiselle riskille (markkinariskille). Tämä tarkoittaisi sitä, että riskienhallinta olisi sijoittajan näkökulmasta tarpeetonta eli aiheuttaisi ”turhia” kustannuksia yritykselle. (Cassidy, Constant & Corbett 1990, 664-671.)

Myös Cho (1988, 118-131) on tutkinut yrityksen riskienhallintatoimintojen ja yrityksen arvon välistä suhdetta käyttäen Gordonin osinkoihin perustuvaa mallia. Tutkimuksessa oletettiin, että riskienhallintatoimenpiteet vaikuttavat yrityksen pääomankustannukseen (*cost of capital*). Hän osoitti, että varmoissa olosuhteissa riskienhallintatoimenpiteet alentavat pääomankustannusta nostaten näin yrityksen arvoa investoijille. Cho oletti, että investoijat saattavat antaa positiivista painoarvoa yritysten riskienhallintaprosessille. Myös Sprecher ja Pertl (1983, 107-117) tulivat samantyyppisiin johtopäätöksiin tutkiessaan riskienhallintatoimintojen arvoa osakkeenomistajille. He huomasivat suurten yritysmaatsten tappioiden aiheuttavan negatiivisesti epänormaaleja tuottoja. Tulokseksi he argumentoivat: koska

² Kts. luku 2.2, jossa käsitellään sijoitushyödykkeiden hinnoittelumallit (CAPM ja APT).

riskienhallintatekniikat ehkäisevät tappioita ja valvonta voi vähentää suurten tappioiden negatiivisia vaikutuksia, riskienhallintatoimenpiteillä pitäisi olla positiivista arvoa osakkeenomistajille.

Pietikäinen (1991) tarkasteli tutkielmassaan pankin korkoriskin mittaamista ja hallintaa. Tutkimuksen lähtökohtana on Suomessa 1980-luvun lopulla tapahtunut rahoitusmarkkinoiden vapauttaminen. Korkoriskinhallintamenetelminä hän käytti duraatio- ja gap³ -analyysiä. Pietikäinen arvioi, että pankkien välillä ilmenevät erot johtuvat mm. eroista duraatioissa, joustoissa ja gapeissa. Korkoriskinhallinta menestyksellinen hallinta edellyttää, että ennusteet ovat riittävän tarkkoja.

VaR -mallien taustalla on jakaumaoletuksia ja näistä johtuvia malliriskejä. Koskela & Ritvanen (2000) tarkastelivat äärimmäisiä markkinamuutoksia Value at Risk -menetelmässä. Tutkimuksessa selvitettiin, voidaanko suuret markkinamuutokset ottaa tarkemmin huomioon käyttämällä ns. *extreme value* -teoriaa. Työ pohjautuu puoliparametriseen menetelmään, jonka ovat kehittäneet Danielsson ja de Vries (1997). Danielssonin ja de Vriesin tutkimus perustuu oletukseen eri instrumenttien identtisestä ja riippumattomasta jakautumisesta sekä aineiston äärettömyydestä. Menetelmän oletuksia pyritään huomioimaan paremmin muokkaamalla havaintoaineisto pääkomponenttianalyysillä ja GARCH⁴ -mallinnuksella. VaR -analyysin pohjana käytetään usein normaalijakaumaoletusta, mutta useat tutkimukset osoittavat, että aikasarjat ovat usein paksuhäntäisiä, huipukkaita tai/ja vinoja. Teorian ja empiiristen tulosten ristiriitaisuus aiheuttaa tuloksiin virhettä johtuen jakauman muodosta ja aineiston määrästä. Tutkimus selvitti, voitaisiinko ns. *extreme value* -estimoinnilla ottaa normaalijakaumaan perustuvia VaR -malleja paremmin huomioon suuria markkinamuutoksia. Yhdistetyssä todennäköisyysjakaumassa jakauman keskiosa tulee esimerkiksi historiallisesta simuloinnista ja jakauman hännät *extreme value* -estimoinnista. Estimoitujen parametrien perusteella tehtiin tulkinnat *extreme value* -estimoinnin tarpeellisuudesta. Aineisto oli koottu korko- ja

³ Gap-analyysin avulla voidaan tarkastella sijoitusten ja lainojen korkosidonnaisuusaikojen tasapainoa. Menetelmä soveltuu erityisesti korkoriskin korkovirtaelementin analysointiin, mutta sen avulla voidaan arvioida myös hintariskiä (Kasanen ym. 1997, 205).

⁴ GARCH -mallissa tulevaa volatilitteettia ennustetaan aikasarja-aineistosta havainnoitujen ennustevirheiden avulla.

osakemarkkinoilta noin viiden vuoden ajalta Suomesta, Ruotsista, Saksasta ja Yhdysvalloista. Tutkimus osoittaa, että varsinkin 1 %:n luottamustasolla normaalijakaumaan perustuvat VaR – mallit aliarvioivat tappiomahdollisuutta. Käytännössä GARCH -sovitteiden liittäminen pääkomponentteihin oli ongelmallista, soveltaminen hankalaa sekä tuloksien saaminen hidasta.

VaR -luku ei ole suurin mahdollinen tappio⁵, joka riskinotosta voi syntyä. Tämän vuoksi laaditaan erilaisia riskiskenaarioita. Tyynelä (2000) tutki stressitestauksella tappion suuruutta sellaisissa taloudellisissa olosuhteissa, jotka ovat poikkeuksellisia mutta mahdollisia. Empiirisessä osuudessa hän tutki päivittäishavaintojen avulla tuottojen kehittymistä osake-, korko- ja valuuttamarkkinoilla 1994-1998. Markkina-alueina tutkimuksessa oli Suomi, Iso-Britannia, Japani ja USA. Työssä selvitettiin tyypillinen vaihtelu sekä se, kuinka usein tapahtuu suuria markkinamuutoksia. Tutkimuksessa etsittiin keinoja, joilla voitaisiin erottaa häiriöt tavallisesta markkinavaihtelusta sekä markkinahäiriöiden vaikutus muuttujien välisiin korrelaatioihin. Tyynelän tavoitteena oli selvittää stressitestaukseen liittyvän kirjallisuuden, tapahtuneiden markkinahäiriöiden ja osake-, korko- ja valuuttamarkkinoilla koskevan empiirisen osuuden perusteella, miten poikkeuksellisissa markkinaliikkeistä voidaan laatia skenaarioita. Tuloksissa havaittiin että, markkinahäiriöiden aikana korrelaatiot eivät säily ennallaan, volatilitteetti kasvaa sekä skenaarioiden toteutumisen todennäköisyyttä ei pystytä laskemaan.

Liljeström, Valve & Venäläinen (2000) tutkivat suurimpien noteerattujen eurooppalaisten yritysten riskienhallintainformaatiota vuoden 1999 vuosikertomuksista. Tutkimus keskittyy viiteen informaation pääteemaan: rahoitukseen ja likviditeettiin, position markkinariskeihin, kuvaukseen suojaustoiminnoista, herkkyysanalyysiin sekä riskienhallintapolitiikkaan ja periaatteisiin. Tutkimuksessa havaittiin, että pohjoismaisissa yrityksissä riskiraportointi on hoidettu melko hyvin. Toinen mielenkiintoinen seikka oli se, että jotkin yritykset raportoivat saman rahoitusriski-informaation ja jopa samoilla sanoilla vuosi toisensa jälkeen. Tutkijat pitävät tätä huolestuttavana. Suurimmat informaatiopuutteet raportoinnissa ilmenivät position määrittelyssä ja herkkyysanalyysissa. Informaatiota käsitteleviä tutkimuksia on tehty jo

⁵ Suurin mahdollinen tappio voidaan mitata vain käteispositiossa, missä se on koko sijoitettu pääoma (Jorion 1997, 18).

aikaisemminkin. Cassidy ym. (1990, 664-671) havaitsivat tutkimuksessaan investoijien ja markkinoiden reagoivan positiivisesti, kun yritys julkaisee perustavansa tai laajentavansa riskienhallintatoimintoja. Tulokset viittaisivat siihen, että sijoittajat tarvitsevat yrityskohtaista riskienhallintaa.

Kuten aiemmista tutkimuksista voidaan päätellä, riskienhallintamenetelmillä uskotaan yleisesti olevan tärkeä rooli. Varauksetonta suosiota se ei kuitenkaan saa, koska menetelmien käyttöön liittyy varsinkin yrityksiin sovellettuna joitakin ongelmia ja oletuksia. Näihin palataan luvussa 3.9, joka käsittelee Value at Risk –menetelmien sovellettavuuden rajoitteita. Cho:n (1988) ja Sprecherin ja Pertlin (1983) tutkimuksissa tulee usein esille riskienhallinnan ja yrityksen markkina-arvon välinen suhde. Tutkimuksissa on todettu, että hyvin toteutettu ja informoitu riskienhallintajärjestelmä voi alentaa yrityksen pääomankustannusta. Tämä on olennaista siksi, että nettonykyarvolaskelmat ja siihen perustuvat arvonmäärittävät käyttävät diskonttaus korkona keskimääräistä pääomakustannusta (WACC). Pääomakustannuksen laskiessa kassavirtojen nykyarvo kasvaa, jolloin yrityksen nykyarvo on suurempi. Kassavirtaodotusten lisäksi yrityksen (osakkeen) arvoon vaikuttava tekijä on sijoittajan tuottovaatimus. Tuottovaatimuksen kasvaessa osakkeen hinta laskee. CAP - ja APT –malleja voidaan käyttää tuottovaatimuksen mittaamiseen (luku 2.2). Rahoitusteorian perusoletusten mukaan tuottovaatimus määräytyy sijoituskohteen riskisyyden mukaan. Jos sijoituskohteen riskiä pystytään alentamaan, alenee myös tuottovaatimus, joka kasvattaa sijoituskohteen nykyarvoa ja omistajien varallisuutta.

Seuraava luku käsittelee riskikäsitettä, riskinmittausta ja rahoitusteoreettista taustaa modernille riskienhallinnalle. Modernin rahoitusteorian taustalla oleva portfoliomalli sekä erilaiset pääomamarkkinoiden tasapainomallit ovat saaneet runsaasti arvostelua eikä niiden paikkansapitävyyttä ei ole voitu kiistattomasti osoittaa empiirisillä tutkimuksilla. Siitäkin huolimatta teorialat sisältävät joitakin tärkeitä riskienhallintaperiaatteita, joihin kannattaa perehtyä pääpiirteissään.

2 RISKIENHALLINNAN TAUSTAA

Nykyinen moderni riskienhallinta perustuu taustalla oleviin teorioihin rahoitusmarkkinoista ja tilastotieteelliseen malliin pääomamarkkinoista. Tämän johdosta on hyödyllistä tutustua riskikäsitteeseen ja sen mittaukseen. Sen jälkeen käsitellään pääpiirteittäin modernin rahoitusteorian taustalla olevia malleja ja oletuksia, jotka sinänsä sisältävät riskienhallinnan peruseriaatteita.

2.1 Riskin mittaus

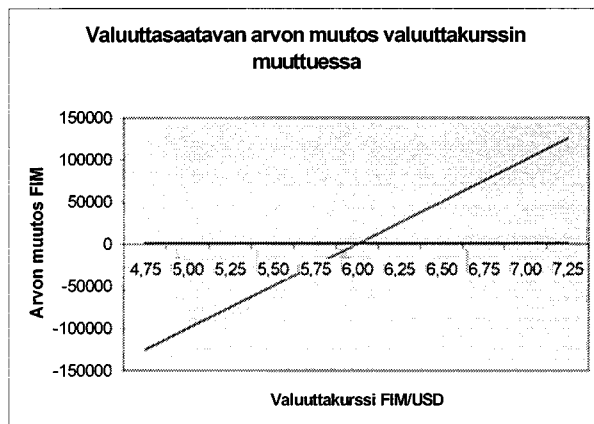
Menestyksellinen riskienhallinta edellyttää riskin käsitteen selkeää ymmärtämistä ja riskien tunnistamista. Näin ollen kun yrityksessä pohditaan riskienhallintastrategioita, tulisi johdon miettiä ainakin seuraavia kysymyksiä: a) kuinka hyvin he ymmärtävät yrityksen riskit ja mitä ne ovat; b) jos yrityksen pääriskit voidaan määritellä, voidaanko niiltä suojautumalla saattaa osakkeen omistajat parempaan asemaan; c) onko käytännössä mahdollista suojautua näiltä riskeiltä riittävän hyvin? (The Economist 1996.)

Perusedellytys riskienhallinnalle on riskin mittaus: ”Jotta riskiä voidaan hallita, se täytyy ensin mitata.” Riski on monimutkaisempi mitattava kuin tuotot tai kustannukset. Tästä johtuen riskiä kuvataan usein todennäköisyysjakaumalla ja riskin mittarina käytetään volatilitteettia tietyllä todennäköisyydellä. Riskin voidaan katsoa muodostuvan kolmesta osasta: riskialttiina olevan taloudellisen arvon suuruudesta (*positio*), taloudellisen arvon riippuvuudesta alla olevan riskitekijän suhteen (*herkkyys*) sekä alla olevan riskitekijän kehityksen epävarmuudesta (*volatilitteetti*). (Kasanen ym. 1997, 63-64.) Seuraavassa tarkastellaan kutakin riskin osa-aluetta hieman tarkemmin.

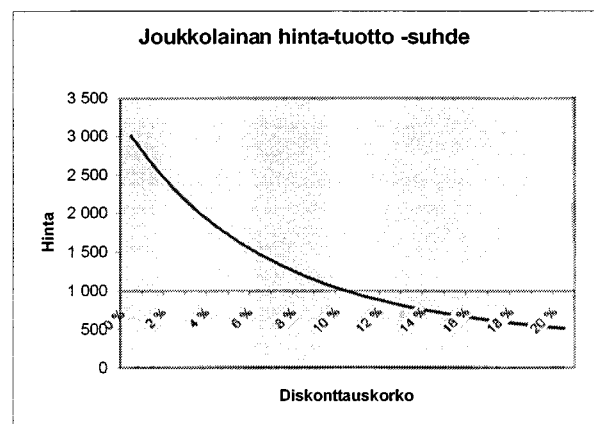
Riskille altistuva taloudellinen arvo (*positio*) muodostuu eristä ja arvoista, jotka ovat alttiina ulkoisille riskitekijöille. Operatiiviset ja finanssierät tulisi tunnistaa, jotta välttyttäisiin valuuttakurssiriskiltä. Valuuttavirtojen tulisi olla yhtä suuret, esimerkiksi valuuttaepätasapaino

osto- ja myyntivaluuttojen välillä altistaa katteen valuuttakurssiriskille. Yritys voi altistua myös korkoriskille, jos sijoituksilla ja lainoilla on eri maturiteetit. Position arvo mitataan yleensä absoluuttisilla valuuttamäärillä. Kun positio on laskettu eri valuutoissa ja eri aikaperiodilla, muunnetaan positio yhdeksi tulevaksi valuutaksi (termiini) ja diskontataan haluttuun ajanhetkeen muuntovaluutan korolla. Position suuruus on siis määritettävä yhtenä hetkenä. (Kasanen ym. 1997, 64.)

Taloudellisen arvon riippuvuutta alla olevista riskitekijöistä voidaan havainnollistaa kuviolla 6, jossa pystyakselina on valuuttasaatavan arvon muutos ja vaaka-akselilla tarkasteltavan valuuttakurssin muutos. Kuvio 6 havainnollistaa 1 000 000 dollarin valuuttasaatavan arvon muutosta, kun FIM/USD on valuuttakurssi. Vastaavasti kuviossa 7 on 10 %:n kuponnikorolla varustettu nimellisarvoltaan 1000 markan joukkolaina, jonka markkinahinta on 1000 markkaa ja maturiteetti 20 vuotta. Kuponnikorot maksetaan puolivuositain ja sijoittajien tuottovaatimus on 10 %. Kuvio 7 osoittaa, kuinka joukkolainan hinta muuttuu tuotto-odotusten muuttuessa.



KUVIO 6. Valuuttasaatavan FIM -muutos valuuttakurssin muuttuessa



KUVIO 7. Joukkolainan markkina-arvon muutos diskonttauskoron muuttuessa

Kuten kuviosta 6 nähdään, muutos valuuttasaatavan arvossa on lineaarinen. Valuuttasaatava sisältää siis valuuttakurssiriskiä, jonka muutosherkkyys on yksi. Bondit ja optiot ovat epälineaarisia instrumentteja. Kuvio 7 osoittaa joukkolainan markkina-arvon muutoksen korkotason muuttuessa. Tuottovaatimuksen kasvaessa joukkolainan nykyarvo laskee. Tuottovaatimus kasvaa lainan riskisyyden kasvaessa. Hinnanmuutos on epälineaarinen, kun korkotaso muuttuu. Bondeihin sisältyy tällöin korkoriskiä. Korkoherkkiä arvopapereita voidaan

kuvata duraatio -pohjaisilla tunnusluvuilla. *Duraatio*⁶ mittaa korkoherkän arvopaperin efektiivistä pituutta, yksikkönä vuosi ja *modifioitu duraatio* kuvaa korkoherkän arvopaperin nykyarvon muutosta, jos korko muuttuu yhden prosentin. Duraatio antaa kuitenkin vain lineaarisen approksimaation epälineaarista instrumentista. Likiarvo toimii vain suhteellisen pienillä muutoksilla. Bondin markkina-arvo voidaan kirjoittaa tulevien kassavirtojen nykyarvojen summana. (Jorion 1997, 119; Kasanen ym. 1997, 66-69.) Yleisesti ottaen lineaariset instrumentit ovat suhteellisen helppo mallintaa ja muutoksen suuruus voidaan helposti määrittää. Epälineaarisisissa instrumenteissa arvo voi vaihdella hyvinkin paljon alla olevan kohde-etuuden muuttuessa. Epälineaariset instrumentit (esim. optiot) ovat myös huomattavasti monimutkaisempia mallintaa kuin lineaariset instrumentit.

Riskitekijän kehityksen epävarmuus, tehokkailla markkinoilla hintojen ja tuottojen ennustaminen on erittäin vaikeata. Tulevaisuuteen liittyvien tuotto-odotusten epävarmuuden mittaamiseen on olemassa selkeä ja hyvin paljon käytetty menetelmä, volatilitietin (σ) mittaaminen. Yritys ei voi vaikuttaa rahoitusinstrumenttien volatilitiettiin, mutta voi suojautua siltä käyttämällä esimerkiksi johdannaisia. Riski voidaan yleisesti määritellä tulevien tuotto-odotusten epävarmuudeksi. Koska rahoitusinstrumenttien hintoja ei voida täydellisesti ennustaa, vaan niihin liittyy satunnaista vaihtelua, niin satunnaisvaihtelua kuvaa parhaiten satunnaismuuttujan todennäköisyysjakauma. Hinnan muutos jaetaan kahteen osaan, muutoksen odotusarvoon ja satunnaisvaihteluun sen ympärillä (Jauri 1997, 51; Kasanen ym. 1997, 70-79). Useimmiten käytetty mittari on keskiarvo, joka on

$$(1) \quad E(\tilde{X}) = \sum_{i=1}^N p_i X_i,$$

missä p_i on satunnaisen ilmiön X_i todennäköisyys ja N on mahdollisten tapausten määrä. Useimmiten käytettävä mittari jakauman hajonnasta on varianssi, joka on määritelty havainnon ja odotusarvon erotuksen neliö summaksi (Copeland & Weston 1983, 144-147)

$$(2) \quad \sigma^2(\tilde{X}) = \sum_{i=1}^N p_i (X_i - E(\tilde{X}))^2.$$

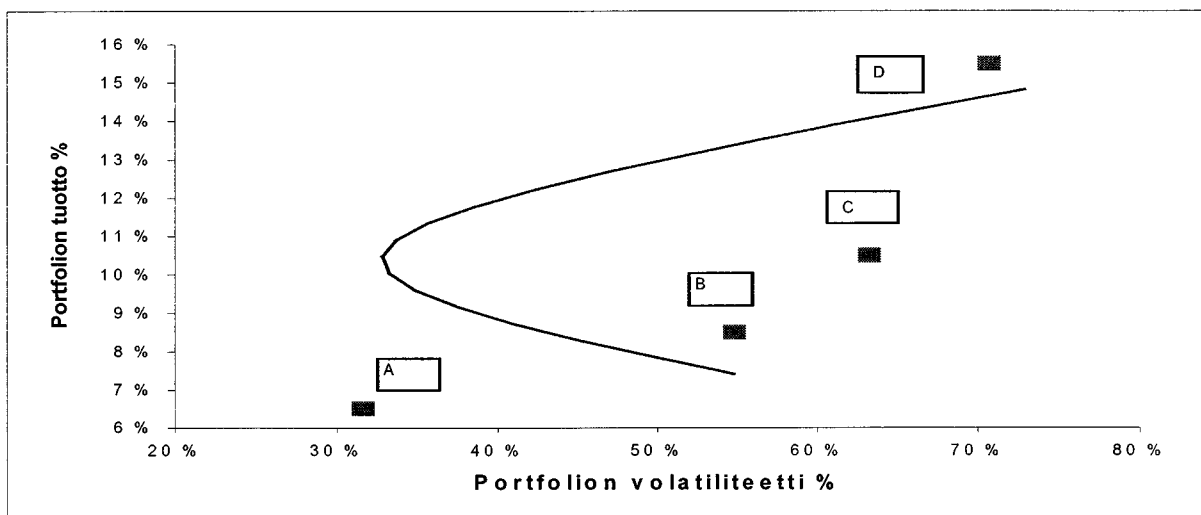
⁶ Macauley (1938) määritteli ensimmäisenä duraation, jolla hän tarkoitti kassavirtojen keskimääräistä ikää.

Riskienhallinnassa käytetään kuitenkin usein keskihajontaa (volatiliteetti), joka on neliöjuuri varianssista. Volatiliteetti on aina positiivinen

$$(3) \quad \sigma(\tilde{X}) = \sqrt{\sigma^2(\tilde{X})}.$$

Portfolion varianssi on painotettu varianssien ja kovarianssien summa. Kovarianssi on kahden satunnaismuuttujan välinen relaatio. Jos kovarianssi on positiivinen, muuttujat liikkuvat samaan suuntaan ja negatiivisella kovarianssilla vastakkaisiin suuntiin. (Copeland & Weston 1983, 153.)

Markowitz (1952) osoitti, kuinka investoija voi vähentää portfolion keskihajontaa (varianssia) valitsemalla salkkuun sellaiset instrumentit, jotka eivät korreloi keskenään täydellisesti. Tästä tulee ns. portfolioefekti, eli sijoitusten keskihajonta on pienempi kuin yksittäisten yhteenlaskettujen sijoitusten keskihajontojen summa. Tätä lähestymistapaa kutsutaan portfolioteoriaksi, joka muodostaa perustan koko riskienhallinnalle ja sitä kautta pohjan Value at Risk -ideologialle. Kuviossa 8 on esitetty neljästä instrumentista (A-D) muodostettu tuottokäyrä. Tuottokäyrän kuvaa sitä, kuinka portfolion odotettu tuotto ja hajonta vaihtelevat eri instrumenttien yhdistelmillä.



KUVIO 8. Neljästä instrumentista muodostettu tuottokäyrä (Benninga 2000, 140)

Sijoittaja voi tuottokäyrän avulla arvioida omaa riskiprofiiliaan. Kuviossa 8 hyvin hajautetun portfolion tuotto-odotukseksi saadaan 9,97 % ja volatilitteettiä 32,84 %. Jos sijoittaja preferoi korkeampaa tuottoa, esim. 13 %, portfolion volatilitteetti kasvaa 56,4 %:iin. Kyseessä on siis optimointiongelma, jossa pyritään löytämään sellainen instrumenttien yhdistelmä, joka antaa parhaan tuotto-odotuksen annetulla riskitasolla. Sijoittajan preferenssit ovat myös merkittävässä asemassa, eli sijoittajan sietämä riskitaso.

Instrumenttien tuottoja kuvataan usein jollakin jakaumalla. Seuraavaksi käsitellään todennäköisyysjakaumaa yleisellä tasolla. Usein rahoitusteoriassa markkinoiden hintanoteerausten ajatellaan olevan jonkinlaisten satunnaismuuttujien saamia arvoja. Satunnaismuuttujat käsitellään usein jatkuvina muuttujina, vaikka todellisuudessa hintanoteeraukset ovatkin diskreettejä. Eräs jatkuvaan jakaumaan liittyvä erikoinen ominaisuus on se, että minkä tahansa luvun esiintymistodennäköisyys on nolla. (Jauri 1997, 53.)

Usein jakauman oletetaan olevan normaalijakautunut. Normaalijakauma on keskeisessä roolissa tilastollisissa kuvauksissa, koska se kuvaa riittävän hyvin monia olemassa olevia populaatiota. P.S. Laplace osoitti ”keskeisen raja-arvo teoreeman” (*central limit theorem*), joka osoittaa, että keskiarvo lähenee normaalijakaumaa, kun havaintojen määrä kasvaa. Tästä johtuen normaalijakauma oletus on yleinen markkinahintojen ja tuottojen laskemisessa. Täydellinen jakauma voidaan kuvata kahdella tekijällä, keskiarvolla ja varianssilla $N(\mu, \sigma^2)$. Ensimmäinen parametri kuvaa sijaintia ja toinen hajontaa. Jos normaalijakauman keskiarvo ja varianssi on tiedossa, voidaan mikä tahansa jakauman piste kuvata. Normaalijakauman tiheysfunktio tuotolle R on (Jorion 1997, 73)

$$(4) \quad f(R) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{\left[-\frac{1}{2\sigma^2}(x-\mu)^2\right]}.$$

Kun kaavaan 4 asetetaan keskiarvoksi nolla ja varianssiksi yksi, saadaan standardoitu normaalijakauman funktio $N(0, 1)$. Riskiä kuvataan siis todennäköisyysjakaumalla. Kun kukin riskitekijä on mitattu, voidaan niistä muodostaa kokonaisriskipositio. Riskiä kuvataan myös positiotasolla todennäköisyysjakaumalla.

Rahoitusteoriassa tuottojen on oletettu olevan normaalijakautuneet jo vuosikymmeniä. Varhaisimpia tutkimuksia tuottojen jakaumista ovat tehneet Mandelbrot (1963) ja Fama (1965). Suuri osa tutkimuksista on tehty suurella frekvenssillä tai päivittäisillä logaritmisilla hintamuutoksilla. Zangari & Longestaey (1996, 64-65) esittävät yhteenvedon tuottojen jakaumista historiallisella aineistolla. Heidän yhteenvedossa on neljä huomion arvoista seikkaa:

- Rahoitustuottojen jakaumat ovat paksuhäntäisiä, eli suuria markkinamuutoksia tapahtuu useammin kuin normaalijakauma olettaa.
- Tuottojakauman huippu on kapeampi ja korkeampi kuin normaalijakaumassa.
- Tuotoilla on pieni autokorrelaatio.
- Tuottojen neliöillä (*squared returns*) on usein merkittävä autokorrelaatio.

Hsieh (1988) esitti kaksi vaihtoehtoista selitystä valuuttakurssiaineistossa esiintyvälle ei-ehdollisen jakauman huipukkuudelle ja paksuhäntäisyydelle. Ensimmäisen teorian mukaan havainnot ovat riippumattomat ja peräisin samasta jakaumasta, joka ei kuitenkaan ole normaalijakauma. Toisen teorian mukaan havainnot eivät ole keskenään riippumattomat vaan peräisin jakaumasta, jonka ominaisuudet vaihtelevat tarkasteluajanjakson mukaan.

Kuten edellisestä yhteenvedosta huomaamme, oletus siitä, että tuotot olisivat normaalijakautuneet, ei useinkaan pidä paikkaansa. Tästä johtuen, jos portfolion tuoton jakauma ei ole normaalijakautunut, VaR -luvut tulevat harhaisiksi. Tämän havaitsemiseksi on kehitetty kaksi todennäköisyysjakauman mittaria, jotka mittaavat jakauman vinoutta (*skewness*) ja huipukkuutta (*kurtosis*). Vinoutta voidaan mitata tuoton ja volatilitietin avulla seuraavasti (Zangari & Longestaey 1996, 68; Jorion 1997, 79-80.)

$$(5) \quad \hat{\gamma} = \frac{1}{(T-1)} \sum_{i=1}^T \frac{(x_i - \hat{\mu})^3}{\hat{\sigma}^{3/2}} = \frac{E[(r_i - \mu)^3]}{\sigma^3}.$$

Vinous (*skewness*) osoittaa, miten epätasaisesti arvot ovat jakautuneet keskiarvon ympärille. Positiivinen vinous osoittaa, että jakauma on epäsymmetrinen ja siinä on enemmän positiivisia arvoja. Negatiivinen vinous puolestaan osoittaa, että jakauma on epäsymmetrinen ja siinä on enemmän negatiivisia arvoja. Normaalijakaumalla vinous on nolla. Positiivisesti vinon

jakauman voi muodostaa esimerkiksi ostamalla optioita ja negatiivisesti vinon myymällä optioita. Huipukkuus voidaan vastaavasti määrittää tuoton ja volatilitteen avulla seuraavasti:

$$(6) \quad \hat{\delta} = \frac{1}{(T-1)} \sum_{i=1}^T \frac{(x_i - \hat{\mu})^4}{\hat{\sigma}^4} = \frac{E[(r_i - \mu)^4]}{\sigma^4}.$$

Huipukkuus (*kurtosis*) kuvaa jakauman terävyyttä. Positiivinen kurtosis -arvo merkitsee sitä, että jakauma on terävämpi kuin normaalijakauma. Negatiivinen kurtosis -arvo merkitsee sitä, että jakauma on leveämpi kuin normaalijakauma. Normaalijakaumalla huipukkuus on 3. (Jorion 1997, 79-80.)

2.2 Rahoitusteoreettisia oletuksia nykyiselle riskienhallinnalle

Moderni riskienhallinta sisältää useita rahoitusteoreettisia oletuksia. Näitä ovat mm. CAPM -malli ja markkinoiden tehokkuusehdot. Näistä ensimmäisenä pääomamarkkinoiden tasapainomalli (CAPM) kehiteltiin 1960-luvun alkupuolella. Se pohjautui Markowitzin portfoliomalliin, johon koko moderni rahoitusteoria perustuu. CAP -mallin ensimmäisiä kehittäjiä olivat Sharpe (1963, 1964) ja Treynor (1961), kunnes Mossin (1966), Litner (1965, 1969) ja Black (1972) kehittivät mallia edelleen. *Capital Asset Pricing Model* (CAPM) on sijoitushyödykkeiden hinnoittelumalli. Mallin avulla voidaan arvioida sijoituskohteiden tuoton odotusarvoja ja riskiä. Mallin tuottovaatimus muodostuu riskittömästä tuotosta ja riskipreemiosta. Riskipreemio kasvaa kohteen riskisyyden mukaan. Sijoituksen kokonaisriski muodostuu systemaattisesta ja epäsystemaattisesta riskistä. Kokonaisriskiä mitataan varianssilla. Epäsystemaattista riskiä voidaan hajauttaa lisäämällä sijoitusten lukumäärää. Vain riskin systemaattinen osa vaikuttaa tuottovaatimukseen ja määräytyy markkinoilta, sillä epäsystemaattinen riski on poistettavissa hajauttamalla. Tämä edellyttää sijoittajien tuottovaatimusten olevan yhtä tuotto-odotusten kanssa. Mallin mukaan sijoituskohteen tuottovaatimus on

$$(7) \quad E(r_i) = R_f + \beta(E(r_m) - R_f),$$

missä $E(r_i)$ = sijoittajien odotettu tuottovaatimus
 R_f = riskitön korkokanta
 β = beta -kerroin
 $E(r_m)$ = markkinasalkun tuoton odotusarvo.

Beta-kerroin kuvaa sitä herkkyyttä, millä yksittäisen sijoituskohteen tuotto heilahtelee suhteessa kaikkien sijoituskohteiden keskimääräiseen tuottoon. Sijoituskohteella, joka käyttäytyy yhdenmukaisesti markkinoiden, kanssa on beta-kerroin 1. Riskittömän sijoituskohteen beta-kerroin on nolla. CAP –mallin eri sijoituskohteiden tuottovaatimukset eroavat vain beta - kertoimen osalta. CAP –malli on kehitetty hypoteettiseen maailmaan, joka sisältää useita oletuksia mm. varojen hajauttamisesta, markkinoiden tehokkuudesta ja veroista (Megginson 1997, 108-109).

Malli on saanut osakseen myös kritiikkiä. Kritiikki liittyy markkinoiden tehokkuusvaatimuksiin. Jos CAP–malli pitäisi paikkansa, ei riskienhallintaa tarvittaisi. Riskienhallinta on järkevää ainoastaan, jos markkinoilla esiintyy tehottomuutta ja kaikki sijoittajat eivät pidä hallussaan koko markkinaportfoliota.

Toisen tärkeän tasapainohinnoittelumallin kehitti Ross (1976). *Arbitrage Pricing Theory* (APT) poikkeaa CAP –mallista riskitekijöiden määrän suhteen. Malli olettaa, että useat riskitekijät vaikuttavat markkinoiden epävarmuuteen. Tästä johtuen APT –malli on teoriassa realistisempi kuin CAPM, mutta teoria ei kuitenkaan kerro, mitä nämä mallissa esiintyvät riskitekijät voisivat olla (Megginson 1997, 123-125).

$$(8) \quad R_i = E(R_i) + \beta_{i1}F_1 + \dots + \beta_{ik}F_k + \mu_i,$$

missä R_i = sijoittajien tuottovaatimus
 $E(R_i)$ = sijoittajien odotettu tuottovaatimus
 β_{ik} = beta -kerroin
 F_k = riskitekijä
 μ_i = virhetermi.

APT on vankempi malli kuin CAPM, mutta kumpikaan malleista ei ennusta täydellisesti. Mallien tärkeimmät erot ovat oletukset tuottojen empiirisestä jakaumasta ja riskitekijöiden määrästä (Copeland & Weston 1983, 214-215.)

Pääomamarkkinoilla hintamuutoksiin liitetään myös käsite *markkinoiden tehokkuus*⁷. Tällöin hinnat toimivat yleisesti markkinoilla resurssien ohjaajina. Hintojen tulisi kuvastaa kohteiden todellisia arvoja, jotta pääomat allokoituisivat tehokkaasti. Hinnat ovat näin signaaleja sekä varojen tarjoajille että käyttäjille. Pääomien allokoituminen taloudessa tapahtuu parhaiten teoreettisesti ihanteellisilla, ns. täydellisillä rahoitusmarkkinoilla. Markkinat voivat toimia tehokkaasti vaikka ne eivät olisikaan täydelliset. Käytännössä täydellisiltä markkinoilta vaaditut oletukset⁸ ovat varsin rajoittavia. (Copeland & Weston 1983, 285-286.) Aiheesta onkin tehty joitakin tutkimuksia, jotka osoittavat, että suomalaisilla osakemarkkinoilla on löydettävissä poikkeamia informaatioon liittyvien tehokkuuden tasoilta. Vastaavia tuloksia on saatu myös Japanissa ja USA:ssa (Kallunki, Kytönen & Martikainen 1998, 118-121).

Rahoitusteorian mukaan markkinoiden toimintaan liittyy myös oletus *arbitraasivapaudesta*. Oletuksen voimassa ollessa arvopaperien hinnat ovat linjassa toisten arvopapereiden kanssa, joten hinnoitteluvirheitä ei esiinny tai, jos esiintyy, niin ne poistuvat nopeasti. Markkinoilla ei ole myöskään mahdollisuutta riskittömiin tuottoihin. (Copeland & Weston 1983, 115; Ingersoll 1987, 45-46.)

Jaurin (1997, 269-274) mukaan yksi rahoituksen haastavimpia ongelmia on *korkokäyrän mallintaminen*. Riskienhallinnassa lähes kaikki arvostukset perustuvat nykyarvon laskemiseen, jolloin korkokäyrä muodostuu erityisen tärkeäksi. Mallintamisessa on huomioitava kaksi eri aikaulottuvuutta. Ensimmäinen koskee korkokäyrän muotoa jokaisella ajan hetkellä. Toinen

⁷ Kirjallisuudessa rahoitusmarkkinoiden tehokkuus jaetaan kolmeen luokkaan: heikkojen, keskivahvojen ja vahvojen ehtojen tehokkuuteen. Ne kuvaavat sijoituskohteiden hinnoissa olevaa informaation määrää ja sen käyttöä tulevan hintakehityksen analysointiin. Hinnat sisältävät yleensä kaiken informaation.

⁸ Markkinat ovat kitkattomat eli ei veroja eikä välityspalkkioita. Sijoituskohteet ovat hajautettavissa eikä ole rajoituksia lyhyeksimyynille. Markkinoilla on täydellinen kilpailu, sijoittajat preferoivat samalla riskitasolla olevista vaihtoehdoista korkeampituottoisia. Informaatio on ilmaista ja kaikkien sijoittajien saatavilla samanaikaisesti. Kaikki sijoittajat maksimoivat rationaalisesti omia hyötyjään.

ulottuvuus liittyy korkokäyrän aikarakenteeseen. Jokainen korkopiste seuraa jonkinlaista stokastista prosessia ja samalla niiden keskinäistä suhdetta säädellään ensimmäisen kohdan ratkaisulla. Täydellistä korkokäyrämallia ei ole olemassa, koska korkojen keskinäiset suhteet liittyvät toisiinsa niin monimutkaisella ja epälineaarilla tavalla, ettei sitä voida täsmällisesti kuvata matemaattisella mallilla. VaR-mallin tapauksessa käytetään useimmiten yhden askeleen simulointia. Silloin pääpaino on menetelmässä, jolla korkokäyrä muodostetaan ja korkokäyrän käyttäytyminen ajan kuluessa jää vähemmälle huomiolle. Markkinoiden tarkasteluhetken hinnat kuvataan spot-hinnoilla ja korot nollakuponkikäyrällä.

Seuraava luku käsittelee Value at Risk –menetelmän historiallista taustaa ja joitakin suosituksia VaR-mallin käytölle pankkien riskienhallinnassa. Suositusten jälkeen johdetaan VaR-malli yleiselle ja parametriselle jakaumalle.

2.3 Value at Risk –menetelmän historia

Rahoitusmarkkinoiden kasvanut volatilitiitti 1970-luvun jälkeen on ehkäpä suurin syy riskienhallintamenetelmien kehittymiselle. Markkinoiden volatilitiitti on kasvanut nopeasti mm. kelluvien valuuttakurssien myötä ja tämä on asettanut vaativia haasteita erilaisten rahoitusinstrumenttien kehittelylle ja hallinnalle.

Riskienhallinnan tarpeellisuus ja merkitys ovat kasvaneet viime aikoina mm. suurten tappioiden ja konkurssien myötä. Esimerkiksi saksalainen Metallgesellschaft menetti 1,34 miljardia dollaria tarjoamalla pitkäaikaisia sopimuksia öljytuotteista (öljyfutuurit) ja ajautui konkurssiin. Ehkäpä kuuluisin meklari oli 28-vuotias Nicholas Leeson. Käytännössä hän kaatoi kunnioitettavan 233-vuotta vanhan englantilaisen Barings-pankin Nikkei 225-osakeindeksifutuureilla. Tappio oli 1,3 miljardia dollaria, jolloin pankin menetti koko osakepääoman. Muita suuria tappioita olivat japanilainen Showa Shell Sekiy ja Kashima Oil (valuuttatermiinit, 1,58 & 1,54 mrd. USD). (Jorion 1997, 29-33.)

Markkinariskienhallinnassa pioneerina toimi Bankers Trust, joka lanseerasi riskimittarin 1970-luvun lopulla. Mittarilla mitattiin meklareiden riskikorjattua oman pääoman tuottoastetta,

RAROC (*Risk Adjusted Return on Capital*). (Jorion 1997, 77.) Vuonna 1994 riskiluvut sisällytettiin pankkien vuosikertomuksiin. Samana vuonna julkaisi myös investointipankki J. P. Morgan yhtenäisen riskienmittausmetodologian (*RiskMetricsTM*). Pari vuotta myöhemmin alkoi riskiraportteja ilmestyä myös yritysten vuosikertomuksiin. Value at Risk -menetelmää käytetään nykyisin laajasti pankkisektorilla. Myös yritykset ovat huomanneet hiljalleen riskienhallinnan tarpeellisuuden omassa toiminnassaan. Myös G-30⁹ toteaa raportissaan, että markkinariskien mittaamiseen parhaiten soveltuva menetelmä on Value at Risk.

Value at Risk –menetelmällä voidaan siis mitata markkinariskejä. Se pohjautuu tilastotieteelliseen malliin pääomamarkkinoista. Riskinmittausta varten kerätään aikasarjahavaintoja markkinahinnoista, joiden avulla pyritään arvioimaan salkkuun sisältyvää riskiä. Saatava tulos on portfolion tuoton jakauma. VaR-luku mittaa suurinta odotettua tappiota tietyllä aikavälillä normaaleissa markkinaolosuhteissa ja tietyllä luottamusvälillä/todennäköisyydellä. Esimerkiksi 5 % VaR-luku tarkoittaa, että 5 %:n todennäköisyydellä salkun arvo laskee VaR –luvun mukaisen markkamäärän tai enemmän. Perinteisesti position riskipitoisuutta kuvataan volatiliteetin avulla. Volatiliteetti mittaa epävarmuutta koko jakaumasta sekä voiton että tappion osalta. VaR –tunnusluvussa pääpaino on tappioriskin mittaamisessa, jonka johdosta se soveltuu varsin hyvin riskienhallinnan käyttöön. VaR on vain yksi mahdollinen tunnusluku, jolla todennäköisyysjakaumaa voidaan arvioida. VaR-luku ei kuvaa suurinta mahdollista tappiota, sillä suurin mahdollinen tappio voidaan mitata vain käteispositiossa, joka on koko sijoitettu pääoma. (Jauri 1997, 18-19.)

VaR–menetelmä palvelee useita tarkoituksia riippuen sovelluksesta. VaR–menetelmää voidaan käyttää esim. raportoitaessa johdolle ja omistajille. Se palvelee niin rahoituslaitoksia kuin tavallisia yrityksiäkin. Menetelmällä on mahdollista seurata pääomamarkkinoiden tuomia riskejä sekä varmistua siitä, että toiminnan riskitaso vastaa asetettuja vaatimuksia ja tavoitteita.

Seuraavaksi tarkastellaan suosituksia, joita eri viranomaiset ovat antaneet pankkien markkinariskienhallinnalle. Suositukset pätevät myös pääsääntöisesti yritysten

⁹ G-30 (Group of Thirty) on ryhmä johtavia pankkiireita, rahoittajia ja tutkijoita, joka antaa suosituksia mm. riskinmittaamisesta ja johdannaisten käytöstä.

riskienhallinnassa. Suositukset ovat joiltakin osin melko yksityiskohtaisia ja tästä syystä niiden mielekkyyttä yritys ympäristössä on hyvä harkita tapauskohtaisesti.

2.3.1 Baselin pankkivalvontakomission suositukset VaR-menetelmässä

Pankkisektorin osalta ratkaiseva tuki VaR-menetelmälle perustuu Baselin pankkivalvontakomitean suositukseen vuodelta 1996. Baselin komitea on G10¹⁰-maiden keskuspankkien yhteistyöelin, joka on perustettu 1975. Komitealla ei ole virallista asemaa, mutta sen vaikutusvalta on suuri. Baselin komitea tunnetaan myös nimellä BIS (*Bank for International Settlements*), sillä se työskentelee BIS:in yhteydessä. (Jauri 1997, 20.)

Baselin pankkivalvontakomissiolla on kaksi päätarkoitusta. Ensinnäkin antaa suosituksia ja olla apuna pitkälle kehittyneissä maissa pankki- ja rahoitusmarkkinalainsäädäntöä ja valvontaperiaatteita laadittaessa. Toinen päätavoite on kansainvälisen lainsäädännön ja valvonnan harmonisointi.

Baselin pankkivalvontakomitean suositukset on tehty nimensä mukaan pankkisektorin tarpeisiin, mutta siihen liittyvät teemat ovat samoja, joihin yrityksissäkin joudutaan ottamaan kantaa. Vaikkei yrityksessä pidettäisikään kaikkia komitean suosituksia tarpeellisina tai toimintaan soveltuvina, on kuitenkin tärkeää, että päätös jonkin alueen sivuuttamisesta on tietoisesti tehty ja se on perusteltu sekä dokumentoitu. Dokumentointi auttaa yritystä reagoimaan muuttuneisiin olosuhteisiin, joissa aiemmat oletukset ja perustelut ovat vanhentuneet. (Jauri 1997, 21-22.)

Basel Committee on Banking Supervision (1996) (jatkossa BCBS) antaa raportissaan seuraavia myös yrityksiä koskevia suosituksia. Pankkien tulee mitata markkinariskejä ja laskea pääomavaatimuksensa markkinariskien perusteella. Markkinariskin mittauksessa on huomioitava tase-erät sekä taseen ulkopuoliset erät. Mittauksen on katettava valuutta-, korko- ja osakemarkkinariskit sekä hyödykeriskit. Laskentamallista riippumatta tulee

¹⁰ Pankkivalvontaviranomaisista koostuva elin, joka säätelee pankkien pääomavelvoitteita. Jäseniä ovat keskuspankkien ja rahoitusviranomaisten edustajia kahdestatoista eri maasta. Mukana ovat Belgia, Kanada, Ranska, Saksa, Italia, Japani, Alankomaat, Ruotsi, Englanti, Yhdysvallat, Luxemburg ja Sveitsi.

pääomavaatimuksen perustua kaikkiin riskitekijöihin. Riskimittaukseen on sisällytettävä kaikki positiot niiden tekopäivästä lukien. Viranomaisten on huolehdittava siitä, että pankit eivät harjoita positoiden siivoamista (*window-dressing*) raportointihetken ajaksi. (BCBS 1996, 1-5.)

Riskifaktoreiden määrittelystä raportissa todetaan, että korkokäyrä tulisi mallittaa jollakin yleisesti hyväksytyllä menetelmällä. Valuuttamarkkinoiden mallintamisessa tulisi huomioida kaikki valuutat, joissa on huomattava positio. Osakemarkkinoiden mallintamisessa jokaiselle markkinalle määritetään markkinaindeksi, mutta osakkeet voidaan käsitellä beta-kertoimien avulla (CAPM). Hyödykemarkkinoiden mallinnuksessa voidaan käyttää myös yhtä hyödykekohtaista riskifaktoria (esim. öljy), jos riskit ovat vähäisiä. (BCBS 1996, 42-43.)

Teknisinä vaatimuksina raportissa todetaan, että VaR laskettava päivittäin 99 %:n todennäköisyystasolla 10 päivän pituiselta ajalta. Historialliset korrelaatio- ja volatilisuukestimaatit tulee laskea vähintään vuodenmittaisesta aikasarjasta sekä päivittää kolmen kuukauden välein. Mallin toteutus on vapaasti valittavissa, (varianssi-kovarianssimatriisi, historiallinen simulaatio tai Monte Carlo -simulaatio). Osake-, korko- ja valuuttamarkkinoiden kokonaisriski voidaan määrittää portfoliona ja optioissa epälinearisuus sekä *vega*¹¹-riski on tunnistettava. (BCBS 1996, 44-45.)

Stressitestillä on varaudutaan tapahtumiin, joilla olisi suuri vaikutus position arvoon. Vaikeasti mitattavien tai erityisen tärkeiden muuttujien kattamiseen on käytettävä stressitestiä. Testeissä on arvioitava numeerisia ja laadullisia seurauksia sekä likviditeettiä. Skenaariotesteissä tulee selvittää suurin yhden päivän tappio. Skenaariotestin simulointi tulee suorittaa siten, että korrelaatiot ja volatiliteetit heijastavat epänormaaleja markkinaolosuhteita, kuten lokakuun 1987 osakemarkkinoiden romahdus tai ERM kriisi 1992 ja 1993. Korrelaatiot voidaan myös asettaa ääriarvoihin (1 tai -1). (BCBS 1996, 46-47.)

¹¹ Vega on option hinnan osittaisderivaatta volatiliteetin suhteen. Kuvaa option arvon muutosta, kun kohde-etuuden volatiliteetti muuttuu. Voidaan kutsua myös kappa, zeta tai lambda (Puttonen & Valtonen 1996, 128).

2.3.2 G-30 suositus johdannaisten käytölle

Suositus muodostuu 20 johdannaisia käyttäville yrityksille tehdystä suosituksesta ja neljästä viranomaisille tehdystä suosituksesta. G-30 johdannaismarkkinasuositus julkaistiin keväällä 1993. G-30 suosittaa mm. seuraavia *yleisiä toimintatapoja*: sijoittajien ja välittäjien tulee noudattaa johdonmukaisesti niitä riskienhallintaohjeita, jotka yhtiön johto on asettanut. Portfolion markkina-arvot tulee määrittää vähintään kerran päivässä. Johdannaispositiot arvostetaan markkinoiden keskihintaan tai markkinoiden osto- ja myyntihintoihin. Välittäjillä tulee olla riittävä käsitys position sisältämästä riskistä sekä tuottojen syntyvästä. Markkinariskit tulee mitata päivittäin ja verrata riskiä asetettuihin limiitteihin. Markkinariskin mittauksessa on arvioitava position herkkyys absoluuttiselle hinnan muutokselle, volatiliteetin muutokselle, ajan kulumiselle ja diskonttauskoron muutokselle. Positiota on testattava skenaarioilla, jotta saataisiin kuva position arvon muutoksista markkinahäiriöiden aikana. Johdannaispositioiden aiheuttamasta rahoitus- ja vakuustarpeesta on laadittava ennuste. Itsenäisen markkinariskin valvonta on suoritettava riippumattoman ja riittävän toimivallan omaavan yksikön toimesta.

G-30 suosittelee tilinpäätösten harmonisoinnin edistämiseksi, että tilinpäätökseen sisällytetään: kuvaus johdon riskinottopolitiikasta ja johdannaisten käytöstä ja näiden operaatioiden valvonnasta, kuvaus positioiden kirjanpitoperiaatteista, tilinpäätöspäivän sopimussalkkujen markkinariskin ja luottoriskin analyysit sekä lisätietoja *treasury* –operaatioiden laajuudesta.

Molemmissa suosituksissa (BIS ja G-30) teemat ovat hyvin samantyyppisiä. Myös tuotantotoimintaa harjoittavissa yrityksissä joudutaan usein ottamaan kantaa edellä oleviin vaatimuksiin. Myös SEC (*US Securities and Exchange Commission*) suosittaa, että 20 F-muotoinen vuosikertomus sisältäisi VaR-analyysin tai kattavan stressi/skenaarioanalyysin yrityksen rahoitusriskeistä. UPM-Kymmene Oyj:n tämä liittyy siksi, että sen osakkeita vastaavat ADR- osaketodistukset on noteerattu Yhdysvalloissa NYSE:n listalla kesäkuusta 1999. Yksi ADR-osaketodistus vastaa yhtä osaketta.

Kun taustalla olevat tahot ja suositukset ovat selvillä, voidaan siirtyä johtamaan Value at Risk-luku yleiselle ja parametriselle jakaumalle.

2.4 VaR:in johtaminen yleiselle jakaumalle

VaR on markkinariskin mittari, joka mittaa portfolion suurinta mahdollista odotettua tappiota annetulla luottamusvälillä ja aikahorisontilla. Se summaa eri alaportfolioiden ja eri instrumenttien riskit yhdeksi luvuksi käyttäen hyväksi Markowitzin (1952, 77-91) löydöstä portfolion diversifoinnin vaikutuksista sen standardipoikkeamaan (Fama 1976, 253-254). Value at Risk -luvun laskeminen aloitetaan aikaperiodin ja luottamusvälin valinnalla. (Jorion 1997, 86.)

Yleisten jakaumien tapauksessa portfolion VaR-luku voidaan määrittellä seuraavasti: Olkoon W_0 alkuperäinen investointi ja R sen tuottoaste. Tällöin portfolion arvo tarkasteluhorisontin päättyessä on muotoa $W = W_0(1+R)$. Lisäksi olkoon R :n odotettu tuotto (μ) ja volatilitteetti (σ). Nyt voidaan määrittellä portfolion pienin arvo annetulla luottamusvälillä c muotoon $W^* = W_0(1+R^*)$. VaR on markkamääräinen tappio suhteessa odotusarvoon/keskiarvoon (*mean*):

$$(9) \quad \text{Value at Risk (odotusarvo)} = E(W) - W^* = -W_0(R^* - \mu).$$

VaR voidaan määrittellä myös absoluuttisena valuuttamääräisenä tappiona, toisin sanoen suhteessa nolnaan (*zero*) tai ilman viittausta portfolion odotusarvoon, tällöin se on muotoa:

$$(10) \quad \text{Value at Risk (0)} = W_0 - W^* = -W_0R^*.$$

Molemmissa tapauksissa VaR:in laskeminen perustuu W^* :n tai sitä vastaavan tuoton R^* löytämiseen. VaR-luku voidaan siis määrittellä absoluuttisena arvona jollakin luottamusvälillä c tai suhteellisena riskinä tavoitetason ja suojaustason erotuksena (Lee 1999, 29). VaR-luku ilmaistaan positiivisena lukuna, joka tarkoittaa kuitenkin sen suuruista tappiota.

Yleisessä muodossa VaR voidaan määrittää portfolion tulevaisuuden arvon $f(w)$ todennäköisyysjakauman perusteella. Annetulla luottamusvälillä c halutaan löytää huonoin mahdollinen realisaatio W^* , jota parempien tulemien todennäköisyys on c :

$$(11) \quad c = \int_{W^*}^{\infty} f(w)dw,$$

tai toisaalta todennäköisyys sille, että tulema on huonompi kuin W^* , $p = P(w \leq W^*)$, on $1-c$:

$$(12) \quad 1 - c = \int_{-\infty}^{W^*} f(w)dw = P(w \leq W^*) = p.$$

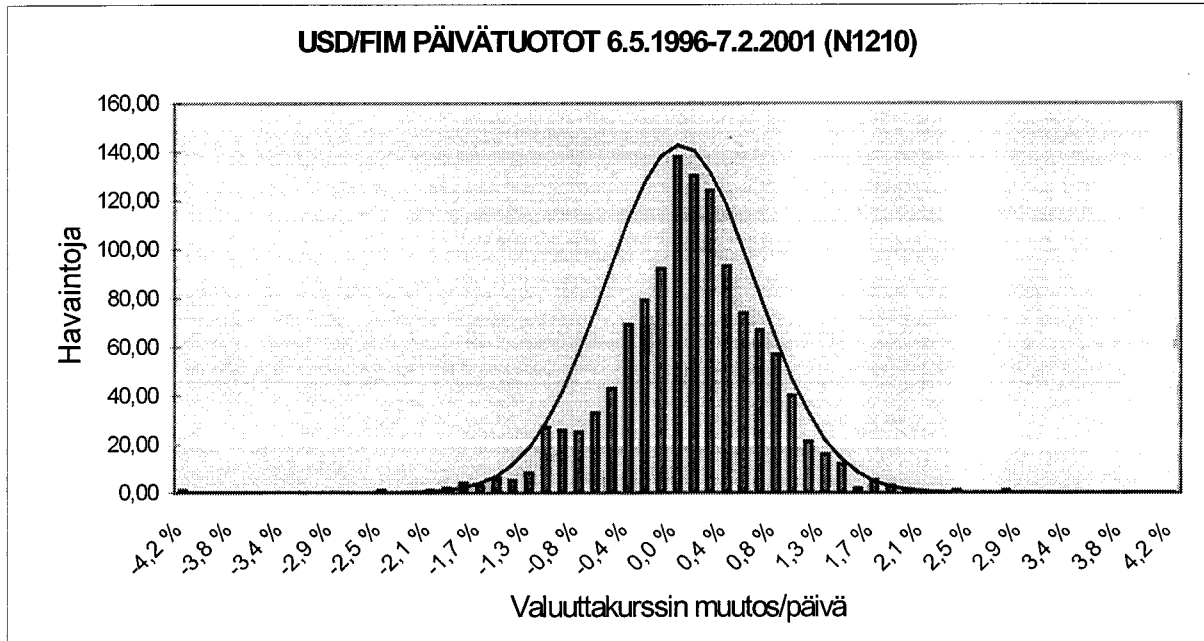
Toisin sanoen alueen $-\infty$:stä W^* :hen summan täytyy olla $p = 1-c$, esim. 5 %. Tämä spesifikaatio käy kaikille jakaumille, diskreeteille ja jatkuville. Seuraavassa on esitetty suhteellinen markkinariski VaR-luvun avulla. Siinä W^* edustaa kyseisen jakauman absoluuttista VaR-lukua annetulla luottamusvälillä c ja $E(W)$ on jakauman keskimääräinen tuotto (tavoite tuotto). Suhteellinen markkinariski on muotoa (Jorion 1997, 87-88):

$$(13) \quad VaR = E(W) - W^*.$$

Tekemällä oletuksia portfolion tuoton jakauman muodosta, laskentaa voidaan yksinkertaistaa huomattavasti. Esimerkiksi delta-mallissa tuoton jakauma oletetaan normaaliksi.

2.5 VaR:in johtaminen parametriselle jakaumalle

VaR:in laskeminen yksinkertaistuu merkittävästi, jos jakauman voidaan olettaa olevan normaalin. Normaalijakauman parhaita ominaisuuksia on se, että keskiarvo ja keskihajonta riittävät täysin kuvaamaan jakauman. Tällöin VaR voidaan johtaa suoraan portfolion keskihajonnasta käyttämällä kerrannaisfaktoria, joka riippuu luottamusvälistä. Tällaista lähestymistapaa voidaan kutsua myös parametriseksi, sillä se sisältää parametrien (odotusarvo μ ja keskihajonta σ) estimoinnin. (Jorion 1997, 88.)



KUVIO 9. Havaintoaineistoon sovitettu saman keskiarvon ja keskihajonnan omaava normaalijakauma, dollarin keskipäivittäisten (ln) tuottojen jakauma

Kuten kuviosta 9 nähdään, tuottojen jakauma ei ole normaalijakautunut, kun sitä verrataan saman keskiarvon ($\mu = 0,0234 \%$) ja keskihajonnan ($\sigma = 0,6391 \%$) omaavaan normaalijakaumaan. Logaritmiset päivätuotot on laskettu USD/FIM keskipäivittäisistä ajalta 6.5.1996-7.2.2001. Talousteoreettisten perustelujen ja käytännön laskujen vuoksi on tyypillistä sovittaa normaalijakauma havaintoaineistoon. Havaintojen lisääntyessä jakauma lähenee usein normaalijakaumaa. Normaalijakauma kuvaa kuitenkin suhteellisen hyvin aineiston tuottoja. Tästä seuraakin joukko ratkaistavia kysymyksiä. Kun halutaan mitata ja kuvata epävarmuutta dollarin tulevasta arvosta ajan t päästä, niin käytetäänkö historiallista jakaumaa sellaisenaan? Miltä aikaväliltä jakauma halutaan laskea? Halutaanko ottaa trendin suhteen näkemystä ylöspäin tai alaspäin vai käytetäänkö apuna termiinikursseja¹²? Historiallinen jakauma tarjoaa joka tapauksessa faktaa riskienhallintaa varten, kun mittausten perusteella tiedetään, mitä suuruusluokkaa heilahtelut ovat olleet. (Kasanen ym. 1997, 74-75).

¹² Termiinikurssi kuvaa tulevien valuuttojen tulevaa markkakurssia.

Yleinen jakauma $f(w)$ muunnetaan standardoiduksi normaalijakaumaksi $\Phi(\varepsilon)$, missä $\varepsilon \sim (0, 1)$. Yleensä R^* on negatiivinen ja se voidaan kirjoittaa muodossa $-|R^*|$. R^* voidaan myös asettaa standardoituun normaalijakaumaan (*standard normal deviate*) asettamalla $\alpha > 0$:

$$(14) \quad -\alpha = \frac{-|R^*| - \mu}{\sigma}$$

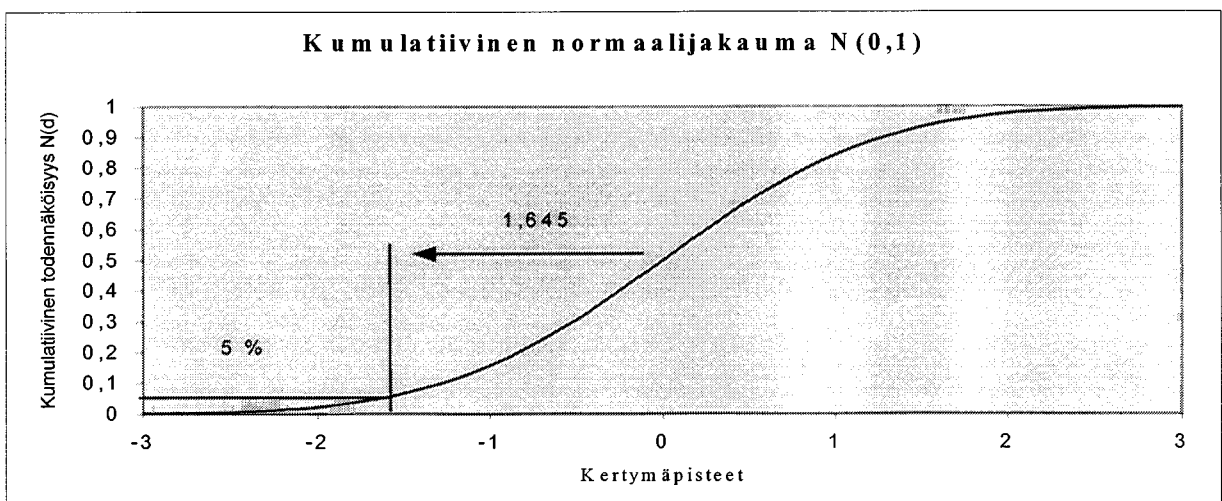
missä α = standardoidun normaalijakauman kertymäpiste. Standardoinnin jälkeen on olemassa voimassa yhtäsuuruusehto:

$$(15) \quad 1 - c = \int_{-\infty}^{w^*} f(w)dw = \int_{-\infty}^{-|R^*|} f(r)dr = \int_{-\infty}^{-\alpha} \Phi(\varepsilon)d\varepsilon,$$

missä $\Phi(\varepsilon)$ = ε :n tiheysfunktio (0, 1). Ongelmana on löytää Value at Risk, joka on ekvivalentti arvon α kanssa (vasemmasta hännästä), joka yhtä suuri kuin $1 - c$. Tällöin on mahdollista kääntää funktio kumulatiiviseksi normaalijakaumaksi, jonka vasemman puoleinen alue standardoiduilla normaali muuttujilla on yhtä suuri kuin d (Jorion 1997, 89-90):

$$(16) \quad N(d) = \int_{-\infty}^d \Phi(\varepsilon)d\varepsilon.$$

Value at Risk -luvun määrittämiseksi standardoiduista normaaleista muuttujista on valittava toivottu luottamusväli. Kuviossa 10 luottamusväli on 5 %, jolloin $\alpha = 1,645$.



KUVIO 10. Kumulaatiivinen normaalijakauma

Yhtälöstä (14) voidaan johtaa tuotto $R^* = -\alpha\sigma + \mu$ halutulle luottamusvälille. Yleisesti parametrit α (standardoidun normaalijakauman kertymäpiste) ja σ (volatiliteetti) ovat ilmaistu vuosittaisina, aikaväli Δt on vuosia. Sijoittamalla edellinen yhtälö VaR (odotusarvo) kaavaan (9) saadaan haluttua luottamustasoa vastaava VaR:

$$(17) \quad \text{Value at Risk (odotusarvo)} = E(W) - W^* = -W_0(R^* - \mu) = W_0\alpha\sigma\sqrt{\Delta t}.$$

VaR voidaan määrittellä myös absoluuttisena valuuttamääräisenä tappiona:

$$(18) \quad \text{Value at Risk (0)} = W_0 - W^* = -W_0R^* = W_0(\alpha\sigma\sqrt{\Delta t} - \mu\Delta t).$$

Tämä menetelmä yleistää muut kumulatiiviset todennäköisyysfunktiot normaaleiksi, epävarmuus sisältyy (σ) volatiliteettiin. Normaalijakauma on helppo esittää ja se kuvaa melko hyvin monia empiirisiä jakaumia. Tämä pitää erityisesti paikkansa silloin, kun portfolio on suuri, hyvin hajautettu eikä sisällä optioita. (Jorion 1997, 89-91.)

2.6 Portfolion Value at Risk

Portfolion tuotto voidaan ilmaista lineaarisena kombinaationa alla olevien instrumenttien tuotoista, jolloin painoina $w_{i,t}$ on markkamääräinen osuus, joiden summa on yksi. Näin voidaan määrittää portfolion tuotto välille $t, t+1$ (Jorion 1997, 150)

$$(19) \quad R_{p,t+1} = \sum_{i=1}^N w_{i,t} R_{i,t+1},$$

jossa w_i on painoarvo, joiden summa on yksi. Portfolion tuotto on kätevää laskea matriisimuodossa (Jorion 1997, 150)

$$(20) \quad R_p = [w_1 w_2 \dots w_N] \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ R_N \end{bmatrix} = w' R,$$

missä w' on painoarvojen horisontaalinen transpoosimatriisi ja R tuottojen vertikaalinen vektori. Kuten aikaisemmin todettiin, portfolion odotettu tuotto on (Jorion 1997, 150)

$$(21) \quad E(R_p) = \mu_p = \sum_{i=1}^N w_i \mu_i$$

ja varianssi on

$$(22) \quad V(R_p) = \sigma_p^2 = \sum_{i=1}^N w_i^2 \sigma_i^2 + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1, j \neq i}^N w_i w_j \sigma_{ij}$$

$$= \sum_{i=1}^N w_i^2 \sigma_i^2 + 2 \sum_{i=1}^N \sum_{j < i}^N w_i w_j \sigma_{ij}.$$

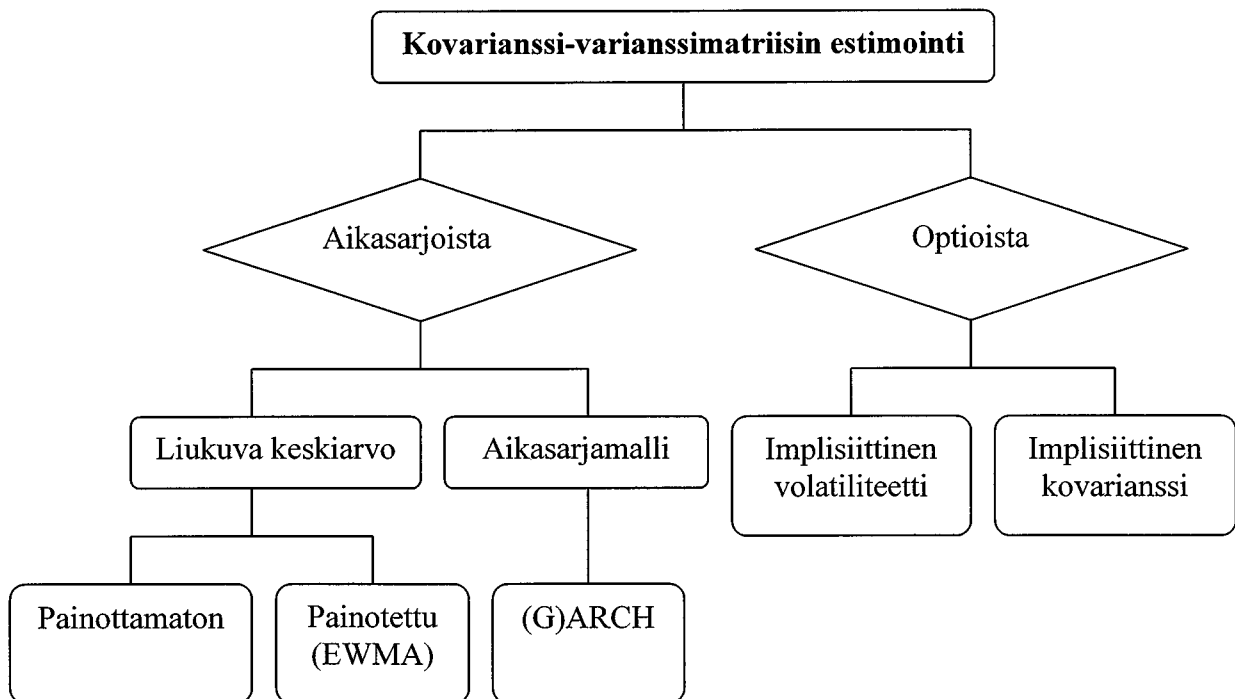
Kun muuttujien määrä kasvaa on vaikea seurata kovarianssitermejä, tällöin on helpompi käyttää matriisimuotoa. Kovarianssimatriisi Σ ja varianssi voidaan kirjoittaa yhdessä (Jorion 1997, 151)

$$(23) \quad \sigma_p^2 = w' \Sigma w.$$

Kun lasketaan portfolion VaR-lukua, täytyy kääntää portfolion varianssi VaR-luvuksi. Siihen tarvitaan portfolion tuoton jakauma. Jos tuottojen oletetaan olevan normaalijakautuneita, on myös portfolio normaalijakautunut, koska se on lineaarinen kombinaatio satunnaisista normaaleista muuttujista. Annetulla luottamustasolla Value at Risk -luku saadaan suoraan $\alpha \sigma_p$ kerrottuna alkupääomalla. Tätä ideaa käytetään mm. delta-mallissa. (Jorion 1997, 150-151.)

3 SIMULOINTIMENETELMÄT

Tarkkuus- ja kattavuusvaatimusten myötä on kehitelty erilaisia VaR -tekniikoita. Menetelmät lähtevät yksinkertaisista analyttisistä malleista ja päätyvät monimutkaisiin simulointimenetelmiin. Mallit valitaan reaali maailman tarpeiden mukaan. Menetelmiä arvioidaan markkinoiden oletuksien, instrumenttien hinnoittelun, mallin informaation ja mallin rakentamisen sekä laajennusmahdollisuuksien mukaan. Jokainen näistä tekniikoista rakentuu käsitykselle riskifaktoreiden tuottojen noudattamasta tilastollisesta mallista. Tämän vuoksi seuraavassa tarkastellaan ensin tätä näkökulmaa volatilisusestimoinnin muodossa ja vasta tämän jälkeen perehdytään analyttisiin ja simulointimalleihin. Kuviossa 11 on esitetty parametrien estimointimenetelmät.



KUVIO 11. Kovarianssi-varianssimatriisin estimointimenetelmät

3.1 Varianssin ja korrelaation estimointimenetelmät

Seuraavaksi käsitellään kolmea yleisintä estimointimenetelmää, joilla varianssi- ja korrelaatioennusteet voidaan laskea. Varianssi- ja korrelaatioennusteita tarvitaan kovarianssimatriisin muodostamisessa. Estimointimenetelmiä ovat liukuvat keskiarvot, GARCH-mallit sekä optioiden hinnoista johdetut implisiittiset menetelmät. Liukuvat keskiarvot jaetaan historiallisesti ja eksponentiaalisesti painotettuihin keskiarvoihin. Liukuva tarkoittaa sitä, että vanhin havainto korvataan aina uudella havainnolla ja tarkasteluhorisontin pituus on vakio. Seuraavissa esimerkeissä menetelmät on sovellettu varianssin laskemista varten, mutta samaa menetelmää tulisi käyttää myös korrelaatioita laskettaessa. Ensimmäisenä on painottamaton keskihajonnan estimointi historiallisesta aineistosta, joka tarjoaa yksinkertaisimman menetelmän volatilisuu den ennustamiseen. Volatiliteetin estimaatti voidaan laskea seuraavasti (Alexander 1999, 127):

$$(24) \quad \sigma = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (r_t - \bar{r})^2}$$

missä

- \bar{r} = tuottojen keskiarvo
- r_t = havainto hetkellä t
- T = havaintojen lukumäärä.

Mallin on soveltaminen on helppoa, mutta siinä ilmenee kuitenkin joitakin puutteita. Suurimpana on tuottojen yhtä suuret painoarvot, vaikkakin aikasarjoissa uusin informaatio on relevanteinta. Ongelmaksi muodostuu poikkeukselliset havainnot, jotka vaikuttavat korrelaatioihin ja volatiliteettiin. Kun poikkeuksellisen iso havainto putoaa pois, se voi muuttaa estimaattia huomattavasti. Tarkasteluajanjakson pidentämisellä saavutetaan vakaampia volatiliteetti- ja korrelaatioestimaatteja kuin lyhyemmällä aikavälillä. Volatiilisuutta eli keskihajontaa voidaan estimoida kaavan (24) lisäksi myös liukuvan keskiarvon menetelmällä (*Exponential Weighted Moving Average*, EWMA) tai ennustevirheiden avulla (*Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity*, GARCH).

Ekspontiaalisesti painotetun liukuvan keskiarvon menetelmä (EWMA) korjaa historiallisessa keskiarvossa esiintyviä puutteita. Menetelmässä kaikki havainnot saavat oman painokertoimensa niin, että tuorein havainto saa suurimman painon ja sen jälkeen painokerroin laskee havainnon iän lisääntyessä. Painokertoimista muodostuu eksponentiaalinen sarja, josta menetelmän nimi tulee. Keskeistä menetelmässä on ns. *decay* –tekijä. Se määrää havaintojen painon edelliseen verrattuna. RiskMetrics -menetelmässä painokertoimeksi on valittu 0,97. Ensimmäinen havainto saa painoarvon 1, seuraava 0,97 ja sitä seuraava $0,97^2$ jne. Äärettömän pitkälle datasarjalle voidaan määrittää keski-ikä *decay* –kertoimen avulla. Esimerkiksi, jos *decay* –kerroin on 0,97 datan keski-ikäksi tulee noin 33 vuorokautta ja kertoimella 0,99 noin 100 vuorokautta. RiskMetrics –malli käyttää *decay* –kerrointa 0,94 päivittäiselle aineistolle ja 0,97 kuukausidatalle. EWMA –menetelmän etu on nopeus ja yksinkertaisuus, sillä luku voidaan päivittää rekursiivisesti uuden havainnon ja vanhan estimaatin avulla. Uusi eksponentiaalisesti painotettu volatiliteetin estimaatti saadaan seuraavasti (Alexander 1999, 130; Zangari & Longerstae 1996, 78, 100):

$$(25) \quad \sigma_t = \sqrt{(1-\lambda) \sum_{i=1}^T \lambda^{i-1} (r_i - \bar{r})^2},$$

missä σ_t = uusi estimaatti
 λ = *decay* –kerroin, missä ($0 < \lambda < 1$)
 $(1 - \lambda)$ = uuden estimaatin paino.

Estimaatteja voidaan arvioida myös muodostamalla malli, jossa selitetään virhetermin muuttumista ajassa. Ennustemalleja, joissa vanhan aikasarjan ennustevirheiden avulla luodaan ennusteita tulevalle volatiliteetille kutsutaan ARCH-malleiksi (*Autoregressive Conditional Heteroskedasticity*), eli volatiliteetti riippuu menneistä tuotoista. Heteroskedastisuus¹³ tarkoittaa varianssin vaihtelua ajassa. Alkuperäisen **ARCH-mallin** esitteli Engle (1982), mallissa varianssi ilmaistaan lineaarisena funktiona menneistä virhetermien neliöistä. ARCH(p)-malli ehdolliselle varianssille on muotoa (Alexander 1999, 136):

¹³ Virhetermin varianssin tulee olla vakio eli homoskedastinen. Usein jäännöstermin varianssi kasvaa selitettävän muuttujan kasvaessa, jolloin sitä kutsutaan heteroskedastisuudeksi.

$$(26) \quad \alpha^2_t = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon^2_{t-1} + \dots + \alpha_p \varepsilon^2_{t-p},$$

$$\alpha_0 > 0, \quad \alpha_1, \dots, \alpha_p \geq 0,$$

missä ε = virhetermi
 p = aikaperiodien lukumäärä.

Virhetermin ε odotusarvo on nolla. Virhetermit oletetaan normaalijakautuneeksi ja keskenään korreloimattomaksi. Vaikka virhetermit ovat korreloimattomat, ne eivät ole riippumattomat, vaan riippuvat toisistaan ehdollisen varianssin kautta. Empiirisissä ARCH-malleissa viivepituudet saattavat muodostua melko pitkiksi. Tällöin ongelmaksi voi muodostua viiveoperaattoreiden kertoimien ei-negatiivisuus vaatimus. Tällöin päädytään usein kiinteiden viiverakenteiden käyttämiseen.

Bollerslev (1986, 1987) tarjoaa mahdollisuuden käyttää pidempää muistia ja joustavampaa viiverakennetta. Hän lisäsi Englen ARCH(p)-malliin q kappaletta autoregressiivisiä termejä. Mallia kutsutaan **GARCH(p,q)-malliksi** (*Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity*), joka on muotoa (Alexander 1999, 136):

$$(27) \quad \sigma^2_t = \omega + \alpha_1 \varepsilon^2_{t-1} + \dots + \alpha_p \varepsilon^2_{t-p} + \beta_1 \sigma^2_{t-1} + \dots + \beta_q \sigma^2_{t-q},$$

$$\omega > 0, \quad \alpha_1, \dots, \alpha_p, \quad \beta_1, \dots, \beta_q \geq 0,$$

missä α_i, β_i = estimoitavat parametrit.

Yksinkertainen GARCH(1,1) -prosessi, jossa on yksi viivästetyn virheen neliö ja yksi autoregressiivinen termi on seuraava (Alexander 1999, 136):

$$(28) \quad \sigma^2_t = \omega + \alpha \varepsilon^2_{t-1} + \beta \sigma^2_{t-1}$$

$$\omega > 0 \text{ ja } \alpha, \beta \geq 0.$$

Parametrien α ja β summa kuvaa shokkien pysyvyyttä prosessissa. GARCH-malli on ääretönasteinen ARCH-malli. Näin ollen yksinkertaisemmalla GARCH-mallilla pystytään korvaamaan korkeampiasteinen ARCH-malli. Tällöin parametrien positiivisuusrajoitteiden aiheuttamat ongelmat vähenevät. Yksinkertaisen GARCH(1,1)-mallin on empiirisissä tutkimuksissa havaittu soveltuvan hyvin kuvaamaan monia taloudellisia aikasarjoja. (Ahlstedt 1998).

ARCH-mallissa varianssi ilmaistaan funktiona aikaisemmista virhetermien neliöistä ja GARCH-malli kuvaa prosessia, jossa varianssi riippuu virhetermien lisäksi omista menneistä arvoista. Mallista on myöhemmin kehitetty useita eri versioita (*Integrated GARCH, Asymmetric GARCH, Exponential GARCH, Components GARCH, Switching Regime GARCH ja Factor GARCH*). Mallit eroavat toisistaan lähinnä yhtälömuodon ja virhetermin jakauman oletuksissa. Nämä mallit toimivat parhaiten ennustettaessa lyhyen aikavälin muutoksia yksittäisessä muuttujassa. Malli on laskennallisesti vaativa, jos estimaatteja on laskettava uudestaan päivittäin useille markkinoille. (Alexander 1999, 138-140; Zangari & Longerstae 1996, 88-89.)

Myös johdannaismarkkinoita voidaan käyttää volatilitietin ja korrelaation laskemiseen. Kun option markkinahinta asetetaan yhtäsuureksi option hinnoittelumallin (esim. Black & Scholes 1973) antaman teoreettisen arvon kanssa, saadaan **implisiittinen volatilitietti**. Jos markkinat ovat tehokkaat, pitäisi implisiittisen volatilitietin antaa paras mahdollinen ennuste tulevalle volatilitietille. Implisiittinen volatilitietti perustuu puhtaasti optioiden hinnoittelumalleille. Useimmat mallit olettavat volatilitietin vakioksi ja tästä voi aiheutua ongelmia mallin tulkitsemisen kanssa. Toinen ongelma liittyy ennusteen aikaperiodiin, joka on yhtäsuuri option maturiteetin kanssa. Kolmanneksi kaikille portfolion muodostaville instrumenteille olisi oltava markkinahintaiset optiot. (Alexander 1999, 148-151.)

Akateemisessa kirjallisuudessa esiintyy ainakin kaksi selitystä volatilitiettitason vaihtelulle. Tutkimukset ovat tehty valuuttamarkkinoilla. Baillien ja Bollerslevin (1990) mukaan ARCH-ominaisuuksien esiintyminen ei välttämättä johdu markkinoiden tehottomuudesta. He esittivät, että ehdollinen varianssi saattaa johtua ryppäinä markkinoille tulevista uutisista epäsäännöllisin väliajoin. Toinen vaihtoehtoinen teoria volatilitietin vaihtelun syistä on Dieboldin ja Nerloven

(1989) esittämä informaation luonne. Jos markkinoille saapuva informaatio on luonteeltaan helposti tulkittavaa, on hintojen vaihtelu pientä ja päinvastoin. Myös markkinoilla oleva relevantin informaation puute nostaa todennäköisesti volatilitteettia.

Hendrics (1996) vertaili 12 tilastollista mallia keskenään, joista viisi oli tasapainomallia, kolme eksponentiaalisen tasoituksen mallia ja neljä historiallista simulaatiota. Lähes kaikki mallit kattoivat ne riskit, jotka haluttiin kartoittaa. Mallit antoivat hyvin samantyyppisen kuvan riskeistä lukuun ottamatta 99 % VaR -lukua. Korkeilla luottamustasoilla historiallinen simulaatio arvioi riskin korkeammaksi kuin kovarianssi-varianssi -menetelmillä saadut VaR -luvut.

Korrelaatioiden estimointiin on olemassa useita eri menetelmiä. Korrelaatiot tulisi kuitenkin estimoida samalla menetelmällä kuin volatilitteetit. Luku kuvaa kahden satunnaismuuttujan välistä lineaarista riippuvuutta mutta ei kuitenkaan osoita kausaalisuutta, syy-seuraus -suhdetta. Korrelaation laskemiseksi tarvitaan kovarianssi- ja varianssiestimaatit. Kovarianssi kuvaa kahden muuttujan välistä lineaarista liikettä. Toisistaan riippumattomien muuttujien kovarianssi on nolla. Positiivinen kovarianssi kuvaa kahden muuttujan samansuuntaista liikettä ja negatiivinen kovarianssi vastakkaista liikettä. Kahden muuttujan välinen kovarianssi voidaan laskea yhtäsuurilla painoarvoilla (*Equally weighted*)

$$(29) \quad \sigma^2_{12} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (r_{1t} - \bar{r}_1)(r_{2t} - \bar{r}_2)$$

tai eksponentiaalisesti painotettuna (*Exponentially weighted*)

$$(30) \quad \sigma^2_{12} = (1 - \lambda) \sum_{j=1}^T \lambda^{j-1} (r_{1t} - \bar{r}_1)(r_{2t} - \bar{r}_2),$$

missä λ on paino (*decay*) -kerroin. Korrelaation estimointiin tarvitaan siis kovarianssi ja volatilitteetti ennusteet. Korrelaatio kerroin on kahden tuottosarjan välinen kovarianssi jaettuna näiden volatilitteettien tulolla (Zangari & Longerstae 1996, 82-83; Benninga 2000, 134.)

$$(31) \quad \rho_{12} = \frac{\sigma^2_{12}}{\sigma_1 \sigma_2}.$$

Jos VaR-mallissa estimoidaan kaikkien muuttujien väliset korrelaatiot ja volatilitetit, voidaan ajautua tilanteeseen, jossa kovarianssimatriisin käyttöön liittyy ongelma. Muuttujien lisääntyessä tarvitaan pidempi datasarja. Pidempää datasarjaa tarvitaan luotettaviin estimaatteihin ja korrelaatiomatriisin vaatimiin matemaattisiin ehtoihin. Korrelaatiomatriisin on oltava positiivisesti definiitti¹⁴. Tämä takaa sen, etteivät korrelaatiot ole keskenään ristiriitaisia eivätkä epäloogisia. (Jauri 1997, 191-194.) Positiivisen definiittisyyden varmistamiseksi pitäisi korrelaatiomatriisin laskentaan käyttää huomattavasti enemmän havaintoja kuin siinä on muuttujia. Muutoin matriisi voi sisältää mielivaltaisia korrelaatioita ja negatiivisia volatilitetteja.

Estimoinnin tavoitteena on saada luotettavia estimaatteja (varianssi ja korrelaatioennusteet), joka edellyttää riittävää **datan määrää**. Jos aikasarjoissa on tapahtunut rakenteellisia muutoksia havaintojen lukumäärän kasvaessa, data myös vanhenee ja tulokset epätarkentuvat. Pidempi aikasarja tekee estimaateista stabiilimpia ja hitaammin reagoivia äkillisiin markkinamuutoksiin. Lyhyemmällä aikasarjalla voidaan painottaa lähimenneisyyttä ja suuret markkinamuutokset vaikuttavat voimakkaasti varianssi- ja korrelaatioestimaatteihin. Datan määrä on siis jonkinlainen kompromissi luotettavuuden ja reaktionopeuden välillä. BIS suosittelee 250 päivähavainnon käyttämistä ja keski-ään tulisi olla vähintään puolivuotta. (BCBS 1996, 44-45.) Datassa havaitut virheet aiheutuvat yleensä sen keruussa. Näitä ovat mm. puuttuvat havainnot, virheelliset päivitykset ja ajankohdan vaihtelu. Aikasarjojen kerääminen globaaleilta markkinoilta on hankalaa, koska joudutaan toimimaan eri aikavyöhykkeillä, jolloin osa markkinoista on kiinni. Aikaero aiheuttaa virhettä korrelaatioihin (Jauri 1997, 184). Puuttuvat havainnot voidaan korvata edellisillä havainnoilla (*quick and dirty*) tai puuttuvan havainnon ympärillä olevien havaintojen keskiarvolla. Puuttuva havainto tulisi korjata tavalla, joka huomioi historialliset korrelaatiot. Yksi vaihtoehto on soveltaa *maximum likelihood* –menetelmää (Zangari & Longerstaeey 1996, 171-172).

¹⁴ Hajonta on aina positiivinen ja näin ollen portfolion hajonta on myös positiivinen. Positiivinen definiittisyys on korrelaatiomatriisin matemaattinen lainalaisuus.

3.2 Luottamusvälin määrittäminen sekä estimointivirheet keskiarvossa ja varianssissa

Raportoinnissa VaR-luvun tarkkuuden määrittäminen on ensiarvoisen tärkeää. Esimerkiksi, jos päivittäinen VaR-luku on 15 milj., voidaan kysyä, kuinka luottavainen johto voi olla tähän lukuun? Voidaan sanoa, että johto on hyvin luottavainen tähän lukuun tai 95 %:sti varma, että todellinen estimaatti on välillä 14–16 milj. vai onko haarukka 5–25 milj.? Nämä antavat hyvin erilaisen kuvan riskitasosta. Tämän takia on hyvä määritellä mittausvirhe VaR-luvuille. VaR-luvut lasketaan yleensä historiallisesta aineistosta T päivältä. Tästä seuraa se ongelma, että VaR-luku on vain yksi estimaatti todellisista arvoista. Toisin sanoen eri aikaväliltä otetut arvot johtavat erilaiseen VaR-lukuun. (Jorion 1997, 96.)

Kun alla oleva jakauma on normaali, niin otoksen keskiarvon ja varianssin jakaumat ovat myös tiedossa. Estimoitu keskiarvo $E\mu$ on jakaantunut todellisen keskiarvon μ ympärille normaalisti:

$$(32) \quad E\mu \sim N(\mu, \sigma^2 / T),$$

jossa T on riippumattomien havaintojen määrä otoksessa. Huomattavaa tässä on se, että keskiarvoestimaatin standardivirhe lähestyy nolaa, kun T kasvaa (Jorion 1997, 97):

$$(33) \quad \text{keskivirhe}(se(E\mu)) = \sigma\sqrt{1/T}.$$

Varianssiestimaatti $E\sigma^2$ seuraa suhdelukua, joka on χ^2 (*chi-square*) vapausasteella $(T-1)$ (Jorion 1997, 97):

$$(34) \quad \frac{(T-1)E\sigma^2}{\sigma^2} \sim \chi^2[(T-1)]$$

Käytännössä, jos otoksen koko T on riittävän suuri (yli 20), χ^2 lähestyy nopeasti normaalijakaumaa, joka on helppo käsitellä (Jorion 1997, 97):

$$(35) \quad E\sigma^2 \sim N\left[\sigma^2\sigma^4 \frac{2}{(T-1)}\right].$$

Estimoidun otoksen keskihajonnan standardivirhe suurille otoksille on seuraava (Jorion 1997, 97):

$$(36) \quad se(E\sigma) = \sigma \sqrt{\frac{1}{2T}}.$$

Estimointivirhe pienenee otoskoon kasvaessa, jolloin volatilitteettiestimaatti lähestyy todellisen jakauman volatilitteettia. (Jorion 1997, 96-98.)

Mille tahansa jakaumalle voidaan johtaa historiallisesta jakaumasta c :s kvantiili $Eq(c)$ ¹⁵. Kendallin (1994) mukaan myös näille estimaateille on laskettavissa asymptoottinen keskivirhe (*standard error*) Eq :

$$(37) \quad se(Eq) = \sqrt{\frac{c(1-c)}{Tf(q)^2}},$$

jossa T on otoskoko ja $f(\cdot)$ on todennäköisyysjakauma arvioidulla kvantiililla q . Myös Kendallin asymptoottinen keskivirhe pienenee otoskoon kasvaessa. Kupiec (1995, 73-84) havaitsi tutkimuksessaan, että mitä kauemmaksi jakauman vasemmassa hännässä edetään, sitä suuremmaksi keskivirhe muodostuu (havaintojen määrä vähenee). Tästä syystä 1 %:n luottamustasoihin tulee suhtautua varauksellisesti. (Jorion 1997, 99.)

Seuraavaksi tutustutaan neljään erilaiseen VaR–tekniikkaan. Tekniikat ovat: delta, delta-gamma, historiallinen ja stokastinen –malli. Kunkin tekniikan kohdalla malli esitetään pääpiirteittäin sisältäen myös mallien sovellettavuuden rajoitteet.

3.3 Delta -malli

Delta–malli voidaan lukea analyttiseksi malliksi. Mallin perustana on tilastotieteelliset sovellukset eri riskikategorioiden välisistä korrelaatioista. Delta–mallit ovat normaalijakaumaan perustuvia lineaarisia malleja. Jakauma kertoo sen todennäköisyyden, millä kuhunkin

¹⁵ Kts. luku 2.4.

yksittäiseen hintanoteeraukseen voidaan päätyä. Malli on mahdollisimman yksinkertainen ja se lasketaan kovarianssimatriisin ja standardoidusta normaalijakaumasta saatavien kertoimien avulla (Jorion 1997, 186). Seuraavan periodin portfolion tuotto voidaan kirjoittaa seuraavasti:

$$(38) \quad R_{p,t+1} = \sum_{i=1}^N w_{i,t} R_{i,t+1},$$

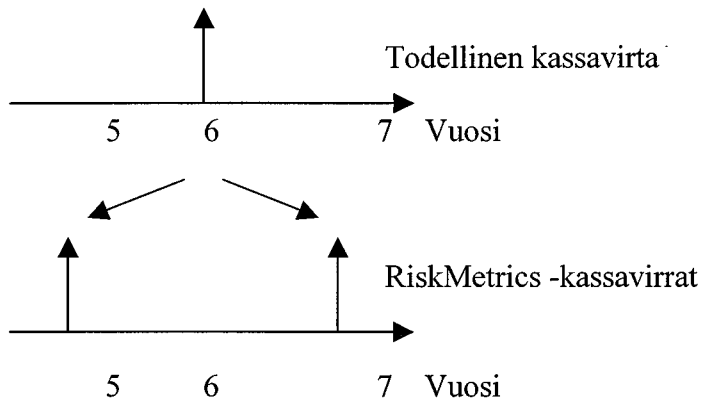
missä $w_{i,t}$ = painokerroin (matriisi) hetkellä t , havainnolla i
 $R_{i,t+1}$ = tuottomatriisi
 N = havaintojen lukumäärä.

Portfolion tuottoa laskettaessa kaava (38) painot w on indeksoitu ajan suhteen, jotta dynaamiset muutokset tulisivat huomioiduksi. Mallissa oletetaan, että portfolion tuotto on normaalijakautuneiden muuttujien lineaarinen yhdistelmä. Näin ollen myös portfolion tuotto on normaalijakautunut (Jorion 1997, 186). Portfolion varianssi matriisimuodossa voidaan kirjoittaa:

$$(39) \quad V(R_{p,t+1}) = w'_t \Sigma_{t+1} w_t,$$

missä R_p = portfolion tuotto
 w = painoarvo
 w' = painoarvojen transpoosimatriisi
 Σ_{t+1} = tuottojen varianssi-kovarianssimatriisin ennuste.

Delta-menetelmässä riskifaktoreiden muuttujat kuvataan tuottojen multinormaalijakaumalla ja yksittäisten muuttujien tuoton jakauma on normaalijakautunut. Positiot jaetaan *mapping* -metodilla ja johdannaiset käsitellään lineaarisena approksimaationa.



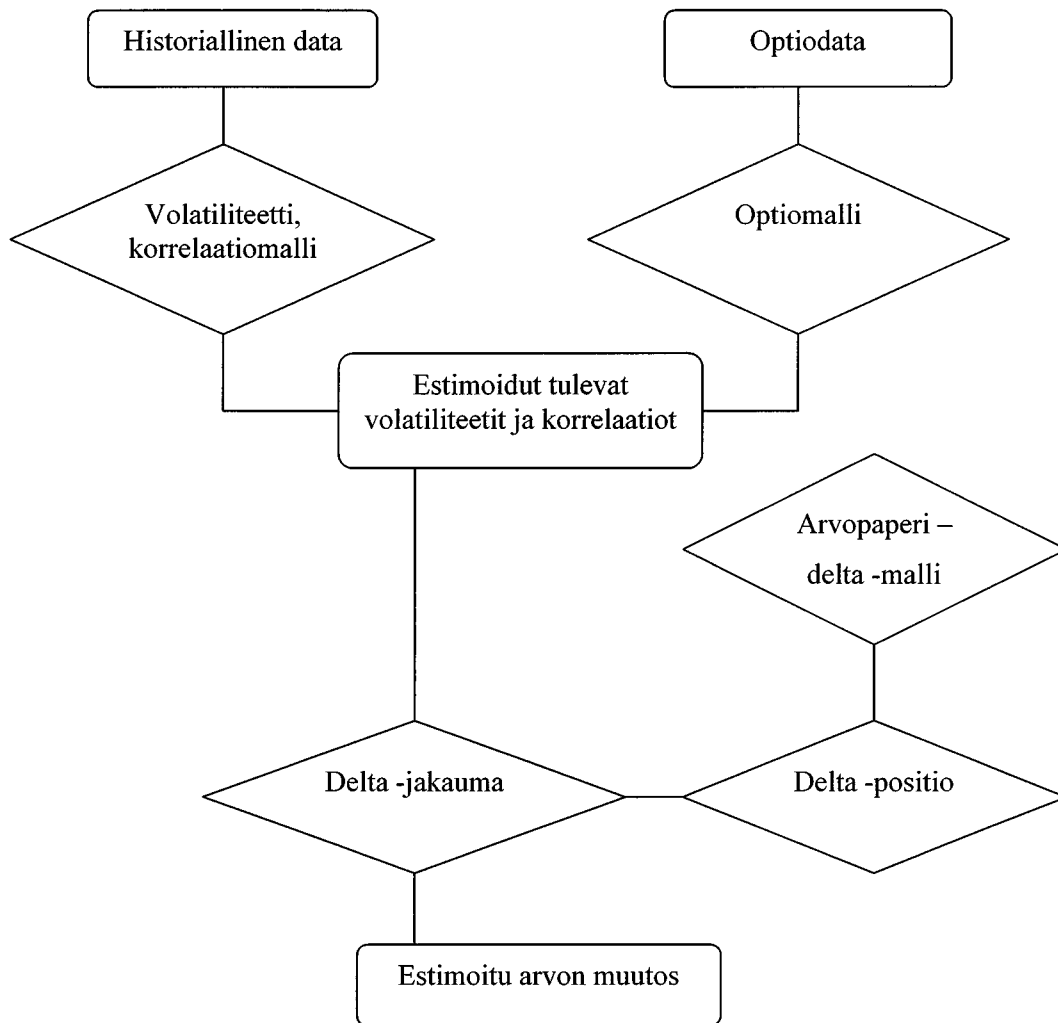
KUVIO 12. RiskMetrics kassavirtojen jakaminen, *mapping* (Zangari & Longestaey 1996, 118)

Kuviossa 12 on vuonna kuusi (6) toteutuva kassavirta jaetaan (puretaan riskifaktoreille) viiden (5) ja seitsemän (7) vuoden pisteiden välillä. Kassavirtojen jakamisella pyritään yksinkertaistamaan todellisten kassavirtojen tapahtumisajankohtia asemoimalla ne uudelleen. J. P. Morgan on laatinut kolme ehtoa, joiden täytyy täytyä, kun kassavirrat jaetaan latauksiksi. Ensiksi kahdelle maturiteetille jaettujen latausten nykyarvojen summan täytyy olla yhtä suuri kuin alkuperäinen kassavirran nykyarvon. Toiseksi jaettujen kassavirtojen riskin täytyy olla identtinen alkuperäisen kassavirran kanssa. Kolmanneksi kassavirtojen etumerkkien täytyy olla identtisiä alkuperäisen kassavirran kanssa (Zangari & Longestaey 1996, 118). Delta-mallit (kuvio 13) sopivat hyvin reaaliaikaisiin sovelluksiin, koska ne ovat laskennallisesti nopeita ja nopeasti käyttöön otettavia, mutta vaikeasti muutettavissa.

Delta-menetelmä on saanut osakseen myös kritiikkiä. Menetelmä sopeutuu huonosti markkinoiden äkillisiin muutoksiin kuten esim. osakemarkkinoiden romahtamiseen tai korkojen voimakkaaseen heilahteluun. Rahoitusinstrumenttien tuotot ovat usein paksuhäntäisiä (*fat tails*) eli sisältävät paljon suuria sekä pieniä havaintoja, jolloin VaR -lukuista tulee epätarkkoja. Menetelmä on lineaarinen, joten se soveltuu heikosti epälineaaristen instrumenttien riskien arviointiin. (Jorion 1997, 186-188.)

Optiot hinnoitellaan delta-mallissa sillä oletuksella, että instrumentin hinnoittelu on lineaarista. Esimerkiksi optioiden hinnoittelumallit korvataan kertoimella, joka vastaa vastaavansuuruisia

positiota alla olevassa muuttujassa. Muutoksen suuruus option hinnassa riippuu alla olevan hinnan muutoksen suuruudesta sekä vallitsevasta spot-tasosta. Option arvon lineaarinen approksimaatio on validi vain hyvin lähellä ja pienillä hinnan muutoksilla vallitsevasta spot-tasosta. Option hintafunktio on erittäin konvekssi, mikä aiheuttaa epästabiilin deltan eli option gamma¹⁶ on suuri. Gamma-korjausta käsitellään seuraavassa delta-gamma -mallissa. (Jorion 1997, 187-188.)



KUVIO 13. Delta-Normaali menetelmä (Jorion 1997, 187)

¹⁶ Gamma kuvaa option deltan muutosta kohde-etuuden muuttuessa.

3.4 Delta-gamma -malli

Myös delta-gamma -malli on analyttinen malli. Delta-gamma -malli sopii delta -mallia paremmin johdannaisten käsittelyyn. Johdannaisten ominaisuudet tulevat paremmin kuvatuiksi tässä mallissa. Delta-malliin otetaan mukaan epälineaarinen muuttuja (neliötermi), joka mahdollistaa johdannaisten mukaan ottamisen malliin. Delta-gamma -menetelmässä optioiden hinnoittelumallin sijasta käytetään kahta termiä: kerrointa, joka vastaa positiota alla olevassa muuttujassa (*delta*) ja neliötermiä, joka korjaa mallin lähemmäksi todellista hinnoittelumallia (*gamma*). Option hinnan muutoksen herkkyuden arviointia voidaan laajentaa huomioimaan gamma- ja vega¹⁷-riskit. Tätä tekniikkaa kutsutaan toisen kertaluvun Taylor -kehitelemäksi, joka on seuraava (Jorion 1997, 191; Hull 1997, 342):

$$(40) \quad dc = \Delta dS + \frac{1}{2} \Gamma dS^2 + \Lambda d\sigma + \dots,$$

missä

c = portfolion arvo

S = riskifaktori

Δ = portfolion arvon ensimmäinen osittaisderivaatta S :n suhteen

Γ = portfolion arvon toinen osittaisderivaatta S :n suhteen

Λ = portfolion arvon ensimmäinen osittaisderivaatta volatilitietin suhteen.

Mallissa Δ , Γ ja Λ ovat nettoarvoja optioportfoliolle, jossa kaikilla optioilla on sama alla oleva instrumentti. Malli antaa hyvän approksimaation pienillä muutoksilla varsinkin mitattaessa riskiä lyhyellä aikavälillä. Approksimaatiovirhe kasvaa muutosten ollessa suurempia. Tämä aiheuttaa ongelmia käytännössä, sillä tavallisesti salkun arvon jakauman VaR-pisteet ovat myös muuttujien jakauman reunapisteitä, ts. vähän isommat muutokset ovat riskien hallintaa kiinnostavia tapauksia. Delta-gamma -menetelmä sopii heikosti tilanteeseen, jossa salkussa on useita optiosopimuksia (hinta ei muutu monotonisesti). Menetelmässä joudutaan laskemaan VaR-luvut jokaiselle salkulle ja salkkujen yhdistelmälle erikseen. Delta-gamma -menetelmä on raskaampi kuin delta-malli, tätä kautta myöskin hitaampi, mutta silti epätarkempi kuin myöhemmin esiteltävä Monte Carlo -simulointi.

¹⁷ Vega on option hinnan osittaisderivaatta volatilitietin suhteen, kuvaa sitä kuinka paljon option arvo muuttuu volatilitietin muuttuessa. Kutsutaan myös nimillä kappa, zeta ja lambda.

3.5 Historiallinen simulointi

Seuraavassa paneudutaan simulaatioon perustuviin malleihin, joista ensimmäisenä on historiallinen simulaatio. Historiallisella simulaatiolla ei ole normaalijakaumaoletusta, vaan se perustuu suoraan vanhan markkinadatan käyttöön uudelleen (Smithson 1996, 25-26). Historiallisessa simulaatiossa käytetään suoraan vanhoja päivämuutoksia kuvaamaan seuraavanpäivän mahdollisia muutoksia. Samalla jää huomioimatta kaikki oletukset tilastollisista jakaumista. Historiallinen simulaatio toistaa täsmällisesti empiirisen jakauman. Muuttujien välisiä yhteyksiä ei muuteta lineaarisiksi korrelaatioiksi, vaan ne voidaan esittää sellaisina kuin ne on havaittu. Malli ennustaa kuitenkin huonosti tulevaisuutta, jos tuottojen aikasarjat ovat autokorreloituneita (jäännöksissä mallintamatonta informaatiota, systematiikkaa). Tällöin havainnot ovat vain yksi tuottojen polku lukuisista mahdollisista. Historiallisella simulaatiolla saatava kuva jakaumasta on erittäin heikko, koska havaintoja on yleensä suhteellisen vähän (esim. 100 tai 250) ja yksikin suuri ”poikkeava” havainto voi muuttaa VaR-tasoa pitkäksikin aikaa (Jauri 1997, 201). Menetelmänä historiallinen simulaatio on helppo toteuttaa. Historialliseen simulaatioon on tehty joitakin muutoksia, jotka ovat teknisiä. Teoriassa muutokset eivät takaa mallin hyvyttä. Tätä mallia kutsutaan modifioiduksi historialliseksi simulaatioksi. Historiallinen simulaatio voidaan esittää seuraavasti (Jorion 1997, 193):

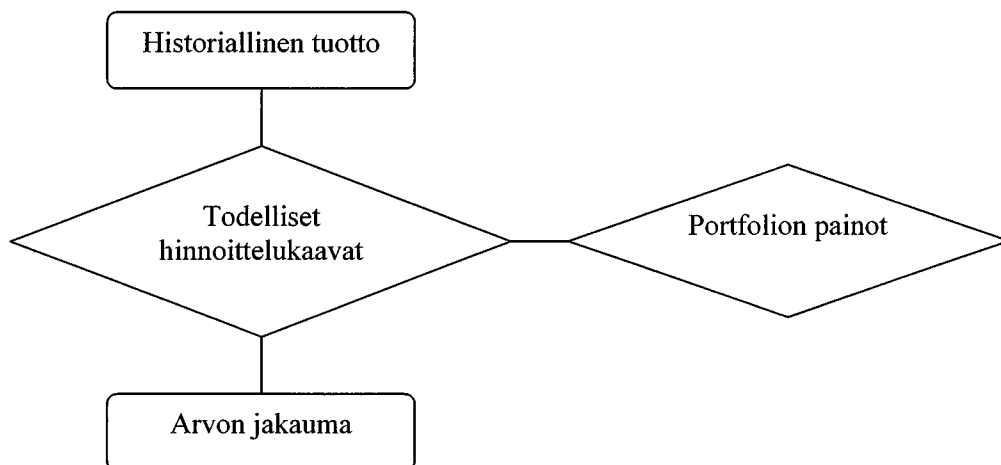
$$(41) \quad R_{p,T} = \sum_{i=1}^N w_{i,t} R_{i,T},$$

missä R = tuotto
 w_i = painoarvo
 $T = 1, \dots, t$.

Painoarvoina w toimivat nykyiset arvot. Tuoton jakauma on kuvaus siitä, millainen nykyisen portfolion jakauma olisi, jos historia toistaisi itseään. Havaintojen pienestä määrästä johtuen riskihännän havaintojen määrä jää myöskin pieneksi, jolloin havainnot eivät anna kovinkaan luotettavaa kuvaa todellisen riskihännän muodosta. Analyttisistä menetelmistä poiketen historiallisessa simulaatiossa voidaan käyttää jokaiselle instrumentille mahdollisimman

todenmukaista hinnoittelukaavaa (*full valuation*) tuottojen laskennassa (kuvio 14). (Jorion 1997, 193.)

Historiallisen simulaation vahvuuksia on se, että siihen ei tarvitse välttämättä tehdä modifikaatioita. Toinen merkittävä seikka on se, että käytetty jakauma on todellinen empiirinen jakauma ja se huomioi muuttujien vinouden ja huipukkuuden oikealla tavalla, eikä muuttujien välisiä yhteyksiä tiivistetä lineaariseksi korrelaatioksi. Historiallisen simulaation heikkona puolena mainittakoon, että se on vain yksi realisaatio äärettömän monesta mahdollisuudesta. Toisin sanoen se kuvaa vain sitä, mikä on jo tapahtunut, eikä sitä, mitä tulevaisuudessa voi tapahtua.



KUVIO 14. Historiallinen simulaatio (Jorion 1997, 194)

3.6 Monte Carlo -simulointi

Simulointimalleihin kuuluu myös ns. stokastinen simulaatio. Se muistuttaa historiallista simulaatiota, paitsi että nyt tuotot simuloidaan historiallisen datan käytön sijaan. Mallissa riskifaktoreiden tuotot kuvataan multinormaalijakaumana (tavallisimmin) ja simulointitekniikalla luodaan havaintoja (realisaatioita) tästä jakaumasta esim. 10 000 kpl, jotta saataisiin hyvä kuva jakauman sisällöstä. (Smithson 1996, 26.) Monte Carlo -simuloinnilla

voidaan halutessa luoda yksinkertaisia malleja kuten analyttisissä delta–menetelmissä ja informaatiota voidaan tiivistää kovarianssimatriisiksi, joka voidaan estimoida halutulla tavalla. Mallia voidaan kuitenkin laajentaa reaali maailman piirteitä vastaavaksi muuttamalla simulaatiota tai jakaumaa (esim. *t*-jakauma). Jakaumasta voidaan tehdä paksuhäntäinen (*fat tail*) myös sekoittamalla jakaumia keskenään. Monte Carlo –mallissa voidaan käyttää todellisia hinnoittelukaavoja (*full valuation*) sekä mallittaa korkokäyrä halutulla tavalla. Monte Carlo-analyysi on haastavin menetelmä laskea Value at Risk. Sillä voidaan laskea riskiä laajalle alueelle, sisällyttää epälineaarinen hintariski, volatilitteettiriski ja jopa malliriski. Malliin voidaan liittää volatilitteetin aikarakenne, jakaumien paksuhäntäisyys sekä *extreme*¹⁸ -skenaariot. Menetelmä on joustavuutensa ja muokattavuutensa ansiosta tarkin. Simuloinnin laskennallinen raskaus ei ole ongelma tänä päivänä, koska laskentanopeus on kasvanut huimasti. (Jauri 1997, 203-206.)

3.6.1 Markkinamuuttujien stokastinen prosessi

Monte Carlo -simulaatio voidaan jakaa kahteen osaan. Aluksi määritetään hintakehityksen stokastinen prosessi ja parametrit. Riski ja korrelaatioparametrit voidaan määrittää historiallisesta tai optiodatasta. Sen jälkeen simuloidaan kuvitteelliset hintapolut kaikille muuttujille. Kaksi käytetyintä menetelmää hintakehityksen stokastiselle mallintamiselle on geometrinen Brownin liike (*geometric Brownian motion*) sekä Coxin, Ingersollin ja Rossin (1985) kehittämä malli korkojen aikarakenteesta, ns. *mean-reversion* –prosessi.

Geometrinen Brownian liike perustuu option hinnoitteluteoriaan. Teorian oletuksena on se, että mallinnettavien instrumenttien hinnat eivät korreloi keskenään yli ajan ja pienet muutokset hinnoissa voidaan kuvata seuraavasti kaavan (42) ja muuttujan arvon kehitys kaikkina ajanhetkinä kuvataan stokastisella differentiaaliyhtälöllä (43) (Jauri 1997, 222):

¹⁸ Äärimmäisiä markkinamuutoksia ovat tutkineet mm. Danielsson, Hartman & de Vries (1998) ja McNeil (1999).

$$(42) \quad dS_t = \mu_t S_t dt + \sigma_t S_t dz,$$

$$(43) \quad dS/S = \mu dt + \sigma dz,$$

missä S = markkinamuuttujan arvo
 μ = muuttujan jatkuva-aikainen tuotto (odotusarvo)
 σ = muuttujan jatkuva-aikainen tuoton volatilitteetti
 z = Brownian liike, jolla on nolla keskiarvo ja yksikön suuruinen varianssi
 dz = Brownian liikkeen muutos äärettömän lyhyen aikavälin yli.

Jos μ ja σ ovat vakioita, on ko. markkinariskin tuotto normaalijakautunut, ja tuoton odotusarvo dt :n pituiselle aikavälille on μdt . Tällöin yhtälön (42) ratkaisuksi saadaan (Jauri 1997, 223):

$$(44) \quad S(t) = S(0)e^{X(t)},$$

jossa X on normaalijakautunut $X \sim N(\mu, \sigma^2)$. Prosessin odotusarvoksi saadaan

$$(45) \quad E[S(t)] = S(0)e^{(\mu + \sigma^2/2)t}.$$

*Geometrisen Brownian liikkeen tuottoparametri μ eroaa salkun tuotto-odotuksesta $E[S(t)]$. Jos muuttujat mallinnetaan prosesseina, stokastisten differentiaaliyhtälöiden kautta, voidaan normaalijakaumaoletuksesta luopua. Tällöin käytetään ns. **mean-reversion -prosessia**:*

$$(46) \quad dS = \kappa(\bar{S} - S)dt + \sigma S^\gamma dz,$$

jossa S = markkinamuuttujan i arvo
 \bar{S} = muuttujan pitkän aikavälin tasapainotaso
 κ = muuttujan tasokorjauksen voimakkuuden parametri ($\kappa > 0$)
 γ = volatilitteetin elastisiteettikerroin ($\gamma > 0$)
 σ = muuttujan jatkuva-aikainen volatilitteetti
 dz = Brownin liikkeen "differentiaali".

Mean-reversion –prosessin perustana olevat volatilitetit estimoidaan päivädatasta, jolloin ne ovat oikeita estimaatteja generoivan jakauman varianssista ja muodosta riippumatta. Normaalijakauma-oletus on perustana satunnaislukujen generoinnissa, jolloin *mean-reversion* muuttujien hajonta voi olla hieman liian suuri (Jauri 1997, 283). Muuttamalla prosessin (46) elastisiteettikerrointa voidaan kuvata hyvin laaja joukko prosesseja. Näistä tunnetuimpia ovat *vakiovolatilitetti* ($\gamma = 0$) prosessi, *Cox-Ingersoll-Ross –neliöjuuri prosessi* ($\gamma = 1/2$) ja *Ornstein-Uhlenbeck* –prosessi ($\gamma = 1$) (Jauri 1997, 225-226).

Monte Carlo –simulaatiossa arvotaan siis satunnaislukuja, jotka perustuvat johonkin etukäteen valittuun jakaumaan. Ensimmäisessä vaiheessa generoidaan välille (0, 1) tasajakautuneita satunnaislukuja satunnaismuuttujalle x . Satunnaisluvut perustuvat kuitenkin algoritmiin, joka saman lähtönumeron saadessaan toistaa saman lukusarjan uudestaan. Hyvässä satunnaislukugeneraattorissa samat luvut eivät toistu heti eikä lukujen välillä esiinny autokorrelaatiota. Toisessa vaiheessa jakauma käännetään kumulatiivisen normaalijakauman (*pdf*) avulla haluttuun muotoon. Normaalijakauman tapauksessa kertymäfunktio *pdf* $N(y)$ saa arvoja väliltä 0 ja 1. Normaalijakautunut satunnaismuuttuja y saadaan, kun $x = N(y)$ tai käänteisesti $y = N^{-1}(x)$. Yleisesti, mikä tahansa funktio voidaan generoida samalla tavalla, jos $N(y)$ on käännettävissä. (Jorion 1997, 236-237.)

3.6.2 VaR –mallin laskeminen monimuuttujien tapauksessa

Monte Carlo –simulaatiolla luodaan kuva arvostettavan portfolion tuoton arvon jakaumasta. Menetelmä voidaan jakaa kolmeen osaan: skenaarioiden luomiseen, portfolion arvostamiseen ja tulosten laskemiseen sekä raportointiin.

Skenaarioiden luominen on prosessi, jossa tuotetaan suuri määrä hintaskenaarioita tulevaisuuden hinnoille käyttäen estimoituja volatilitettejä ja korrelaatioita. Tuottojen ΔS simulointi yleisessä monimuuttujatapauksessa, jossa on N riskin lähdettä, (satunnaisia ja ei-korreloituneita) on seuraava (Jorion 1997, 242):

$$(47) \quad \Delta S_{j,t} = S_{j,t-1} (\mu_j \Delta t + \sigma_j \epsilon_{j,t} \sqrt{\Delta t})$$

missä ϵ arvo on riippumaton yli ajan ja $j = 1, \dots, N$
 ΔS = hinnan muutos
 Δt = ajanmuutos
 σ = volatilitteetti
 μ = tuotto.

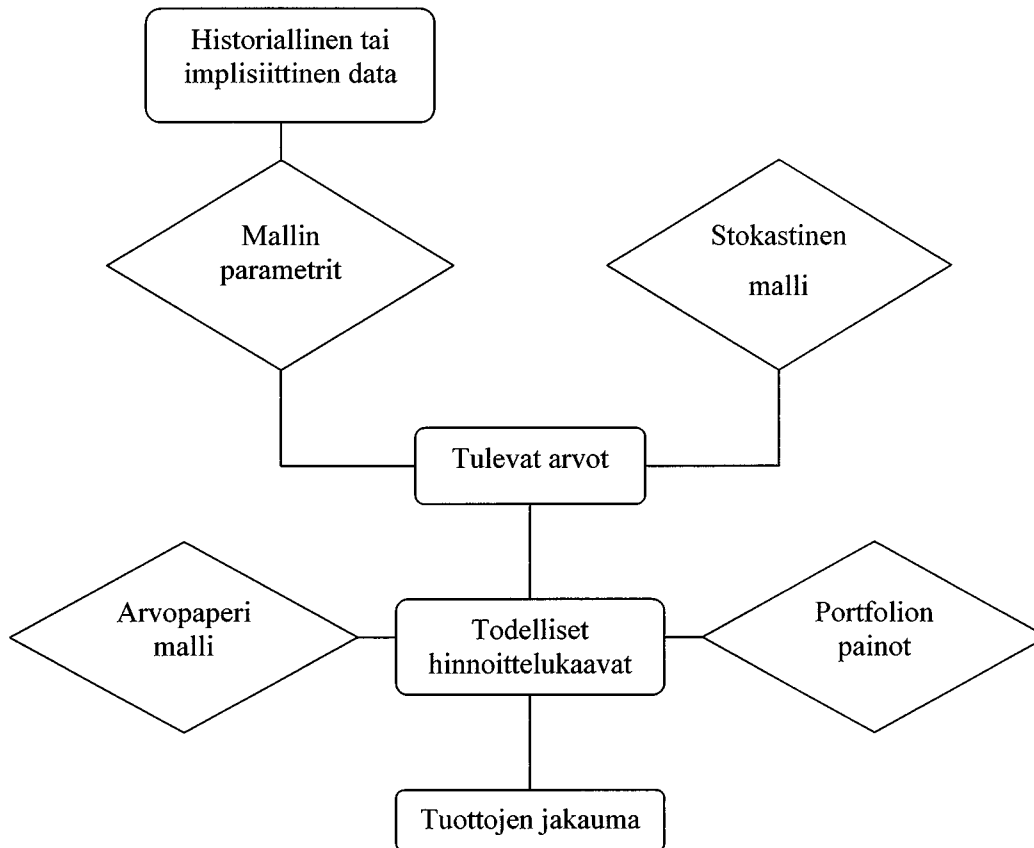
Yleisesti ottaen muuttujat ovat kuitenkin korreloituneita. Jotta tämä tulisi huomioitua, otetaan mukaan joukko riippumattomia muuttujia η . Kahden muuttujan tapauksessa

$$(48) \quad \begin{aligned} \epsilon_1 &= \eta_1 \\ \epsilon_2 &= \rho \eta_1 + (1 - \rho^2)^{1/2} \eta_2, \end{aligned}$$

missä ρ = korrelaatiokerroin muuttujien ϵ_1 ja ϵ_2 välillä.

Monimuuttujamalli voidaan toteuttaa ns. **Choleskyn -dekompositiolla** (*Cholesky Factorization*).

Kuviossa 15 on koottu Monte Carlo -menetelmän palaset yhdeksi kokonaisuudeksi. Monte Carlo on menetelmistä joustavin, tarkin, mutta samalla myös vaativin.



KUVIO 15. Monte Carlo -menetelmä (Jorion 1997, 200)

3.7 Stressitestausta

Value at Risk -menetelmää täydennetään usein stressitestauksella tai toiselta nimeltään skenaarioanalyysillä. Stressitestauksessa luodaan ”kauhu tai katastrofi” -skenaarioita eri markkinoille ja selvitetään näiden vaikutus portfolion arvon muutoksiin. Skenaarioanalyysit kuuluvat ei-parametriseen lähestymistapaan ja analyyseissä käytetään todellisia hinnoittelukaavoja (*full valuation*) hintamuutosten laskemiseksi. Taustatekijöiden muutokset arvioidaan subjektiivisesti eikä se perustu tilastolliseen mallintamiseen (Kupiec 1998, 7-24). Jos skenaarioanalyysille asetetut todennäköisyydet ovat subjektiivisia, ei niitä voida pitää

luotettavina. Suurin puute on kuitenkin se, että ne käsittelevät portfolion eri instrumenttien välisiä korrelaatioita heikosti. Portfolion riski perustuu olennaisilta osin muuttujien välisiin korrelaatioihin, joten kriisitilanteissa korrelaatioiden muutokset saattavat vaikuttaa huomattavasti portfolion arvoon. (Jorion 1997, 198.)

Riskilukuja laskettaessa käytetään usein historiallisia aikasarjoja. Aikasarjat sisältävät yleensä melko vähän poikkeuksellisen suuria markkinamuutoksia. Aineistosta riippuen voi suuret markkinamuutokset jäädä huomioimatta, ts. niiden esiintymistodennäköisyys voidaan aliarvioida. Jos tuottojen oletetaan noudattavan normaalijakaumaa, suurten markkinamuutosten esiintymistodennäköisyys on hyvin pieni. Käytännössä on kuitenkin havaittu, että jakaumat ovat usein paksuhäntäisempiä, vinompia ja huipukkaampia kuin normaalijakauma (Lim, Lye & Martin 1998). Suuret epäsäännöllisesti ilmenevät markkinamuutokset tekevät jakaumasta paksuhäntäisen. Jos VaR-mallissa käytetään normaalijakaumaoletusta, niin se aliarvioi suurten tappioiden mahdollisuutta.

3.8 Yhteenveto simulointimenetelmistä

Kaikissa simulointimenetelmissä on hyviä ja huonoja puolia mitattaessa VaR-lukua. Simulointimenetelmistä yksinkertaisin on delta-malli ja vaativin sekä monipuolisin on Monte Carlo -menetelmä. Ainutta oikeaa simulointimenetelmää ei voi määrätä yleisesti, vaan se on valittava tapauskohtaisesti. Taulukossa 1 on koottu mallien ominaisuudet, joka selventää mallien eroavaisuuksia.

TAULUKKO 1. VaR –mallitekniikoiden ominaisuudet (Jauri 1997, 207)

	Delta -gamma	Delta simulaatio	Historiallinen simulaatio	Stokastinen
Ominaisuudet				
Markkinatuoton jakauma	Normaali	Normaali	Empiirinen	Normaali-, tai muu jakauma
Optioiden käsittely	Ei	Approksimaatio	Mahdollista	Mahdollista
Arbitraasivapaus	Ei	Ei	Epävarma	Mahdollista
Korkokäyrämallit	Ei	Ei	Ei	Mahdollista
Menetelmän vakaus*	Hyvä	Hyvä	Huono	Melko hyvä
Menetelmän nopeus	Nopea	Melko nopea	Melko nopea	Hidas
Menetelmän sovellettavuus	Heikko	Heikko	Heikko	Hyvä
*) tarkoitetaan tuloksien herkkyyttä satunnaisuudelle				

VaR-menetelmiä voidaan arvioida useista eri näkökulmista. Arvioinnin taustalla voi olla oletuksia markkinoiden toiminnasta sekä eri instrumenttien hinnoittelusta, eli mitä reaali maailman piirteitä niihin voidaan ja halutaan sisällyttää. Mallin antaman informaation tuloksia ja luotettavuutta on hyvä tarkastella kriittisesti muistaen taustalla olevat oletukset ja rajoitukset. Myös mallin rakentamiseen ja laajentamiseen uhratut panokset vaikuttavat menetelmän valintaan.

3.9 Value at Risk -menetelmien sovellettavuuden rajoitteita

VaR-menetelmien suosio perustuu monimutkaisten ilmiöiden yksinkertaistettuun ja havainnolliseen esitystapaan. Kritiikki kohdistuu menetelmän todellisuutta yksinkertaistaviin oletuksiin, kuten näkemykseen, että historia toistaa itseään. Historiallinen aikasarjan pituus on myös ollut kritiikin kohteena, koska markkinat ovat voineet muuttua ajassa. Tämä koskee erityisesti muuttujien välistä korrelaatorakennetta. Lisäksi voi esiintyä virhemahdollisuuksia markkina- ja positiodatassa.

Hoppen (1998, 45-50) mukaan taustalla olevat oletukset tilastollisesta menetelmästä laskea VaR-luku eivät pidä paikkaansa. Useissa tutkimuksissa on todettu, että mallin ensisijaisissa tilastollisissa oletuksissa on puutteita. Kritiikki kohdistuu kahteen pääoletukseen: a) tuotot ovat normaalisti ja itsenäisesti jakautuneet ja b) tuottojen jakauma on stationäärinen eli keskiarvon ja varianssin jakaumat ovat vakiot.

GARP:in mukaan (1996, 83) VaR:ia ei saisi käyttää vain mekaanisena laskentavälineenä. VaR:ia tulisi käyttää johdon työkaluna, jolla voidaan verrata ja yhdistää eri yksiköiden riskiä. Kehittyneinkään menetelmä ei korvaa puutteellista riskienhallintajärjestelmää. Menetelmää tulisi täydentää myös muilla menetelmillä, kuten skenaarioanalyysillä. Skenaarioanalyysi huomioi tapahtumat, joita VaR ei pysty mallintamaan.

VaR-menetelmä sisältää myös malliriskin. Malliriski syntyy yksinkertaistuksista matemaattisia kuvauksia tehtäessä. Se koostuu mm. historiallisen datan toimivuudesta tulevaisuudessa sekä empiiristen jakaumien muodosta (multinormaalisuus). Estimoinnissa joudutaan tekemään yksinkertaistavia oletuksia mm. autokorrelaatiosta. Malliriski muodostuu silloin, kun markkinamallit eivät vastaa reaali maailmaa. Virheitä voi olla jakaumassa, stokastisessa prosessissa, volatilisuuksennusteissa tai satunnaislukujen generoinnissa. Virheitä voi olla myös hinnoittelukaavoissa ja ohjelmistossa.

Lineaarisen riippuvuuden oletus muodostaa myöskin malliriskin, eli korrelaatioiden käyttö muuttujien välisten suhteiden kuvaamisessa. Korrelaatio ei osoita kausaalisuutta. Valuuttakurssit, korot, osakkeet tai muut riskitekijät voivat riippua toisistaan monimutkaisella tavalla, korrelaatiomatriisin käyttö ”suodattaa” pois muun kuin lineaarisen yhteyden. Tämän vuoksi suuret markkinamuutokset tai –romahdukset, joissa epälineaarisuudet tulevat esille, eivät ole hyvin ennustettavissa korrelaatiopohjaisilla menetelmillä. (Jauri 1997, 70-71.)

4 RISKIEHALLINTA YRITYKSEN NÄKÖKULMASTA

Neljännessä luvussa tarkastellaan markkinariskienhallintaa yrityksen näkökulmasta. Pohjana tarkastelulle on Investointipankki J. P. Morganin vuonna 1999 julkaisema kokonaisvaltainen riskienhallintakonsepti, CorporateMetricsTM.

Yritysten riskienhallinta on monimutkaisempaa kuin pelkässä rahoitusympäristössä kuten pankeissa. Markkinariski muodostuu lisäksi liiketoimintariskistä, mikä tekee riskienhallintajärjestelmästä monimutkaisen prosessin. Riskienhallintaa käytetään hyväksi yritystasolla budjetoinnissa ja suunnittelussa. Yrityksessä rahoitusjohtajan huomio keskittyy tuloksen kehitykseen ja heilahteluun, koskien erityisesti kassavirtoja, jotka toimivat yrityksen toiminnan mittarina.

Rahoituslaitosten riskienhallinta keskittyy lyhyemmälle aikavälille kuin yrityksissä, koska rahoituslaitoksen positio tunnetaan pääosin. Yritysten näkökulma poikkeaa rahoituslaitoksista, koska huomio kiinnittyy enemmän kassavirtoihin, ja avoimelle positiolle voidaan laatia vain ennusteita ja jakaumia. Tästä johtuen yritykset eivät ole niin kiinnostuneita päivittäisistä markkinaheilahteluista, vaan toiminnan tuloksesta esim. kuukausi- tai vuositasolla. Sitä kautta yritysten keskuudessa on kasvava kiinnostus määrittää riskipitoisista toiminnoista ja projekteista aiheutuva pääoman määrän tarve ja siitä aiheutuva kustannus.

Shimkon (1996, 28) mukaan yritysten vaikeutena on tulevien kassavirtojen ennustaminen ja arvostaminen markkina-arvoon. Myös realisointi nopealla aikataululla voi olla mahdotonta. Näin ollen VaR:n kahta perusajatusta, portfolion markkina-arvostusta ja helppoa realisointia ei ole helppo toteuttaa. Myös yrityksen omaisuuden arvostaminen on hankalaa. Useimmille tuotannontekijöille ei ole olemassa toimivia markkinoita, joilla hinnanmuodostus tapahtuisi. Epälikvideille tuotteille hintoja voidaan arvioida kassavirtojen nykyarvon tai uudelleen organisoinnin kustannuksien perusteella (Hayt & Song 1995, 94-99). Toinen merkittävä ongelma on pitkälle modifioidut tuotannontekijät, jolloin ne eivät sovellu muille tuottajille. (McNew 1996, 54-56.)

4.1 Yrityksen riskienhallintajärjestelmän rakentaminen

Riskienhallintajärjestelmän rakentamisen tavoitteena on mallintaa yrityksen liiketoimintaa kuvaava todennäköisyysjakauma, joka vastaa riittävän luotettavasti ja tarkasti todellisuutta. Riskin mittaaminen yrityksen toimintaympäristössä on monisäikeinen prosessi, joka voidaan jakaa viiteen osaan. Riskienhallintajärjestelmä koostuu viidestä vaiheesta, riskimittareiden määrittelystä, position määrittämisestä, skenaarioiden luomisesta, arvostuksesta ja riskin laskemisesta ja analysoimisesta. (Lee 1999, 27-29.)

TAULUKKO 2. Yrityksen markkinariskienhallinnan viitekehys (Lee 1999, 27-29)

Viitekehysosan osat	Vaiheet	Vaihtoehdot
I Riskin määrittäminen	1. Mittareiden määrittely Määritetään mittarit riskin laskemiseen sekä aikahorisontti ja luottamusväli	Mahdolliset mittausmenetelmät <ul style="list-style-type: none"> • Earnings at Risk • Cash Flow at Risk • Käyttäjän omat variaatiot
II Liiketoiminnan analysointi	2. Position määrittäminen Markkinoiden vaikutus tulokseen ja kassavirtoihin	Mahdolliset informaation lähteet <ul style="list-style-type: none"> • Liiketoimintasuunnitelma • Budjetoimallit
	3. Skenaarioiden luonti Luodaan mahdolliset arvot jokaiselle positiolle tietyllä aikavälillä	Mahdolliset menetelmät <ul style="list-style-type: none"> • Nykyinen markkinadata • Ekonometriset mallit • Käyttäjän määrittelemät skenaariot
III Riskin laskeminen	4. Arvostus Käyttäen skenaariota ja "mappingia" lasketaan taloudellisen tuloksen hajonta ja tarkastellaan sitä graafisesti	Mahdolliset menetelmät <ul style="list-style-type: none"> • Lasketaan uudelleen yhtälöt/mallit • Lasketaan uudelleen pro forma
	5. Riskin laskeminen Lasketaan markkinariski	Mahdolliset menetelmät <ul style="list-style-type: none"> • Analysoidaan tuloksen ja kassavirtojen jakaumaa

4.2 Tuloksen ja markkinariskin mittaaminen

Seuraavaksi tarkastellaan hieman tarkemmin yrityksen markkinariskienhallintaprosessin osa-alueita. Lähtökohtana on, että markkina-arvojen muutokset vaikuttavat yrityksen tulokseen. Muutokset voivat näkyä esim. portfolion arvossa, oman pääoman tuotossa, tuloksen kasvussa, vakavaraisuudessa jne. CorporateMetrics käyttää tulosta ja kassavirtoja taloudellisen toiminnan mittareina, joita käytetään riskin mittaamisen perustana. Edellä mainitut erät ovat myös yrityksen itsensä sekä sijoittajien mielenkiinnon kohteena.

Riskinhallinnassa tulee ottaa omistajien näkökulma huomioon, esim. P/E- ja ROE -lukujen avulla. Markkinariski voi vaikuttaa yrityksen tulokseen. Jos yritys pystyy hallitsemaan tuloksen vaihtelua, niin sillä on paremmat mahdollisuudet ”hallita osakkeen arvon muutoksia”, riskiä ja osakkeen omistajien varallisuuden muutoksia. Esim. tuloksen jäädessä odotettua pienemmäksi, osakemarkkinat voivat reagoida voimakkaastikin. (Lee 1999, 31.)

Yritysten tavoitteena on suunnitelmien ja budjettien avulla lisätä omistajien varallisuuden arvoa pitkällä aikavälillä. Markkinariskiä ei yleensä budjetointiprosessissa oteta ”hyvin” huomioon. Esimerkiksi markkinariski (volatiliteetti ja korrelaatio), jolle yritys on avoin, jää usein ilman huomiota. Myös tulosestymien epävarmuus (luottamusväli) jää normaalissa budjetointiprosessissa huomioimatta. (Lee 1999, 32.) Useissa yrityksissä tulos budjetoidaan muutamalle tasolle, esim. ”paras mahdollinen”, ”odotettu” ja ”katastrofi” -budjetti. Budjetoinnissa on mahdollisuus käyttää erilaisia korkoja, kuten spot, termiini tai mikä tahansa yritykselle sopiva.

Lee (1999, 32-36) määrittelee tuloksen vaihtelun seuraavasti: *Earnings at Risk* (EaR) on maksimi tuloksen vaje suhteessa tavoitetulokseen tietyllä aikavälillä ja tietyllä luottamusvälillä. Usein raportoinnissa käytetään tulos per osake (*Earnings per Share at Risk*, EPSaR) -mittaria. CorporateMetricsillä on tarjolla useampiakin mittareita, vaikka se käyttääkin EaR -käsitettä. Muina vaihtoehtoina mainittakoon yrityksen omistajien varallisuuden maksimoiminen (*shareholder value*), portfolioanalyysi (*portfolio value*) ja taseanalyysi (*balance sheet translation*).

Mittarit kuten EaR tai EPSaR tarjoavat yrityksen johdolle tärkeää informaatiota tavoitteiden epävarmuudesta. Tavoitteeksi asetettava muuttuja voidaan määritellä usealla eri tavalla. Tärkeää on kuitenkin sen kiinteä yhteys yrityksen lopullisiin päämääriin. Lisäksi valitun mittarin tulee sopia yrityksen ohjausjärjestelmään. Budjetoidun tuloksen lisäksi muita tavoitteita ja päämääriä voivat olla (Lee 1999, 33-34):

Odotettu tulos odotetuilla markkinahinnoilla – ennustettu tulos tietyllä periodilla lasketaan markkinahintojen jakauman keskiarvosta. Yleensä on hyvä ottaa huomioon se, että budjetoidut hinnat ja markkinahinnat voivat poiketa toisistaan, varsinkin silloin kun yritykset käyttävät yhtenäistä budjettia koko periodin ajan.

Tuloksen suojaus pohjautuen odotettuihin tuleviin hintoihin – tuloksen ennustettu taso tietylle raportointiperiodille lasketaan käyttäen markkinoiden odotusten mukaisia tulevia hintoja, termiinejä (*forward rates*). Tuotot, jonka oletuksena on se, että tulevat hinnat on lukittu tietylle tasolle, voivat erota yrityksen budjetoiduista tuotoista.

Analyytikkojen ennusteet – analyytikot laativat investoijien käyttöön sijoitustutkimuksia, joissa ennustetaan yrityksen tulevaa tulosta. Kokemus on osoittanut, että institutionaaliset sijoittajat käyttävät ennusteita hyväkseen. Analyytikkojen ennusteet pohjautuvat tyypillisesti tietyn sektorin tutkimukseen. Tämän lisäksi johdon näkemyksillä on suuri merkitys. Käyttämällä analyytikoiden ennusteita toimintansa pohjana, yhtiö voi estimoida määrän, jonka tulos voi tipahtaa.

Tuloksen suojaus – tuloksen suojausta vaihtoehtoisilla strategioilla voidaan verrata toisiinsa EaR:n avulla.

Kassavirrat sitovat yhteen yrityksen operatiiviset, investointi- ja rahoitustoiminnot. Johdon on tärkeä arvioida kassavirtojen arvo, määrä ja toteutumisaikajankohta, jotta yritys selviytyisi jokapäiväisistä velvoitteistaan. Kassavirrat ovat analyytikoille ja investoijille tärkeä informaationlähde, jonka avulla saadaan tietoa esim. yrityksen likviditeetistä ja

kannattavuudesta. Yrityksen arvon määrittämisessä tulevat kassavirrat ja niihin liittyvät riskit on pystyttävä määrittämään riittävän tarkasti, jotta olisi edellytyksiä mm. kassavirtamallin käytölle.

Lee (1999, 34) määrittelee kassavirtojen vaihtelun seuraavasti: Cash Flow at Risk (CFaR) on maksimi kassavirtojen vaje suhteessa tavoitteeseen tietyllä aikavälillä ja tietyllä luottamusvälillä.

CFaR käytetään suhteellisena riskin mittarina, jossa riskiä mitataan tietyllä kassavirtojen tavoitetasolla. Tulevien kassavirtojen odotusarvo voidaan määrittää laskemalla yhteen koko yrityksen tulevat kassavirrat. Tulevien kassavirtojen määrää laskettaessa voidaan käyttää useita eri korkokantoja kuten esim. spot, termiini jne.

Earnings at Risk¹⁹ on Cash Flow at Riskin²⁰ tapaan käytetty riskin mittari. EaR eroaa CFaR:sta sen suhteen, että CFaR:ssa on mukana myös kustannuseriä. Edellä mainittua voidaan havainnollistaa seuraavan esimerkin avulla: ajatellaan tilanne, jossa kyseessä on öljyn tuoja. Yrityksen ostovelat muodostuvat dollarimääräisestä öljyn ostoista ja myyntisaamiset öljyn myynnistä Suomeen. Tuloksen vaihteluun perustuen laaditaan Earning at Risk -ennuste. Yritysten myyntisopimukset ovat pitkäaikaisia, eivätkä salli öljyn maailmanmarkkinahintojen muutosten viemistä myyntihintoihin kuin pitkällä viiveellä. Sen sijaan yritys ostaa öljyn suoraan spot -markkinoilta. Yrityksen suojatessa ostamansa öljyn hintavaihteluja öljyfutuureilla ja dollarin termiinkaupoilla, tulevat nämä erät mukaan riskianalyysiin. Yrityksen positio syntyy öljyn myyntituloista ja rahoituspositiosta. Edellä mainitut johdannaiset suojaavat riskiä, joka ei muuten esiinny yrityksen EaR -positiossa. Sen seurauksena suojaus ilmeneekin EaR -analyysissä riskiä kasvattavana (suojauskustannukset), mutta sen sijaan CFaR -analyysissä riskiä alentavana (hinnat lukitaan). (Lee 1999, 35.)

¹⁹ Earnings at Risk on maksimi tuloksen vaje suhteessa tavoitetulokseen tietyllä aikavälillä ja tietyllä luottamisvälillä.

²⁰ Cash Flow at Risk on maksimi kassavirtojen vaje suhteessa tavoitteeseen tietyllä aikavälillä ja tietyllä luottamisvälillä.

4.3 Positioiden jakaminen

Markkinariskin mittauksen toisena vaiheena on positioiden jakaminen (*exposure mapping*). Edellytyksenä on, että riskimitat (tavoitetta kuvaavat muuttujat) on määritetty. *Exposure mappingissa* määritetään, kuinka markkinoiden vaihtelut välittyvät yrityksen taloudelliseen tulokseen. Osatekijät *mappingissa* ovat ulkomaan myynti ja/tai tulevaisuudessa oleva ulkomaanvaluutan kurssi. *Mapping* -prosessi voidaan tehdä esim. yhtälön tai ekonometristen mallien avulla. Oikea tapa riippuu yrityksestä ja sen tilanteesta. (Lee 1999, 39.)

Yrityksellä on kolme mahdollisuutta mallintaa ulkomaan kauppaan liittyvää riskiä. Ensimmäisenä vaihtoehtona on puhdas markkinariski, joka muodostuu ulkomaan valuutan arvon heilahteluista. Seuraavana vaihtoehtona on markkinariskin vaikutus liiketoimintaan, esim. valuuttakurssin heilahtelun vaikutus myyntivolyymiin. Viimeisenä vaihtoehtona on markkina- ja liikeriski. Tässä tapauksessa otetaan mukaan myös muita kuin rahoitusmarkkinoihin liittyviä riskifaktoreita. (Lee 1999, 39-41.)

Puhdas markkinariski voidaan mallintaa esim. lineaarisella funktiolla. Perustapauksessa malli sisältää kaksi komponenttia: stokastisesti määräytyvän tulevaisuuden valuuttakurssin sekä tuotteen valuuttamääräisen hinnan- ja myyntimäärän, jotka oletetaan kiinteiksi. Tällöin myynnin arvon (FIM) vaihtelun oletetaan riippuvan vain valuuttakurssin vaihtelusta (Lee 1999, 43).

Lineaarinen funktio on seuraava:

$$(49) \quad R_i = P_i V$$

missä,

- R = tulo FIM
- P = hinta FIM
- V = määrä * (X_t/X_0)
- X_t = valuutan arvo periodin lopussa
- X_0 = valuutan arvo periodin alussa.

Myyntin arvo kotivaluutassa poistaa valuuttakurssiriskin vain osittain transaktiosition sopimus pohjaisissa erissä. Kun yritys myy omassa kotivaluutassa, valuuttakurssin muutos näkyy ostajan kotivaluutassa hinnanmuutoksena, joka voi vaikuttaa ostojen määrään. Tätä määrän muutosta kutsutaan myyntin hintajoustoksi. (Kasanen ym. 1997, 171-176.) Valuuttakurssin heilahtelun vaikutus myyntivolyymiin voidaan mallintaa esim. epälineaarilla funktiolla (Lee 1999, 45).

$$(50) \quad P_i = P_{i-1} \left[1 + \beta \left(\frac{X_{i-1}}{X_{i-2}} - 1 \right) \right]$$

$$(51) \quad R_i = P_i * X * V_i$$

missä, P_i = hinta
 β = hintajousto
 X_i = valuutan arvo.

Yrityksen kassavirtojen kartoittamisella (*exposure mapping*) tarkoitetaan sitä, että yksi kassavirta jaetaan kahden lähimmän korkopisteen välille. Toiminnot, jotka tuottavat/käyttävät rahaa voidaan mallintaa esim. kassavirtojen avulla. Käytännössä yrityksen kassavirtojen määrien ja ajankohtien ennakointi on hankalaa. Siitä huolimatta *exposure mapping* voi olla hyödyllinen yrityksen toiminnoille ja auttaa tunnistamaan kassavirtoihin kohdistuvan markkinariskin. Kassavirrat voidaan esittää portfoliona, jonka arvo vaihtelee markkinoiden muuttuessa. Seuraavassa taulukossa joitakin kassavirran komponentteja, jotka voivat muodostaa yritykseen tyypillisen riskiposition. Taulukossa 3 on myös esitelty, minkä tyyppiset markkinariskit vaikuttavat kuhunkin tuloserään. (Lee 1999, 46-47.)

TAULUKKO 3. Markkinariskin yhteys tulokomponentteihin

Tuloskomponentit	Markkinariski
Myyntituotot	Valuutta, hyödyke
Myyntistä aiheutuvat kulut	Valuutta, hyödyke
Liiketoiminnan kulut	Valuutta, hyödyke
Korkokulut	Korko
Ostovelkojen ja myyntisaamisten voitto/tappio	Valuutta
Rahoitussopimusten voitto/tappio	Valuutta, korko, hyödyke, osake

4.4 Markkinaskenaariot

Riskinmittauksen kolmas vaihe on markkinaskenaarioiden luonti. Skenaarioiden luonti vaatii riskifaktoreiden todennäköisyysjakaumien tuntemista eri horisonteille. Skenaario määritellään yhtenä tai useampana markkinamuuttujan polkuna yli tietyn periodin. Aikaväli voi olla esim. päivä, viikko tai kuukausi, riippuen sovelluksesta. Luomalla useita eri skenaarioita markkinamuuttujille eri aikavälillä, saadaan tulevien arvojen vaihteluväli määritettyä. Tässä yhteydessä markkinaskenaarioita käytetään panoksina *mappingissa*, jotta saadaan taloudellisen tuloksen jakaumat. (Lee 1999, 51.)

Markkinaskenaariot luodaan satunnaisotoksin riskifaktoreiden tuottojen jakaumista. Todennäköisyysjakauman keskiarvon ja keskihajonnan ennustaminen kullekin horisontille auttaa yritystä mallintamaan ja ennakoimaan markkinamuutoksia yli ajan. Tuloserien keskihajonta kasvaa yleensä aikavälin pidentyessä.

Markkinariskin mittaaminen edellyttää markkinahintojen ja niiden jakauman tuntemista. Jakauman määrittäminen on vaativin tehtävä. Markkinariskien mittaukseen on olemassa useita eri menetelmävaihtoehtoja, mutta ei ole yhtä oikeaa menetelmää kaikkiin eri tilanteisiin. Yritysten on hyvä tehdä useita ennustuksia pohjautuen eri oletuksiin, jotta tulokset saataisiin vertailukelpoisiksi. Kun yrityksessä mietitään riskienhallintamenetelmää, tulisi ottaa huomioon mallin antama tarkkuus määritettäessä tulevaisuuden markkinamuutosten jakaumaa sekä sen yhteys markkinoihin. Mallilla on oltava hyvä kyky antaa markkinainformaatiota, testata ääritilanteita ja määrittää makrotaloudellisia olosuhteita. Myös toteutuksen helppous ja käytännöllisyys ovat avainasemassa mallia valittaessa.

Jos ennusteet pohjautuvat nykyiseen markkinainformaation, ajatellaan, että nykyisten hintojen avulla pystytään ennustamaan tulevan tuotonkehitystä. Markkinoiden oletetaan tällöin toimivan tehokkaasti²¹. Useat taloudelliseen rakenteeseen perustuvat ennustemallit käyttävätkin mallin pohjana historiallista informaatiota. Nämä mallit perustuvat vahvasti ekonometriseen

²¹ Kts. luku 2.2, markkinoiden tehokkuus.

mallintamiseen ja aikasarja-analyysiin, joiden avulla makrotaloudelliset muuttujat saadaan malliin mukaan. Mallissa on mukana kahden tyyppistä aineistoa: rahoitusmarkkinoiden aikasarjoja (spot -hintaa, termiinihintaa jne.) sekä makrotaloudellisia aikasarjoja (rahan tarjonta, tuotanto jne.).

Ensimmäinen vaihe ennustemallia rakennettaessa on määrittää se funktionaalinen muoto, jota tarvitaan selittämään varallisuuden arvon yhteyttä muihin taloudellisiin muuttujiin. Toisessa vaiheessa valitaan taloudelliset muuttujat, jotka lisätään ennustemalliin.

Yleisesti käytettyjä aikasarjamalleja ovat *Autoregressive* (AR), *Vector Autoregressive Model* (VARM), *Error Correction Models* (ECM) ja *Vector Error Correction Model* (VECM). AR –mallin ideana on, että aikasarjan nykyinen arvo riippuu edellisestä arvosta mukaan lukien satunnaisvirhe. VARM –mallissa muuttujan nykyinen arvo määritellään aikasarjan edellisten arvojen perusteella. Lisäksi malliin otetaan mukaan muiden muuttujien edelliset arvot. ECM –mallissa on stabiili suhde muuttujien välillä. Mallin avulla pystytään ennustamaan myös tilanteissa, joissa yksittäiset aikasarjat liikkuvat satunnaisesti. Makrotaloudellisten muuttujien ja niiden pitkän aikavälin suhdetta kuvataan VECM –mallilla. ECM ja sen vektorirakenne VECM liittyvät keskeisesti yhteisintegroituvuuden mallintamiseen. (Lee 1999, 56-57.)

Käyttäjä voi myös luoda omia skenaarioita tulevista markkina-arvoista, jotka palvelevat yrityksen omia intressejä. Skenaarioihin voidaan lisätä erilaisia markkinashokkeja tai yrityksen omia ennusteita (johto, tutkijat) markkinoiden muutoksesta. Seuraavan sivun taulukossa 4 on yhteenveto markkinajakaumien ennustamismenetelmistä.

Markkinajakaumien ennustamisen jälkeen (hinta, valuuttakurssi) käytetään Monte Carlo –menetelmää hinta- ja kurssiskenaarioiden ennustamiseen tietyille aikavälille. Simulointi jaetaan kahteen vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa simuloidaan arvot esim. viikon tai kuukauden välein. Toisessa vaiheessa simuloidaan päivittäiset arvot. Kummassakin vaiheessa yrityksen tulee huomioida korrelaatorakenteet muuttujien välillä. CorporateMetrics –lähestymistapa soveltaa ns. *Brownian Bridge* -tekniikkaa. (Kim, Malz & Mina 1999, 10-12.)

TAULUKKO 4. Yhteenveto markkinajakaumien ennustamismenetelmistä (Lee 1999, 54)

Luokka	Tyyppi	Kuvaus	Hyödyt	Rajoitukset
Nykyinen markkina-informaatio	Satunnaiskulku siirtymällä sekä ilman siirtymää	Perustuu nykyiseen markkinadataan, kuten implisiittiseen volatilitettiin ja tulevaan korko-aineistoon	<ul style="list-style-type: none"> • Helppo toteuttaa • Käytetään markkina-arvoja johdettaessa todennäköisyys-jakauman funktiota 	Puuttuva markkinadata, erityisesti kehittyviltä markkinoilta
Ekonominen rakenne	Ekonometriset mallit	Käytetään rahoitusmarkkinoiden historiallista – ja makrotaloudellista dataa (VECM)	Mallin piirteet <ul style="list-style-type: none"> • Makrotaloudelliset fundamentit • Rakenteellinen systeemi • Uudelleen integrointi mahdollisuus 	Paljon vaikeampi toteuttaa kuin satunnaiskulkuun perustuvat mallit
Käyttäjän määrittelemät skenaariot	Käyttäjän oma malli ja informaatio	Sovelletaan käyttäjän määrittämää skenaariota	<ul style="list-style-type: none"> • Erityiset skenaariotestit perustuen erityiseen asiaan, oivallukseen tai oletukseen 	Vaikea määrittellä skenaarioiden todennäköisyyttä

4.5 Arvostus ja riskin laskeminen

Viimeiset vaiheet riskin mittaamisprosessissa ovat tuloksen ja sen jakauman laskeminen ”exposure mappingia” ja skenaarioita käyttäen sekä riskin mittaaminen tuloksen jakaumasta. Arvostus on yksinkertaisimmillaan tuloksen, kassavirtojen tai niiden komponenttien muodostamista. Tuloksen jakaumasta voidaan laskea erilaisia tilastollisia riskimittoja, kuten keskihajonta, luottamusväli, suurin ja pienin tappio suhteessa tavoitteeseen ja keskimääräinen tappio. (Lee 1999, 61-63.)

5 EMPIIRISEN TUTKIMUKSEN TOTEUTTAMINEN

5.1 Aineisto ja riskifaktorit

Yrityksen markkinariskien hallinta alkaa position tunnistamisesta. Position tunnistaminen sisältää positiorakenteen määrittämisen, osaposition määrittämisen ja positioraportoinnin. Markkinariskienhallinnassa antoisin kehitysalue ei kuitenkaan ole uusien suojaustoimenpiteiden kehittäminen, sillä suojaustransaktioiden tehostamispotentiaali on rajallinen. Huomattavasti tärkeämpää on ymmärtää liiketoiminnassa syntyviä valuuttariskejä. Näin ollen kysymys ”Koska ja millä instrumentilla kannattaa suojata?” ei riitä, vaan peruskysymys kuuluu ”Millaisen riskiaseman eli position liiketoiminnan harjoittaminen synnyttää?” Ensimmäistä kysymystä ei kannata edes harkita ennen kuin jälkimmäiseen kysymykseen on löydetty tyydyttävä vastaus. Liiketoiminnan valuuttariskien ymmärtäminen vaatii monimutkaisten finanssi-instrumenttien hallinnan lisäksi myös hyvää liiketoimintatuntemusta. (Kasanen ym. 1997, 123.)

Tutkimus perehtyy juuri jälkimmäiseen kysymykseen eli millaisen riskiaseman liiketoiminnan harjoittaminen synnyttää ja kuinka sitä voidaan kuvata. Tämä johtaa siihen, että yrityksen riskiasema täytyy määrittää transaktiositiona. Transaktiositiono kuvaava vaikutusta, joka syntyy, kun tietyn ajankohdan valuuttakurssilla tehdyn sopimuksen kassavirrat toteutuvat muuttuneilla kurseilla (Kasanen ym. 1997, 129). Positio määritellään suhteessa yrityksen perusvaluuttaan, tässä tapauksessa euroon. Positio sisältää kaikki valuuttamääräiset kassavirrat, joiden toteutumisesta on riittävä varmuus, tässä se on määritetty vientivirtana (nettovaluuttavirta) ja joukkovelkakirjalainojen korkomaksuina.

Viennissä on mukana kaikki yrityksen merkittävimmät vientivaluutat. Yrityksen pitkäaikainen vieras pääoma muodostui lähinnä suurista joukkovelkakirjalainoista (JVK). Niistä muodostettiin valuutoittain oleva lainasalkku, joka kuvaa varsin hyvin yrityksen vieraan pääoman rakennetta. Taulukossa 5 on määritetty yrityksen positio 28.12.2000, joka muodostuu yrityksen ennustamasta vuoden nettovaluuttavirrasta (valuuttamääräinen vientivirta), joukkovelkakirjalainoista ja niiden korkokustannuksista (kiinteäkorkoisia, maturiteetti 15

vuotta). Taulukossa 5 on myös kassavirtojen ja joukkovelkakirjalainojen suhteelliset osuudet yrityksen perusvaluutassa (EUR). Yrityksen suurimmat nettovaluuttavirrat muodostavat dollarista ja punnasta. Positioluvut pohjautuvat julkisesti saatavaan informaatioon (UPM-Kymmene Oyj vuosikertomus 2000).

TAULUKKO 5. Yrityksen portfolio 28.12.2000

Instrumentti	Valuutta	Määrä	Määrä (EUR)	Suhteelliset osuudet	Kiinteä korko %
Vienti	USD	2 588 490 824	2 788 000 000	34,2 %	
Vienti	GBP	1 884 592 417	3 021 000 000	37,1 %	
Vienti	SEK	6 476 598 750	732 000 000	9,0 %	
Vienti	DKK	3 237 699 899	434 000 000	5,3 %	
Vienti	NOK	3 311 441 291	401 000 000	4,9 %	
Vienti	CHF	620 238 021	406 000 000	5,0 %	
Vienti	JPY	38 116 376 250	359 000 000	4,4 %	
Vienti yht.			8 141 000 000		
JVK	EUR	2 400 000 000	2 400 000 000	59,0 %	6,4 %
JVK	USD	1 114 258 289	1 200 000 000	29,5 %	8,2 %
JVK	GBP	124 766 131	200 000 000	4,9 %	8,1 %
JVK	JPY	28 773 086 250	271 000 000	6,7 %	4,2 %
JVK yht.			4 071 000 000		
Portfolio yht.			12 212 000 000		

Position määrittämisen jälkeen voidaan jo havaita, että yritys on avoin melkoiselle joukolla erilaisia riskejä. Taulukossa 5 suhteellisesti merkittävimmät riskitekijät näyttäisivät muodostuvan dollari ja punta määräisistä vientivirroista. Joukkovelkakirjalainoissa EUR ja USD -korot muodostavat suhteellisesti suurimmat riskitekijät sisältäen myös valuuttakurssiriskin (USD). Position määrittämisen jälkeen saadaan tyydyttävä vastaus edellä esitettyyn kysymykseen, eli jonkinlainen kuva yrityksen riskiasemasta. Kohdeyrityksellä merkittävimpinä valuuttoina portfoliotasolla ovat dollari ja punta. Kun yrityksen positio on määritetty halutulla tasolla, voidaan siirtyä riskienhallintamenetelmän rakentamiseen.

Tutkimusongelmana on selvittää erilaisten yrityksen toimintaa koskevien kuvausten vaikutus käsitykseen riskeistä. Yrityksen toimintaa kuvataan kassavirroilla vuoden ja 15:n vuoden horisontilla. Aineistoksi on valittu yrityksen merkittävimmät vienti- ja lainavaluutat. Koska kassavirrat perustuvat nykyarvojen laskemiseen, tarvitaan riskifaktoreiksi kustakin valuutasta

korkonoteeraukset 15:een vuoteen saakka korkokäyrän muodostamista varten. Aineisto muodostuu kuukausittaisista havainnoista ajalta 31.3.1994-28.12.2000, (30 muuttujaa ja 83 havaintoa). Empiirisen osuuden riskifaktorit on esitetty taulukossa 6.

TAULUKKO 6. Mallin riskitekijät (31.3.1994-28.12.2000), *kursivoidut* ovat interpoloituja

Valuuttatekijä	Korkotekijä
EUR (simulaation perusvaluutta)	<i>EUR1M, EUR3M, EUR6M, EUR12M, EUR5Y, EUR10Y, EUR15Y</i>
USD	<i>USD1M, USD3M, USD6M, USD12M, USD5Y, USD10Y, USD15Y</i>
JPY	<i>JPY1M, JPY3M, JPY6M, JPY12M, JPY5Y, JPY10Y, JPY15Y</i>
CHF	<i>CHF1M, CHF3M, CHF6M, CHF12M, CHF5Y, CHF10Y, CHF15Y</i>
NOK	<i>NOK1M, NOK3M, NOK6M, NOK12M, NOK5Y, NOK10Y, NOK15Y</i>
SEK	<i>SEK1M, SEK3M, SEK6M, SEK12M, SEK5Y, SEK10Y, SEK15Y</i>
GBP	<i>GBP1M, GBP3M, GBP6M, GBP12M, GBP5Y, GBP10Y, GBP15Y</i>
DKK	<i>DKK1M, DKK3M, DKK6M, DKK12M, DKK5Y, DKK10Y, DKK15Y</i>

Aineiston käsittelyssä tulee usein esille ongelmia, jotka ovat yhteisiä kaikille aikasarja-analyysille. Estimointivaiheessa tuleekin varmistua markkina-aineiston laadusta ja optimaalisesta pituudesta. Myös käytettävän estimointimenetelmän valinta on tehtävä huolellisesti, jotta se olisi riittävän luotettava ja sopiva yrityksen tarpeisiin. Kovarianssimatriisin on myös täytettävä positiivisen definiittisyyden vaatimus, koska tuoton varianssi voi olla vain positiivinen. Näistä neljästä osatekijästä riippuu estimaattien luotettavuus ja oikeellisuus. Realistiset VaR -luvut muodostuvat siis riittävän tarkoista estimaateista. Seuraavassa luvussa siirrytään rakentamaan yrityksen riskienhallintamallia ja analysoidaan niiden antamat tulokset.

5.2 Mallin toteutus ja tulokset

Kun yrityksen positio on saatu määritettyä halutulla tarkkuudella, voidaan siirtyä mallin toteutukseen. Malli aloitetaan ympäristön luomisella SAS Instituten tekemään Risk Dimensions -ohjelmaan. Ensimmäisessä vaiheessa luodaan instrumenttimuuttujat ja riskifaktorit. Tämän

jälkeen luodaan instrumenttien hinnoittelufunktiot. Hinnoittelufunktioina käytetään todellisia hinnoittelukaavoja ja kassavirrat diskontataan nykyhetkeen nollakuponkikäyrällä. Yhden vuoden Profit at Risk -analyysissä vientivirta (nettovaluuttavirta) on diskontattu kuukausittain nykyhetkeen kussakin vientivaluutussa. Lainojen korot maksetaan puolivuositain ja ne on diskontattu 6 kk ja 12 kk koroilla. Cash Flow at Risk -analyysissä yrityksen toiminta oletetaan vakioksi. Vientivirta on yrityksen ennustama vuoden nettovaluuttavirta, joka on kerrottu 15:llä. 15:n vuoden vientivirta on diskontattu puolivuositain ja joukkovelkakirjalainojen maturiteetti on 15 vuotta, jonka jälkeen ne maksetaan takaisin. Hinnoittelufunktioiden jälkeen määritetään instrumenttien tyypit, jotka ovat vienti ja joukkovelkakirjalainat. Tämän jälkeen voidaan ympäristöön lisätä portfoliotiedosto ja markkinadata.

Aineiston käsittely aloitetaan tuottojen volatilisisuuden estimoimisella. Estimointimenetelmänä on EWMA (decay 0,97), luvussa 3.1 esitelty menetelmä. Korrelaatiot tulisi laskea samalla menetelmällä kuin volatiliteetit, joten tässä käytetään samaa menetelmää (EWMA) kuin volatilisuudestimoinnissa. Varianssi-kovarianssimatriisi on laskettu kuukausittaisista havainnoista eksponentiaalisen painotuksen liukuvan keskiarvon menetelmällä (EWMA). Painokertoimena käytetään (decay) 0,97. Tämä vastaa mm. J. P. Morgan suositusta käytettäessä kuukausiaineistoa. Kuukausiaineisto soveltuu hyvin liiketoimintojen kassavirtojen analysointiin, koska yrityksiä ja omistajia erityisesti kiinnostaa kuukausittaiset tai neljännesvuosittaiset tulokset (EPS). Kuukausittaisiin havaintoihin päädyttiin myös siitä syystä, että havaintoja olisi riittävästi²².

Taulukossa 7 on kuvattuna simulaatiossa käytettävien valuuttakurssien väliset korrelaatiot eksponentiaalisesti painotettuna (EWMA, decay 0,97). Aineisto on kuukausiaineisto. Dollari ja punta korreloivat positiivisesti kaikkien muiden valuuttojen kanssa lukuunottamatta frangia. Nämä ovat myös salkun painavimmat valuutat.

²² Havaintoja on oltava enemmän kuin riskifaktoreita, jotta varianssi-kovarianssi matriisi voitaisiin laskea (positiivinen definiittisyys).

TAULUKKO 7. Valuuttakurssien väliset korrelaatiot laskettuna kuukausittaisista havainnoista 31.3.1994-28.12.2000, (EWMA, decay 0,97)

	CHF	DKK	GBP	JPY	NOK	SEK	USD
CHF	1	-0,05527	-0,05900	0,15399	-0,00009	-0,26683	-0,04141
DKK	-0,05527	1	0,27408	-0,08047	0,59351	0,46592	0,21812
GBP	-0,05900	0,27408	1	0,09898	0,49443	0,25953	0,63576
JPY	0,15399	-0,08047	0,09898	1	0,20662	-0,09049	0,33392
NOK	-0,00009	0,59351	0,49443	0,20662	1	0,29941	0,43538
SEK	-0,26683	0,46592	0,25953	-0,09049	0,29941	1	0,42091
USD	-0,04141	0,21812	0,63576	0,33392	0,43538	0,42091	1

Rahoituksessa ja riskienhallinnassa lähes kaikki arvostukset perustuvat nykyarvon laskemiseen. Tämä johtaa siihen, että korkokäyrä nousee tärkeään asemaan markkinariskiä mallinnettaessa. Vuoden vientivirran nykyarvon laskemiseksi tarvitaan lyhyet, alle vuoden mittaiset (1M, 3M, 6M ja 12M) korkonoteeraukset. Näistä muodostetaan korkokäyrän lyhytpää. Pitkän (15:n vuoden) vientivirran nykyarvon laskemiseen tarvitaan pitkiä korkoja (1Y, 5Y, 10Y ja 15Y). Nämä muodostavat korkokäyrän pitkänpään. Näin ollen mallissa käytetään seitsemän pisteen korkokäyrää, jolla ennustetut kassavirrat diskontataan nykyhetkeen.

Kun ympäristön luomisen jälkeen malliin on lisätty hinnoittelufunktiot, positio ja markkinadata, voidaan siirtyä analyysivaiheeseen. Simulointimenetelmänä käytetään Monte Carlo –simulaatiota, jossa käytetään todellisia hinnoittelufunktioita. Molemmissa malleissa simulointikierroksia ajettiin 500, se kuvaa suhteellisen hyvin markkinamuuttujien jakaumaa. Toisaalta tutkimuksen pääpainona ei ole kuvata tilastollisten jakaumien ominaisuuksia, vaan kuvata yrityksen riskiasemaa kolmella eri lähestymistavalla. Jakaumien oletetaan yksinkertaisuuden vuoksi noudattavan normaalijakaumaa. Myös VaR -tason valintaa voidaan perustella usealla tavalla, mutta toisaalta pienikään VaR –taso (esim. 1 %) ei takaa tappion suuruutta. Pieni riskitaso vaatii myös suurempaa aineistoa. Tutkimuksessa riskitasoksi on valittu yleisesti käytössä oleva 5 %.

Tässä tutkimuksessa yrityksen riskiasemaa kuvataan kolmella eri tavalla, joista kaksi ensimmäistä on kassavirtoihin ja niiden nykyarvon laskemiseen perustuvia lähestymistapoja. Kolmas tapa kuvaan valuuttakurssiriskiä tai devalvaatoriskiä.

Profit at Risk –menetelmää voidaan käyttää yrityksen sisäisenä markkinariskin mittarina suhteessa tavoite tulokseen (liikevoittoon) tietyllä aikavälillä ja tietyllä luottamustasolla. Yrityksen omat valinnat tilinpäätöksessä vaikuttavat liikevoiton muodostumiseen, kuten poistot ja arvonalennukset. Kaikki yrityksen määrittelemät liiketoiminnan erät tulisi olla mukana analyysissa, jotta saataisiin kokonaiskuva taloudellisesta konseptista. Menetelmää käytetään oman päätöksenteon apuvälineenä. Tässä tutkimuksessa on malliin otettu mukaan kuitenkin vain keskeiset ja volatiileimmat erät. Näitä ovat valuuttakurssit ja korot, jotka vaikuttavat yrityksen nettovaluuttavirtoihin ja joukkovelkakirjalainojen arvoon. Profit at Risk on ennustettu (viennin) nettovaluuttavirran nykyarvo vähennettynä joukkovelkakirjalainojen korkokulujen nykyarvolla. Edellä mainitut erät antavat riittävän tarkan kuvan yrityksen sisältämästä markkinariskistä, jolloin menetelmien eroja pystytään arvioimaan luotettavasti.

Cash Flow at Risk –menetelmällä kuvataan yrityksen kassavirtojen vajausta suhteessa tavoitteeseen tietyllä aikavälillä ja luottamustasolla. Teoriassa malliin otetaan mukaan kaikki liiketoimintaan kuluvat tulevat erät, eli kassavirrat nykyhetkestä äärettömään. Kassavirtamallissa oletetaan yrityksen toiminta jatkuvaksi ja määritetään kassavirtojen nykyarvo. Näin pystytään määrittämään yrityksen taloudellinen arvo ja siihen sisältyvä riski. Menetelmän voidaan katsoa olevan omistajien näkökulmasta paras, koska se kuvaa yrityksen arvoa. Myös tähän malliin on otettu mukaan vain keskeisimmät ja volatiileimmat erät. Tulevat erät on diskontattu 15:tä vuodelta. Mallissa lasketaan yrityksen ennustettu 15:n vuoden kassavirtojen nykyarvo, sisältäen lainojen lyhennykset ja korkokulut. Valuuttojen ja korkojen volatiilisuus vaikuttaa välittömästi yrityksen arvoon ja on näin ollen tärkeä päätöksenteon apuväline.

Nurkkaluku on hyvin yleisesti käytössä ollut tapa erityisesti pohjoismaisissa metsäteollisuusyrityksissä. Nurkkaluvun käyttö sijoittuu lähinnä kiinteiden valuuttakurssien aikaan, jolloin yritykset analysoivat mahdollista devalvaatoriskiä. Menetelmässä muodostetaan esim. valuutoittain nettovientivirta josta vähennetään lainojen nykyarvo, tästä saadaan nettopositio. Nettopositiossa huomioidaan valuutoittain esim. 10 %:n valuuttakurssimuutos, devalvaatoriski. Se kuvaa suurinta mahdollista valuuttakurssiriskiä (10 %), kun kaikki valuutat devalvoidaan. Tämä antaa yrityksen riskiasemasta huomattavasti erilaisen kuvan kuin

kaksi ensimmäistä lähestymistapaa, sillä se jättää riskitekijöiden välisen vuorovaikutuksen huomioimatta. Seuraavassa luvussa analysoidaan tarkemmin, millaisia vaihtoehtoja on määrittää yrityksen riskiasema transaktioriskin pohjalta.

5.2.1 Profit at Risk

Ensimmäinen yrityksen toimintaa koskeva kuvaus on ns. *Profit at Risk*. Tässä lähestymistavassa yrityksen kassavirran nykyarvo on mallinnettu seuraavasti: vuoden ennustettu (viennin) nettovaluuttavirran nykyarvo vähennettynä joukkovelkakirjalainojen korkokulujen nykyarvolla. Hinnoittelu eri valuuttamääraisten lainojen korkojen osalta on suoritettu diskonttaamalla lainojen puolivuositain maksettavat korot vastaavilla korkopisteillä ($\frac{1}{2}$ ja 1 vuosi). Vuoden vientivirta on (valuutoittain) diskontattu kuukausittain tarkasteluajankohtaan 1-12 kk koroilla. Taulukossa 8 on yhteenveto vuoden Profit at Risk -simulaation tuloksista. Ensimmäisessä sarakkeessa on vienti ja lainavaluutta. Toisessa sarakkeessa (MTM) on vuoden kassavirran nykyarvo (markkina-arvo) euromääräisenä. Kolmas sarake (VaR) on mallin tuottama VaR-luku 5 % todennäköisyydellä kuukauden aikahorisontilla. Neljännessä sarakkeessa (VaR % MTM) on VaR-luku suhteutettuna alla olevaan positioon, markkina-arvoon. Viimeisessä sarakkeessa on kuvattu kunkin osaposition herkkyyttä, kolme suurinta riskifaktoria ja niiden suhteellinen informaatio.

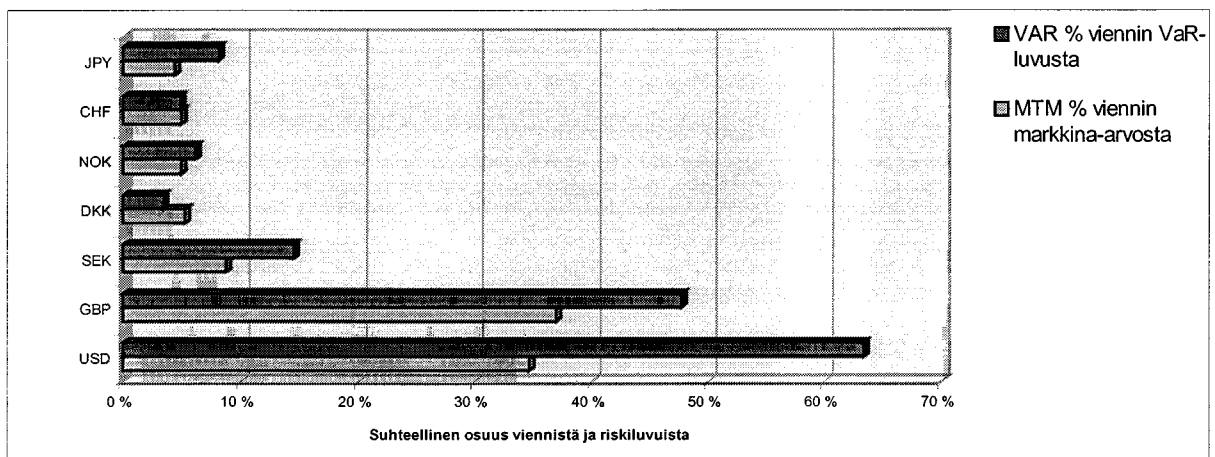
Taulukossa 8 vientivirtojen yhteenlaskettu markkina-arvo on 8,073 mrd. euroa. Viiden prosentin VaR -luvuksi saadaan 4,574 milj. euroa, joka on 0,057 %:a vientivirtojen markkina-arvosta. Vientisalkun suurimmat riskifaktorit ovat dollari, punta ja ruotsin kruunu. Suhteessa markkina-arvoon suurimmat riskit sisältyvät jeniin ja dollariin. Joukkovelkakirjalainoista johtuva korkomaksujen markkina-arvo on 269 milj. euroa. VaR -luvuksi saadaan 87 904 euroa, joka on 0,033 %:a lainasalkun markkina-arvosta. Lainasalkun absoluuttisesti suurimmat riskifaktorit muodostuvat dollarista ja jenistä. Suhteessa markkina-arvoon jeni muodostaa suurimman riskin. Suuri dollari riski johtuu isosta joukkovelkakirjalainasta, tosin eurolaina on puolet suurempi mutta se ei sisällä valuuttakurssiriskiä (simulaation perusvaluutta). Koko portfolion markkina-arvo on 7,804 mrd. euroa. VaR -luku on 4,469 milj. euroa, joka on 0,057 %:a markkina-arvosta. Tässä kohdassa ilmenee yksi VaR -menetelmien hyvistä puolista, se ottaa huomioon eri riskifaktoreiden väliset korrelaatiot. Kuten taulukosta 8 voi nähdä, on

portfolion VaR -luku on 193 426 euroa pienempi kuin vientivirroista ja joukkovelkakirjalainoista yhteenlaskettu luku (4 469 269 vs. 4 662 695), tämä johtuu korkojen ja valuuttojen välisestä korrelaatorakenteesta. Portfoliotasolla suurimmat riskifaktorit ovat dollari, punta ja norjan kruunu.

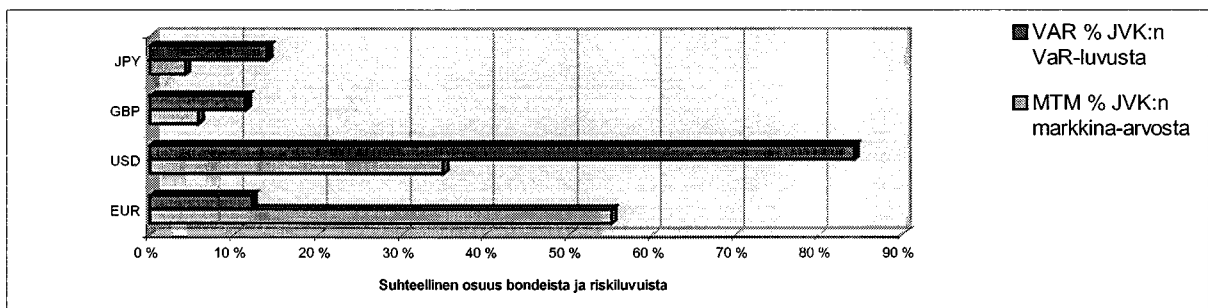
TAULUKKO 8. Profit at Risk, 1 vuoden kassavirta

VIENTIVALUUTTA	MTM	VAR	VAR % MTM	HERKKYYS	
USD	2 803 078 734	2 900 117	0,10346	USD_EUR	0,39
				GBP_EUR	0,12
				USD3M	0,08
GBP	2 986 746 391	2 182 440	0,07307	GBP_EUR	0,21
				GBP5Y	0,11
				USD_EUR	0,09
SEK	707 387 376	663 078	0,09374	SEK_EUR	0,43
				SEK5Y	0,19
				EUR5Y	0,12
DKK	424 431 102	156 697	0,03692	DKK3M	0,18
				DKK10Y	0,16
				DKK_EUR	0,14
NOK	399 754 408	281 191	0,07034	NOK3M	0,14
				NOK5Y	0,09
				JPY_EUR	0,05
CHF	397 928 828	221 691	0,05571	CHF_EUR	0,68
				GBP3M	0,04
				SEK_EUR	0,03
JPY	353 840 250	373 107	0,10545	JPY_EUR	0,80
				EUR5Y	0,03
				SEK_EUR	0,03
Vienti yht.	8 073 167 089	4 574 791	0,05667	USD_EUR	0,34
				GBP_EUR	0,21
				NOK_EUR	0,12
JVK					
EUR	-148 223 366	10 649	0,00718	EUR3M	0,52
				EUR5Y	0,12
				NOK3M	0,11
USD	-94 038 110	74 051	0,07875	USD_EUR	0,72
				GBP_EUR	0,15
				NOK_EUR	0,07
GBP	-15 526 290	10 000	0,06441	GBP_EUR	0,75
				NOK_EUR	0,15
				USD_EUR	0,08
JPY	-11 331 804	12 212	0,10777	JPY_EUR	0,9
				EUR5Y	0,02
				SEK_EUR	0,02
JVK yht.	-269 119 570	87 904	0,03266	USD_EUR	0,63
				GBP_EUR	0,16
				NOK_EUR	0,11
Portfolio yht.	7 804 047 519	4 469 269	0,05727	USD_EUR	0,32
				GBP_EUR	0,21
				NOK_EUR	0,12

Kuviossa 16 on vuoden viennin kassavirtojen Profit at Risk -simuloinnista esitetty palkkikaavio, josta ilmenee vientivirran jakauma suhteessa markkina-arvoon (MTM %) ja riskilukujen jakauma (VAR %) vientivaluutoittain. Kuten kuviosta 16 nähdään, markkina-arvoltaan suurimmat vientivirrat muodostavat myös suurimmat riskit. Kuviossa 17 on esitetty joukkovelkakirjasalkun vastaavat jakaumat. Joukkovelkakirjalaina salkku poikkeaa vientisalkussa siten, että siinä on suuri euromääräinen laina ja tästä johtuvat korkokulut. Euro on simulaation perusvaluutta, joten se ei sisällä valuuttakurssiriskiä vaan korkoriskin. Tästä johtuen riskiluvun suhteellinen osuus jää melko pieneksi verrattuna lainamäärään. Muissa kuin simulaation perusvaluutassa markkina-arvon kasvaessa myös riskit näyttäisivät kasvavan. Erityisesti dollari, jeni ja norjan kruunu muodostavat suurimmat riskit suhteessa markkina-arvoon.

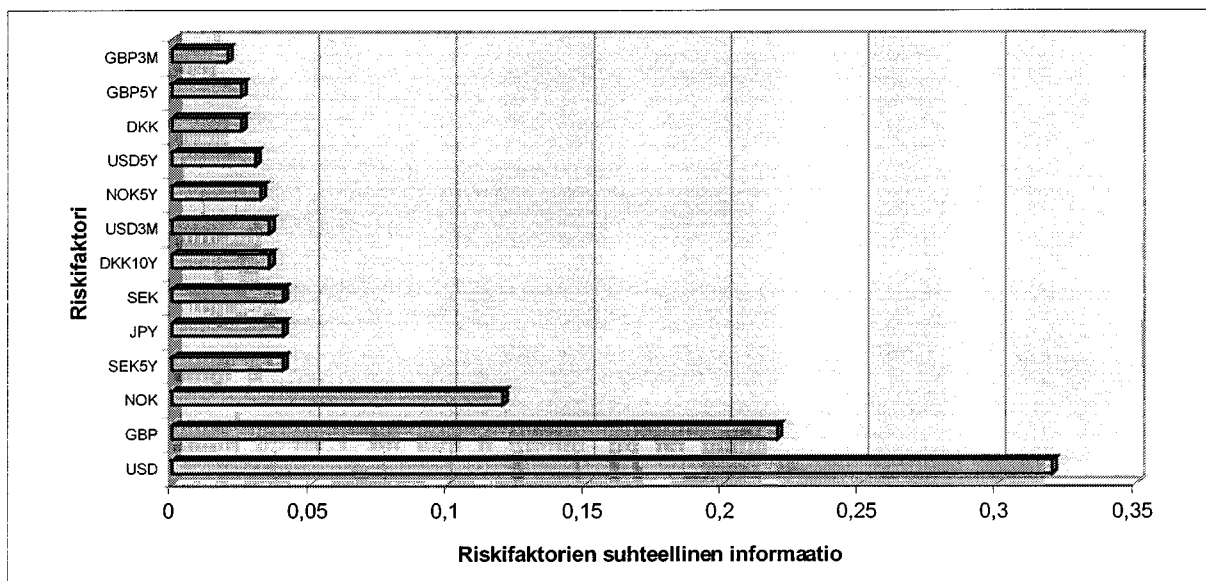


KUVIO 16. Profit at Risk –simulaatio, valuutta- ja riskilukujen suhteellinen osuus vientisalkusta



KUVIO 17. Profit at Risk –simulaatio, valuutta- ja riskilukujen suhteellinen osuus lainasalkusta

Kuviossa 18 on kuvattu vuoden Profit at Risk -simulaation suurimmat riskifaktorit ja niiden suhteellinen informaatio portfoliotasolla. Kuten kuviosta havaitaan, näin mallinnettuna yrityksen suurimmat riskit muodostuvat valuuttakurssien vaihtelusta (dollari, punta ja norjan kruunu). Punta ja dollari on myöskin position painavimmat valuutat. Norjan kruunu nousee kuitenkin merkittäväksi riskitekijäksi vaikka sen paino-arvo viitisalkussa onkin melko pieni (4,9 %). Tämä johtuu kruunun melko voimakkaasta positiivisesta korrelaatiosta dollaria (0,43538) ja punttaa (0,49443) vastaan. Korot näyttäisivät jäävän vähemmälle huomiolle, kun tarkasteluhorisonttina käytetään yhtä vuotta. Tämä johtuu siitä, että vuoden horisontilla diskonttauskoron merkitys jää varsin vähäiseksi suhteessa valuuttakurssien muutoksiin.



KUVIO 18. Profit at Risk -simulaation riskifaktoreiden suhteellinen informaatio

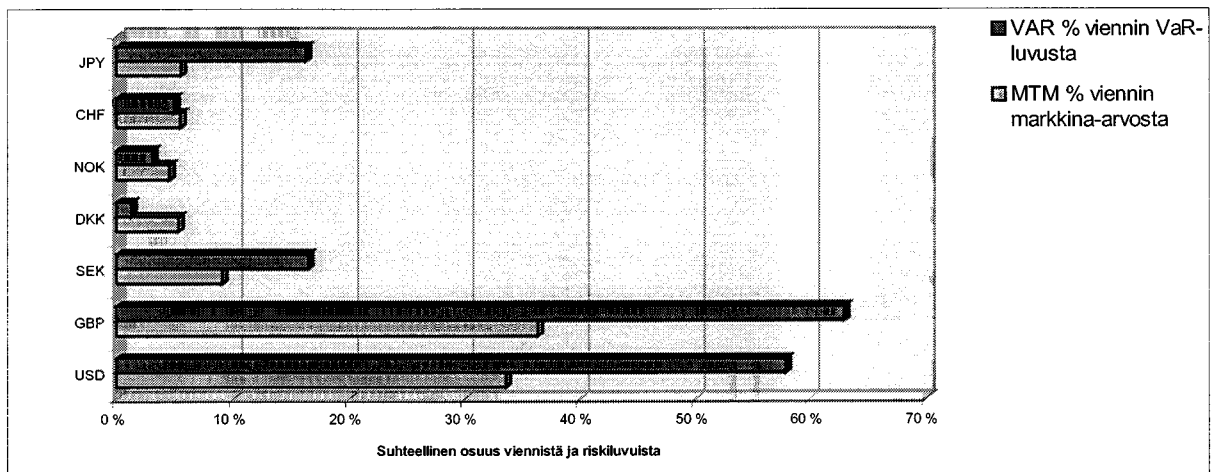
5.2.2 Cash Flow at Risk

Toinen yrityksen toimintaa koskeva kuvaus on ns. *Cash Flow at Risk*. Tässä lähestymistavassa yrityksen toiminta oletetaan jatkuvaksi ja liiketoiminta vakioksi. Mallissa ennustetaan yrityksen 15:n vuoden kassavirrat ja diskontataan ne nykyhetkeen puolivuositain. Mukana ovat myös joukkovelkakirjalainojen korkokulut ja laina maksetaan takaisin periodin lopussa. Taulukossa 9 on yhteenveto Cash Flow at Risk -simulaation tuloksista. Taulukon sarakkeet ovat vastaavat kuin taulukossa 8, eli vienti/laina valuutta, kassavirtojen nykyarvo, VaR-luku, VaR-luku suhteessa alla olevaan positioon sekä herkkyys.

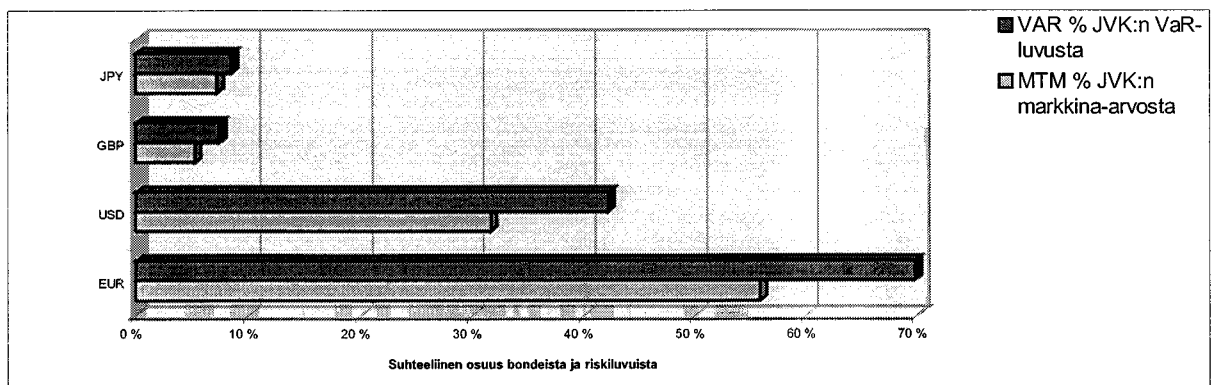
TAULUKKO 9. Cash Flow at Risk, 15 vuoden kassavirta

VIENTIVALUUTTA	MTM	VAR	VAR % MTM	HERKKYYS	
USD	29 419 500 000	15 978 288	0,05431	USD_EUR	0,25
				USD10Y	0,11
				GBP_EUR	0,10
GBP	31 843 400 000	17 395 827	0,05463	GBP10Y	0,25
				GBP5Y	0,23
				SEK5Y	0,13
SEK	7 953 433 334	4 538 198	0,05706	SEK_EUR	0,28
				SEK10Y	0,13
				SEK5Y	0,11
DKK	4 631 390 905	346 443	0,00748	DKK10Y	0,27
				EUR10Y	0,19
				NOK10Y	0,18
NOK	3 979 583 787	849 837	0,02135	NOK10Y	0,63
				NOK5Y	0,52
				DKK10Y	0,19
CHF	4 773 706 699	1 378 216	0,02887	CHF_EUR	0,28
				DKK_EUR	0,09
				CHF10Y	0,06
JPY	4 857 022 466	4 499 757	0,09264	JPY_EUR	0,53
				GBP_EUR	0,09
				JPY10Y	0,06
Vienti yht.	87 458 037 191	27 620 652	0,03158	USD_EUR	0,15
				GBP10Y	0,14
				GBP_EUR	0,11
JVK					
EUR	-2 839 340 000	4 517 202	0,15909	EUR10Y	0,82
				EUR5Y	0,41
				DKK10Y	0,26
USD	-1 609 950 000	2 729 435	0,16954	USD10Y	0,20
				USD5Y	0,17
				USD_EUR	0,16
GBP	-265 997 094	482 119	0,18125	GBP10Y	0,36
				GBP5Y	0,27
				SEK5Y	0,12
JPY	-367 389 251	548 134	0,14920	JPY_EUR	0,40
				JPY10Y	0,09
				GBP_EUR	0,05
JVK yht.	-5 082 676 345	6 472 157	0,12734	EUR10Y	0,27
				EUR5Y	0,22
				DKK10Y	0,20
Portfolio yht.	82 375 360 846	26 317 637	0,03195	USD_EUR	0,16
				GBP10Y	0,13
				GBP_EUR	0,11

Taulukossa 9 on yrityksen liiketoiminta mallinnettu 15:n vuoden kassavirroilla. Vientivirroista lasketun salkun markkina-arvo on 87,5 mrd. euroa. Viiden prosentin VaR -luvuksi saadaan 27,6 milj. euroa, joka on 0,032 %:a markkina-arvosta. Salkun suurimmat riskifaktorit ovat valuutoista dollari ja punta, sekä punnan 10-vuotinen korko. Lainasalkun markkina-arvo on 5,082 mrd. euroa ja VaR -luku 6,472 milj. euroa, joka on 0,127 %:a markkina-arvosta. Lainasalkun suurimmat riskifaktorit ovat eurokorot kymmeneltä ja viideltä vuodelta sekä Tanskan 10-vuotinen korko. Tanskan 10-vuotisen koron suuri merkitys johtuu sen voimakkaasta positiivisesta korrelaatiosta (0,52-0,82) punan, norjan kruunun ja euron pitkiä korkoja vastaan. Portfolion markkina-arvo on 82,375 mrd. euroa. Salkun VaR -luku on 26,3 milj. euroa, joka on 0,032 %:a markkina-arvosta. Portfolion suurimmat riskitekijät ovat dollarin ja punnan valuuttakurssit sekä punnan pitkä korko.



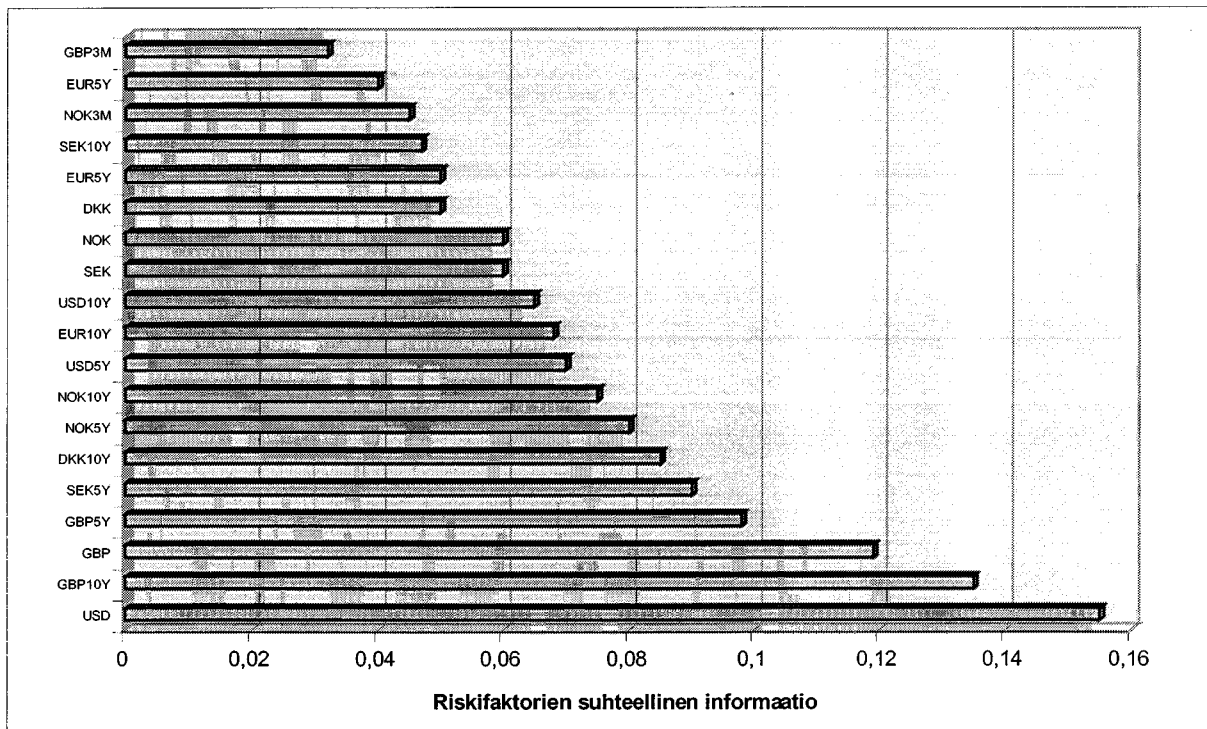
KUVIO 19. Cash Flow at Risk -simulaatio, valuutta- ja riskilukujen suhteellinen osuus vientisalkusta



KUVIO 20. CFaR -simulaatio, valuutta- ja riskilukujen suhteellinen osuus lainasalkusta

Kuviossa 19 on 15:n vuoden viennin kassavirtojen simulointitulokset, josta ilmenee vientivirran jakauma suhteessa markkina-arvoon (MTM %) ja riskilukujen jakauma (VAR %) vientivaluutoittain. Kuten kuviosta 19 nähdään, markkina-arvoltaan suurimmat vientivirrat muodostavat myös suurimmat riskit. Kuviossa 20 on esitetty joukkovelkakirjasalkun vastaavat jakaumat. Joukkovelkakirjalainasalkku poikkeaa vientisalkusta siten, että siinä on suuri euromääräinen laina ja tästä johtuvat korkokulut. 15:n vuoden periodilla kuitenkin korot nousevat nykyarvolaskennassa merkittävään osaan, joka näkyy myös euromääräisen joukkovelkakirjalainan riskiluvun kohoamisena verrattuna vuoden Cash Flow at Risk -simulaatioon. Näin yrityksen riskiasema mallinnettuna euromääräinen JVK -laina muodostaakin suurimman riskin, vaikka punnan riski onkin suurin suhteessa markkina-arvoon (VAR % MTM), taulukko 9.

Kuviossa 21 on kuvattu 15:n vuoden Cash Flow at Risk -simulaation suurimmat riskifaktorit ja niiden suhteellinen informaatio portfoliotasolla. Kuten kuviosta voi havaita, tällä tavalla kuvattuna yrityksen suurimmat riskit muodostuvat valuuttakurssien vaihtelusta (dollari ja punta) sekä pitkistä koroista (GBP10Y ja GBP5Y). Punta ja dollari on myöskin position painavimmat valuutat. Korot näyttävät suurempaa osaa kuin yhden vuoden horisontilla Profit at Risk -simulaatiossa. Tämä on seurausta siitä, että pidemmällä aikavälillä korot nousevat merkittävään asemaan johtuen nykyarvolaskennasta sekä korkojen vaihtelusta. Cash Flow at Risk -simulaatiossa eri riskitekijöiden painoarvo (suhteellinen informaatio) on paljon tasaisempi kuin lyhyemmän aikavälin Profit at Risk -simulaatiossa. Tämä on myöskin seurausta mallin matemaattisesta toteutuksesta, joka perustuu nykyarvojen laskemiseen diskonttauskorkojen avulla.

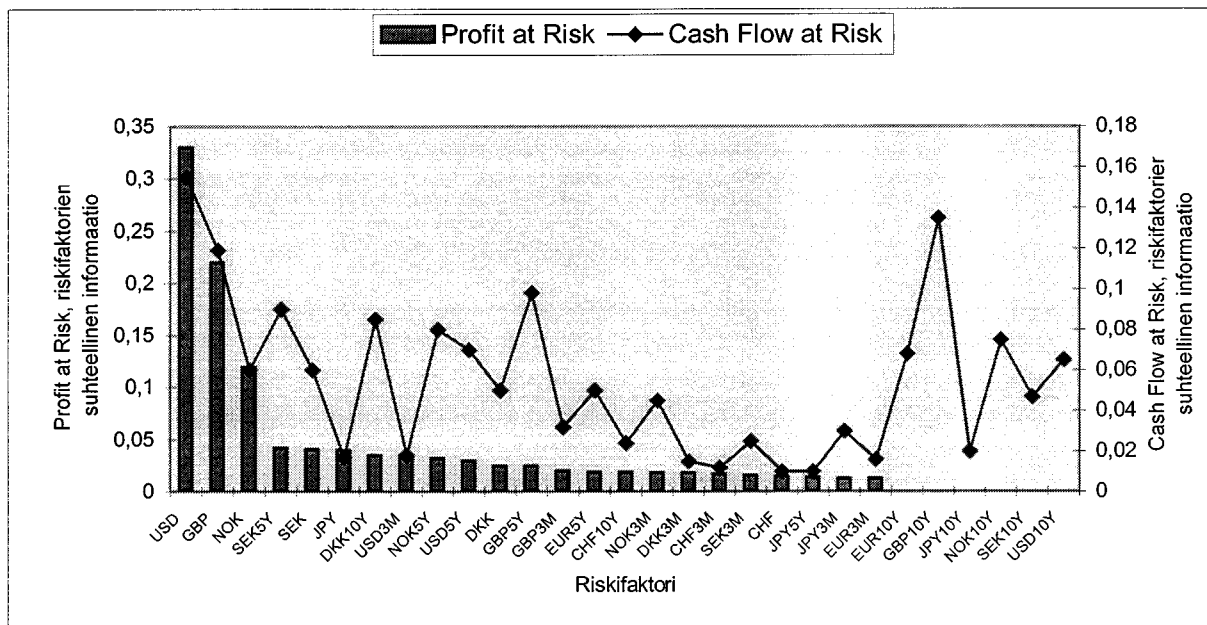


KUVIO 21. 15 vuoden Cash Flow at Risk -simulaation riskifaktoreiden suhteellinen informaatio

Taulukossa 10 on yhteenveto molempien kassavirtasimulaatioiden tilastollisista tunnusluvuista vuodelta (Profit at Risk) ja 15:tä vuodelta (Cash Flow at Risk). Taulukosta 10 ilmenee, että 15:n vuoden kassavirta-analyysissä riskiluku jää pienemmäksi suhteessa markkina-arvoon kuin vuoden analyysissä. Molemmat jakaumat ovat myöskin hieman negatiivisesti vinoja, eli ne sisältävät enemmän negatiivisia arvoja. Cash Flow at Risk simulaation jakauma on myös hieman huipukas. Simuloidut jakaumat eivät siis ole normaalisti jakautuneet, jolloin oletus tuottojen jakautumisesta normaalisti ei pidä paikkaansa tällä aineistolla. Profit at Risk –simulaation jakauma on negatiivisesti vino ja suhteellisen leveä jakauma, jolloin suhteellinen riskiluku (VaR % MTM) muodostuu suuremmaksi kuin lähempänä normaalijakaumaa olevassa Cash Flow at Risk -simulaatiossa.

TAULUKKO 10. Profit at Risk ja Cash Flow at Risk -simulaatioiden tilastolliset tunnusluvut

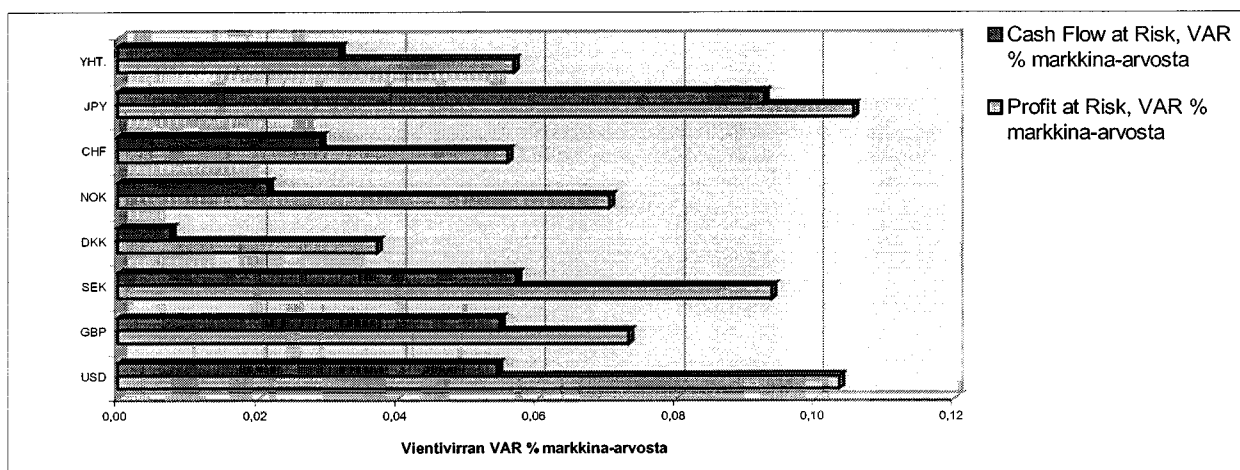
Tilastolliset tunnusluvut	Profit at Risk	Cash Flow at Risk
VaR	4 459 369	26 317 637
5 % alaraja	3 661 585	7 832 786
5 % yläraja	8 147 833	53 495 281
VaR % MTM	0,05727	0,03195
5 % alaraja MTM	0,04692	0,00951
5 % yläraja MTM	0,10441	0,06494
Instrumenttien määrä portfoliossa	11	11
Simulointi kierroksia	500	500
Keskiarvo	2 168	42 747 322
Keskihajonta	2 836 533	36 270 515
Vinous	-0,02317	-0,22758
Huipukkuus	-0,00722	0,29387
Minimi	-8 182 506	-58 092 214
Mediaani	-34 822	43 345 617
Maksimi	8 724 899	153 185 880



KUVIO 22. Profit at Risk ja Cash Flow at Risk -mallien riskifaktoreiden suhteellinen informaatio

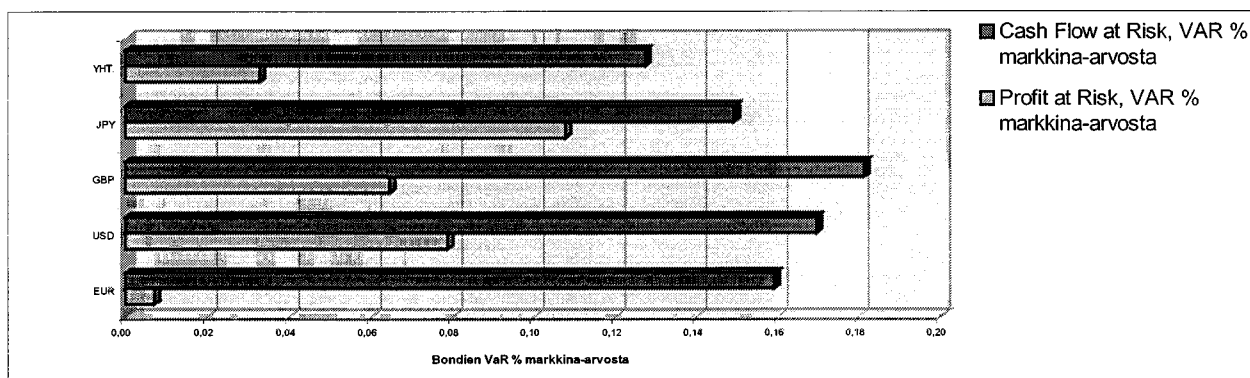
Kuviosta 22 voidaan havaita kuinka suuri merkitys on menetelmän valinnalla. Molemmat VaR -mallit antavat hyvin erilaisen kuvan yrityksen suurimmista riskitekijöistä ja johtaa näin ollen erilaisiin toimenpidesuosituksiin. Lyhyellä aikavälillä (Profit at Risk) valuuttakurssit ovat tärkeimmät riskitekijät, mutta pidemmällä aikavälillä niiden suhteellinen merkitsevyys pienenee

ja rinnalle nousevat pitkät korot. Tämä johtuu diskonttauskoron käyttämisestä nykyarvolaskennassa, jolloin pitkällä aikavälillä korkojen vaihtelu vaikuttaa merkittävästi nykyarvoon (markkina-arvoon). Kuviossa 23 on kuvattu vielä VaR-lukujen suhteelliset osuudet vientisalkun markkina-arvosta. Profit at Risk -analyysissä riskiluvut ovat suhteellisesti suurempia kuin pidemmällä aikavälillä.



KUVIO 23. VaR-mallien riskilukujen prosenttiosuudet vientisalkun markkina-arvosta

Kuviossa 24 on vastaavasti VaR-lukujen suhteelliset osuudet lainasalkun markkina-arvosta. Joukkovelkakirjalainojen suhteelliset riskiluvut kasvavat tarkasteluajanjakson kasvaessa. Tämä johtuu siitä, että ainakin tutkimuksen aineistolla koroilla on suurempi volatilitiitti kuin valuuttakursseilla. Tällöin korkotason muutokset ovat suurempia ja pitkällä aikavälillä se vaikuttaa merkittävästi nykyarvolaskentaan.



KUVIO 24. VaR-mallien riskilukujen prosenttiosuudet lainasalkun markkina-arvosta

5.2.3 Nurkkaluku

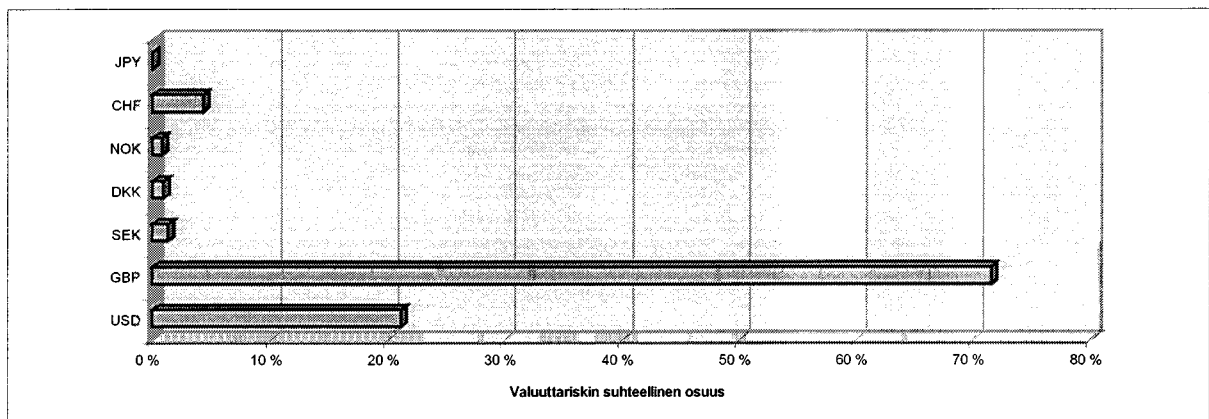
Kolmantena lähestymistapana mukaan otettiin myös *nurkkaluku*. Se on aikaisemmin hyvin yleisesti käytössä ollut menetelmä, erityisesti pohjoismaisissa metsäteollisuusyrityksissä. Nurkkaluvulla analysoitiin kiinteiden valuuttakurssien aikana devalvaatoriskiä. Sitä on kuitenkin vaikea verrata VaR -malleihin, koska se ei ota huomioon eri riskitekijöiden välisiä vuorovaikutuksia. Nurkkaluku on muodostetaan vähentämällä vuoden vientivirran nykyarvosta lainojen nykyarvo, josta saadaan nettopositio. Vientivirran nykyarvo on sama kuin Profit at Risk -menetelmässä ja lainojen arvo on sama kuin Cash Flow at Risk -menetelmässä. Nettopositio on kerrottu kunkin valuutan 10 %:n valuuttakurssin muutoksella ja näiden muutosten summa on ns. nurkkaluku. Taulukossa 11 toisessa sarakkeessa on valuutoittain muodostettu nettopositio. Kolmannessa sarakkeessa on 10 % valuuttakurssin muutoksen tuoma valuuttariski euromääräisenä. Viimeisessä sarakkeessa on riskilukujen prosenttiosuudet kokonaisriskistä.

TAULUKKO 11. Nurkkaluvun muodostaminen nettopositiosta

VALUUTTA	NETTOPOSITIO	RISKI 10 %	PROSENTTI
USD	1 193 128 734	-128 508 971	21,0936 %
GBP	2 720 749 297	-436 135 875	71,5880 %
SEK	707 387 376	-7 995 054	1,3123 %
DKK	424 431 102	-5 689 320	0,9339 %
NOK	399 754 408	-4 840 838	0,7946 %
CHF	397 928 828	-26 047 920	4,2755 %
JPY	-13 549 001	-12 761	0,0021 %
Yht.	5 829 830 744	-609 230 738	10,45 %

Taulukossa 11 nettopositiosta määritetty nurkkaluku 10 %:n mukaan antaa varsin erilaisen kuvan yrityksen riskiasemasta kuin kassavirtoihin perustuvat VaR -mallit. Tässä mallissa avoimeksi nettopositioksi saadaan noin 5,829 mrd. euroa ja valuuttakurssi riskiksi 609 milj. euroa, joka on 10,45 %:a nettopositiosta. Kuva yrityksen riskiasemasta on hyvin erilainen verrattuna vuoden Profit at Risk malliin, jossa riski oli 4,469 milj. euron luokkaa. Pidemmässä Cash Flow at Risk analyysissä riskiluvuksi saatiin 26,317 milj. euroa, joka sekin on huomattavasti nurkkalukua pienempi. Nurkkalukuanalyysi antaa suuren painon punnalle (71,6

%) ja dollarille (21,1 %), muut valuuttakurssit jäävät varsin vähälle huomiolle verrattuna VaR - malleihin. Nurkkaluku painottaa erityisen paljon puntaa, vaikkakin positio on dollaripainotteinen. Tämä johtuu siitä, että salkussa on suhteellisen suuri dollarimääräinen joukkovelkakirjalaina, joka pienentää dollarimääräistä nettopositiota. Kuviossa 25 on kuvattuna riskitekijät suhteessa nettopositioon. Kuvattaessa yrityksen riskiasemaa nurkkaluvulla, johtaa se suureen puntariskiin dollarin merkityksen jäädessä aika pieneksi. VaR -mallit antoivat suuremman painon dollarille, mikä kuvaakin paremmin yrityksen positiota.



KUVIO 25. Nurkkaluvun riskifaktoreiden suhteellinen informaatio

Nurkkaluku kuuluu ei-parametriseen lähestymistapaan ja sen hinnoittelusta puuttuu todelliset hinnoittelufunktiot. Taustatekijöiden muutosta arvioidaan subjektiivisesti eikä se perustu tilastolliseen mallintamiseen. Lähestymistavan suurin puute on kuitenkin se, että se jättää portfolion eri instrumenttien väliset korrelaatiot kokonaan huomioimatta. Portfolion riskin arvioiminen perustuu kuitenkin olennaisilta osin muuttujien välisiin korrelaatioiden laskemiseen. Tämä johtaa siihen, että useinkaan mallin antamia tuloksia ei voida pitää kovinkaan luotettavina.

5.3 Tulosten yhteenveto

Tässä luvussa käydään vielä läpi tutkimuksen tärkeimmät tulokset yhteenvedonomaisesti. Taulukossa 12 on kuvattuna vientisalkun, joukkovelkakirjalainasalkun (JVK) ja portfolion riskiluvut suhteutettuna alla olevaan positioon. Taulukossa on myös kunkin mallin viisi suurinta riskitekijää. Tästä voidaan havaita, että lähestymistavan valinta vaikuttaa huomattavasti siihen, mitkä muodostuvat yrityksen suurimmiksi riskitekijöiksi. Nurkkaluku jättää kokonaan huomioimatta riskifaktoreiden välisen vuorovaikutuksen. Kuten taulukosta 12 voidaan havaita, mallin valinta vaikuttaa merkittävästi käsitykseen yrityksen riskiasemasta. VaR -mallit nostavat suurimmiksi riskitekijöiksi dollarin ja punnan sekä niiden korot pidemmällä horisontilla. Nurkkaluku antaa merkittävän painon punnalle jättäen muiden valuuttojen merkityksen melko pieneksi. Siinä nettovienti on 8 073 milj. euroa ja nurkkaluku on 825 milj. euroa. Tästä tulee 10,22 %. JVK:n osalta vastaavat luvut ovat 2 223 milj. euroa ja 216 milj. euroa, 9,62 %. Tämä johtuu suuresta dollarimääräisestä joukkovelkakirjalainasta, joka pienentää dollarimääräistä nettopositiota.

TAULUKKO 12. Yhteenveto menetelmien tuloksista, riskiluvut suhteessa alla olevaan positioon sekä viisi merkittävintä riskitekijää

	Profit at Risk, VaR		Cash Flow at Risk, VaR		Nurkkaluku	
Vienti	0,05667		0,03158		10,22	
JVK	0,03266		0,12734		9,62	
Portfolio yht.	0,05727		0,03195		10,45	
Suurimmat riskitekijät	USD	0,32	USD	0,155	GBP	0,716
	GBP	0,22	GBP10Y	0,135	USD	0,211
	NOK	0,12	GBP	0,119	CHF	0,043
	SEK5Y	0,04	GBP5Y	0,098	SEK	0,013
	JPY	0,04	SEK5Y	0,09	DKK	0,009

Profit at Risk -malli nosti dollarin ja punnan kohdeyrityksen merkittävimmäksi riskitekijöiksi. Cash Flow at Risk -mallissa dollarin ja punnan pitkät korot nousivat merkittäviksi riskitekijöiksi valuuttakurssien rinnalle. Nurkkaluvulla mallinnettaessa merkittävimmäksi riskitekijäksi nousi punta, dollarin paino jäi huomattavan pieneksi verrattuna Value at Risk -malleihin. Tutkittavalla aineistolla menetelmien antamat tulokset eroavat merkittävästi

toisistaan. Ne antavat hyvin erilaisen kuvan yrityksen riskiasemasta johtaen erilaisiin toimenpidesuosituksiin.

Mallien tuottamat VaR-luvut ovat melko pieniä. Tämä johtuu lähinnä kahdesta seikasta. Ensimmäkin volatilisuuhestimoinnissa käytetty EWMA –menetelmä painottaa viimeisimpiä havaintoja ja aineisto on kuukausiaineisto. Toinen merkittävä seikka on talouskasvu. Valuuttamarkkinoilla on viimeaikoina ollut varsin vakaata aikaa, johtuen USA:n ja Euroopan vakaasta talouskasvusta. Samalla odotettiin myös euron tuloa markkinoille, joka osaltaan laskee volatilitteettia. Aasian ja Venäjän kriiseistä 1997-1998 on jo sen verran aikaa, että niiden vuosien volatiilit markkinat jäävät melko pienelle painoarvolle EWMA –menetelmällä estimoitaessa. Edellä mainituista johtuen valuuttamarkkinat eivät ole kovin volatiilit, jolloin myös riskitaso jää matalaksi.

Rahoitusteorian mukaan Cash Flow at Risk on perustelluin malli, sillä minkä tahansa varojen arvo on kaikkien sen tulevien kassavirtojen nykyarvo (Megginson 1997, 165). Tätä voidaankin pitää ideaalisena mallina, vaikkakin tulevien kassavirtojen arviointi riittäväällä varmuudella on erittäin hankalaa. Profit at Risk –mallin luotettava rakentaminen on huomattavasti yksinkertaisempaa, sillä se sisältää lainojen hoitokustannukset, jotka tiedetään suhteellisen hyvin. Myös yrityksen kassavirtojen arvioiminen vuoden horisontille on myös luotettavampaa kuin koko elinkaaren kassavirtojen ennustaminen. Yrityksen käyttökelpoinen malli voisi olla jotakin tältä väliltä. Nurkkaluvussa skenaariot tuotetaan ad hoc –periaatteella, jolloin se ei tuota arviota markkinatilanteiden todennäköisyyksistä. Menetelmä jättää myös eri riskitekijöiden väliset korrelaatiot huomioimatta. Value at Risk –menetelmä on näin ollen selkeästi parempi vaihtoehto, vaikkakin se sisältää joitakin oletuksia ja yksinkertaistuksia markkinoiden toiminnasta.

On kuitenkin tärkeää ymmärtää, että lyhyen ja pitkän aikavälin ennustamiseen liittyy muutamia ongelmia. Usein käytetty yksinkertaisin oletus on se, että lyhyen aikavälin ennustemenetelmät eivät sovellu pitkälle aikavälille²³. Kolme yleisintä oletusta ovat (Kim, Malz & Mina 1999, 3):

²³ Pitkällä aikavälillä tarkoitetaan usein yli kahta vuotta.

- Tuottojen keskiarvon voidaan olettaa olevan nolla. Tällä oletuksella hylätään pitkän aikavälin ylös- ja alaspäin menevät trendit, kuten osinkojen kasvu tai rahan aika-arvo.
- Perättäisten päivittäisten tuottojen täytyy olla sama ja riippumaton toisistaan. Tämä viittaa siihen, että tuoton varianssi on ajan lineaarinen funktio.
- Tuotot seuraavat jonkinlaista satunnaiskulkua ja ovat normaalijakautuneet.

Tutkimuksen tuloksia voidaan pitää suuntaa antavina, sillä aineisto on varsin pieni johtuen kuukausiaineistosta. Toinen merkittävä seikka on position luotettava määrittäminen. Tässä positio määritettiin yrityksen itsensä ennustamista nettovaluuttavirroista vuodeksi eteenpäin. Cash Flow at Risk -analyysissä positio määritettiin viideksitoista vuodeksi eteenpäin kertomalla nettovaluuttavirrat viidellätoista. Näin ollen yrityksen toiminta oletettiin vakioksi pitkälle tulevaisuuteen, joka johtaa ennustevirheisiin. Joukkovelkakirjalainat olivat helpompi mallintaa, sillä ne olivat kiinteäkorkoisia, maturiteetti ja korkomaksut tiedossa. Tosin myös pääomarakenteen oletettiin säilyvän muuttumattomana.

Edellisistä johtuen tulosten yleistettävyys on hieman kyseenalaista, mutta samanlaisten ratkaisujen eteen joudutaan jokaisessa yrityksessä toimialasta riippumatta. Näin ollen tulokset siitä, että menetelmät tuottavat erilaisen kuvan yrityksen riskiasemasta ja johtavat toisistaan eroaviin toimenpidesuosituksiin pitää paikkansa. Menetelmävalinnan vaikutusta voidaan pitää merkittävänä, se on myös näiltä osin yleistettävissä. Tarkempiin tuloksiin pyrkiminen edellyttää jatkotutkimusta mm. tuottojen noudattamasta jakaumasta ja oletusten voimassaolosta. Myös mahdolliset riskitekijöiden väliset korrelaatiot ja niiden muuttuminen ajassa vaikuttaa merkittävästi riskin muodostumiseen portfoliotasolla. Yrityksen suurimpana haasteena voidaan kuitenkin pitää luotettavan ja ajan tasalla olevan riskiposition määrittelyä.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen tavoitteena on kuvata metsäteollisuusyrityksen valuutta- ja korkoriskiä Value at Risk -menetelmällä. Value at Risk -laskentaa käytetään portfoliotason riskienhallinnan käytännön apuvälineenä treasury-ympäristössä. Tutkimus tarjoaa kokonaisnäkökulman yrityksen markkinariskeistä, Value at Risk -menetelmien teoreettisesta rakenteesta, sekä menetelmien soveltuvuudesta osaksi metsäteollisuusyrityksen markkinariskienhallintajärjestelmää. Tutkimusongelmana on selvittää, kuinka eri menetelmien antamat tulokset eroavat toisistaan ja millaisiin toimenpidesuosituksiin ne johtavat.

Tutkimuksessa tarkastellaan riskienhallinnan taustaa, historiaa ja riskin mittausta. Tämän jälkeen johdetaan Value at Risk -luku yleiselle ja parametriselle jakaumalle. Tarkkuus- ja kattavuusvaatimusten myötä on kehitetty erilaisia Value at Risk -menetelmiä. Ne lähtevät yksinkertaisista analyttisistä menetelmistä ja päätyvät monimutkaisiin simulointimenetelmiin. Menetelmiä arvioidaan markkinoiden oletuksien, instrumenttien hinnoittelun, mallin informaation ja rakentamisen mukaan. Kaikki menetelmät perustuvat käsitykseen riskifaktoreiden tuottojen noudattamasta tilastollisesta mallista. Tämän vuoksi volatilisuuksestimointi nousee tärkeään rooliin riskienhallintajärjestelmiä rakennettaessa. Tutkimuksessa esitellään kolme yleisimmin käytössä olevaa estimointimenetelmää, joilla varianssi- ja kovarianssiennusteet lasketaan. Näitä ovat liukuvan keskiarvon menetelmät (EWMA), ennustevirheisiin perustuvat menetelmät (GARCH) ja optioiden hinnoista johdetut implisiittiset menetelmät.

Tutkimuksessa esitellään neljä erilaista Value at Risk -menetelmää. Kaksi ensimmäistä kuuluvat analyttisiin menetelmiin, jotka ovat delta ja delta-gamma. Niiden perustana on tilastotieteelliset sovellukset eri riskikategorioiden välisistä korrelaatioista. Menetelmät ovat normaalijakaumaan perustuvia (lineaarisia) malleja. Simulaatioon perustuvista malleista ensimmäinen on historiallinen simulaatio. Sillä ei ole normaalijakauma oletusta, vaan se perustuu suoraan vanhan markkinadatan uudelleen käyttöön. Toinen simulaatioihin perustuva malli on Monte Carlo -simulaatio, jossa tuotot simuloidaan historiallisen käytön sijaan. Sitä

voidaan pitää joustavuutensa ja muokattavuutensa ansiosta tarkimpana. Esille tulevat myös Value at Risk –menetelmien sovellettavuuden rajoitteet, joita ovat puutteet tilastollisissa oletuksissa sekä malliriskit.

Tavoitteen mukaisesti selvitetään, kuinka Value at Risk –menetelmää voitaisiin soveltaa metsäteollisuusyrityksen markkinariskienhallinnassa. Tämän vuoksi tutustutaan riskinhallintaan yrityksen näkökulmasta, joka on monimutkaisempaa kuin pelkässä rahoitusympäristössä. Yrityksen markkinariski sisältää myös liiketoimintariskin, joka tekee riskienhallintajärjestelmästä monimutkaisen prosessin. Yritysten suurimpana haasteena on tulevien kassavirtojen ennustaminen ja arvostaminen markkina-arvoon.

Empiirisessä osuudessa yrityksen markkinariskienhallintajärjestelmän rakentaminen aloitetaan position tunnistamisella. Yrityksen positio kuvataan sen ennustamalla vuoden viennin nettovaluuttavirroilla (transaktiopositio), sekä nettolainapositiona (joukkovelkakirjalainojen kassavirta = lainojen korkomaksut + lyhennykset). Valuuttapositionien alla olevaa riskiä kuvastaa kussakin valuutassa nettokassavirta ja nettolainapositio. Yrityksellä on kiinteäkorkoisia joukkovelkakirjalainoja, jolloin korkovirtariskiä ei synny lainan voimassaoloaikana. Korkoriski voidaan nähdä hintariskinä, jolloin saatavan ja velan nykyarvo muuttuu korkotason muuttuessa. Yrityksellä on pitkäaikaisia kiinteäkorkoisia joukkovelkakirjalainoja, joka johtaa suureen hintariskiin. Diskonttauskoron muuttuessa lainojen vaihtoehtoiskustannus kasvaa.

Liiketoiminnan harjoittamisessa syntyvää riskiasemaa kuvataan Value at Risk –menetelmällä vuoden ja 15:n vuoden tarkasteluajanjaksolla. VaR -luvut lasketaan normaalijakaumaan perustuvalla Monte Carlo -simulaatiolla käyttäen historiallista varianssi-kovarianssimatriisia. Se laskettiin valuutta ja korkonoteerauksista eksponentiaalisen painotuksen menetelmällä (EWMA, decay 0,97). Aineisto on historiallinen kuukausiaineisto, 31.3.1994-28.12.2000. Monte Carlo -simulaation todettiin olevan paras vaihtoehto lähinnä siksi, että siinä voidaan käyttää todellisia hinnoittelufunktioita. Estimointimenetelmän valintaan vaikutti kolme keskeistä seikkaa, yksinkertaisuus, nopeus ja hyvä sovellettavuus käytännössä. Painokertoimena käytettiin 0,97,

jota myös J. P. Morgan suosittaa käytettäväksi kuukausiaineistolle. Vertailukohteena käytetään myös nurkkalukua, joka ottaa huomioon vain valuuttakurssiriskin.

Yrityksen riskiasemaa kuvataan kolmella eritavalla. Kaksi ensimmäistä mallia perustuu kassavirtoihin ja niiden nykyarvon laskemiseen. Vuoden pituisessa Profit at Risk -mallissa ennustetaan yrityksen vientivirran nykyarvo (nettovaluuttavirta), josta vähennetään lainojen korkokulut. Cash Flow at Risk -mallissa yrityksen toiminta oletetaan jatkuvaksi ja ennustetaan liiketoiminnan kassavirta 15:lle vuodelle. Kolmas lähestymistapa, nurkkaluku, jättää huomioimatta riskitekijöiden väliset korrelaatiot. Nurkkaluvussa muodostetaan nettopositio valuutoittain. Nurkkaluku on nettopositio, joka on huomioitu valuuttakurssien haitallisella muutoksella (10 %), devalvaatoriski.

Profit at Risk -malli nosti dollarin ja punnan kohdeyrityksen merkittävimmäksi riskitekijöiksi. Cash Flow at Risk -mallissa dollarin ja punnan pitkät korot nousivat merkittäviksi riskitekijöiksi valuuttakurssien rinnalle. Tämä on seurausta pidemmästä tarkasteluhorisontista, jolloin diskonttauskorot nousevat merkittävään asemaan. Nurkkaluvulla mallinnettaessa merkittävimmäksi riskitekijäksi nousi punta, dollarin painoarvo jäi huomattavan pieneksi verrattuna Value at Risk -malleihin. Tämä johtuu suuresta dollarimääräisestä joukkovelkakirjalainasta, jolloin dollarimääräinen nettopositio pienenee. Tutkittavalla aineistolla menetelmien antamat tulokset eroavat merkittävästi toisistaan. Näin ollen ne antavat hyvin erilaisen kuvan yrityksen riskiasemasta johtaen erilaisiin toimenpidesuosituksiin.

Mallien tuottamat VaR-luvut jäävät melko pieniksi. Tämä johtuu lähinnä kahdesta seikasta. Ensinnäkin USA:n ja Euroopan viimevuosien vakaasta talouskasvusta. Samalla odotettiin euron tuloa markkinoille. Aasian ja Venäjän 1997-1998 valuuttakriiseistä on jo muutamavuosi ja markkinat ovat rauhoittuneet tältä osin. Toinen merkittävä seikka on volatilisuuhestimoinnissa käytetty EWMA -menetelmä, joka painottaa viimeisimpiä havaintoja. Edellä mainituista johtuen valuuttamarkkinat eivät ole kovin volatiilit, jolloin myös riskitaso jää melko matalaksi.

Rahoitusteorian mukaan Cash Flow at Risk -menetelmää voidaan pitää teoreettisesti vankimpana. Sen mukaan minkä tahansa varojen arvo on kaikkien sen tulevien kassavirtojen

nykyarvo. Tätä voidaankin pitää ideaalisena mallina, vaikka tulevien kassavirtojen ennustaminen luotettavasti onkin erittäin hankalaa. Yrityksen kassavirtojen ennustaminen vuoden horisontille on luotettavampaa kuin koko elinkaaren kassavirtojen ennustaminen. Yrityksen käyttökelpoinen malli voisi olla jotakin tältä väliltä. Nurkkaluku tuottaa yrityksen riskiasemasta varsin karkean kuvan, sillä se jättää huomioimatta eri riskitekijöiden välisen vuorovaikutuksen. Menetelmä ei myöskään tuota arviota eri markkinatilanteiden todennäköisyyksistä. Näillä perusteilla nurkkaluku ei vastaa tämän päivän riskienhallintavaatimuksia.

Luotettavien tuloksien saamiseksi aineiston tulisi olla riittävän suuri. Tutkimuksessa käytettävä aikasarja-aineisto on ajalta 31.3.1994-28.12.2000, jolloin kuukausittaisia havaintoja tulee vain 83 kappaletta. Riskitekijöitä mallissa oli 30, joten pidemmän aikasarjan käyttö johtaisi todennäköisesti vakaampiin tuloksiin. Toisaalta pitkissä aikasarjoissa havainnot vanhenevat ja ne eivät ole riittävän luotettavia kuvaamaan tulevaisuutta. Aikasarjojen pituus on aina kompromissi vakauden ja luotettavuuden suhteen. Aineistosta ja position määrittämisestä johtuen tutkimuksen tuloksia voidaan pitää suuntaa antavina.

On kuitenkin hyvä havaita, että Value at Risk –mallin käyttöönotto yritysympäristössä ei ole täysin ongelmaton. Yrityksen kassavirtojen määrän ja ajankohdan ennustaminen pitkälle tulevaisuuteen voi olla melko hankalaa, tällöin avointa positiota ei tarkasti tunneta. Tarkempiin tuloksiin pyrkiminen edellyttää jatkotutkimusta mm. tuottojen noudattamasta jakaumasta ja oletusten voimassaolosta. Myös mahdolliset riskitekijöiden väliset korrelaatiot ja niiden muuttuminen ajassa vaikuttaa merkittävästi riskin muodostumiseen portfoliotasolla. Tämä koskee erityisesti markkinoilla tapahtuvia häiriöitä ja shokkeja. Tällöin yleensä riskitekijöiden välinen korrelaatorakenne muuttuu merkittävästi, tällöin ne voivat saada lähes mitä tahansa arvoja. Yrityksen suurimpana haasteena voidaan kuitenkin pitää luotettavan ja ajan tasalla olevan riskiposition määrittelyä. Monissa yrityksissä onkin alettu soveltaa Value at Risk –menetelmää. Menetelmän rakentaminen kannattaa kuitenkin aloittaa helposti määritettävistä instrumenteista ja laajentaa sitä kokemuksen karttuessa edelleen esim. hyödykkeen hintariskiin.

LÄHTEET

- Ahlstedt, M. 1998. Analysis of Financial Risk in a GARCH Framework. Bank of Finland Studies. E:11. Helsinki: Oy Trio Offset Ab.
- Alexander, C. 1999. Risk Management and Analysis. Vol. 1: Measuring and Modelling Financial Risk. New York: John Wiley & Sons.
- Allen, D. 1998. Currency risk: The plot thickens. Management Accounting 76, 29-31.
- Baillie, R. T. & Bollerslev, T. 1990. Intra-Day and Inter-Market Volatility in Foreign Exchange Rates. Review of Economic Studies. 58, 565-585.
- Batlin, C. & Schachter, B. 2000. The Ten Great Challenges of Risk Management. Risk. April.
- Benninga, S. 2000. Financial Modelling. Uses EXCEL. London: The MIT Press.
- Basel Committee on Banking Supervision 1996. Amendment to the Capital Accord to Incorporate Market Risk.
- Black, F. 1972. Capital Market Equilibrium with Restricted Borrowing. Journal of Business. July, 444-455.
- Black, F. & Scholes, M. 1973. The Pricing of Options and Corporate Liabilities. Journal of Political Economy. May/June, 637-659.
- Bollerslev, T. 1986. Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity. Journal of Econometrics. 31, 307-327.
- Bollerslev, T. 1987. A Conditional Heteroskedastic Model for Speculative Prices and Rates of Return. Review of Economics and Statistics. 69, 542-547.
- Cassidy, S. M., Constant, R. L. & Corbett, R. B. 1990. The Market Value of the Corporate Risk Management Function. Journal of Risk and Insurance. 57, 664-671.
- Cho, D. 1988. The Impact of Risk Management Decision on Firm Value: Gordons Growth Model Approach. Journal of Risk and Insurance. 55, 118-131.
- Copeland, T. E. & Weston, J. F. 1983. Financial Theory and Corporate Policy. London: Addison-Wesley.
- Cox, J., Ingersoll, J. & Ross, S. 1985. A Theory of the Term Structure of Interest Rates. Econometrica. 385-407.

- Danielsson, J. & de Vries, C. G. 1997. Tail Index and Quantile Estimation with Very High Frequency Data. *Journal of Empirical Finance*. No. 4, 241-257.
- Danielsson, J., Hartmann, P. & de Vries, C. G. 1998. The Cost of Conservatism: Extreme Returns, Value at Risk and the Basle "Multiplication Factor". *Risk*. Vol 11. No. 1, 101-103.
- Diebold, F. X. & Nerlove, M. 1989. The Dynamics of Exchange Rate Volatility: Multivariate Latent Factor ARCH Model. *Journal of Applied Econometrics*. 4, 1-21.
- Engle, R. F. 1982. Autoregressive conditional heteroscedasticity with estimates of the variance of UK inflation. *Econometrica*. 50, 987-1007.
- Fama, E. F. 1965. The Behavior of Stock Market Prices. *Journal of Business*. 38, 34-105.
- Fama, E. F. 1976. *Foundations of Finance*. Basic Books. New York.
- GARP 1996. *Generally Accepted Risk Principles*.
- Gordon, M. J. 1959. Dividends, Earnings and Stock Prices. *Review of Economics and Statistics*. May 41, 99-105.
- Group of Thirty (G-30) 1993. *Derivatives: Practices & Principles*.
- Hakkarainen, A. & Saarinen, S. 1993. *Suomalaisyrityksen valuuttahallinto muuttuvassa valuuttaympäristössä*. Jyväskylän yliopisto, pro gradu -tutkielma.
- Hayt, S & Song, S. 1995. Handle With Sensitivity. *Risk*. September, 94-99.
- Helokivi, T. 1993. *Yrityksen valuuttariskien hallinta*. Jyväskylän yliopisto, pro gradu -tutkielma.
- Hendrics, D. 1996. Evaluation of Value-at-Risk Models Using Historical Data. FRBNY Economic Policy Review. April, 39-70.
- Hirsijärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 2000. *Tutki ja kirjoita*. Helsinki: Tammi.
- Hoppe, R. 1998. VaR and the Unreal World. *Risk*. July, 45-50.
- Hsieh, D. 1988. The Statistical Properties of Daily Foreign Exchange Rates: 1974-1983. *Journal of International Economics*. 24, 129-145.
- Hull, J. 1997. *Options, Futures and Other Derivatives*. Prentice Hall.
- Hyry, M. 1995. *Valuuttariskien hallinta valuuttakurssiepävarmuudessa*. Jyväskylän yliopisto, pro gradu -tutkielma.
- Ingersoll, J. E. 1987. *Theory of Financial Decision Making*. Rowman & Littlefield.
- Jauri, O. 1997. *Riskienhallinta uudesta näkökulmasta*. Helsinki: Kauppakaari Oy.

- Jorion, P. 1997. Value at Risk: New Benchmark for Controlling Market Risk. New York: McGraw-Hill.
- Kallunki, J., Kytönen, E. & Martikainen, T. 1998. Uusi tilinpäätösanalyysi. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- Kasanen, E., Lundström, T., Puttonen, V. & Veijola, R. 1997. Rahoitusriskit yrityksessä. Porvoo: WSOY.
- Kendall, M. 1994. Kendall's Advanced Theory of Statistics. New York: Halsted Press.
- Kim J., Malz A. M. & Mina J. 1999. LongRun Technical Document, 1st ed., New York: RiskMetrics Group.
- Koskela, J. & Ritvanen, J. 2000. Äärimmäiset markkinamuutokset ja value at risk. Jyväskylän yliopisto, pro gradu -tutkielma.
- Kupiec, P. H. 1995. Techniques for Verifying the Accuracy of Risk Measurement Models. Journal of Derivatives. 3, 73-84.
- Kupiec, P. H. 1998. Stress testing in a Value at Risk framework. The Journal of Derivatives. 6, 7-24.
- Lee, A. 1999. CorporateMetrics Technical Document. 1st ed. New York: RiskMetrics Group.
- Leppiniemi, J. & Puttonen, V. 1996. Yrityksen rahoitus. Porvoo: WSOY.
- Liljeström, C., Valve, M. & Venäläinen, P. 2000. Pan-European Study of Financial Risk Information in 1999 Annual Reports of Corporates. Trema Management Consulting.
- Lim, G. C., Lye, J. N., Martin, G. M. & Martin, V. L. 1998. The Distribution of Exchange Rate Returns and Pricing of Currency Options. Journal of International Economics 45.
- Litner, J. 1965. The Valuation of Risk Assets and the Selection of Risky Investments in Stock Portfolios and Capital Budgets. The Review of Economics and Statistics. February, 13-37.
- Litner, J. 1969. The Aggregation of Investor's Diverse Judgments and Preferences in Purely Competitive Security Markets. Journal of Financial and Quantitative Analysis. December, 347-400.
- Macaulay, F. R. 1938. Some Technical Problems Suggested by the Movements of Interest Rates Bond Yields and Stock Prices in the United States Since 1856. New York: National Bureau of Economic Research.

- Mandelbrot, B. 1963. The Variations of Certain Speculative Prices. *Journal of Business*. 36, 394–419.
- Markowitz, H. M. 1952. Portfolio Selection. *Journal of Finance*. March 7, 77-91.
- McNeil, A. J. 1999. Extreme Value Theory for Risk Managers.
- McNew, L. 1996. So Near, So VaR. *Risk*. Vol 9. No. 10, 54-56.
- Meggison, W. L. 1997. *Corporate Finance Theory*. New York: Addison-Wesley.
- Mossin, J. 1966. Equilibrium in a Capital Asset Market. *Econometrica*. October, 768-783.
- Pietikäinen, T. 1991. Pankin korkoriskin mittaaminen ja hallinta. Jyväskylän yliopisto, pro gradu -tutkielma.
- Puttonen, V. & Valtonen, E. 1996. *Johdannaismarkkinat*. Porvoo: WSOY.
- Ross, S. A. 1976. The Arbitrage Theory of Capital Asset Pricing. *Journal of Economic Theory*. December, 343-362.
- Sharpe, W. F. 1963. A Simplified Model for Portfolio Analysis. *Management Science*. January, 277-293.
- Sharpe, W. F. 1964. Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium Under Conditions of Risk. *Journal of Finance*. September, 425-442.
- Shimko, D. 1995. Derivatives and the Bottom Line. *Risk*. Vol. 8, No. 11.
- Shimko, D. 1996. VaR for Corporates. *Risk*. Vol. 9. No. 6, 28.
- Shimpi, P.A. 1999. *Integrating Corporate Risk Management*. New York: Texere LLC.
- Smith, C. 1995. Corporate Risk Management: Theory and Practice. *Journal of Derivatives*. Summer.
- Smithson, C. 1996. Value at Risk: Understanding the Various Ways to Calculate VaR. *Risk*. Vol. 9. No. 1, 25-27.
- Sprecher, C. R. & Pertl, M. A. 1983. Large Losses, Risk Management and Stock Prices. *Journal of Risk and Insurance* 50, 107-117.
- Tamminen, R. 1993. *Tiedettä tekemään!* Jyväskylä: Atena.
- The Economist 1996. A Survey of Corporate Risk Management. Vol. 338, no. 7952.
- Treynor, J. 1961. Toward a Theory of the Market Value of Risky Assets. "Unpublished manuscript"
- Tyynelä, E. 2000. VaR –menetelmän täydentäminen stressitestauksella. Jyväskylän yliopisto, pro gradu -tutkielma.

UPM-Kymmene Oyj. Vuosikertomus 2000.

Vaarnavuo, A.-J. 1985. Valuuttariskin hallintamenetelmät Suomessa. Jyväskylään yliopisto,
pro gradu -tutkielma.

Zangari, P. & Longestaey, J. 1996. RiskMetrics-Technical Document, 4th ed., New York:
Morgan Guaranty Trust Company.