

**TAMPEREEN YLIOPISTO**  
Taloustieteiden laitos

**KURIKAN OSUUSPANKIN LIKVIDIEN VAROJEN  
OPTIMOINTI JA LIKVIDITEETTIRISKIN HALLINTA  
MUUTTUVASSA TOIMINTAYMPÄRISTÖSSÄ**

Kansantaloustiede  
Pro gradu -tutkielma  
Tammikuu 2006  
Ohjaaja: Petri Mäki-Fränki  
Jaakko Niskanen

# TIIVISTELMÄ

Tampereen yliopisto	Taloustieteiden laitos, kansantaloustiede
Tekijä:	NISKANEN, JAAKKO
Tutkielman nimi:	Kurikan Osuuspankin likvidien varojen optimointi ja likviditeettiriskien hallinta muuttuvassa toimintaympäristössä
Pro gradu -tutkielma:	75 sivua, 3 liitesivua
Aika:	Tammikuu 2006
Avainsanat:	Optimointi, Value at Risk, maksuvalmiuspuskuri

---

Pankkien kassavarannon määrälle on aikaisemmin laissa asetettu minimi, joka kumottiin 5.8.2004. Tilalle tuli uusi yleissäännös likvidien varojen ja likviditeettiriskien hallinnasta, joka perustuu Kansainvälisen Järjestelypankin (Bank for International Settlements-BIS) asettamaan Basel II -standardiin. Uusi malli otettiin käyttöön 1.1.2005. Uudessa yleissäännöksessä kassavarannolle ei aseteta lakisääteistä minimiä, vaan riskienhallinnasta vastaa pankin johto.

Tutkielmassa halutaan selvittää, pystytäänkö Kurikan Osuuspankin likvidejä varoja sijoittamaan tehokkaammin lakimuutoksen jälkeen ilman, että pankki altistuu liian suurelle riskille. Salkunhoitoa pyritään tehostamaan sekä sijoitussalkun optimoinnilla että sijoitussalkun riskillisyystilanteen aktiivisella mittaamisella. Sijoitussalkkuja optimoidaan modernin portfolioteorian menetelmillä. Riskin mittaamiseen sovelletaan kehittyneitä Value at Risk (VaR) -menetelmiä ja paikallisosuuspankkien maksuvalmiuspuskuria.

Tutkielman teoriaosassa suurimman huomion saa sijoitussalkun riskin mittaaminen. Riskin mittaauksessa esitellään rahoitusmarkkinoilla käytetyt estimointimenetelmät ja markkinariskin mittaamiseen tarkoitetut VaR-menetelmät. VaR-menetelmistä esitellään yleisimmät menetelmät ja tehdään selkoa niiden hyvistä ja huonoista ominaisuuksista. Tarkoituksena ei ole syventyä menetelmien teoreettisiin ja tilastollisiin taustaoletuksiin, vaan teoriaosan perusteella soveltuvin menetelmä valitaan empiirisen osion riskimittariksi.

Tutkielman empiirisessä osiossa suoritetaan likvidien varojen sijoitussalkun optimointi valituilla tuottotavoitteilla. Tämän jälkeen halutaan varmistua siitä, että sijoitussalkkuun sisältyvä riski pysyy vaadittujen rajojen sisäpuolella. Empiirinen tutkimus todistaa, etteivät Kurikan Osuuspankin likvidit varat ole tehokkaasti sijoitettu. Siirtämällä varoja matalan tuoton pankkitalletuksista joukkovelkakirjalainasijoituksiin, rahastosijoituksiin ja osakesijoituksiin saadaan tehokas sijoitusten allokaatio vaaditulla tuottotavoitteella. Korkeamman tuottotavoitteen sijoitussalkut eivät ole liian riskillisiä; sen varmistavat Monte Carlo -simuloinnilla toteutettu VaR-analyysi ja maksuvalmiuspuskurin riittävä taso. Tutkielman perusteella Kurikan Osuuspankki voisi valita korkeamman tuottotavoitteen sijoitussalkun. Tutkielman perusteella olisi myös suositeltavaa, että perinteisen maksuvalmiusmittarin rinnalle otettaisiin käyttöön VaR-mittaristo.

# Sisällysluettelo

<b>1</b>	<b>JOHDANTO.....</b>	<b>5</b>
1.1	YLEISTÄ.....	5
1.2	TUTKIELMAN TAVOITE.....	6
1.3	TUTKIELMA RAJAUS.....	7
1.4	TUTKIMUSMETODIT .....	8
1.5	AIEMMAT TUTKIMUKSET .....	8
1.6	TUTKIELMAN KULKU .....	9
<b>2</b>	<b>PANKKITOIMINTA SUOMESSA .....</b>	<b>11</b>
2.1	PANKIN TEHTÄVÄT .....	11
2.1.1	<i>Pankkien varainhankinta.....</i>	<i>11</i>
2.1.2	<i>Pankkien luotonanto ja taseen ulkopuolinen toiminta.....</i>	<i>12</i>
2.2	PANKKIEN SÄÄNTELY .....	12
2.3	PANKKITOIMINNAN RISKIT.....	14
2.3.1	<i>Maksuvalmiusriski.....</i>	<i>15</i>
2.3.2	<i>Markkinariski .....</i>	<i>17</i>
2.3.3	<i>Markkinariskin mittaaminen .....</i>	<i>19</i>
<b>3</b>	<b>SIJOTUSSALKUN OPTIMOINTI JA RISKIN ESTIMOINTI.....</b>	<b>21</b>
3.1	OPTIMAALISEN SIJOTUSSALKUN VALINTA JA SALKUN RISKI .....	21
3.1.1	<i>Mean–Variance-teoria .....</i>	<i>21</i>
3.1.2	<i>Capital Asset Pricing -malli.....</i>	<i>22</i>
3.1.3	<i>Arbitrage Pricing -teoria.....</i>	<i>25</i>
3.1.4	<i>Safety first -optimointi.....</i>	<i>26</i>
3.2	RISKIN ESTIMOINTI .....	27
3.2.1	<i>Pienimmän neliösumman menetelmä .....</i>	<i>27</i>
3.2.2	<i>Ekspontiaalisen tasoituksen liukuvan keskiarvon menetelmä.....</i>	<i>29</i>
3.2.3	<i>CARCH-mallit .....</i>	<i>30</i>
3.2.4	<i>Volatiliteetin laskeminen optiomarkkinoiden hinnoittelumenetelmällä.....</i>	<i>31</i>
3.2.5	<i>Kovarianssimatriisin estimointi.....</i>	<i>32</i>
3.3	MARKKINADATAN KÄSITTELY .....	34
3.3.1	<i>Datarajan laatu .....</i>	<i>34</i>
3.3.2	<i>Datarajan pituus.....</i>	<i>35</i>
<b>4</b>	<b>VAR-MENETELMÄT JA NIIDEN VERTAILU .....</b>	<b>37</b>
4.1	ANALYYTTISET MENETELMÄT .....	38
4.1.1	<i>Kassavirtojen mallinnus mapping-teknikalla .....</i>	<i>38</i>
4.1.2	<i>Delta-malli .....</i>	<i>40</i>
4.1.3	<i>Delta–gamma-malli.....</i>	<i>41</i>
4.1.4	<i>RiskMetrics-VaR.....</i>	<i>43</i>
4.2	SIMULOINTIMENETELMÄT.....	44
4.2.1	<i>Historiallinen simulaatio.....</i>	<i>44</i>
4.2.2	<i>Modifioitu historiallinen simulaatio.....</i>	<i>46</i>
4.2.3	<i>Monte Carlo -simulaatio .....</i>	<i>47</i>
4.3	VAR-MENETELMIEN TÄYDENTÄMINEN STRESSITESTILLÄ .....	48
4.3.1	<i>Skenaarioanalyysi .....</i>	<i>49</i>
4.3.2	<i>Mekaaninen analyysi.....</i>	<i>50</i>
4.3.3	<i>Extreme Value -menetelmä.....</i>	<i>51</i>
4.4	VAR-MENETELMIEN TESTAUS.....	53
<b>5</b>	<b>EMPIRIA .....</b>	<b>57</b>
5.1	AINEISTON KUVAUS .....	58
5.2	TUTKIMUKSEN RELIABILITEETTI JA VALIDITEETTI .....	59
5.3	KURIKAN OSUUSPANKIN LIKVIDIT VARAT .....	60
5.3.1	<i>Pankin esittely ja vuoden 2004 markkinakatsaus.....</i>	<i>60</i>
5.3.2	<i>Likvidit varat .....</i>	<i>61</i>
5.3.3	<i>Likvidien varojen tuotto.....</i>	<i>62</i>
5.4	LIKVIDIEN VAROJEN SIJOTUSSALKUN OPTIMOINTI .....	63

5.5	LIKVIDIEN VAROJEN SJOITUSSALKUN RISKI .....	65
5.5.1	<i>Monte Carlo -simulointi</i> .....	65
5.5.2	<i>Stressitesti</i> .....	68
5.5.3	<i>Backtesting</i> .....	68
<b>6</b>	<b>PÄÄTELMÄT</b> .....	<b>70</b>
	<b>LIITTEET</b> .....	<b>76</b>
	LIITE 1 .....	76

# 1 Johdanto

## 1.1 Yleistä

Maksuvalmiusriski on jälleerahoituksen saatavuuteen ja hintaan liittyvä riski, joka syntyy, kun saamisten ja velkojen maturiteetit poikkeavat toisistaan. Maksuvalmiusriski syntyy myös, jos saatavat ja velat ovat liaksi keskittyneet yksittäisille vastapuolille. Maksuvalmiusriskit arvioidaan maturiteettiluokittain kunkin luokan saatavien ja velkojen erotuksen suuruudella. Maksuvalmiusriskiä hallitaan mm. pitämällä riittävää kassavarantoa eli likvidiä varallisuutta. (Kurikan Osuuspankki, vuosikertomus 2003, 10)

Pankkien kassavarannon määrälle on aikaisemmin laissa asetettu minimi, joka kumottiin 5.8.2004. Tilalle tuli uusi yleissäännös riskien hallinnasta, joka perustuu Kansainvälisen Järjestelypankin (Bank for International Settlements-BIS) asettamaan Basel II -standardiin. Uusi malli otettiin käyttöön 1.1.2005. Uudessa yleissäännöksessä kassavarannolle ei aseteta lakisääteistä minimiä, vaan riskienhallinnasta vastaa pankin johto. Pankkikohtaisia toimintaa rajoittavia säännöksiä maksuvalmiusriskin pienentämiseksi voidaan kuitenkin asettaa esimerkiksi pankkikonsernien sisällä. (Kurikan Osuuspankki, koulutusmateriaali 2004, 1-2)

Pankkitoiminta on pohjimmiltaan samanlaista liiketoimintaa, kuin mikä tahansa muu yritystoiminta. Yksi tapa luonnehtia pankkitoimintaa on kuvata se joukoksi tietoisesti otettuja riskejä. Pankkitoiminta perustuu näiden riskien harkittuun ottamiseen. Riskin ottamisella pankki saavuttaa suhteellista etua. (Kontkanen 1991, 85) Uusi pankkien riskejä ja kassavarantoa koskeva yleissäännös antaa pankeille mahdollisuuden hyötyä muutoksesta likvidien varojen tehokkaamman sijoittamisen ja optimoinnin kautta, mutta samalla suurempia tuottoja tavoiteltaessa riskinotto lisääntyy.

Likvidejä varoja optimoitaessa pankki altistuu maksuvalmiusriskille, mutta myös markkinariskille, jos varoja sijoitetaan kohteisiin, joilla on aktiiviset markkinat. Markkinariskillä tarkoitetaan siis aktiiviset markkinat omaavien markkinamuuttujien hinnanmuutosten aiheuttamaa epävarmuutta pankille. Yleisimpiä markkinamuuttujia ovat korot, valuuttakurssit, osakekurssit ja hyödykkeiden hinnat. Maksuvalmius- ja markkinariskin lisäksi pankkitoiminnassa kohdataan muitakin riskejä, kuten operatiivinen riski. (Dowd

1998, 3) Olennainen osa uutta säännöstöä koskee kokonaisvaltaista riskienhallintaa (Kurikan Osuuspankki, koulutusmateriaali 2004, 2).

## **1.2 Tutkielman tavoite**

Tutkielman tavoitteena on auttaa pankin päätöksentekijää sijoitussalkun optimoinnissa ja salkun hoidossa, kun salkkuun sisältyvä riski tunnistetaan. Toiminnan kannalta on tärkeää ymmärtää riskin mahdolliset seuraukset. Tällöin täytyy määrittää riskinsietorajat ja laskea todennäköisyydet riskin esiintymiselle. Maksuvalmiuspuskuri rajoittaa pankin mahdollisuutta sijoittaa liian suurta osuutta likvideistä varoista riskillisiin sijoituskohteisiin, jolloin puskuri turvaa riittävän kassavarannon suurella todennäköisyydellä. Onnistuneella riskinotolla ja salkunvalinnalla on kuitenkin suuri positiivinen tulosvaikutus. Jatkossa pankit voivat nykyistä vapaammin hyödyntää optimoinnin kautta saatavaa suurempaa tuotto-odotusta. Muuttamalla passiivisesta salkunhoidosta aktiiviseen salkunhoitoon ja aktiiviseen riskillisyytilanteen mittaamiseen, pitäisi sijoitettujen varojen tuotto kasvaa. Tutkielmassa sovelletaan tätä teoreettista riski–tuotto-lähestymistapaa käytäntöön ja halutaan saada selville, pystytäänkö likvidien varojen tuottoja kasvattamaan lakimuutoksen jälkeen altistumatta liian suurelle riskille.

Ensimmäinen tutkimusongelma on, kuinka optimaalinen sijoitussalkku likvideille varoille valitaan. Moderni rahoitusteoria antaa teoreettisen lähtökohdan sijoitussalkun allokoinnille, mutta käytännössä sijoituskohteiden valinta ei ole näin yksiselitteinen. Tutkielmassa pyritään kuvaamaan optimointiprosessia riskilähtöisestä näkökulmasta, jolloin sijoitussalkun optimoinnille voidaan asettaa muitakin kriteereitä kuin optimaalinen tuotto–riski-suhde. Teoreettisesti parhaimpia ja yleisesti käytössä olevia optimointimalleja ovat Capital Asset Pricing -mallia (CAP-malli) ja Arbitrage Pricing Theory (APT-teoria), mutta riskienhallinnassa esimerkiksi safety first -menetelmä on usein käyttökelpoinen menetelmä.

Toinen tutkimusongelma liittyy sijoitussalkun riskin mittaamiseen. Sijoitussalkun optimointi pitkällä aikahorisontilla ei ole ongelma, sillä hyvin hajautettu sijoitussalkku palaa yleensä keskimääräiselle kasvu-uralleen väliaikaisista notkahduksista huolimatta. Pankin likvidejä varoja sijoitettaessa ei kuitenkaan riitä, että sijoitussalkun arvo palaa entiselleen vuosien päästä, sillä pankin täytyy taata riittävä maksuvalmius kaikkina aikoina. Riittävän maksuvalmiuden turvaamiseen voidaan hyödyntää markkinariskin mit-

taamiseen tarkoitettuja Value at Risk (VaR) -menetelmiä, koska maksuvalmiusriski toteutuu markkinariskin välityksellä. VaR-rajoitteen puitteissa toimiva salkunhoitaja kohottaa suuria tappioita mahdollisimman pienellä todennäköisyydellä ja sijoitussalkun riskilisyys voidaan raportoida yksinkertaisessa muodossa päivittäin. Siksi tutkielman suurin paino kohdistuu juuri riskin mittaamiseen VaR-menetelmillä. Toinen riskin mittaamiseen liittyvä tutkimusongelma on maksuvalmiuspuskurin määrittäminen. Paikallisosuuspankit mittaavat maksuvalmiuden riittävyyttä maksuvalmiuspuskurin avulla. Tällöin likvidejä varoja sijoitettaessa VaR-rajoitteen täyttyminen ei yksin riitä, vaan myös maksuvalmiuspuskurivaateen tulee täytyä. Taseesta laskettava maksuvalmiuspuskuri täytyy pysyä aina yli vaaditun minimin ja maksuvalmiuspuskurin suuruuteen vaikuttaa nimenomaan likvidit varat eli maksuvalmiusvarat.

### **1.3 Tutkielma rajaus**

Tutkielmassa optimaaliset sijoitussalkut sisältävät samoja sijoitusinstrumentteja kuin Kurikan Osuuspankin likvidien varojen sijoitussalkku on sisältänyt vuonna 2004. Optimaaliset sijoitussalkut muodostuvat näin joukkovelkakirjalainoista, kapitalisaatiosopimuksista, lyhytaikaisista talletuksista, maksuliiketeleistä, osakesijoituksista ja rahastosijoituksista. Sijoitussalkun suojaamiseen ei käytetä johdannaisia, joten johdannaisinstrumentit rajataan tutkielman ulkopuolelle. Toki likvidejä varoja voidaan sijoittaa muihinkin sijoituskohteisiin, mutta Kurikan Osuuspankin aktiivisesti hoidettava likvidien varojen sijoitussalkku koostuu edellä mainituista instrumenteista. Nämä instrumentit esitellään siinä laajuudessa kuin niiden ymmärtäminen sijoitussalkun optimoinnin ja markkinariskin mittaamisen näkökulmasta on tarpeellista. Sijoitussalkun optimoinnissa huomio keskittyy modernin rahoitusteorian optimointimenetelmiin, joista CAP-malli on edelleen yleisimmin käytössä oleva optimointimenetelmänä ja saa näin tutkielmassakin optimointimenetelmien esittelyssä suurimman huomion.

Baselin komitean suositukseen sisältyy kokonaisvaltainen riskien mittaaminen, johon kuuluvat maksuvalmius- ja markkinariskin lisäksi luottoriski ja operatiivinen riski. Likvidejä varoja optimoitaessa pankki altistuu maksuvalmiusriskille ja markkinariskille. Siksi tutkielma onkin rajattu koskemaan vain näitä riskejä. Riskimittareissa keskitytään ainoastaan yleisimpiin VaR-menetelmiin, jotka kaikki ovat sovellettavissa pankin riskihallintaan ja päätöksenteon apuvälineeksi. VaR-menetelmiä esiteltäessä ei ole tarkoitus selvittää menetelmien syvällisiä teoreettisia ja tilastollisia taustaoletuksia. Menetelmien

esittelyssä kiinnitetään huomiota menetelmien ominaisuuksiin, jonka perusteella soveltuvin menetelmä valitaan empiirisen tutkimuksen riskin mittariksi. Riskin estimointimenetelmistä esitellään vain ne, joita yleisesti käytetään rahoitusmarkkinoilla volatiliiteetin ja kovarianssimatriisin estimointiin ja joita tutkielmassa esitellyt VaR-menetelmät käyttävät riskin mittaamisessa.

### **1.4 Tutkimusmenetelmät**

Tutkimus edustaa tieteenfilosofialtaan positivismia. Positivismin mukaan tieteen kokemusperustana on havainto. Tieteellisen tiedon tulee perustua aistimien suoraan tai mittavälineiden kautta antamaan informaatioon ulkopuolisesta maailmasta. Tällöin tutkija on ulkopuolinen havainnoija. Tutkijan havainto on pätevä ja objektiivinen eli todellisuutta tarkasti järjestävä. Riippumatta havainnoijan teoreettisesta käsityksestä havainnoitavasta ilmiöstä, kuka tahansa havainnoija saa samassa havaintotilanteessa saman havainnon. Faktat korjaavat teorioita omalla painolla. (Järvinen & Järvinen 1993, 132)

Positivismi pyrkii selittämään ja ennustamaan, mitä tapahtuu sosiaalisessa todellisuudessa pyrkien etsimään säännönmukaisuuksia ja kausaalisuhteita tutkittavan ilmiön tekijöiden välillä (Järvinen & Järvinen 2000, 205). Tutkielmassa syy–seuraus-suhde ilmenee ensinnäkin siten, että lakimuutoksen ansiosta pankeille avautuu mahdollisuus likvidien varojen uudelleen allokoimiseen. Toiseksi sijoitussalkun optimoinnilla ja sijoitussalkun riskillisyytilanteen mittaamisella on syy–seuraus-suhde. Pankki valitsee todennäköisesti sijoitussalkun, joka on sille riskiin nähden tuottavin.

### **1.5 Aiemmat tutkimukset**

Yksittäisen markkinariskin aiheuttamaa tappiota VaR-menetelmillä on tutkittu sekä kotimaassa että ulkomailla. Useita instrumenttityyppejä sisältävän sijoitussalkun VaR-aiheisia tutkimuksia on kuitenkin vähän. Lisäksi VaR-menetelmistä tehdyt tutkimukset ovat yleensä keskittyneet tilastotieteelliseen lähestymistapaan, jossa vertaillaan eri VaR-menetelmillä saatuja tuloksia ja eri menetelmien hyvyttä riskin mittaajana. Pankkisektorilla VaR-menetelmiin perustuva CreditMetrics on yleisesti käytössä oleva mittaristo pääoman riittävyyden varmistamiseen, mutta menetelmä on kehitetty nimenomaan luotto- ja korkoriskin mittaamista varten. VaR-menetelmän soveltamista maksuvalmiusriskin ja kassavarannon riittävyyteen ei ole aikaisemmin tutkittu.



Linsmeier ja Pearson (2000, 47-67) esittelivät artikkelissaan Value at Risk -käsitteen ja metodit, kuinka markkinariskiä mitataan. Artikkelissa on esitelty kolme yleisesti tunnettua VaR-menetelmää, jotka ovat delta-menetelmä, historiallinen simulointi ja Monte Carlo -simulointi. Tekstissä tuodaan esille yksityiskohtaisesti sekä matemaattiset ja tilastotieteelliset taustaoletukset että menetelmien laskukaavat. Tekstissä käsitellään myös eri menetelmiin liittyvistä hyvistä ja huonoista ominaisuuksista. Artikkelin lopussa kerrotaan lisäksi tekniikoista, kuinka VaR-menetelmiä voidaan täydentää stressiteillä.

## **1.6 Tutkielman kulku**

Tutkielma jakautuu johdannon lisäksi neljään päälukuun. Teoriaosuuden muodostavat kappaleet 2-4, joista ensimmäisessä tutustutaan yleisesti pankkitoimintaan Suomessa sekä riskeihin, joita pankit kohtaavat toiminnassaan. Luvussa kaksi esitellään myös markkinariskin mittaamiseen käytetty VaR-periaate.

Luvussa kolme kerrotaan, kuinka sijoitussalkun riski syntyy ja kuinka sijoitussalkkuun sisältyvä riski minimoidaan. Sijoitussalkun riskiä käsitellään modernin portfolioteorian pohjalta, jolloin tämän luvun sisältöä voidaan pitää teoreettisena perusteena sijoitussalkun optimoinnille. Luku kolme käsittelee myös riskin estimointia. Riskin estimoinnin yhteydessä esitellään VaR-menetelmien ja rahoitusmarkkinoiden käyttämiä estimointimenetelmiä. Kolmas luku päättyy markkinadatan käsittelyyn, jossa otetaan esille data-sarjan laatuun ja pituuteen liittyvät ongelmat ja näiden ongelmien ratkaisutavat.

VaR-menetelmät ja niiden vertailu -luvussa esitellään yksityiskohtaisesti yleisimmät VaR-menetelmät ja tehdään selkoa menetelmien hyvistä ja huonoista ominaisuuksista. Neljännessä luvussa esitellään myös menetelmiä, kuinka sijoitussalkun riskin mittaamisessa varaudutaan äärimmäisiin markkinailmiöihin, joita ei voida havaita historiallisesta datasta. Tätä vaihetta riskin mittauksessa kutsutaan stressitesteiksi. Neljännen luvun lopussa kerrotaan backtesting-menetelmistä, koska tilastollisessa testauksessa mallin paikkansa pitävyys on ehdoton edellytys.

Luku viisi muodostuu empiirisestä tutkimuksesta. Luvussa määritellään sijoitussalkuille tuottotavoitteet, joiden perusteella sijoitussalkkuja optimoidaan. Optimoidut sijoitussalkut muodostetaan raha- ja pääomamarkkinasijoituksista vaaditun odotetun tuoton perus-

teella. Riski ei kuitenkaan saa kasvaa yli asetettujen kriittisten raja-arvojen. Sijoitussalkun markkinariskiä mitataan Monte Carlo -simuloinnilla, jolloin varmistetaan maksuvalmiuden päivittäisestä riittävydestä. Lisäksi maksuvalmiuden riittävyys varmistetaan laskemalla taseesta maksuvalmiuspuskuri, joka on Paikallisosuuspankkien kehittämä maksuvalmiuden mittari. Monte Carlo -simulointia täydennetään stressitestillä ja mallin toimivuutta testataan backtestingilla. Tutkielma päättyy päätelmien tekoon.

## **2 Pankkitoiminta Suomessa**

### **2.1 Pankin tehtävät**

Pankit ja muut rahalaitokset luovat ne institutionaaliset puitteet, joiden avulla säästäjät ja lainanottajat kohtaavat eli rahoitus kanavoituu ylijäämäisiltä talousyksiköiltä alijäämäisille yksiköille. Tässä tehtävässä pankit suorittavat ns. maturiteettitransformaatioita. Tämä tarkoittaa sitä, että pienistä ja lyhytaikaisista talletuksista muokataan pitkäaikaisia luottoja. Näin pankit luovat likviditeettiä koko yhteiskuntaan, jos ne vaateita välittäessään muuntavat likvidejä talletuksia taseessa epälikvideiksi vastaaviksi (Anttila 1996, 30). Maksujenvälitys etenkin Suomessa on toinen tärkeä pankkien tehtävä. Kolmas pankkien tehtävä on riskien allokointi. Pankit käyvät kauppaa luotto-, korko- ja valuuttakurssiriskeillä. (Uotila 1998, 34)

#### **2.1.1 Pankkien varainhankinta**

Pankkien varainhankinnan perustan muodostavat yleisön talletukset. Yleisöksi rahoituslaitoksissa luetaan kaikki muut asiakasryhmät paitsi valtio, muut pankit ja ulkomaat. Talletuskannasta suurinta ryhmää edustavat kotitaloudet. Kotitalouksien talletukset ovat suuntautuneet suurimmaksi osaksi käyttelytileille. Matalien nimelliskorkojen aikana määräaikaistalletukset ovat kuitenkin supistuneet. (Uotila 1998, 34)

Vaihtoehtoinen varainhankintamenetelmä tilimuotoisille talletuksille on varainhankinta suoraan raha- ja pääomamarkkinoilta. Hankittaessa varallisuutta rahamarkkinoilta instrumentteina käytetään pankin liikkeeseen laskemia sijoitustodistuksia. Pääomamarkkinoilla pitkäaikaista varallisuutta pankit hankkivat laskemalla liikkeelle omia joukkolainoja. Pankkien varainhankinta ulkomailta on myös mahdollista, mutta tämän varainhankintamuodon merkitys on vähäinen ja sen suosio on vähentynyt entisestään. (Uotila 1998, 35)

1980-luvun jälkipuolelta alkaen pankit ja pankkiiriliikkeet ovat tarjonneet yksityishenkilöille talletusten vaihtoehtona erilaisia sijoitusrahastojen osuuksia (Uotila 1998, 35). Vaikka sijoitusrahastojen merkitys säästökohteena on toistaiseksi melko vähäinen, on niiden suosio kasvanut nopeasti suhteessa talletuskantaan. Vuosi 2004 oli ennätysellinen kaikilla mittareilla tarkasteltuna. Viime vuoden aikana Suomeen rekisteröityjen

rahastojen rahastopääoma kasvoi 41 %. Suurinta kasvu oli osakerahastojen kohdalla. (Suomen Sijoitusrahastoyhdistys ry)

### **2.1.2 Pankkien luotonanto ja taseen ulkopuolinen toiminta**

Pankkien myöntämät luotot yleisölle ovat pankkien keskeinen tulonlähde. Pankkien luotonannossakin kotitalouksien asema on huomattava. 1990-luvun laman ja pankkikriisin aikaan pankkien luottokanta notkahti, mutta vuodesta 1997 alkaen kääntyi asteittain nousuun. (Uotila 1998, 35) Viime aikojen matalat korot ja kasvanut pankkikilpailu ovat laskeneet lainojen korot ennätysalhaisiksi, mikä on houkuttanut kotitalouksia yhä suurempaan luotonottoon. Tässä piilee kuitenkin vaara, sillä matalat korot tulevat kohoamaan talouskehityksen ja inflaation kiihtymisen myötä. USA:n keskuspankki onkin aloittanut ohjauksen noston ja myös Euroopan keskuspankki aloitti rahapolitiikan kiristämisen vuoden 2005 lopulla. Kotitalouksien maksukyky riittää tällä hetkellä suuren velkataakan hoitamiseen, mutta korkojen huomattava nousu muuttaa monien kohdalla tilannetta.

Luottojen korkosidonnaisuudet ovat muuttuneet nopeasti 1990-luvulla. Peruskorkoon sidotut luotot ovat menettäneet asemansa ja Euribor- ja Primesidonnaiset lainat ovat yleistyneet. Kiinteäkorkoisten luottojen merkitys on Suomessa aina ollut vähäistä. Laina-ajan pituus Suomessa sovitetaan asiakkaan tarpeiden mukaan ja pankit tarjoavat halukkaille hyvinkin pitkiä laina-aikoja. (Uotila 1998, 35-36)

Pankit tekevät myös taseen ulkopuolista liiketoimintaa, josta ne saavat tuloja. Taseen ulkopuoliseen toimintaan liittyvät sopimukset ja sitoumukset eivät sisälly taseen saamiin ja velkoihin. Taseen ulkopuolisesta toiminnasta aiheutuvat kulut ja siitä saatavat tuotot näkyvät luonnollisesti pankin tuloslaskelmassa. Tyypillisimpiä taseen ulkopuolisia toimintoja ovat pankkitakaukset ja rahoituksen järjestämiseen liittyvät sopimukset. (Uotila 1998, 36)

## **2.2 Pankkien sääntely**

Pankkitoiminta on kehittyneissä yhteiskunnissa voimakkaasti säännelty sektori. Sääntelyä on perusteltu monista eri näkökulmista, joita ovat esimerkiksi kilpailun tasapuolinen turvaaminen, kuluttajasuoja ja ennen kaikkea toiminnan vakauden turvaaminen. Säänte-

lyä perustellaan usein myös vetoamalla yleiseen etuun, joka sisältää mm. toiminnan yleisen luotettavuuden varmistamisen. (Anttila 1996, 4, 41)

Rahoitustarkastuksen tehtävänä on valvoa talletuspankkeja ja muita rahoitusmarkkinoiden toimijoita. Rahoitustarkastus valvoo, että talletuspankit toimivat lakien, asetusten, viranomaisten antamien määräysten ja ohjeiden mukaisesti. Lisäksi rahoitustarkastus valvoo, että talletuspankki toimii yhtiöjärjestyksen, sääntöjen ja ohjeiden mukaisesti. Tätä laillisuusvalvontaa rahoitustarkastus toteuttaa antamalla määräyksiä ja ohjeita sekä toimittamalla tarkastuksia. Laillisuusvalvonnan lisäksi rahoitustarkastuksen toimialaan kuuluu valvoa, että talletuspankeilla on riittävät taloudelliset ja muut edellytykset harjoittaa toimintaansa ja että niiden hoitamisessa ja päätöksenteossa noudatettavat menettelytavat ovat asianmukaiset. (Anttila 1996, 153) Myös maksuvalmiusriskin valvonta sisältyy rahoitustarkastuksen valvonta-alueeseen. Uudessa laissa määritellään, että maksuvalmiuden pitää olla riittävä, jolloin rahoitustarkastuksen tehtävänä on valvoa pankkien kassavarannon riittävyyttä. (Kurikan Osuuspankki, koulutusmateriaali 2004, 2)

Baselin komitea on G10-maiden keskuspankkien yhteistyöelin, jolla ei ole virallista asemaa, mutta jonka vaikutusvalta pankkisektorilla on suuri. Baselin komitea toimii Kansainvälisen Järjestelypankin yhteydessä. Baselin komitea kehittää pankkisektorin viranomaisstandardeja ja -ohjeita ja antaa suosituksia pankkien riskienhallinnan parhaasta käytännöstä. Suomessa Pankkitoimintaa säätelevät lait noudattavat vakavaraisuuden osalta Baselin komitean suosituksia. Uusi vakavaraisuuskehikko, Basel II, sisältää näkemyksen siitä, millainen vakavaraisuuslaskennan ja riskienhallinnan pitäisi pankeissa olla. Basel II sisältää mm. suositukset markkinariskin mittaamista Value at Risk -menetelmillä. (Koskelainen 2004, 3)

Yksittäisen paikallisosuuspankin toimintaa säätelee lisäksi Paikallisosuuspankkiliiton antamat rajoitteet ja suositukset, jotka perustuvat osaltaan Baselin komitean suosituksiin. Riskien hallinnassa Paikallisosuuspankkiliiton antamilla määräyksillä on suuri vaikutus yksittäisen paikallisosuuspankin toimintaan. Vaikka kassavarantoa koskeva laki muuttui, on paikallisosuuspankkien kassavarannon määrälle asetettu edelleen ohjeellinen minimi, jota kutsutaan maksuvalmiuspuskuriksi. (Kurikan Osuuspankki, koulutusmateriaali 2004, 2-4)

### **2.3 Pankkitoiminnan riskit**

Yleisessä kielenkäytössä riskillä tarkoitetaan tappion, menetyksen tai muun epäedullisen tapahtuman uhkaa tai vaaraa. Pankkiriskillä tarkoitetaan pankkitoiminnan päätöksentekotilanteissa sitä mahdollisuutta, että tavoiteltu seuraus ei toteudu ja pankille aiheutuu tappioita tai tuotto ei vastaa odotettua. Tarkkaa määritelmää riskille ei ole kuitenkaan löydettävissä. Siksi taloustieteissä riski määritellään eri näkökulmista ja tarkoituksista lähtien. Sijoitustoiminnassa riski liittyy siihen mahdollisuuteen, että arvopaperit eivät tuota odotetusti tai niiden arvo laskee. Riski kytketään sijoituskohteen tulevien tuottojen vaihteluun. Riskin olemukselle onkin ominaista sen moniulotteisuus. (Anttila 1996, 34)

Portfolioteoreettisessa lähestymistavassa riskin tarkasteluun käytetään mallia, jossa sijoitussalkun oletetaan olevan joko puhdas velkasalkku tai vaihtoehtoisesti saamissalkku. Salkun arvopaperit allokoidaan siten, että salkun riski minimoituu. Salkkuun voidaan sisällyttää kaikki riskiherkät taseen sisäiset ja ulkopuoliset erät. Tällöin riskin minimointi saadaan aikaan portfolioteoreettisella hajauttamisella tai matchaamalla velat vastaavilla saamisilla. (Ahlstedt & Halme 1987, 3)

Riskien toteutumisella on negatiivinen vaikutus pankin taloudelliseen asemaan. Se laskee pankin vuotuista voittoa tai kasvattaa tappiota. Pahimmassa tapauksessa seuraa pankin konkurssi, jos moni riskeistä toteutuu yhtä aikaa. Tappion vaihtoehtona ovat positiiviset taloudelliset seuraukset. Riskin otolla pyritään luomaan mahdollisimman suurta tuottoa pankille. Pankkitoiminnassa pätee yleinen taloustieteen sääntö, jonka mukaan sijoituksen tuotto on suhteessa sen riskiin. (Anttila 1996, 34)

Pankkitoiminnan riskit voidaan jakaa mitattaviin riskeihin ja laadullisiin riskeihin. Mitattavia riskejä ovat luotto-, maksuvalmius-, korko-, valuuttakurssi- ja sijoitusriski. Näistä korko-, valuutta- ja sijoitusriskiä kutsutaan yhteisellä nimellä markkinariskiksi, joka syntyy markkinahintojen muutoksista. Luottoriski voidaan määritellä epävarmuudeksi lainanottajan kyvystä vastata velvoitteistaan kokonaan tai osittain ja oikea-aikaisesti. Laadullisia riskejä ovat pankin teknisiin järjestelmiin liittyvät riskit, pankkiin kohdistuvat rikokset ja erityisesti pankin johdon ammattitaito ja luotettavuus. Laadullisia riskejä kutsutaan myös operationaalisiksi riskeiksi. (Anttila 1996, 35-36)

### 2.3.1 Maksuvalmiusriski

Luottolaitoslain mukaan talletuspankilla tulee olla kaikissa tilanteissa maksuvalmiusriskeihin nähden riittävät keinot suoriutua maksuistaan. Tätä toimintaa kutsutaan pankissa maksuvalmiuden hoitamiseksi. Maksuvalmiuden varmistamiseksi pankilla tulee olla riittävästi ns. kassavarantoa. Kassavarantoon luetaan laissa määritellyt helposti rahaksi muutettavat saamiset ja varat. (Kontkanen 1998, 11)

Maksuvalmiusriskissä on kysymys pohjimmiltaan siitä, onko pankilla rahaa vastata sitoumuksistaan. Pankki perustaa toimintansa oletukselle, että kaikkia velkoja ei kuitenkaan vaadita maksettavaksi eräpäivänä. Niiltä osin kuin velkoja on maksettava, pankki pystyy hankkimaan korvaavan jälleenrahoituksen tilalle. (Kontkanen 1991, 89-90) Terveellä pohjalla oleva pankkitoiminta on kasvavaa liiketoimintaa ja likviditeettiongelmia voi esiintyä ainoastaan tilapäisesti (Ahlstedt & Halme 1987, 8)

Maksuvalmiusriskiä voidaan havainnollistaa katsomalla taseen varoja ja velkoja erikseen. Pankin taseen vastattavaa -puolella on yleensä suuri määrä lyhytaikaista vierasta pääomaa. Nämä muodostuvat pääasiassa yleisön talletuksista, jolloin tallettajat voivat nostaa varansa pankista koska tahansa. Jos pankin likvidit varat eivät riitä talletuksen takaisinmaksuun, on pankin otettava lainaa tai myytävä omaisuuttaan. Vastaavasti pankin likvidien varojen kysyntä lisääntyy, kun pankki solmii lainasopimuksia eli myöntää lainaa. Lainanottaja voi koska tahansa lainasopimuksen tehtyään vaatia lainasummaa käyttöönsä. Pankin myöntämät lainat näkyvät taseen vastaavaa -puolella. (Saunders & Cornett 2003, 424-425)

Maksuvalmiusriskin voidaan ajatella syntyvän myös maturiteettitransformaation kautta, koska lyhytaikaisella ottolainauksella rahoitetaan pitkäaikainen antolainaus tai saamisten koronsuoritusperiodit poikkeavat velkojen koronsuoritusperiodeista. Myös maksuvalmiusriski ja korkoriski ovat toisistaan riippuvaisia, sillä maksuvalmiusriski muuttuu korkoriskiksi. Velanhoitoon tarvittava puuttuva rahoitus joudutaan kattamaan lainanotolla, jonka korko voi olla hyvinkin korkea. Vastaavasti ylijäämäinen nettotulovirta, jonka avulla maksuvalmiusriski eliminoiduu, pitää sisällään uudelleen sijoittamisesta aiheutuvan korkoriskin tai sijoitusriskin. (Ahlstedt & Halme 1987, 8)

Maksuvalmiusriskin hallinnasta käytetään nimityksiä tasehallinta tai varainhallinta. Maksuvalmiusriskin hallintaa vaikeuttaa se, että tammikuusta 2005 lähtien ei ole enää mitään ehdotonta vähimmäismaksuvalmiuden suhdetta, joka turvaisi pankin toimintaedellytykset. Toisaalta lakimuutos antaa pankeille lisää toimintavapautta, mutta samalla vapaus lisää pankkien päätöksentekijöiden vastuuta tasehallinnassa. Paikallisosuuspankeissa päätöksentekijöiden tasehallinnan työvälineenä on maksuvalmiuspuskuri. Maksuvalmiuspuskuri määrittää alimman mahdollisen kassavarannon määrän, jota pankit eivät saa alittaa. Maksuvalmiuspuskurin suuruuden perusteella voi suoraan tehdä johtopäätöksiä, mikä on maksuvalmiusriskin suuruus laskentahetkellä. Paikallisosuuspankkeiden maksuvalmiuspuskuri lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$(1) \quad \left( \frac{\text{Maksuvalmiusvarat} - \text{Maksuvalmiusvelat}}{\text{Kattamattomat velat}} \right) \times 100 > 12,8 \text{ \%}.$$

Maksuvalmiusvarat eli likvidit varat ovat taseen vastaavaa -puolen eriä, joita talletuspankit sijoittavat haluamallaan tavalla raha- ja pääomamarkkinoille. Maksuvalmiusvelat puolestaan kuuluvat taseen vastattavaa -puolelle. Talletuspankissa suurin osa maksuvalmiusveloista muodostuu käyttö-, talletus- ja sijoitustilien talletuksista. Kattamattomat velat voidaan kuvitella yksinkertaisimmillaan muodostuvan maksuvalmiusvarojen ja -velkojen summana. Olennaista maksuvalmiuspuskurin laskennassa on maksuvalmiusvarojen ja -velkojen riskillisyyden erottelu. Esimerkiksi osakesijoituksia ei huomioida laskukaavassa täysimääräisinä, vaan osakesijoitusten arvo on 50 % niiden markkina-arvosta. Vastaavasti sijoitusrahastot ja jvk-lainat huomioidaan 90 %:sti niiden markkina-arvosta. (Kurikan Osuuspankki, koulutusmateriaali 2004, 7-10) Maksuvalmiuspuskuria voidaan kritisoida juuri eri sijoituskohteisiin liittyvien arvostusten takia. Esimerkiksi osakesijoitukset ovat monessa suhteessa kaikkein likvideintä varallisuutta. Salkunhoitaja voi muuttaa pörssinoteeratut osakkeet käteiseksi milloin haluaa. Lisäksi on aika epäreaalista olettaa, että hyvin hajautetun ja aktiivisesti hoidettavan osakesalkun arvo puolittuisi lyhyellä aikavälillä. On myös epäreaalista olettaa, että kaikki sijoitusrahastot ja jvk-lainat olisivat yhtä riskillisiä. Jokainen rahasto reagoi eri tavalla markkina-tilanteen muutokseen ja jokaisen jvk-lainan riski on yksilöllinen. Siksi maksuvalmiuspuskuri vääristää sijoitussalkkuun sisältyvää todellista riskiä.



### 2.3.2 Markkinariski

Viime vuosina markkinarisktiin ja sen mittaamiseen on kiinnitetty yhä enemmän huomiota. Markkinariskin mittauksessa J.P. Morgan otti ison askeleen 1990-luvulla. Markkinariski voidaan määritellä riskiksi niistä tappioista, joita taseen ja taseen ulkopuolella oleville positioille aiheutuisi, jos markkinahinnat muuttuisivat. Markkinariskin osa-alueita ovat valuuttakurssiriski, korkoriski, osakkeiden ja kiinteistöjen hintariski. Markkinariski realisoituu, kun markkinahinnat muuttuvat pankin kannalta epäedulliseen suuntaan. Markkinariski voidaan jakaa absoluuttiseen euromääräiseen riskiin tai suhteelliseen riskiin, joka suhteutetaan johonkin vertailuindeksiin. (Saunders & Cornett 2003, 222-223)

Joukkovelkakirjalainat ovat tyypillisiä sijoituskohteita, jotka altistuvat korkoriskille. Kiinteäkorkoisen sijoituksen markkina-arvo muuttuu korkotason muuttuessa. Markkinakorkojen noustessa joukkovelkakirjalainan hinta laskee, sillä lainan vaihtoehtoiskustannus kasvaa. Vaikutus on sitä suurempi, mitä pidemmästä velan korkosidonnaisuusajasta on kysymys. (Kasanen, Lundström, Puttonen & Veijola 1997, 197) Joukkolainojen hinnan muodostumiseen vaikuttaa markkinakorkojen lisäksi riskipreemion eli spreadin muutos (Grabbe & Fabozzi 2002, 174). Riskipreemio on kuitenkin riippuvainen yrityksen tai valtion luottoluokituksesta, eikä näin kuulu markkinariskin osa-alueeseen. Markkinariskin ja korkoriskin välillä vallitsee yhteys, sillä ne altistuvat osittain samoille makrotaloudellisille tekijöille. Tutkimukset osoittavat, että riskipreemion ja riskittömän koron välinen korrelaatio on negatiivinen. (Jarrow & Turnbull 2000, 272)

Toinen tyypillinen pankin likvidien varojen sijoituskohte on kiinteäkorkoiset pankkitalletukset ja maksuliiketilit. Pankkitalletukset ja maksuliiketilit ovat periaatteessa riskittömiä sijoituskohteita, mutta joukkovelkakirjalainojen tavoin ne altistuvat korkoriskille. Esimerkiksi kolmen kuukauden talletukselle maksetaan jokin kiinteä korko talletuksen eräpäivänä, mutta markkinakorkojen voimakas muutos talletuksen aikana muuttaa talletuksen vaihtoehtoiskustannusta. Markkinakorkojen nousu laskee talletuksen markkina-arvoa ja korkojen lasku nostaa talletuksen arvoa.

Kolmas tyypillinen likvidin varojen sijoituskohte ovat suorat osakesijoitukset sekä osakkeiden ja jvk-lainojen hinnoista riippuvat osake- ja yhdistelmärahastot. Osakkeiden

markkinahinta määräytyy kysynnän ja tarjonnan perustella, mutta kurssikehitykseen vaikuttavat tulevaisuudessa maksettavien osinkojen suuruus ja yrityksen tulevaisuuden kasvuodotukset (Ross, Westerfield & Jaffe 2002, 119). Sijoitusrahastojen kurssikehitys on suoraan verrannollinen rahaston sisältämien sijoituskohteiden kurssikehityksestä.

Markkinariski on kiinnitetty yhä enemmän huomiota viime aikoina pankkitoiminnassa. Mielenkiinto markkinariskiä kohtaan on myös lisännyt kiinnostusta kehittää sopivia työvälineitä markkinariskin mittaamiseen. Saunders & Cornett (2003, 223-224) ovat listanneet viisi syytä, miksi markkinariskin mittaaminen on tärkeää:

1. Johdon informointi: Markkinariskin mittaaminen tuottaa informaatiota johdolle sijoitussalkun riskillisyydestä ja salkunhoidon tuloksellisuudesta. Johto voi käyttää tätä informaatiota edelleen päätöksenteossaan.
2. Rajoitusten asettaminen: Markkinariskiä mittaamalla jokaiselle salkunhoitajalle voidaan määrittää loogiset positiolimiitit.
3. Resurssien allokointi: Markkinariskin mittaaminen käsittää toteutuneiden tuottojen vertaamisen markkinariskiin kaikilla eri sijoitusmarkkinoilla. Mittaaminen auttaa tunnistamaan ne sijoitusinstrumentit, joissa ovat suurimmat potentiaaliset tuotot. Tämä auttaa edelleen resurssien ja pääoman kohdentamista tiettyihin osastoihin pankin sisällä.
4. Menestymisen arviointi: Markkinariskin mittaaminen mahdollistaa salkunhoitajan todellisen menestymisen vertaamisen, jolloin salkunhoitajan bonuspalkkaus muodostuu oikean suuruiseksi. Salkunhoitaja, joka on tuottanut euromääräisesti suurimman tuoton, ei välttämättä ole menestynyt parhaiten, sillä hänen riskinotto on voinut olla huomattavasti suurempi. Myös eri instrumenteilla kauppaa käyvät treidaajat voidaan asettaa paremmuusjärjestykseen. Ei ole siis itsestään selvää, että rahallisesti eniten tuottanut treidaaja saisi paremman korvauksen kuin treidaaja, jonka tuotto ja riski ovat alhaiset.
5. Säännöstely: Kansainvälinen Järjestelypankki on antanut säännökset pääoman riittävydestä ja suositukset pankkien riskienhallinnan parhaasta käytännöstä.

Markkinariskin mittaaminen on osa pankkien riskienhallinnan järjestelmää. Mittaaminen edellyttää, että toiminta on ennalta suunniteltua ja riskin mittauksella valvotaan suunnitelman toteutusta. Markkinariskin mittaaminen on välttämätöntä, jotta voidaan arvioida pankin likvidien varojen riittävyttä ja uhkia pankin toiminnan jatkumiselle.

### 2.3.3 Markkinariskin mittaaminen

Pääomamarkkinoille on kehitetty monenlaisia matemaattisia malleja riskin mittaamiseksi. Osakkeiden, valuuttojen tai velkainstrumenttien hintoja on kuitenkin hankala ennustaa täydellisesti, koska niihin sisältyy satunnaisvaihtelua. Value at Risk (VaR) on menetelmä, joka on kehitetty markkinariskin mittaamiseen. VaR-mallin taustalla on tilastotieteellinen malli pääomamarkkinoista. VaR-riskin mittausta varten kerätään markkinahintojen noteerauksia ja hintanoteerausten avulla pyritään arvioimaan salkkuun sisältyvää riskiä. Sillä ei pyritä ennustamaan tulevaisuutta, vaan epävarmuuden määrää. VaR-menetelmän toimivuudelle on tärkeää, että epävarmuuden määrä on kohtuullisen hyvin ennustettavissa. Yksittäiset äkilliset tapahtumat, kuten maanjäristys, ovat huonosti ennustettavissa ja sen takia niiden tuomia riskejä ei voida VaR-mallilla kovin hyvin mitata. VaR-malleja voidaan luokitella sen mukaan, millaisia oletuksia ne tekevät markkinamuuttujien takana olevasta tilastollisesta mallista. (Jauri 1997, 17)

VaR-mallin keskeinen tulos on omaisuuden arvon jakauma. Markkinoiden hintamuutosten ajatellaan olevan jonkinlaisen satunnaismuuttujan saamia arvoja ja ne syntyvät satuman ohjaamina. Historiallisen aikasarjan satunnaisuus käännetään eteenpäin katsovaksi ja kassavirran tai sijoitussalkun arvon jakaumaa ennustetaan historiaan perustuvan jakauman avulla. Markkinoiden epävarmuutta kuvataan valuuttakurssien, korkojen, osakkeiden tai osakeindeksien avulla. VaR-malli laskee arvonmuutoksia, kun valitut muuttujat vaihtelevat tilastollisen mallin mukaan ja nämä muutokset tulevat kuvatuiksi salkun arvon jakaumalla. Salkun jakauma kertoo todennäköisyyden, kuinka yksittäisiin hintanoteerauksiin voidaan päätyä. Tätä todennäköisyysjakaumaa kuvataan valitulla tunnusluvulla. (Jauri 1997, 17-18)

VaR-menetelmällä on mahdollista seurata pääomamarkkinoiden tuomia riskejä päivittäin, mutta se antaa myös käyttäjälle mahdollisuuden valita toimintaan sopivin seuranta-ajavälit. Aktiivinen salkunhoito rahoituslaitoksissa vaatii jatkuvaa riskillisyyden arviointia, kun taas monen muun alan yrityksille voi riittää huomattavasti pitempi mittausjakso. (Linsmeier & Pearson 2000, 49) Päivittäisen seurannan avulla varmistetaan siitä, että toiminnan riskitaso vastaa asetettuja tavoitteita, eikä alun perin vähäriskinen salkku pääse huomaamatta muuttumaan riskipitoiseksi. VaR-menetelmät on kehitetty erityisesti rahoituslaitosten tarpeisiin. (Jauri 1997, 19)

Maksuvalmiusriskiä laskettaessa VaR-menetelmiä apuna käyttäen välttyään ongelmilta, joita maksuvalmiuspuskuriin sisältyy. VaR-menetelmät mahdollistavat jokaisen sijoituskohteen yksilöllisen riskillisyyden määrittelyn ja näin koko sijoitussalkkuun sisältyvästä riskistä saadaan todellisempi kuva. Toisaalta VaR-menetelmillä voidaan laskea ainoastaan maksuvalmiusvaroihin sisältyvää riskiä, jos sijoitukset on tehty aktiiviset markkinat omaaviin sijoituskohteisiin. Vaikka maksuvalmiusvarojen sijoitusten arvo kasvaisi, voi maksuvalmiusriski muuttua olennaisesti, jos maksuvalmiusvelkojen määrä muuttuu. Siksi VaR-menetelmät eivät yksin sovellu maksuvalmiusriskin mittaamiseen, vaan ovat hyvä työkalu yhdessä maksuvalmiuspuskurin kanssa.

### 3 Sijoitussalkun optimointi ja riskin estimointi

#### 3.1 Optimaalisen sijoitussalkun valinta ja salkun riski

Moderni rahoitusteoria syntyi 1950-luvulla, kun Harry Markowitz julkaisi ensimmäisen tuottoa maksimoivan ja riskiä minimoivan optimointimenetelmän. Hänen perusajatuk-  
sensa oli, että jokainen optimaalinen sijoitussalkku voidaan valita salkun tuoton ja riskin  
funktiolta. Modernin portfolioteorian mallit ottavat huomioon sijoitussalkun suunnitte-  
lussa fundamenttitekijöiden muutokset ja markkinoiden käyttäytymisen pitkällä aikavä-  
lillä. (Curtis 2002, 7)

Moderniin portfolioteoriaan liittyy joukko oletuksia, kuten markkinoiden vapaus, in-  
strumenttien jatkuva hinnoittelu, tuottojen normaalijakautuneisuus, investoijien hyvin-  
voinnin maksimointi, minimaaliset transaktiokustannukset ja maksuton yhteiskunta.  
Näiden oletusten pohjalta on kehitetty välineitä optimaalisen sijoitussalkun määrittämi-  
seen. Sekä portfoliomallien oletukset että mallien paikkansapitävyys ovat saaneet kri-  
tiikkiä osakseen. Silti modernin portfolioteorian optimointimenetelmät ovat yleisesti  
käytössä, eikä parempia vaihtoehtoja optimoinnille toistaiseksi tunneta. (Curtis 2002,  
7-8)

##### 3.1.1 Mean–Variance-teoria

Markowitz (1952) julkaisi oman sijoitussalkun optimointiteorian, jossa salkku määräy-  
tyy odotetun tuoton ja varianssin perusteella. Sijoitussalkun odotettu tuotto saadaan yk-  
sittäisten sijoituskohteiden tuottojen painotetusta keskiarvosta

$$(2) \quad E(r_p) = \sum_{i=1}^N x_i r_i,$$

kun  $x_i$  on sijoituskohteen paino sijoitussalkussa. Vastaavasti sijoitussalkun riskillisyyttä  
mitataan varianssilla eli standardipoikkeamalla. Tuottojen varianssiin vaikuttaa sijoitus-  
kohteiden tuottojen väliset kovarianssit  $\sigma_{jk}$ . Yhdistämällä varianssi- ja kovarianssiter-  
mit, saadaan sijoitussalkun varianssiksi

$$(3) \quad \sigma_p^2 = \sum_{j=1}^N X_j^2 \sigma_j^2 + \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N X_j X_k \sigma_{jk}.$$

Markowitzin mallin mukaan on olemassa vain yksi varianssia minimoiva sijoitussalkku jokaisella annetulla odotetun tuoton määrällä, jota kutsutaan tehokkaaksi portfolioksi. Yhdistämällä tehokkaat portfoliot, saadaan tehokkaiden portfolioiden käyrä. Mean–variance-menetelmän tavoitteena on yksinkertaisesti saada mahdollisimman iso tuotto mahdollisimman pienellä riskillä. Kun sijoitussalkun instrumenttien lukumäärä kasvaa, kovarianssitermien määrä kasvaa nopeammin kuin yksittäisten varianssitermien määrä. Yksittäisten sijoituskohteiden riskit eli varianssit häviävät, koska sijoitussalkun varianssi lähestyy instrumenttien keskimääräistä kovarianssia. Kovarianssitermistä aiheutuvaa riskiä ei voida hajauttamisen avulla poistaa.

### 3.1.2 Capital Asset Pricing -malli

Markowitzin mean–variance-menetelmän pohjalta Sharpe (1964) kehitti pääomamarkkinoiden tasapainomallin, Capital Asset Pricing -mallin (CAPM). CAP-malli perustuu sijoittajan hyödyn maksimointiin eli sijoituskohteen hinta määräytyy markkinoilla kysynnän ja tarjonnan tasapainon perusteella. CAP-malli määrittelee yksittäisen arvopaperin odotetun tuoton. CAP-mallin odotetun tuoton kaava on

$$(4) \quad r_i = r_f + \beta_i \times (r_m - r_f)$$

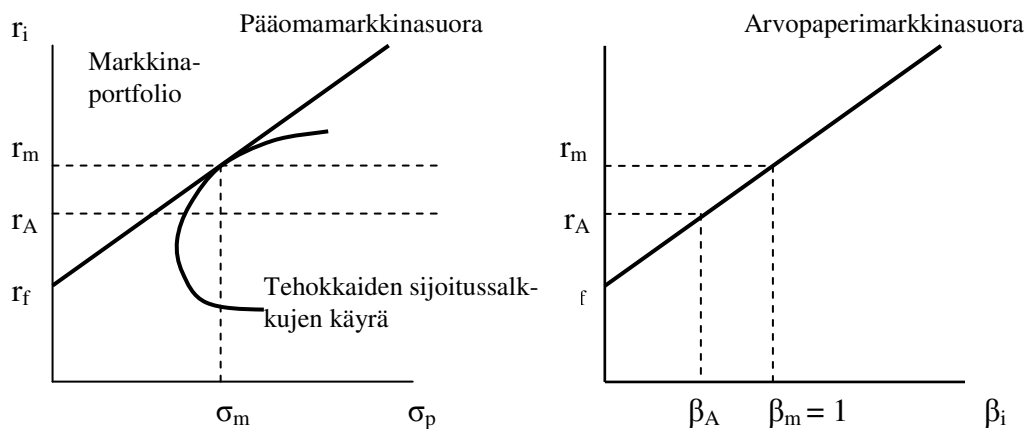
missä  $r_m$  on markkinoiden odotettu tuotto ja  $r_f$  riskitön korko. CAP-malli antaa siis vastaukseksi systemaattisen riskin huomioonottavan diskonttokorkokannan, jota käytetään sijoituskohteen arvonmäärittämisessä.

CAP-mallissa erotetaan systemaattinen ja epäsystemaattinen riski toisistaan. Systemaattinen riski aiheutuu yleistaloudellisista tekijöistä, jotka vaikuttavat kaikkien markkinoilla olevien arvopapereiden tuottoihin. Kaavassa (4) systemaattista riskiä kuvataan  $\beta$ -kertoimella. Sijoituskohteen  $\beta$  saadaan laskettua kovarianssin ja markkinatuoton varianssin avulla:

$$(5) \quad \beta_i = \frac{\text{Cov}(r_i, r_m)}{\sigma^2(r_m)}.$$

Sharpen esittelemässä CAP-mallissa systemaattinen riski  $\beta$  kertoo kuinka suuri on yksittäisen instrumentin tuotto, kun markkinaportfolion tuotto muuttuu 1 %-yksikön.  $\beta$ -kertoimen kasvaessa arvopaperin odotettu tuottovaatimus kasvaa. Systemaattista riskiä ei voida poistaa hajautuksen avulla. Epäsystemaattisen riskin määrään puolestaan vaikuttavat arvopaperille ominaiset markkinamuutokset. Epäsystemaattista riskiä kuvataan tuottojen vaihteluna odotusarvon ympärillä. Riski pienenee arvopapereiden määrän kasvaessa, koska instrumenttien välillä on epätäydellinen korrelaatio. Sijoitussalkun kokonaisriski muodostuu systemaattisen ja epäsystemaattisen riskin summana.

Blake (2000, 493) havainnollisti riskin jaottelua systemaattiseen ja epäsystemaattiseen riskiin vertailemalla pääomamarkkinasuoraa ja arvopaperimarkkinasuoraa keskenään. Pääomamarkkinasuora kertoo kuinka paljon sijoitussalkun kokonaisriski muuttuu, kun sijoitussalkun odotettu tuotto kasvaa. Arvopaperimarkkinasuora puolestaan kertoo odotetun tuoton ja markkinariskin välisen yhteyden. Kaikkien sijoituskohteiden systemaattinen riski  $\beta_m$  on 1. Seuraava kuvio kokoaa CAP-mallin perusajatuksen havainnollistamaan muotoon:



KUVIO 1. Pääomamarkkinasuora ja arvopaperimarkkinasuora. (Blake 2000, 493)

Optimaalinen riskillisten sijoituskohteiden portfolio on markkinaportfolio, joka löytyy tehokkaiden sijoitussalkkujen käyrän ja pääomamarkkinasuoran leikkauspisteestä.

Markkinaportfolio sisältää kaikkia markkinoilla olevia riskillisiä sijoituskohteita, ei pelkästään osakkeita. Yleensä on tapana käyttää jotakin indeksiä kuvaamaan markkinaportfoliota. Sijoitussalkuksi tulisi aina valita markkinaportfolion mukainen sijoitussalkku. Jos sijoitussalkun riskillisyyttä halutaan madaltaa, sijoitetaan osa varoista riskittömän koron korkopapereihin. Vastaavasti, jos halutaan markkinaportfolion ylittävää tuottoa, otetaan lainaa riskittömällä korolla ja sijoitetaan lainattu summa markkinaportfolioon. Haluttu tuoton ja riskin suhde voidaan siis valita pääomamarkkinasuoralta. Markkinaportfolion kokonaisriski muodostuu pelkästään systemaattisesta riskistä, koska epäsystemaattinen riski on poistunut hajautuksen ansiosta. (Blake 2000, 492-493)

Kaikki oikein hinnoitellut arvopaperit löytyvät arvopaperimarkkinasuoralta. Mitä suurempi on arvopaperin systemaattinen riski  $\beta$ , sitä suurempi on sen odotettu tuotto. CAP-mallin yhtälö määrittää arvopaperimarkkinasuoran, jolloin yhtälöä voidaan hyödyntää valittaessa arvopapereita sijoitussalkkuun. Mikäli arvopaperin odotettu tuotto poikkeaa CAP-mallin mukaisesta odotetusta tuotosta, on se yli- tai alihinnoiteltu. Arvopaperi on aliarvostettu silloin, kun

$$(6) \quad r_i > r_f + \beta_i \times (r_m - r_f).$$

Kun arvopaperi on aliarvostettu, sijoittajien tuottovaatimus on suurempi kuin markkinat CAP-mallin mukaisessa tasapainotilassa vaatisivat. Tällöin yrityksen odotettuja osinkoja diskontataan liian suurella korolla ja osakkeen hinta muodostuu liian alhaiseksi. Tällaisen osakkeen hinta alkaa markkinoilla nousta, koska diskonttokorko alenee kohti tasoa, joka vastaa odotettua  $\beta$ -riskiä. (Niskanen & Niskanen 2000, 222)

Vastaavasti arvopaperi on yliarvostettu silloin, kun

$$(7) \quad r_i < r_f + \beta_i \times (r_m - r_f).$$

Tällöin tuottovaatimus on pienempi kuin odotetun tuoton perusteella kuuluisi ja osakkeen hinta on liian korkea. Jotta CAP-mallin mukainen tuottovaatimus toteutuisi, osakkeen hinta alkaa laskea. Tämä johtuu siitä, että odotettujen osinkojen diskonttokorko nousee vastaamaan odotettua  $\beta$ :a. (Niskanen & Niskanen 2000, 222)



Solnik (1995, 89-90) on tutkinut hajautuksen vaikutusta osakesalkun riskillisyyteen. Sijoittamalla ainoastaan eri toimialan kotimaisiin osakkeisiin, tarvitaan keskimäärin kahdeksan osaketta, jotta epäsystemaattisen riskin osuus kokonaisriskistä vähenee kymmeneen prosenttiin. Pienissä valtioissa jo alle 20 osaketta sisältävä toimialoittain hajautettu sijoitussalkku seuraa täysin markkinaindeksiä. Kansainvälisesti hajautettuun sijoitussalkkuun tarvitaan noin 20 osaketta, jotta epäsystemaattisen riskin osuus saadaan pienennettyä kymmeneen prosenttiin ja yli 300 osaketta poistaa epäsystemaattisen riskin lähes kokonaan. Kansainvälisesti hajautetun sijoitussalkun systemaattinen riski on kuitenkin huomattavasti alhaisempi verrattuna kotimarkkinan systemaattiseen riskiin. Kokonaisriski on aina pienempi kansainvälisesti hajautetussa sijoitussalkussa.

### 3.1.3 Arbitrage Pricing -teoria

Ross (1976) kehitti CAP-mallista johdetun Arbitrage Pricing Theoryn (APT) sijoitussalkun valintaongelmaan. Sitä voidaan pitää CAP-mallin päivitettyinä versiona. APT-mallissa otetaan huomioon joukko riskitekijöitä kuten esimerkiksi inflaatio, korkokurssi, öljyn hinta ja valuuttakurssi. Jokainen yksittäinen sijoituskohte reagoi eri tavalla riskitekijän  $F_N$  muutokseen. Tätä muutosherkkyyttä riskitekijälle merkitään  $\beta_i$ :lla. Yksittäisen sijoituskohteen odotettu tuotto  $r_i$  lasketaan APT:n usean riskitekijän kaavalla seuraavasti:

$$(8) \quad r_i = \alpha_i + \beta_{i1}F_1 + \beta_{i2}F_2 + \dots + \beta_{iN}F_N + \varepsilon_i.$$

Kuten CAP-mallissa, myös Rossin (1976) esittelemässä APT-mallissa riski jaetaan systemaattiseen ja epäsystemaattiseen riskiin. Systemaattinen riski  $\beta_i$  muodostuu useista riskitekijöistä, kun taas epäsystemaattinen riski  $\varepsilon_i$  on ominainen juuri tietylle sijoituskohteelle. Epäsystemaattinen riski katoaa sijoituskohteiden määrän kasvaessa, mutta systemaattinen riski ei muutu hajauttamalla.

ATP-mallin etuna CAP-malliin on se, että menetelmässä huomioidaan useita riskitekijöitä ja se antaa tarkemman vastauksen odotetusta tuotosta. Oikeiden riskitekijöiden määrittäminen on kuitenkin hankalaa. Molemmat menetelmät sisältävät lukuisia epärealistisia oletuksia, mutta silti molemmat menetelmät ovat laajasti käytössä. Ei voida

suoraan sanoa, kumpi menetelmistä on parempi, vaan paremmuus riippuu käyttäjän tarpeista. (Ross ym. 2002, 298-299)

### 3.1.4 Safety first -optimointi

Edellä esitellyt optimointimenetelmät sisälsivät useita oletuksia sijoitussalkun optimoinnissa. Markkinoilla käytetään myös menetelmiä, joissa ei tarvitse tehdä tiukkoja oletuksia markkinoiden käyttäytymisestä. Yleisesti tunnettu hyötyteoriaan perustuva optimointimenetelmä on safety first -menetelmä. Menetelmässä käytetään mallia, joka kiinnittää huomion salkun turvallisuuteen. Safety first -menetelmissä sijoittaja maksimoi odotettua tuottoa niin kauan kuin epäonnistumisen todennäköisyys pysyy asetettujen rajoitteiden sisällä. (Elton & Gruber 1995, 231-232)

Yksi mahdollinen vaihtoehto safety first -menetelmälle on Gourirouxin, Laurentin ja Scailletin (2000) esittelemä menetelmä, jonka avulla voidaan estimoida epäonnistumisen todennäköisyys ja laskea optimaalinen safety first -sijoitussalkku. Menetelmän perusidea on turvata sijoitussalkun minimaalinen tuotto mahdollisimman suurella todennäköisyydellä. Menetelmä muistuttaa paljon VaR-menetelmän äärimmäisten häntähavaintojen estimointia. Safety first -menetelmää voidaan pitää sijoitussalkun optimointina, mutta optimointia säädellään VaR-rajoitteilla. (Jansen, Koedijk & de Vries 2000, 248-249)

Gourirouxin ym. esittelemässä menetelmässä sijoittajan preferenssejä kuvataan muuttujilla  $(\pi, \mu)$ , missä  $\pi = 1$ , jos suuren negatiivisen tuoton todennäköisyys ( $P$ ) on pienempi kuin kriittisen arvon  $\delta$ ,  $P < \delta$ . Muuten  $\pi = 1 - P$ .  $\delta$  ilmoittaa siis todennäköisyyden kriittisen tappion esiintymiselle. Annetulla  $\pi$ :n arvolla sijoittaja maksimoi odotettua tuottoa  $\mu$ . Nyt optimointiongelma voidaan kirjoittaa muodossa

$$(9) \quad \underset{a, a_0}{\text{Max}}(\pi, \mu) \text{ edellyttäen, että } a' P_t + a_0 = W_t$$

missä  $\pi = 1$ , jos  $P = \Pr(a' P_{t+1} + a_0 r \leq s) \leq \delta$ , muutoin  $\pi = 1 - P$ .

$$\mu = E a' P_{t+1} + a_0 r \text{ aina.}$$

$P_t$  on sijoituskohteen alkuperäisen markkina-arvon vektori hetkellä  $t$ ,  $P_{t+1}$  on markkina-arvon vektori hetkellä  $t+1$ ,  $W_t$  on sijoittajan alkuvarallisuus,  $a_0$  lainaksi ottamisen määrä (jos  $a_0 < 0$ ) tai velaksi myöntämisen määrä (jos  $a_0 > 0$ ),  $r$  on riskitön korko ja  $a'$  sijoituskohteiden painovektori sijoitussalkussa. Sijoittaja joutuu määrittelemään romahdustason eli kriittisen tason  $s$  ja laskea romahduksen todennäköisyys  $\delta$ . Edellä esitetty maksimointiongelma voidaan ilmaista bruttotuottona  $R = a' P_{t+1} / a' P_t$ , jolloin safety first -kriteeri kirjoitetaan muotoon

$$(10) \quad \Pr(a' P_{t+1} \leq s - a_0 r) = \Pr\left(\frac{a' P_{t+1}}{a' P_t} < \frac{s - a_0 r}{W_t - a_0}\right) \leq \delta$$

$$= \Pr\left(R \leq r + \frac{s - W_t}{W_t - a_0}\right) \leq \delta.$$

Menetelmässä on hyödyllistä määrittää arvo  $q_\delta(R)$ , joka merkitsee sitä, että  $\delta$  %:n todennäköisyydellä tuotot ovat yhtä suuria tai pienempiä kuin tämä arvo eli

$$(11) \quad \Pr(R \leq q_\delta(R)) = \delta. \text{ (Jansen ym. 2000, 250-252)}$$

Safety first -menetelmässä sijoittaja siis maksimoi odotettua tuottoa niin kauan, kun tuotot pysyvät VaR-rajoitteen sisällä. Erona perinteisiin keskiarvo–varianssi-menetelmiin on se, että safety first -menetelmässä määritellään  $\delta$  ja jakauman VaR. Menetelmä ottaa myös huomioon VaR-tasoa suuremmat negatiiviset shokit. Joissakin tapauksissa safety first- ja varianssi–kovarianssi-menetelmät antavat identtiset vastaukset sijoitussalkun optimointiongelmalle, esimerkiksi silloin, kun sijoituskohteiden tuotot ovat normaalisti jakautuneet. (Jansen ym. 2000, 250-252)

## 3.2 Riskin estimointi

### 3.2.1 Pienimmän neliösumman menetelmä

Ehkä tunnetuin ja yleisimmin käytössä oleva menetelmä historiallisen volatilitteen estimointiin on pienimmän neliösumman menetelmä (OLS). Yksinkertaista OLS-menetelmää käytetään silloin, kun mallin selitysvirheiden jakaumat ovat normaalija-

kautuneita nolla keskiarvolla ja identtisellä varianssilla kaikissa muuttujissa. Varianssin estimaatti lasketaan kaavalla

$$(12) \quad \hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2,$$

missä  $\bar{x}$  on datasarjasta laskettu keskiarvo. Finanssidatasta on huomattu, että 100 ja 200 päivän datasarjasta estimoitu keskiarvo ei ole välttämättä hyvä estimaatti prosessin keskiarvolle. Estimaatti on harhaton, mutta ennustaa huonosti. Estimaatin hankala piirre liittyy sen laskutapaan. Kun datasarjasta lasketaan päivätuotot ja niiden keskiarvo, aikasarjan keskiarvo määräytyy suoraan ensimmäisen ja viimeisen havainnon perusteella. Kun katsotaan volatilitietin kaavaa (12) nähdään, että siinä yksittäinen poikkeamahavainto koostuu termistä  $(x_i - \bar{x})^2$ , jossa  $\bar{x}$  määräytyy datasarjan ensimmäisen ja viimeisen havainnon perusteella. Esimerkiksi 101 päivän havaintosarjasta saadaan 100 tuottohavaintoa, jolloin uuden havainnon paino ei ole 1/100, sillä uusi poikkeava havainto aiheuttaa muutoksen  $\bar{x}$ :n estimaatissa. Uuden poikkeavan havainnon ilmetessä keskiarvon estimaatti muuttuu ja siten kaikki volatilitietiestimaatin termit muuttuvat ja estimaatti hyppää selvästi. Tämä johtaa epästabiileihin estimaatteihin eli volatilitietiestimaatit reagoivat voimakkaasti uusiin poikkeaviin havaintoihin. Sama ilmiö tapahtuu myös poikkeavan sarjan poistuttua estimoitavasta datasarjasta. (Jauri 1997, 187-188)

VaR-mallia käytettäessä lyhyellä aikavälillä, voidaan keskiarvoksi asettaa nolla. Tämä voidaan perustella sillä, että lyhyellä aikavälillä volatilitietti dominoi keskiarvoa ja prosessin kiinnostava komponentti on juuri volatilitietti eikä keskiarvo. Valuuttakurssien yhteydessä voidaan käyttää myös termiinikurssin mukaista odotusarvoa korvaamaan keskiarvo. (Jauri 1997, 188)

OLS-menetelmässä lähtökohtaisesti jokaisella estimaatilla on yhtä suuri paino. On kuitenkin muistettava edellä selitetty keskiarvoestimaatista johtuva ensimmäisen ja viimeisen havainnon ylimääräinen korostus. Tästä syystä OLS-menetelmää kritisoidaan usein myös siitä, että vanha esimerkiksi 100 päivää aiemmin sattunut markkinahäiriö heiluttaa riskilukuja poistuessaan datasarjasta. (Jauri 1997, 189)

### 3.2.2 Eksponentiaalisen tasoituksen liukuvan keskiarvon menetelmä

Toinen liukuvien keskiarvojen estimointimenetelmä on eksponentiaalisen tasoituksen liukuvan keskiarvon menetelmä (EWMA). Se korvaa OLS-menetelmän yhteydessä mainittuja puutteita. Eksponentiaalinen painotus saadaan käyttämällä ns. decay-tekijää ( $\lambda$ ). Painokertoimet muodostavat eksponentiaalisen sarjan. Päättymättömän EWMA:n kaavaksi saadaan

$$(13) \quad (1 - \lambda) \sum_{i=1}^N \lambda^{i-1} r_{t-1}^2.$$

Decay-tekijä määrää sen, kuinka paljon pienempi seuraavan havainnon paino on edelliseen verrattuna. Mitä pienempi decay-tekijän arvo on, sitä suuremman painon tuorein havainto saa. RiskMetrics-menetelmässä yhden vuorokauden volatilitietin estimoinnissa decay-tekijäksi on valittu 0,94. Tällöin ensimmäisen havainnon paino on 1, seuraavan 0,94, sitä seuraavan  $0,94^2$  jne. Tästä huomataan, että datasarjan jatkuu äärettömyyteen, ja kaukaisilla havainnoilla on äärimmäisen pieni paino. Näin vältetään kauempana historiassa tapahtuneiden poikkeavien havaintojen suuri vaikutus volatilitettiin. (Alexander 1998, 129-130) Jos esimerkiksi  $\lambda = 0,94$ , silloin 99,9 % informaatiosta saadaan viimeisen 112 pörssipäivän ajalta. Jos taas  $\lambda = 0,97$ , saadaan 99,9 % informaatiosta viimeisen 227 pörssipäivän ajalta. (Mina & Xiao 2001, 15)

EWMA:n tärkeä ominaisuus on se, että uusi estimaatti voidaan päivittää rekursiivisesti uuden havainnon ja vanhan estimaatin avulla. Tämän ominaisuuden johdosta estimaatin päivittäminen on helppoa ja nopeaa. Uusi estimaatti  $\hat{\sigma}_t^2$  saadaan laskettua vanhan estimaatin  $\hat{\sigma}_{t-1}^2$  ja uuden havainnon neliön avulla:

$$(14) \quad \hat{\sigma}_t^2 = \lambda \sigma_{t-1}^2 + (1 - \lambda) r_t^2.$$

Decay-tekijä valitaan niin, että ennustetun volatilitietin ja todellisen volatilitietin välinen ero minimoituu. EWMA-menetelmän vahvuus on yksinkertainen laskettavuus ja sen nopea reagointi markkinoiden muutoksiin. (Dowd 1998, 95)

### 3.2.3 CARCH-mallit

Volatiliteetin ennustamiseen käytetään usein myös GARCH-malleja. GARCH-ominaisuus tarkoittaa sitä, että kurssien tuleva volatiliteetti on ennustettavissa vanhasta aikasarjasta. GARCH-malleissa estimaatin laatua on parannettu selittämällä virhetermin muuttumista yli ajan, eli tulevan volatiliteetin ennuste saadaan vanhan aikasarjan ennustevirheiden avulla. GARCH-mallit ovat parhaimmillaan ennustettaessa mahdollisimman tarkasti lyhyen aikavälin muutoksia yksittäisessä muuttujassa. Malli ei sovellu kovin hyvin tilanteisiin, jossa on pitkiä datasarjoja. Käytännön näkökulmasta GARCH-mallien käyttöä on vaikea perustella, jos estimaatit pitää laskea varmasti uudestaan ja mallilla lasketaan kymmeniä markkinoita. (Jauri 1997, 190-191)

#### (i) ARCH

Engel (1982) esitteli ARCH-mallin (autoregressive conditional heteroskedasticity) volatiliteetin estimoimiseen. ARCH(p)-mallin avulla laskettu varianssin ehdollinen yhtälö on

$$(15) \quad \sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \dots + \alpha_p \varepsilon_{t-p}^2$$

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

missä yhtälön rajoitus on välttämätön, jotta ehdollinen varianssi olisi aina positiivinen. Malli ARCH(p) tarkoittaa sitä, että mallilla on p periodin muisti. Ehdollinen varianssi ilmaistaan aiempien virhetermien  $\varepsilon$  neliöiden liukuvan keskiarvon avulla. Jos markkinoilla tapahtui muutos  $m$  periodia sitten ( $m \leq p$ ), on sen vaikutus ehdolliseen varianssiin positiivinen eli virhetermi  $\varepsilon_m$  kasvaa. Tämä tarkoittaa sitä, että saadaan todennäköisesti suuri markkinamuutos suuntaan tai toiseen estimointihetkellä. Lisäksi suurta markkinamuutosta seuraa todennäköisesti suuri markkinamuutos eli historia toistaa itseään. ARCH(p)-malli ei anna ennustetta tulevasta, vaan yhtälö antaa estimaatin varianssin arvolle periodilla (t-p). Mallia voidaan kuitenkin käyttää ehdollisen volatiliteetin ennustamiseen. Rahoitusmarkkinoilla volatiliteetin estimoinnissa ARCH mallien sijasta käytetään kuitenkin yksinkertaisempia GARCH-malleja. (Alexander 1996, 242)

## (ii) GARCH

GARCH-malli syntyi vuonna 1986, kun Bollerslev lisäsi ARCH-malliin q varianssin autoregressiivistä termiä. Nyt GARCH-malli voidaan kirjoittaa muotoon

$$(16) \quad \sigma_t^2 = \omega + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \dots + \alpha_p \varepsilon_{t-p}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2 + \dots + \beta_q \sigma_{t-q}^2$$

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

Tämä on GARCH(p,q) ehdollinen varianssi, joka sisältää viivästettyjä virheneliöitä ja viivästettyjä autoregressiivisiä termejä. Mallissa  $\alpha$  on virhekerroin ja  $\beta$  kuvaa GARCH-viivettä. Rahoitusmarkkinoilla käytetään yleensä vain yhden edeltävän periodin GARCH(1,1)-mallia. Tällöin malli sisältää vain yhden viivästetyn virheneliön ja yhden viivästetyn autoregressiivisen termin. Nyt malli on muotoa

$$(17) \quad \sigma_t^2 = \omega + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2$$

$$\omega > 0, \alpha, \beta \geq 0.$$

Rahoitusmarkkinoilla on havaittu  $\beta$ -kertoimen olevan yli 0,7, mutta GARCH-virhekerroin  $\alpha$  on yleensä pienempi kuin  $\beta$ . Nämä kertoimet määrittelevät lyhyen aikavälin dynamiikan aikasarjojen volatilititeetille. GARCH-viivekertoimen saadessa suuria arvoja, shokkien vaikutus ehdolliseen varianssiin vaikuttaa pidemmän aikaa. Tällöin volatilititeetti ei ole niin herkkä lyhyen aikavälin muutoksille. Kun virhekerroin saa suuria arvoja, reagoi volatilititeetti nopeasti markkinoiden liikkeisiin ja volatilititeetti on tarkka. Malli on riittävän tehokas useimpiin tarkoituksiin, koska sillä on ääretön muisti. Malli itse asiassa vastaa jatkuvaa ARCH-mallia, kun virheneliöllä on eksponentiaalisesti vähenevät painokertoimet. (Alexander 1996, 242-244)

### 3.2.4 Volatilititeetin laskeminen optiomarkkinoiden hinnoittelumenetelmällä

Volatilititeetin estimointi historiallisesta datasta voidaan korvata implisiittisellä volatilititeetillä. Implisiittisessä volatilititeetissa käytetään täysin eri dataa ja eri laskentamallia verrattuna historialliseen volatilititeettiin. Implisiittinen volatilititeetti perustuu suoraan täsmällisiin markkinahintoihin, jolloin tehokkailla markkinoilla volatilititeetti on sen het-

ken tietämyksellä täsmälleen oikea. Yleisesti käytetty implisiittinen hinnoittelumenetelmä on optiomarkkinoiden Black & Schole -hinnoittelumalli. Vastauksena saadaan volatiliteetin ennuste. Se ei ole volatiliteetin estimaatti, vaan volatiliteetti on implisiittinen option hintanoteerauksen kanssa. Ennustushorisontti volatiliteetille on sama, kuin option maturiteetti. Black & Schole -hinnoittelukaava myyntioptiolle kirjoitetaan muotoon

$$(18) \quad C = SN(x) - Ke^{-rt} N(x - \sigma\sqrt{t})$$

missä  $r$  on riskitön korko,  $S$  kohde-etuuden markkinahinta,  $K$  on kohde-etuuden toteutushinta,  $t$  on option jäljellä oleva elinikä,  $N(\cdot)$  on normaalijakautunut funktio ja

$$(19) \quad x = \ln(S / Ke^{-rt}) / \sigma\sqrt{t} + \sigma\sqrt{t} / 2.$$

Koska option hinta  $C$  ja samoin muuttujat  $S$ ,  $K$ ,  $r$  ja  $t$  määräytyvät markkinoilla, ainoastaan muuttuja  $\sigma$  on tuntematon. Implisiittinen volatiliteetti  $\sigma$  saadaan laskettua käänteisesti option hinnasta. Ongelmana kuitenkin on, että markkinoilla on lukuisia erilaisia optioita. Maturiteettien vaihdellessa optiot antavat erilaisia vastauksia implisiittiselle volatiliteetille. Lisäksi at-the-money optioilla volatiliteetti on matalampi kuin in-the-money tai out-the-money optioilla. Vaolatiliteetti on myös suurempi kohde-etuuksilla, joiden toteutushinta on korkea. Sekä implisiittinen että historiallinen volatiliteetti sisältävät useita ongelmia ja siksi GARCH-malleja pidetään usein parhaimpana volatiliteetin estimointimenetelmänä. (Alexander 1998, 148-149)

### 3.2.5 Kovarianssimatriisin estimointi

Määriteltäessä sijoitussalkun riskiä ei riitä, että lasketaan yksittäisten sijoituskohteiden volatiliteetit, vaan riskin mittaaminen vaatii kovarianssimatriisin määrittämistä. Positiivisesti definiitti kovarianssimatriisi muodostetaan seuraavasti:

$$(20) \quad \Sigma = Cov = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \cdots & \sigma_{1N} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \cdots & \sigma_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{N1} & \sigma_{N2} & \cdots & \sigma_{NN} \end{bmatrix}.$$



Kun kovarianssi  $\Sigma$  on määritelty, sijoitussalkun varianssi voidaan esittää matriisimuodossa

$$(21) \quad \sigma_p^2 = \begin{bmatrix} w_1 & w_2 & \cdots & w_N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \cdots & \sigma_{1N} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \cdots & \sigma_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{N1} & \sigma_{N2} & \cdots & \sigma_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_N \end{bmatrix} = \mathbf{w}' \Sigma \mathbf{w},$$

missä  $\mathbf{w}'$  on sijoituskohteiden tuottojen painovektori ja  $\mathbf{w}$  tuottojen vektori. Kovarianssi mittaa kuinka voimakkaasti sijoituskohteet liikkuvat samaan suuntaan. Jos kaksi sijoituskohdetta on toisistaan riippumattomia, kovarianssi on nolla. Positiivinen kovarianssi tarkoittaa, että sijoituskohteet liikkuvat samaan suuntaan ja negatiivisen kovarianssin vallitessa eri suuntiin. (Jorion 2000, 149)

Sijoituskohteiden välisistä riippuvuuksista saadaan selkeämpi kuva mittaamalla tuottojen välisiä korrelaatioita. Korrelaatiokertoimen skaala vaihtelee aina -1 ja +1 välillä. Sijoituskohteiden a ja b välisen korrelaation kaava on

$$(22) \quad \rho_{a,b} = \frac{\sigma_{a,b}}{\sigma_a \sigma_b}.$$

Sijoitussalkun riski on aina pienempi kuin sijoituskohteiden riskin painotettu keskiarvo, jos korrelaatiot ovat pienempiä kuin yksi. Riski on sitä pienempi, mitä pienempiä ovat sijoituskohteiden väliset korrelaatiot ja mitä enemmän sijoituskohteita on salkussa. (Jorion 2000, 148-152; Johanson & Wichern 2002, 71-72, 77)

Täyden kovarianssimatriisin käyttö ei ole ongelmaton. Mitä enemmän muuttujia malliin tuodaan, sitä pidempiä datasarjoja tarvitaan. Lisäksi varianssi- ja kovarianssimatriisin täytyy toteuttaa positiivisen definiittisyyden ehto, jotta matriisin estimaatit eivät olisi keskenään ristiriitaisia. Esimerkiksi riskitekijöiden a ja b sekä a ja c korreloidessa positiivisesti keskenään, täytyy myös b:n ja c:n välinen korrelaatio olla positiivinen. Mikäli matriisi ei ole positiivisesti definiitti, sen sisältämä informaatio on virheellinen. Jos muuttujia on paljon, ongelmaksi muodostuu kunnollisen kovarianssimatriisin laskemi-

nen lyhyestä datasta. Positiivisen definiittisyyden takaamiseksi pitäisi kovarianssimatriisin laskentaan käyttää huomattavasti enemmän havaintoja kuin siinä on muuttujia. Ennen VAR-lukujen laskemista on aina tarkistettava matriisin positiivinen definiittisyys. (Jauri 1997, 192-193)

Edellä esitettyä positiivisen definiittisyyden ongelmaa kutsutaan myös dimensionaalisuuden kiroukseksi. Se on kritiikki täyden kovarianssimatriisin käyttöä vastaan. Mallin tarkkuutta ei voida lisätä lisäämällä muuttujia, koska tarvitaan lisää dataa. Lisädata on kuitenkin jo niin vanhaa, ettei sen mukaan ottaminen paranna kovarianssimatriisin ennustuskykyä. (Jauri 1997, 193)

### **3.3 Markkinadatan käsittely**

Sijoitussalkun markkinariskin mittaamisessa huomio kiinnittyy juuri volatilitietin ja kovarianssimatriisin estimointiin. Estimointia varten tarvitaan valtava määrä markkinadataa, jolloin datan käsittelyssä kohdataan monia muitakin ongelmia kuin positiivisen definiittisyyden ongelma. Osa ongelmista on yhteisiä kaikille aikasarja-analyysille ja osa tietyn ongelman erityispiirteistä johtuvia. Tyypillisimpiä ongelma-alueita ovat datasarjan laatu ja datasarjan pituus, joita käsitellään seuraavaksi. (Jauri 1997, 183)

#### **3.3.1 Datasarjan laatu**

Päivädataa kertyy melko nopeasti, mutta se on kuitenkin herkkä pienille virheille, joita datan keruussa voi tapahtua. Tämä aiheuttaa ongelmia datasarjan laatuun. Datasarjan laatuun liittyviä ongelmia ovat mm. aikasynkronoinnin puutteellisuus, puuttuvat havainnot ja virheelliset päivitykset. (Jauri 1997, 183)

Aikasynkronoinnin puutteellisuus syntyy silloin, jos dataa ei kerätä joka päivä samalta ajankohdalta, vaan kurssihavaintojen poiminta osuu satunnaisesti johonkin hetkeen. Aikasynkronoinnin puutteellisuuden aiheuttaa myös se, että eri aikavyöhykkeillä markkinat ovat eri aikaan auki. Tällöin joudutaan tilanteeseen, jossa osa markkinoista on kiinni sillä hetkellä, jolloin data haluttaisiin kerätä. Yksi vaihtoehto on kerätä havainnot myöhään iltapäivällä, jolloin esimerkiksi sekä Helsingin että New Yorkin pörssit ovat auki. Kaukoidän hinnat voidaan ottaa joko aiemmin iltapäivällä syntyneistä closinghinnoista tai kerätä kaikki saatavilla olevat noteeraukset Helsingin tai New Yorkin markkinoilta. Ensimmäisessä tavassa hyväksytään pysyvä noteerausten aikaero ja sen

tuoma virhe erityisesti korrelaatioihin. Jälkimmäisessä hyväksytään noteerausten heikompi tehokkuus ja sen myötä virheet erityisesti volatiliteetissa. (Jauri 1997, 183)

Toinen datasarjan laatuun liittyvä ongelma on puuttuvien havaintojen ongelma, joka aiheutuu eri maiden kansallisista vapaapäivistä. Luotettavia havaintoja voidaan saada vain silloin, kun markkinat ovat avoimena. Siksi kansallisen vapaapäivän seurauksena puuttuvat havainnot on korvattava jollakin tavoin. Yksinkertainen ratkaisu ongelmaan on quick and dirty -menetelmä, jossa kopioidaan puuttuvan havainnon tilalle edellisen päivän havainto. Tällä tavoin saadaan datasarja täydennettyä, mutta erityisesti korrelaatioista muodostuu virheellinen kuva. Vaihtoehtoinen menetelmä on maximum likelihood -menetelmä. Menetelmässä etsitään havaintoa, joka todennäköisimmin olisi saatu, ottaen huomioon vanhan kurssihistorian mukaiset korrelaatiot. Maximum likelihood -menetelmää käytetään mm. RiskMetrics-tietokannassa korvaamaan puuttuvat havainnot. RiskMetrics-menetelmä esitellään VaR-menetelmät ja niiden vertailu luvussa. (Jauri 1997, 184)

Datarajan keruussa törmätään myös virheellisiin päivityksiin, mikä vaikuttaa datasarjan laatuun. Kurssit, jotka poimitaan eri tietokannoista, saattavat sisältää virheellisiä hintoja esimerkiksi näppäilyvirheen johdosta. Jotta virheelliset havainnot huomattaisiin, on datan käsittelijän laadittava säännöt siitä, kuinka suuret muutokset ovat epäilyttäviä. Tämän jälkeen pitäisi pystyä hakemaan todellinen kurssinoteeraus mahdollisimman läheltä poimintahetkeä. Tämä on kuitenkin työlästä ja aikaa vievää ja siksi huomattavasti varmempia lähteitä ovat jo kerran tarkistetut kurssisarjat. (Jauri 1997, 184)

### 3.3.2 Datarajan pituus

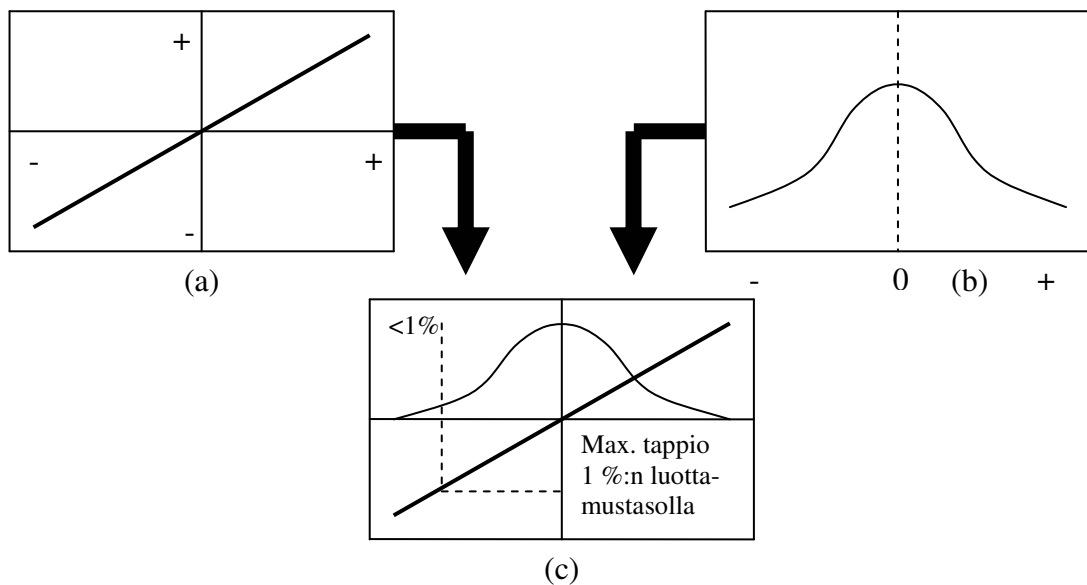
Oman ongelmansa luo datasarjan pituus. Estimoinnin tavoitteena on ennustaa mahdollisimman hyvin volatiliteettia ja korrelaatiota tarkastelujaksolla. Koska ennusteet perustuvat historialliseen aineistoon, on datasarjan keski-iällä olennainen merkitys ennustamiseen. Pitkä datasarja parantaa estimaattien stabiilisuutta, mutta tekee samalla estimaateista heikosti reagoivia. Lyhyt datasarja painottaa lähihistoriaa, jolloin estimaatit vaihtelevat voimakkaasti uusien havaintojen mukana. (Jauri 1997, 185)

Lyhytaikainen kaupankäyntistrategia perustuu minuuttien ja tuntien aikahorisonttiin. Tästä äärimmäisenä esimerkkinä ovat treidaajat, joiden sijoituspositiot voivat olla vain

sekunteja. Lyhytaikaisessa kaupankäynnissä vain tuoreimmilla markkinahavainnoilla on informatiivista merkitystä. Tällöin korrelaatioanalyysin pohja voi olla päivän sisäinen ja data on minuuttidataa. Datasarjan pituus ei kata enempää kuin muutamia tunteja. Toinen äärilaita on yritysten strateginen suunnittelu, jossa arvioidaan suhdanteiden kehittymistä useiden vuosien aikavälillä. Data voi olla viikko- tai kuukausidataa ja se kerätään mahdollisesti koko suhdannesyklin ajalta. Kansainvälisen Järjestelypankin suositus on käyttää 250 päivähavaintoa. Jos sovelletaan menetelmiä, jotka painottavat eri havaintoja erilaisilla painoilla, datasarjan keski-ikä on oltava vähintään puoli vuotta. (Jauri 1997, 186)

## 4 VaR-menetelmät ja niiden vertailu

Sijoitussalkun epävarmuuden määrää voidaan mitata VAR-mallien avulla. VAR-mallin voidaan ajatella koostuvan kahdesta osasta. Ensimmäinen osa kuvaa sijoitussalkun markkinamallia, eli sijoitussalkun herkkyyttä markkinoiden muutokselle. Se on kuvattu kuviossa 2 (a). Kuviossa vaaka-akseli kertoo sijoitussalkun markkina-arvon muutoksen, kun markkinat muuttuvat pysty-akselin osoittaman määrän. Sijoitussalkun herkkyyttä CAP-mallilla mitattaessa kuvataan arvopaperimarkkinasuoran kulmakertoimella  $\beta$ . Toinen osa muodostuu salkun tilastollisesta mallista, jolla pyritään kuvaamaan markkinoita mahdollisimman todenmukaisesti. Useimmissa VaR-malleissa oletetaan riskiteki-  
jöiden noudattavan jotakin todennäköisyysjakaumaa. Kuvassa 2 (b) on havainnollistettu sijoitussalkun arvon vaihtelun todennäköisyyttä normaalijakauman avulla. Yhdistämällä sijoitussalkun arvon herkkyys ja arvon muutoksen todennäköisyys, saadaan määriteltyä sijoitussalkun VaR-luku. VaR on suurin mahdollinen tappion määrä valitulla luottamustasolla ja valitulla mittausjaksolla. Tämä nähdään kuvasta 2 (c).



KUVIO 2. VaR-luvun laskeminen, kun sijoitussalkun hinnoittelufunktio on lineaarinen ja tuotot ovat normaalisti jakautuneet. (Alexander 1998, 69)

VaR-luku mittaa tappion määrää tietyllä ajanjaksolla valitulla luottamustasolla, kun markkinatilanne on normaali. Yhden prosentin VaR-luku tarkoittaa sitä, että 1 %:n to-

dennäköisyydellä salkun arvo laskee VaR-luvun mukaisen euromäärän tai enemmän seuraavalla t-mittaisella ajanjaksolla. Jos esimerkiksi Kurikan Osuuspankin likvidien varojen sijoitussalkun suuruus on 1000 euroa ja 1 %:n VaR-luku on -100 euroa, tällöin päivätappio on kerran sadassa päivässä suurempi kuin VaR-rajoitteen mukainen -100 euroa. Rahoitusmarkkinoilla käytetään yleensä 1 %:n, 2.5 %:n ja 5 %:n luottamustasoa. Tyypillisiä mittausjaksoja ovat yksi, kaksi ja kymmenen pörssipäivää, sekä yksi kuukausi. (Alexander 1998, 69; Linsmeier & Pearson 2000, 48) Laskennallisessa muodossa ilmaistuna VaR-luku saadaan yhdistämällä todennäköisyysjakauman valittu luottamustaso  $z_\alpha$ , sijoitussalkun varianssimatriisi  $\mathbf{w}' \Sigma \mathbf{w}$  ja mittausjakso  $\sqrt{\Delta t}$ . Jos halutaan saada vastaukseksi rahamääräinen VaR-luku, yhdistetään kaavaan sijoitussalkun markkina-arvo  $MV_p$ , jolloin VaR-kaavaksi saadaan

$$(23) \quad VaR = MV_p \times z_\alpha \times \sqrt{\mathbf{w}' \Sigma \mathbf{w}} \times \sqrt{\Delta t}. \text{ (Alexander 1998, 70)}$$

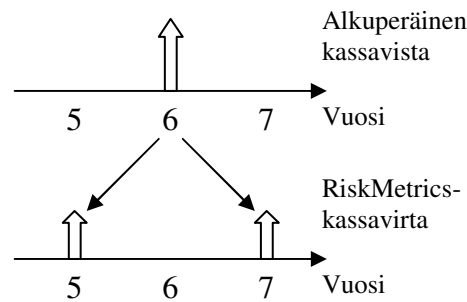
Erilaisia VaR-tekniikoita on kehitetty erilaisiin käyttötarkoituksiin, riippuen kuinka tarkkoja mittauksia halutaan ja mitä instrumentteja sijoitussalkkuun valitaan. Menetelmien joukko vaihtelee yksinkertaisista analyttisistä menetelmistä monimutkaisiin simulointimenetelmiin. Analyttiset menetelmät käyttävät instrumenttien hinnoittelussa usein RiskMetrics mapping -tekniikkaa, jossa instrumenttien hinnanmuutokset linearisoidaan. Jos VaR-luvun mittaamisessa halutaan ottaa huomioon hinnoittelufunktioiden epälineaariset komponentit, on VaR-luvun laskemiseksi käytettävä simulointimenetelmiä. Simulointimenetelmät käyttävät full valuation -metodia, jossa instrumentit hinnoitellaan aina uudelleen käyttämällä niiden alkuperäisiä hinnoittelukaavoja. (Alexander 1998, 78-79; Jorion 2001, 205, 209-210)

## **4.1 Analyttiset menetelmät**

### **4.1.1 Kassavirtojen mallinnus mapping-tekniikalla**

Analyttiset menetelmät käyttävät usein kassavirtojen mallintamiseen nk. mapping-menetelmää, jossa todelliset kassavirrat muutetaan RiskMetrics-kassavirroiksi. Kaikki instrumentit tuottavat erilaista kassavirtaa eri ajankohtina ja siksi kassavirrat kohdistetaan tietyille korkopisteille. Korkopisteet vaihtelevat kuukaudesta 30 vuoteen (m = kuukausi ja y = vuosi): 1m, 3m, 6m, 12m, 2y, 3y, 4y, 5y, 6y, 7y, 9y, 10y, 15y, 20y ja 30y.

Korkopisteillä on kaksi tärkeää ominaisuutta. Ensinnäkin maturiteetit ovat vakioita ja ne ovat voimassa nyt ja tulevaisuudessa kaikille instrumenteille. Toiseksi RiskMetrics-data sisältää volatilitteetit ja korrelaatiot näille korkopisteille. Mapping-menetelmässä todelliset kassavirrat kohdistetaan latauksiksi kahdelle lähimmälle maturiteetinsa ympärillä olevalle korkopisteelle. Kuviossa 3 kuuden vuoden maturiteetiltaan oleva kassavirta jaetaan kahdeksi lataukseksi, joiden maturiteetit ovat viisi ja seitsemän vuotta:



KUVIO 3. *Kassavirtojen mapping-menetelmä.* (RiskMetrics Technical Documents 1996, 118)

Alkuperäinen kassavirta saadaan interpoloimalla viereisten korkopisteiden tuotot

$$(24) \quad y_t = ay_{t-1} + (1-a)y_{t+1},$$

missä  $y_t$  on interpoloitu  $t$  hetken tuotto,  $a$  on lineaarinen painokerroin ja  $y_{t-1}$  ja  $y_{t+1}$  ovat vierekkäisten korkopisteiden tuotot. (RiskMetrics Technical Documents 1996, 117-119)

RiskMetrics Technical Documentissa (1996, 118) on määritelty tietyt säännöt, joiden ehdolla kassavirrat voidaan muuttaa kahdeksi lataukseksi, jolloin muuntaminen on perusteltua:

1. Instrumentin markkina-arvon tulee säilyä: Kahdelle korkopisteelle jaettujen RM-kassavirtojen summa täytyy olla yhtä suuri kuin todellinen kassavirta.
2. Markkinariskin tulee säilyä: Kahdelle korkopisteelle jaettujen RM-kassavirtojen markkinariskien täytyy vastata todellisen kassavirran markkinariskiä.

3. Etumerkin tulee säilyä: RM-kassavirtojen on oltava etumerkeiltään identtiset alkuperäisen kassavirran kanssa.

Näiden kolmen säännön toteutuessa instrumentin kassavirrat voidaan muuttaa latauksiksi, jonka jälkeen RiskMetrics-kassavirtoja käytetään VaR-luvun laskemiseen.

#### 4.1.2 Delta-malli

Delta-menetelmä perustuu ajatukselle, että markkinamuuttujat ovat multinormaalijakautuneet ja yksittäisten muuttujien tuottojen jakaumat ovat normaalijakautuneet. Satunnaisvektori  $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_p)^T$  on multinormaalijakautunut, jos se noudattaa todennäköisyysjakaumaa

$$(25) \quad f(x) = |\mathbf{\Sigma}|^{-\frac{1}{2}} \exp\left(-\frac{1}{2}(x - \boldsymbol{\mu})^T \boldsymbol{\Sigma}^{-1}(x - \boldsymbol{\mu})\right),$$

missä  $\boldsymbol{\Sigma}$  on  $N \times N$  positiivisesti definiitti ja symmetrinen kovarianssimatriisi ja  $\boldsymbol{\mu}$  on keskiarvovektori. Delta-menetelmässä jakauman paksuhäntäisyys, vinous ja muu ei-normaalijakautuneisuus jäävät analyysin ulkopuolelle. Eri muuttujien väliset yhteydet voidaan selittää korrelaatioiden avulla. (Jauri 1997, 196-197, 235)

Delta-menetelmää voidaan havainnollistaa Jorionin (2001, 206-207) esittämällä analyttisellä delta-aproksimaatiolla. Siinä oletetaan, että sijoitussalkkuun vaikuttaa ainoastaan yksi riskitekijä, jota merkitään  $S$ :llä. Sijoitussalkun arvo alkutilanteessa on  $V_0$ , jolloin sijoitussalkun arvoksi saadaan

$$(26) \quad V_0 = V(S_0).$$

Sijoitussalkun herkkyyttä arvonmuutokselle merkitään  $dV$ :lla, joka saadaan laskemalla  $V$ :n osittaisderivaatta  $S$ :n suhteen. Ensimmäistä osittaisderivaattaa merkitään  $\Delta_0$ :lla, jolloin sijoitussalkun mahdollinen tappio ratkaistaan kaavalla

$$(27) \quad dV = \frac{\partial V}{\partial S} \Big|_0 dS = \Delta_0 \times dS.$$



Jos markkinamuuttuja on normaalijakautunut, sijoitussalkun VaR-luku tietylle aikahorisontille saadaan kaavasta

$$(28) \quad VaR = |\Delta_0| \times VAR_s \times \sqrt{t} = |\Delta_0| \times (\alpha \sigma S_0) \times \sqrt{t},$$

missä  $\alpha$  on jakauman luottamustaso. Delta-menetelmien markkinamalli on siis mahdollisimman yksinkertainen ja sen lähtötiedoksi sopii mistä tahansa lähteestä peräisin oleva kovarianssimatriisi. Kaikki instrumentit hinnoitellaan sillä oletuksella, että instrumentin muoto on suora kopio markkinamuuttujan jakaumasta. Sen takia kaikki hinnoittelu on täysin lineaarista. Jos sijoitussalkku sisältää johdannaisia, syötetään ne malliin delta-apriksimaationa, joten johdannaisista tulee mukaan ainoastaan lineaarinen osuus. Tämä edellyttää optioiden deltojen laskemista kaikkien markkinamuuttujien suhteen. Positiotiedot kuvataan mapping-metodilla. (Jauri 1997, 197-198)

Koska delta-mallit perustuvat ratkaisun laskemiseen analyttisillä menetelmillä, ovat ne nopeita käyttää eivätkä vaadi suurta laskentatehoa. Tämän vuoksi ne sopivat parhaiten nopeasti muuttuvien ja sisällöltään yksinkertaisten positioiden mittaamiseen. Ne sopivat pankeille, jotka eivät käytä johdannaisia salkun suojaamiseen ja jonka pääomamarkkinariskit ovat pieniä liiketoiminnan riskeihin verrattuna. (Jauri 1997, 198)

Delta-menetelmää kritisoidaan sen yksinkertaisuuden tuomien puutteiden johdosta. Koska delta-menetelmä ei ota huomioon jakauman paksuhäntäisyyttä, menetelmä ei anna täysin todellista kuvaa riskin suuruudesta. Siksi menetelmä usein aliarvioi riskin suuruuden. Toinen ongelma liittyy siihen, ettei menetelmä mittaa riittävän tarkasti sijoitussalkun riskiä, jos salkku sisältää epälineaarisia instrumentteja. (Jorion 2001, 220-221)

### 4.1.3 Delta–gamma-malli

Johdannaisominaisuudet saadaan paremmin kuvatuksi delta–gamma-approksimaatiolla. Delta–gamma-menetelmässä optioiden hinnoittelumalli korvataan summaamalla delta, joka vastaa positioita muuttujassa, ja gamma, joka korjaa mallin lähemmäksi todellista hinnoittelumallia. Tätä tekniikkaa kutsutaan matematiikassa toisen kertaluvun Taylor-

kehitelemäksi. (Jauri 1997, 199) Jorionin (2001, 211-212) teoksessa optioiden arvonmuutos  $dV$  Taylor-menetelmällä lasketaan kaavalla

$$(29) \quad \begin{aligned} dV &= \frac{\partial V}{\partial S} \times dS + \frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial S^2} \times dS^2 + \frac{\partial V}{\partial t} dt + \dots \\ &= \Delta dS + \frac{1}{2} \Gamma dS^2 + \Theta dt + \dots \end{aligned}$$

missä  $\Delta$  on option ensimmäinen osittaisderivaatta kohde-etuuden hinnan suhteen,  $\Gamma$  option toinen osittaisderivaatta kohde-etuuden hinnan suhteen ja  $\Theta$  on option ensimmäinen osittaisderivaatta ajan  $t$  suhteen. Taylor-kehityksen ominaisuuksiin kuuluu, että se on tarkka hyvin pienille arvonmuutoksille ja approksimaatiovirhe kasvaa muutosten ollessa suurempia. Delta–gamma-menetelmällä option VaR-luku voidaan ratkaista kaavasta

$$(30) \quad \begin{aligned} VaR &= V(S_0) - V(S_0 - \alpha\sigma S_0) \\ &= V(S_0) - \left[ V(S_0) + \Delta(-\alpha\sigma S) + \frac{1}{2} \Gamma(-\alpha\sigma S)^2 \right] \\ &= |\Delta|(\alpha\sigma S) - \frac{1}{2} \Gamma(\alpha\sigma S)^2. \end{aligned}$$

Delta–gamma-menetelmä kuvaa paremmin salkun sisältöä kuin delta-menetelmä. Eri-tyisesti lyhyen aikavälin riskin mittauksissa ero on selvä. Delta–gamma-menetelmä voi kuitenkin antaa vääriä tuloksia silloin, kun salkussa on useita optiotodistuksia. Tämän johdosta salkun hinta ei ole monotonisesti kasvava tai vähenevä. Positioiden vienti delta–gamma-malliin vaatii, että normaaleista positioista lasketaan lataukset riskimuuttujille ja optioista lasketaan sekä delta että gamma. Deltan ja gamman laskemiseen tarvitaan optioiden hinnoittelumallia. Jos salkun arvo on funktio monista markkinamuuttujista, joudutaan delta ja gamma laskemaan kaikkien muuttujien suhteen. (Jauri 1997, 199)

Delta–gamma-menetelmän heikkouksiin kuuluu, että laskenta joudutaan tekemään jokaiselle salkulle ja salkkujen yhdistelmille erikseen. Laskenta joudutaan tekemään myös jokaiselle VaR-tasolle erikseen, jos halutaan raportoida esimerkiksi 1 %:n ja 5 %:n VaR-luvut. Menetelmällä on mahdollista tuottaa kuva salkun approksimoidusta, ei-normaalista jakaumasta, mutta silloin mallin ratkaisu tulee todella työlääksi. Delta-

menetelmään verrattuna delta–gamma-menetelmä on selvästi hitaampi. Tämä tulee esille varsinkin sellaisissa tilanteissa, joissa halutaan tuottaa salkun jakaumien kuvaajia. Jos analysoitavia salkkuja on kymmeniä tai satoja, malli joudutaan ratkomaan tuhansia kertoja. (Jauri 1997, 200)

#### 4.1.4 RiskMetrics-VaR

Tunnetuin ja yleisimmin käytössä oleva menetelmä VaR-luvun laskemiseen on RiskMetrics-VaR. RiskMetrics on täysin parametrinen menetelmä. RiskMetrics laskee position tuoton sen hinnan logaritmista muutoksista ja positioiden tuottojen oletetaan olevan normaalisti jakautuneita. Riskillisen sijoituskohteen logaritminen tuotto on

$$(31) \quad r_{i,T} = \log\left(\frac{P_T}{P_t}\right) = p_T - p_t,$$

missä  $r_{i,T}$  ilmoittaa logaritmisen tuoton hetkestä  $t$  hetkeen  $T$ .  $P_t$  on riskitekijän suuruus hetkellä  $t$ . Annetulla volatiliteetilla instrumenttien tuotot muodostuvat sattumanvaraisesti, jolloin tuottojen sanotaan noudattavan random walk -periaatetta. (Mina & Xiao 2001, 13-14)

Volatiliteetin estimoinnissa RiskMetrics käyttää eksponentiaalisen liukuvan keskiarvon EWMA-menetelmää (kaava (13)). Optimaalinen decay-tekijä  $\lambda$  saadaan minimoimalla varianssiestimaatin ja todellisen varianssin ero. Historiallisesta datasta laskemalla voidaan osoittaa, että optimaalinen  $\lambda$  löytyy 0,90-1 väliltä. On myös havaittu, että optimaalinen  $\lambda$  on sitä suurempi, mitä pitemmälle ajanjaksolle varianssi on mitattu. RiskMetrics-menetelmässä  $\lambda$ -tekijäksi on valittu 0,94, kun ennustetaan yhden päivän volatiliteettia ja 0,97 kuukauden volatiliteettiennusteisiin. (Mina & Xiao 2001, 13-15)

VaR-luvun laskemiseen käytetään delta- tai delta–gamma-menetelmään. Delta menetelmää käytetään silloin, kun sijoitussalkku sisältää vain lineaarisia instrumentteja. Jos sijoitussalkku sisältää epälineaarisia instrumentteja, joudutaan käyttämään delta–gamma-menetelmää. VaR-luvun laskentakaava on sama kuin tämän kappaleen alussa esitelty kaava (23). (RiskMetrics Technical Documents 1996, 121)

RiskMetriks käyttää markkinamuutoksista päivädataa, jolloin päivää pidemmälle jaksolle saadaan kertomalla yhden päivän VaR halutun aikaperiodin neliöjuurella. Näin voidaan kuitenkin tehdä vain lineaarisia positioita sisältävälle sijoitussalkulle. RiskMetrics-menetelmän tuloksia ja mallin soveltuvuutta riskin mittaamiseen testataan backtestingillä. Backtesting-menetelmät esitellään myöhemmin kappaleessa 4.4. (RiskMetrics Technical Documents 1996, 209, 219)

## **4.2 Simulointimenetelmät**

Jos VaR-analyysiin halutaan ottaa mukaan epänormaaleja jakaumia ja arvioida kaikkien instrumenttien riskitasot mahdollisimman tarkasti, käytetään VaR-luvun laskemiseen simulointimenetelmiä. (Jauri 1997, 163). Simulointimenetelmissä VaR-luku voidaan katsoa suoraan simuloitun sijoitussalkun tuoton jakaumalta. Jos simulointi tehdään historiallisesta datasta, puhutaan historiallisesta simuloinnista. Jos simulaatioita tuotetaan niin, että hinnat muuttuvat vapaasti, on kyse Monte Carlo -simuloinnista. Monte Carlo -simuloinnissa hintojen muutosta kuvataan usein Brownin liikkeen avulla. Simulointien joustavuuden ansiosta ne ovat kaikkein tehokkain tapa riskin mittaamiseen ja ne huomioivat parhaiten epänormaaleja markkinamuuttujia sekä optio-ominaisuuksia. (Jorion 2001, 291-292)

### **4.2.1 Historiallinen simulaatio**

Historiallisessa simuloinnissa halutaan välttää oletukset markkinamuuttujien jakaumista. Siinä käytetään suoraan vanhoja päivämuutoksia esimerkkinä siitä, mitä huomiseen mennessä voi tapahtua. Historiallisen simuloinnin menetelmässä ei oleteta mitään tilastollista jakaumaa. Siksi menetelmässä muuttujien normaalijakaumasta poikkeavat piirteet tulevat mukaan analyysiin: Sekä vinous että huipukkuus huomioidaan oikealla tavalla. Muuttujien välisiä yhteyksiä ei linearisoida korrelaatioiden avulla, vaan ne esitetään sellaisina, kuin ne on havaittu. (Jauri 1997,163-164)

Historiallisen simuloinnin yhteydessä käytetään full valuation -menetelmää. Tämä mahdollistaa instrumenttien todellisten hinnoittelukaavojen käytön. Tällöin myös optioiden ominaisuudet tulevat analyysissä oikein kuvatuiksi. Historiallisessa simuloinnissa vanhaa markkinadataa käytetään suoraan uudelleen ja tarkastellaan historiassa tapahtuneita hinnanmuutoksia. Menetelmässä arvioidaan muutoksia tästä päivästä seuraavaan tekemällä nykyisiin kurssiin muutoksia, jotka vastaavat historiallisia tuottoja. Instrumen-

tin tulevaisuuden hypoteettinen hinnan ennuste skenaariolle  $k$  lasketaan historiallisen hinnanmuutoksen ja nykyisen hinnan summana:

$$(32) \quad S_{i,k} = S_{i,0} + \Delta S_{i,k} \quad i = 1, \dots, N.$$

Sijoitussalkun arvo  $V_{p,k}$  saadaan yhdistämällä instrumenttien hypoteettiset hinnan ennusteet. Sijoitussalkun hypoteettinen tuotto lasketaan salkun odotetusta arvonmuutoksesta

$$(33) \quad r_{p,k} = \frac{(V_k - V_0)}{V_0}.$$

VaR-luku saadaan hypoteettisten tuottojen jakaumasta, missä jokainen historiallinen skenaario saa saman painon ( $1/t$ ). (Jorion 2001, 221-222)

Yksinkertainen tapa toteuttaa historiallinen simulaatio on kerätä päivädataa kaikista muuttujista tietyltä ajanjaksolta. Tästä datasta lasketaan päivätuotto jokaiselle muuttujalle, jolloin saadaan ajanjakson pituuden mukainen määrä päivätuottovektoreita. Tämä jälkeen malliin syötetään nykyiset spot-kurssit ja niihin lisätään jokaisen historiallisen havainnon mukainen tuotto käännettynä hinnaksi. Näin saadaan skenaariot niille hinnoille, jotka voivat esiintyä seuraavana päivänä. Nämä simuloidut kurssiotokset toistavat identtisesti edeltäneiden päivien muutoksia. (Jauri 1997, 164)

Pieni päivähavaintojen määrä aiheuttaa historiallisessa simuloinnissa ongelman, sillä jokaisella havainnolla on yhtä suuri paino. Kun suuri poikkeuksellinen havainto tulee mukaan aineistoon tai lähtee aineistosta pois, on tällä vääristävä vaikutus laskettuun VaR-lukuun. Ongelma on sama kuin monissa liukuvien keskiarvojen estimointimenetelmissä. Ongelmia syntyy myös, jos VaR-lukuun halutaan sisällyttää useita havaintoja, jolloin päivähavaintojen määrä kasvaa voimakkaasti. 1000 päivähavaintoa kattavasta datasta laskettu VaR-luku määräytyy kymmenen huonoimman päivähavainnon perusteella ja tämä vaatii instrumenteilta dataa neljän vuoden ajalta. Monilla instrumenteilla, kuten velkainstrumenteilla, on usein lyhyt historia ja niinpä dataa ei ole saatavilla näin pitkältä ajalta. Myös suurten sijoitussalkkujen simulointi on melko vaivalloista, jolloin

laskennassa joudutaan käyttämään yksinkertaistuksia. Yksinkertaistukset puolestaan vääristävät todellista VaR-arvoa. (Jorion 2001, 221-224)

Historiallisen simulaation vahvuutena on, että todellinen empiirinen jakauma tulee täsmällisesti toistettua ilman modifikaatioita. Monte Carlo -simulointiin verrattuna historiallinen simulaatio kattaa markkinamuuttujien epänormaalit piirteet ja laskeminen on nopeampaa. Historiallisen simuloinnin voi rakentaa myös delta- tai delta-gamma-approksimaatiolle, mutta optiot tulevat reaalisemmin käsitellyksi simuloinnin avulla. (Jauri 1997, 164, 201)

#### **4.2.2 Modifioitu historiallinen simulaatio**

Historiallista simulaatiota voidaan parantaa tekemällä modifikaatioita historiallisen simuloinnin malliajatukseen. Ensimmäinen modifikaatio liittyy VAR-tason mittaamiseen. Esimerkiksi 100 havaintoa sisältävän aineiston 1 %:n VaR-tasoksi ei valita historiallisen simulaation tavoin salkun alinta arvoa. Salkun arvosta lasketaan volatilitteetti ja lasketun volatilitteetin arvo kerrotaan 1 %:n luottamustasolla eli -2.33:lla. Koska menetelmä käyttää koko havaintosarjan informaatiota jakaumaa laskettaessa, kaikki havainnot vaikuttavat määritettävään VAR-tasoon ja tulokseksi saadaan stabiili estimaatti. (Jauri 1997, 169, 202-203)

Toisen mahdollisen modifikaation avulla historiasta poimitut tuottohavainnot muunnetaan symmetrisiksi. Jokaiselta päivältä mitattu tuottovektori kerrotaan miinus yhdellä ja tämä vastakkainen muutos lisätään päivähavaintojen joukkoon. Modifikaation avulla päivähavaintojen määrä kaksinkertaistuu ja jakauma muuttuu symmetriseksi. Modifikaatio lisää myös jakauman normalisuutta ja samalta aikaväliltä voidaan luoda enemmän potentiaalisia tuottohavaintoja. Normaalisuuden lisääntyminen on joko positiivista tai negatiivista riippuen siitä, halutaanko pysyttäytyä täysin oletuksista vapaana, vai ollaanko halukkaita hyväksymään jonkinasteista jakaumapohjaisuutta. Tätä voidaan pitää modifikaation heikkoutena, sillä teorian näkökulmasta ei ole loogista ensin kieltää jakaumapohjaisuus ja sen jälkeen käyttää jakamapohjaisuutta VAR-tason määrittämiseksi. (Jauri 1997, 202-203)

Jos sijoitussalkku on lineaarinen, on modifioidulla menetelmällä ja analyttisillä menetelmillä laskettu volatilitteetti sama. Tulokset eroavat toisistaan silloin, kun salkku sisäl-

tää epälineaarisia instrumentteja. Modifioitu historiallinen simulaatio korjaa volatilitetteita suuremmaksi, jos sijoitussalkku sisältää asetettuja osto- tai myyntioptioita, ja pienemmäksi, jos salkku sisältää ostettuja osto- tai myyntioptioita. Intuitiivisesti muutokset ovat oikean suuntaisia. On kuitenkin hankala arvioida, kuinka hyvin ne vastaavat todellisuutta. Etuna modifioidun historiallisen simulaation menetelmässä on se, että se käyttää koko havaintosarjan informaatiota hyväkseen jakaumaa määriteltäessä. Näin volatilitettiinusteesta tulee stabiilimpi verrattuna historialliseen simulointiin. (Jauri 1997, 169)

### **4.2.3 Monte Carlo -simulaatio**

Monte Carlo -menetelmässä ei luoteta historiallisen kurssisarjan edustavuuteen, vaan muuttujien jakaumasta halutaan saada parempi kuva. Menetelmässä oletetaan, että kurssihavainnot noudattavat jotakin tilastollista jakaumaa tai jakaumien yhdistelmää. Tekeillä jakaumaoletus, voidaan jakauman parametrit estimoida tehokkaasti. Yksinkertaisimmillaan se tarkoittaa volatilitettiin estimointia. Monte Carlo -menetelmässä voidaan kuitenkin muuttaa jakauman ominaisuuksia myös muiden momenttien osalta markkinadataa vastaavaksi. (Jauri 1997, 170)

Monte Carlo -simuloinnissa tarvittava todennäköisyysjakauma tuotetaan simuloinnin avulla. Markkinamallia kuvataan kovarianssimatriisilla ja keskiarvovektorilla. Keskiarvovektoriksi valitaan simulaatioaskeleen mukainen kurssiodotus. Monte Carlo -simuloinnissa riittää, kun tunnetaan indeksien tuottoa kuvaava stokastinen prosessi. Kysymys on siitä, että tuotetaan niin monta stokastista prosessia noudattavaa indeksin realisaatiota, että näiden muodostaman otoksen todennäköisyysjakauma noudattaa valitulla luottamuksella todellista jakaumaa. Realisaatiot toteutetaan siten, että indeksin kehitystä kuvaavassa yhtälössä stokastisen termin paikalle sijoitetaan sopivan satunnaislukugeneraattorin avulla tuotettuja satunnaislukuja. Jos esimerkiksi halutaan laskea 1000 osakeindeksin realisaatiota yhden ennusteperiodin päähän, ratkaistaan yhtälö tuhat kertaa sijoittamalla joka kerta riippumaton satunnaislukugeneraattorilla tuotettu luku satunnaistermin paikalle. (Boyle 1977, 323-338; Jauri 1997, 170-172)

Monte Carlo -simuloinnissa sijoitusinstrumenttien mallinnus tehdään käyttämällä instrumenttien todellisia hinnoittelukaavoja. Joskus on myös mahdollista käyttää markkinanoteerauksien mukaista termiinikurssia ja osakemarkkinoilla indeksifutuuria. Optiot

hinnoitellaan niiden teoreettisten hinnoittelukaavojen avulla, jolloin esimerkiksi eurooppalaisten optioiden hinnoittelu onnistuu vaivattomasti. Korkokäyrä voidaan simuloida korkopisteiden avulla tai käyttämällä teoreettista mallia korkokäyrän kuvaamiseen. (Jauri 1997, 170, 204-205)

Monte Carlo -menetelmää voidaan muunnella ottamalla jakaumassa huomioon muitakin piirteitä kuin jakauman multinormaalijakautuneisuus. Simulointi voidaan toteuttaa siten, että esimerkiksi huipukkuus tai paksuhäntäisyys saadaan laskentaan mukaan. Paksuhäntäisiä jakaumia saadaan yksinkertaisesti sekoittamalla kaksi normaalijakaumaa keskenään. Esimerkiksi 95 % simuloinneista poimitaan alkuperäisestä normaalijakaumasta ja loput poimitaan normaalijakaumasta, jonka volatilitteetti on huomattavasti suurempi alkuperäiseen volatilitteettiin nähden. Vastaavasti paksuhäntäisyyttä voidaan kaventaa lisäämällä alkuperäiseen jakaumaan pienen volatilitteetin jakaumia. (Jauri 1997, 179-180)

Monte Carlo -simulointi on tarkkuudeltaan ja luotettavuudeltaan paras VaR-menetelmä. Monte Carlo -simulaatio avulla voidaan ottaa huomioon helposti paksuhäntäisyys, ja menetelmä mahdollistaa äärimmäisten markkinatilanteiden huomioimisen varsin yksinkertaisella tavalla. Koska menetelmässä käytetään full valuation -menetelmää, voidaan kaikki sijoitusinstrumentit sisällyttää menetelmään. Monte Carlo -simulaation suurin ongelma on aikaa vievä laskentamenetelmä. Jos sijoitussalkussa on 1000 instrumenttia, joudutaan tekemään miljoona erilaista simulaatiota. Luotettavien tulosten saaminen vaatii ainakin 1000 realisaation otosten tuottamista, jolloin menetelmä vaatii edelleen suurta laskentatehoa. (Jorion 2001, 225-226) SAS Institution, joka on SAS Risk Dimensions -ohjelmiston tekijä, suosittelee vähintään 10 000 realisaation otoksen toteuttamista.

### **4.3 VaR-menetelmien täydentäminen stressitestillä**

Stressitesteissä keskitytään äärimmäisen harvinaisiin ilmiöihin, joilla on suuri vaikutus sijoitussalkun arvoon, mutta joita ei pystytä ennustamaan normaaleilla tilastollisilla menetelmillä. Tällaisia epänormaaleja ilmiöitä ovat esimerkiksi sodat ja luonnonkatastrofit, joiden esiintyminen ei ole säännöllistä ja ennustaminen on vaikeaa. Jotta saadaan todellinen kuva vallitsevasta riskistä, on perinteisiä VaR-menetelmiä täydennettävä erilaisilla skenaarioilla siitä, mitä tulevaisuudessa voi tapahtua. (Dowd 1998, 121)



Stressitestin voidaan ajatella muodostuvan kahdesta eri vaiheesta. Ensimmäisessä vaiheessa valitaan tapahtumat, joihin pyritään varautumaan. On erittäin tärkeä tunnistaa mahdolliset tulevaisuuden uhat ja ymmärtää seurausten vaikutus sijoitussalkun arvoon. Tätä vaihetta stressitestissä kutsutaan skenaarioanalyysiksi. Toisessa vaiheessa lasketaan mekaanisesti tappioiden suuruutta eri skenaarioista ja skenaarioiden esiintymisten todennäköisyyksiä. Tämän mekaanisen analyysin ero skenaarioanalyysiin on juuri se, että siinä ei enää mietitä mitä voisi tapahtua. (Dowd 1998, 121, 126)

VAR-lukua laskettaessa käytetään lyhytaikaista historiallista dataa. Stressitesteissä sitä vastoin harkitaan tilanteita, joita ei voi havaita historiallisesta datasta tai jotka eivät ole selvästi havaittavissa, mutta niiden esiintyminen on mahdollista. (Jorion 2001, 231-234)

### **4.3.1 Skenaarioanalyysi**

Stressitestit lähtevät liikkeelle erilaisten skenaarioiden valinnasta, joka on skenaarioanalyysin tärkein vaihe. Valintaan ei ole mitään standardia tai systemaattista menetelmää, jolloin valinta on enemmänkin päätöksentekijän näkemys mahdollisista skenaarioista. Valinnan tärkeydestä johtuen on kuitenkin kehitetty päätöksentekoa helpottavia menetelmiä, kuinka skenaarioita voidaan muodostaa. (Mina & Yi Xiao 2001, 31)

Historiallinen skenaario on yksinkertainen tapa skenaarion muodostamiselle, jossa skenaario tehdään jonkun historiassa tapahtuneen ilmiön pohjalta. Voidaan esittää kysymys, mitä tapahtuu sijoitussalkulle, jos esimerkiksi Aasian kriisi vuonna 1997 toistuu. Jos sijoitussalkussa on eri instrumentteja, kuten korkopapereita, osakkeita ja optioita, täytyy kuvattavan ilmiön vaikutusta arvioida jokaiselle positiolle erikseen. (Mina & Yi Xiao 2001, 32-33)

Toinen mahdollinen tapa muodostaa skenaarioita on nk. käyttäjän määrittelemä yksinkertainen skenaario tai toiselta nimeltä tyylitelty skenaario. Tässä skenaarioita tehdään oletettujen makrotaloudellisten muutosten perusteella. Yleisimpiä analysoitavia muuttujia ovat korot, valuuttakurssit ja inflaatio, joiden muutosten vaikutusta sijoitussalkun arvoon pyritään ennustamaan mahdollisimman tarkasti (Dowd 1998, 121). Skenaarioita tehdään sen perusteella, että joku makrotaloudellinen muuttuja liikkuisi äärimmäisen paljon haitalliseen suuntaan. Menetelmässä annetaan kuitenkin ainoastaan yhden tekijän muuttua kerrallaan. Tämän jälkeen muodostetaan skenaarioita erisuuruuksista muutoksis-

ta jokaiselle instrumentille erikseen. Jos usean makrotaloudellisten muuttujien annetaan muuttua samanaikaisesti, täytyy laskennassa huomioida riskitekijöiden väliset korrelaatiot, jotta saadaan aikaan realistisia skenaarioita. (Mina & Yi Xiao 2001, 33-34)

### 4.3.2 Mekaaninen analyysi

Skenaarioanalyysillä kuvattujen ilmiöiden tarkempia numeerisia vaikutuksia pyritään kuvaamaan mekaanisella analyysillä. Vastaukseksi analyysissä saadaan tappion suuruus, jos mahdolliset skenaariot toteutuvat. Mekaanisessa analyysissä pyritään laskemaan myös ilmiöiden esiintymisten todennäköisyyksiä, jolloin saadaan käsitys siitä, mitkä skenaariot täytyy ottaa vakavimmin huomioon. (Bowd 1998, 126)

Yksinkertainen mekaanisen analyysin menetelmä on factor push -analyysi (FP), missä jokaisen instrumentin hintoja ”työnnetään” mahdollisimman epäedulliseen suuntaan. Näistä eri instrumenttien muutoksista voidaan laskea muutosten vaikutus koko sijoitussalkun arvoon. Suurin tappion määrä saadaan vähentämällä sijoitussalkun nykyisestä arvosta pahimman mahdollisen skenaarion tuottama sijoitussalkun arvo. Menetelmällä on mahdollista laskea vain lineaarisia sijoitussalkkuja. FP-analyysin perusteella tulisi valita sijoitussalkku, jonka tappio olisi mahdollisimman pieni negatiivisen skenaarion esiintyessä.

Jos FP-analyysiin halutaan ottaa mukaan epälineaarisia instrumentteja, puhutaan yleensä maksimaalisen tappion optimoinnista (MLO). MLO-menetelmässä minimoidaan tappiota huomioimalla riskitekijöiden muutosten väliset korrelaatiot. MLO:n kaava kirjoitetaan muotoon

$$(34) \quad MLO = \min loss(\Delta f) \quad \text{ehdolla } \Delta f' \Sigma^{-1} \Delta f \leq c,$$

missä  $loss(\Delta f)$  on tappion määrä, joka riippuu riskitekijöiden muutoksesta  $\Delta f$ , riskitekijöiden kovarianssimatriisista  $\Sigma$  ja luottamustasosta  $c$ . Ilman johdannaisten huomiointia, menetelmä on samanlainen FP-menetelmän kanssa. Yleinen sääntö on, että jos sijoitussalkku on monimutkainen tai sisältää johdannaisia, tulisi käyttää MLO-menetelmää FP-menetelmän sijasta. (Dowd 1998, 127-128; Jorion 2001, 245)

Boudoughin, Righardsonin ja Whitelawin (1995, 100-101) esittelemässä worst case-analyysissä ei kiinnitetä huomiota mahdollisimman negatiivisten skenaarioiden tuottamiin ilmiöihin, vaan menetelmässä valitaan huonoin salkun arvo todellisten huonoimpien havaintojen perusteella. Jos päivähavainto merkitään satunnaismuuttujaksi  $Z_i$  ja havaintoja kerätään  $n$  periodin ajalta, worst case-analyysiksi saadaan

$$(35) \quad \text{Min}[Z_1, Z_2, \dots, Z_n].$$

Nyt worst case-skenaario voidaan laskea todellisista päivähavainnoista simuloimalla satunnaismuuttujat  $Z$ .

Pankin riskienhallinnassa on tärkeää varautua skenaarioiden tuottamiin tappion mahdollisuuksiin. Erityisesti maksuvalmiuden riittävydessä on tarkkaan mietittävä mahdollisia uhkia ja laskettava niiden toteutumisesta aiheutuvat tappiot. Jos stressitestillä arvioitu odotetun tappion määrä poikkeaa huomattavasti VaR-analyysin mukaiseen tappion määrään, on pankin pidettävä skenaarion mukaista tappiota vastaava maksuvalmiuspuskuri turvaamaan maksuvalmiuden riittävyys.

### 4.3.3 Extreme Value -menetelmä

Danielsson & de Vries (1997) julkaisi artikkelin äärimmäisten tuottojen mittaamisesta Extreme Value (EV) -menetelmillä. EV-menetelmässä kiinnitetään huomio jakauman hännän estimointiin mahdollisimman tarkasti. Se ei ota kantaa siihen, mikä on tuottojen odotusarvo tai volatilitteetti, vaan mikä on hännän odotusarvo ja volatilitteetti. Käytännössä ei tiedetä, millainen äärimmäisten arvojen jakauma on. Merkittävä oivallus EV-teoriassa on se, että otoksen ollessa tarpeeksi suuri, äärimmäiset havainnot lähestyvät jotakin tunnettua jakaumaa. Siten analyttinen ratkaisu VaR-luvulle on ratkaistavissa, kun oikea jakauma on löydetty.

Rahoitusmarkkinoilla on havaittu, että äärimmäisten havaintojen tuotot noudattavat jakaumaa

$$(36) \quad F(x) \approx 1 - ax^{-\alpha} [1 + bx^{-\beta}] \quad \alpha, \beta > 0$$

annetuilla parametreilla  $a, b, \alpha$  ja  $\beta$ .  $\alpha$  on tärkeä parametri, sillä se on ns. häntäindeksi, joka kertoo hännän tiheyden. Parametri  $a$  määrittää asteikon ja parametrit  $b$  ja  $\beta$  ovat toisen asteen ekvivalentteja parametreille  $a$  ja  $\alpha$ . Seuraavaksi määritellään indeksi  $M$ , joka kuvaa hännän havaintojen lukumäärää.  $X_{M+1}$  ilmoittaa hännän alkamispisteen. Häntätapausten todennäköisyys  $p$  voidaan estimoida kaavalla

$$(37) \quad \hat{F}(x) = p = \frac{M}{T} \left( \frac{X_{M+1}}{x} \right)^{\hat{\alpha}}, \quad x > M_{M+1},$$

missä  $T$  on havaintojen lukumäärä ja  $\hat{\alpha}$   $\alpha$ :n estimaatti. Hännän estimaattori  $\hat{x}_p$  saadaan ottamalla käänteisluku äärimmäisten tuottojen estimoidusta jakaumasta  $\hat{F}(x)$ :

$$(38) \quad \hat{x}_p = \hat{F}^{-1}(x) = X_{M+1} \left( \frac{M}{Tp} \right)^{\frac{1}{\hat{\alpha}}}.$$

On huomattava, että  $\hat{F}(x)$  on aina vakio annetulla otoksella. Hännän estimointiin joudutaan määrittelemään parametri  $\alpha$  ja muuttujat  $M$  ja  $X_{M+1}$  ennen kuin voidaan laskea hännän estimaatin todennäköisyyttä. Riskienhallinnassa, kuten RiskMetriks-menetyksessä,  $X_{M+1}$ ,  $M$ ,  $T$ ,  $p$  ja  $\alpha$  lasketaan jokaiselle instrumentille päivittäin, jonka jälkeen niitä käytetään VaR-luvun estimointiin. (Danielsson & de Vries 1997, 8-9)

VaR-luvun laskemiseen EV-menetyksellä voidaan käyttää Danielssonin ja de Vriesin kehittämää puoli-parametrinen menetelmä. Siinä häntä estimoidaan EV-menetyksillä, mutta jakauman keskiosan estimointiin käytetään historiallista simulointia. Käyttäen edellä määriteltyjä parametreja, menetelmä voidaan toteuttaa seuraavalla algoritmilla:

$$(39) \quad \begin{array}{l} \mathbf{if} \ x \leq X_{m+1} \\ \mathbf{then} \ \text{keep } x \\ \mathbf{else} \\ \text{draw } x \text{ from } \hat{F}(x) \\ \mathbf{end if,} \end{array}$$

missä  $x$  on havainto otoksesta. Kovarianssimatriisia merkitään  $\Sigma_t$ :lla. Jos merkitään  $L_t L_t' = \Sigma_t$ , saadaan Cholesky-transformaatio. Positioiden lukumäärä sijoitussalkussa on  $K$  ja realisaatioiden määrä on  $N$ .  $KN$  on simuloitujen tuottojen matriisi, jota merkitään  $\tilde{X}_n$ :llä. Kovarianssimatriisi  $\tilde{X}_n$ :stä on  $\Omega_n$ , kun Cholesky-transformaatio  $M_n M_n' = \Omega_n$ . Skaalaamalla  $\tilde{X}_n$  identiteettimatriisilla, saadaan  $M_n^{-1} \tilde{X}_n$  ja tämä skaalataan edelleen otoskovarianssilla  $L_t$ , jolloin saadaan simuloitujen tuottojen matriisi  $X$ :

$$(40) \quad X_{t,n} = L_t M_n^{-1} \tilde{X}_n.$$

Jos  $\omega = \{\omega_i\}_{i=1}^K$  sijoitussalkun painovektori, silloin simuloitu tuottovektori on

$$(41) \quad R_n = \sum_{i=1}^K \omega_i X_{t,n,i}, \text{ kun } n = 1, N.$$

Järjestelemällä lasketut tuotot suuruusjärjestykseen, äärimmäiset tuotot voidaan laskea historiallisesta datasta aivan kuten historiallisessa simuloinnissa. Ongelmana on, että menetelmä olettaa vakiot korrelaatiot tuottojen välillä, vaikka monessa tapauksessa korrelaatiot muuttuvat ajan kuluessa. Tätä ongelmaa voidaan helpottaa käyttämällä viimeisimmästä havainnosta laskettua korrelaatiota. (Danielsson & de Vries 1997, 15-16)

#### **4.4 VaR-menetelmien testaus**

VaR-menetelmien käyttö on perusteltua ainoastaan silloin, kun ne ennustavat riskiä riittävän tarkasti. Tällaisen testin suorittaminen tilastotieteellisestä näkökulmasta on hankalaa, koska testaukseen on käytettävä ei-parametrisiä testejä. Tämä johtuu siitä, että ei ole mahdollista tehdä ennakko-oletuksia salkkujen hintojen jakaumista. Tämän vuoksi testisuurena voidaan käyttää vain yksinkertaista havaintoa siitä, ylittikö realisoitunut arvonmuutos ennustetun rajan vai ei. Jos tavoitteeksi on määritelty, että VaR-rajoite saa ylittyä kerran sadan vuorokauden aikana, silloin VaR-rajoitteen ylityksiä pitäisi olla täsmälleen yksi. Jos ylittäviä havaintoja on enemmän kuin yksi, malli ennustaa liian pientä riskiä. Jos ylityksiä on vähemmän kuin yksi, malli ennustaa puolestaan liian suurta riskiä. (Jauri 1997, 289)

Jos testisuure saa satunnaisesti kyllä ja ei -arvoja, noudattaa se binomijakaumaa. Tällöin testisuurelle voidaan johtaa tilastollisia testejä. Testeissä joko hyväksytään tai hylätään nollahypoteesi, jonka mukaan malli ennustaa oikeita VaR-tasoja. Käytännössä havaintoja pitäisi olla tuhansia, ennen kuin varmojen johtopäätösten teko olisi mahdollista. (Jauri 1997, 289)

Baselin komitean suosituksiin kuuluu mallin testaaminen Backtestingilla. Backtestinginssä käytetään ns. failure rate -menetelmää, jossa verrataan todellisen tappion suuruutta mallin ennustamaan tappioon. Oletetaan esimerkiksi, että pankki varautuu riskiin 1 %:n vasemman hännän tasolla. Tämä 1 %:n hännän leveys on  $p = 0,01$ . Havaintoperiodia merkataan  $T$ :llä. Tämän jälkeen lasketaan kuinka monta havaintoa ylittää VaR-tason.  $N$  ilmaisee ennustettujen ylitysten määrää, jolloin  $N/T$  mittaa ylitysten määrää suhteutettuna ajalla. Ideaalitalanteessa  $N/T = p$ , mutta käytännössä  $N/T$  lähenee  $p$ :tä otoskoon kasvaessa. Backtestingissä halutaan tietää, onko  $N$  liian iso vai pieni verrattuna  $p$ :hen. Testi ei tee mitään oletusta tuottojen jakaumasta, jolloin se voi olla normaali, vino tai paksuhäntäinen. (Jorion 2001, 132-133)

Klassinen backtestingin-malli ennustuskyvyn mittaamiseen on Bernoullin jakauma. Odotetut häntähavainnot  $x$  noudattavat binomista todennäköisyysjakaumaa

$$(42) \quad f(x) = \binom{T}{x} p^x (1-p)^{T-x}.$$

Tiedetään, että  $x$ :n odotettu arvo on  $E(X) = pT$  ja varianssi on  $V(X) = p(1-p)T$ . Kun  $T$  on riittävän suuri, voidaan käyttää nk. central limit -teoreemaa ja ratkaista binomijakauma käyttäen normaalijakaumaa

$$(43) \quad z = \frac{x - pT}{\sqrt{p(1-p)T}} \approx N(0,1).$$

VaR-mallin ennustavuus on hyvä, kun nollahypoteesi hyväksytään eli ennustettujen havaintojen määrä on riittävän lähellä todellisia. (Jorion 2001, 132-133)

Kupiec (1995) kehitti likiarvotaulukon VaR-mallin paikkansapitävyyden varmistamiseen 95 %:n luottamustasolla. Kupiecan likiarvotaulukon arvot on esitetty taulikossa 1.

TAULUKKO 1. *Kupiecan likiarvotaulukko.* (Jorion 2001, 136)

Todennäköisyys $p$	VaR luottamustaso	Hyväksyttävä alue ennustetuille havainnoille $N$		
		$T = 255$ päivää	$T = 510$ päivää	$T = 1000$ päivää
0.010	99.0%	$N < 7$	$1 < N < 11$	$4 < N < 17$
0.025	97.5 %	$2 < N < 12$	$6 < N < 21$	$15 < N < 36$
0.050	95.0%	$6 < N < 21$	$16 < N < 36$	$37 < N < 65$
0.075	92.5 %	$11 < N < 28$	$27 < N < 51$	$59 < N < 92$
0.100	90.0%	$16 < N < 36$	$38 < N < 65$	$81 < N < 120$

On huomattava, että 95 %:n hyväksymisalueella ei ole mitään tekemistä hännän leveyden  $p$  kanssa. Hyväksyttävyyalue lasketaan määrittämällä log-todennäköisyys häntäkertoimelle, jonka kaava on

$$(44) \quad LR_{uc} = 2 \ln \left[ (1-p)^{T-N} p^N \right] + 2 \ln \left\{ \left[ 1 - (N/T) \right]^{T-N} (N/T)^N \right\}.$$

Tämä on asymptoottisesti chiin neliöjakautunut vapausasteella yksi. Nollahypoteesina on, että  $p$  on todellinen todennäköisyys. Nollahypoteesi hylätään, jos  $LR > 3.84$ . Esimerkiksi kerättäessä dataa kahden vuoden ajalta ( $T = 510$ ), jolloin odotettu häntähavaintojen lukumäärä yhden prosentin todennäköisyydellä on  $N = pT = 0.01 \times 510 = 5$ . VaR-mallia voidaan pitää luotettavana niin kauan, kuin  $1 < N < 11$ . Ongelmia syntyy pienten parametrien  $p$  arvoilla, sillä mitä pienempi  $p$  on ja mitä lyhemmältä ajalta dataa kerätään, sitä hankalammaksi mallin luotettavuuden testaaminen tulee. (Jorion 2001, 134-135)

Baselin komitean suosittama backtesting-menetelmä on johdettu suoraan edellä esitellyistä failure rate -menetelmistä. Backtestingin ratkaisu perustuu hyväksyttävän alueen rajaamiseen kolmeen luokkaan riippuen backtestingin antamista tuloksista. Vihreällä alueella malli ennustaa hyvin, keltaisella alueella riittävän hyvin, mutta tuloksiin täytyy suhtautua kriittisesti ja punaisella alueella pankin riskinmittausmallissa on ongelmia. Menetelmässä lasketaan päivittäiset poikkeamat viimeisen vuoden ajalta 1 %:n luotta-

mustasolla, jolloin  $T = 250$ ,  $p = 0.01$  ja  $pT = 2.5$ . Kun  $N \leq 4$  ollaan vihreällä alueella,  $4 < N < 11$  ollaan keltaisella alueella ja  $N \geq 11$  ollaan punaisella alueella. (Basle Committee on Banking Supervision 1996, 5-11)



## 5 Empiria

Tutkielman empiirinen osa liittyy Kurikan Osuuspankin sijoitustoiminnasta vastaavien henkilöiden projektiin. Siinä tarkoituksena on tutkia, pystytäänkö likvidejä varoja sijoittamaan nykyistä tehokkaammin. Tutkielma on osa pankin Basel II -projektia. Uudessa lainsäädännössä kassavarannolle ei aseteta lakisääteistä minimiä, jolloin likvidien varojen sijoittamista voidaan tehostaa. Pankilla on yhä suurempi vapaus ja vastuu likvidien varojen sijoittamisesta, samoin sijoittamiseen liittyvän riskin kantamisesta. Kyse on pankin kokonaisvaltaisesta riskillisyydestä. Lakimuutos mahdollistaa likvidien varojen sijoitussalkun uudelleen allokoimisen, koska Kurikan Osuuspankin liiketoiminta on taloudellisesti erittäin kannattavaa, se on vakavarainen ja sen kokonaisvaltainen riskillisuus on pieni. Tavoitteena on siis muuttaa likvidien varojen sijoitussalkun allokointia siten, että sijoitussalkun tuotto kasvaa ilman, että sijoitussalkkuun sisältyvä riski oleellisesti kasvaisi.

Riskien hallinnan ja valvonnan yhtenä tehtävänä on sijoitussalkun riippumaton mittaaminen. Basel II suosituksiin kuuluu markkinariskin mittaaminen kehittyneillä VaR-menetelmillä. Tutkielman yhtenä tarkoituksena on siksi tuoda nykyisin käytössä olevan likviditeettiriskimittarin rinnalle VaR-mittaristo sijoitussalkun markkinariskin mittaamiseen, sillä likviditeettiriski konkretisoituu markkinariskin välityksellä. Optimoitujen sijoitussalkkujen riskiä halutaan mitata perinteisellä maksuvalmiuspuskurilla, mutta halutaan myös varmistua siitä, että VaR-menetelmällä mitattu riski on linjassa maksuvalmiuspuskurin kanssa.

Empiirinen osa etenee siten, että aluksi esitellään, millainen on Kurikan Osuuspankki ja kuinka Kurikan Osuuspankin likvidit varat on sijoitettu vuonna 2004. Sen jälkeen laskeaan likvidien varojen tuotto vuonna 2004. Tämän jälkeen likvideille varoille asetetaan tuottotavoitteet ja muodostetaan optimaaliset sijoitussalkut tuottotavoitteiden mukaan. Likvidien varojen sijoitussalkku on jaettu sijoituskohteiden luonteen mukaan eri alasalkkuihin, kuten osakesalkku, rahastosalkku jne. Optimoinnissa ei kiinnitetä huomiota siihen, kuinka paljon varoja tulisi sijoittaa yksittäisiin sijoituskohteisiin. Optimoinnissa pyritään määrittelemään, kuinka varat tulisi allokoida eri alasalkkujen välillä. Optimoinnissa pyritään siis selvittämään, kannattaisiko varoja siirtää esimerkiksi vähemmän tuottavista lyhytaikaisista talletuksista paremmin tuottaviin rahastosijoituksiin.

Optimoinnin yhteydessä määritellään myös sijoitussalkkujen standardipoikkeamat. Optimoinnin jälkeen tutkitaan sijoitussalkkuihin sisältyvää riskiä VaR-menetelmällä ja maksuvalmiuspuskurin avulla. VaR-luvut on laskettu Monte Carlo -simuloinnilla käyttäen SAS Risk Dimensions -ohjelmistoa. Lisäksi riskinmittauksessa halutaan varmistua siitä, että sijoittamalla optimoituihin sijoitussalkkuihin maksuvalmius pysyy riittävän korkealla tasolla myös äärimmäisten markkinahäiriöiden aikana. Tämä tapahtuu stressitestin avulla. Stressitesti toteutetaan factor push -analyysillä. Empiirisen osuuden lopussa testataan mallin luotettavuutta. Mallin paikkansapitävyys varmistetaan backtestingin avulla, ja testin arvot otetaan Kupiecan likiarvotaulukosta.

### **5.1 Aineiston kuvaus**

Tutkimuksen aineisto on valittu raha- ja pääomamarkkinoilta siten, että sillä pystyttäisiin kuvaamaan mahdollisimman hyvin likvidien varojen optimointiprosessi. Lisäksi aineisto on valittu siten, että likvidien varojen sijoittamisesta aiheutuva maksuvalmiusriski ja markkinariski tulisivat kuvatuksi mahdollisimman todenmukaisesti. Likvidien varojen sijoittamisessa suurin riskitekijä on korkoriski, koska suurin osa Kurikan Osuuspankin likvideistä varoista on sijoitettu lyhytaikaisiin rahamarkkinainstrumentteihin. Rahamarkkinainstrumenttien markkinariski on riippuvainen Euribor-korkojen kehityksestä. Sekä jvk-salkun että osakesalkun oletetaan olevan täydellisesti hajautettuja, jolloin markkinadatan voidaan käyttää vertailuindeksejä. Jvk-salkun vertailuindeksinä on käytetty maturiteetiltaan viiden vuoden kotimaista Finnish Benchmark -indeksiä. Vertailuindeksissä ei ole huomioitu kuponkituottoja, vaan indeksin kehitys on syntynyt suoraan siihen sisältyvien jvk-lainojen markkinahintojen muutoksista. Suorat osakesijoitukset on tehty kotimaisiin pörssinoteerattuihin yhtiöihin. Vertailuindeksinä käytetään Hex-portfolioindeksiä, jolloin Nokian paino ei muodostu liian suureksi. Rahastojen aineistona käytetään yksittäisten rahastojen omaa markkinadataa, mutta sijoitussalkun optimoinnissa puolestaan käytetään maailmanlaajuisia osakerahastojen vertailuindeksiä, MSCI World -indeksiä. Indeksi koostuu pörssiyhtiöiden kurssikehityksistä maailmanlaajuisesti. Tämän vertailuindeksin käyttö johtuu siitä, että sijoitussalkun uudelleen allokoinnissa kansainvälinen hajautus tehdään juuri rahastojen kautta ja näin oletetaan, että rahastosalkku seuraa MSCI World -indeksiä.

Koko aineiston havainnot likvidien varojen optimointiin on valittu ajanjaksolta 1.1.2004 - 31.12.2004, ja markkinadatan keräämiseen on käytetty datastream-palvelinta. Osa da-

tasta löytyy myös Etlan tietokannoista. Stressitestissä käytetyt havainnot on valittu lokakuun 2000 markkinadatasta. Ennen aineiston analysointia ja tunnuslukujen laskemista aineistosta poistettiin datasarjan laatuun liittyvät ongelmat. Markkinadata tarkastettiin poikkeuksellisten havaintojen havaitsemiseksi niin sanotun suodattimen avulla. Näin voitiin havaita puuttuvat ja muuttumattomat havainnot sekä poikkeuksellisen suuret heilahtelut volatilititeetissa esimerkiksi pilkkuvirheen tai näppäilyvirheen johdosta. Puuttuvien havaintojen ja virhepäivitysten kohdalla dataa muokattiin quick and dirty -menetelmällä, jossa puuttuvat tai epäilyttävät havainnot korvattiin edellisen päivän havainnolla. Aikasynkronisoinnin puutteellisuuteen ei aineiston keruussa tarvinnut kiinnittää huomiota, sillä ulkomaisilla sijoituskohteilla ei ole suoraa vaikutusta, vaan ne näkyvät vain indeksien kautta.

## **5.2 Tutkimuksen reliabiliteetti ja validiteetti**

Tutkimuksen reliabiliteetilla tarkoitetaan mittaustulosten toistettavuutta, jolloin se voidaan ymmärtää tutkimuksen kyvyllä antaa ei-sattumanvaraisia tuloksia (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 1997, 213). Toisaalta reliabiliteettia voi määritellä myös siten, että mittari on luotettava, jos kaksi arvioitsijaa päätyvät samanlaiseen tulokseen (Hirsjärvi & Hurme 2001, 186). Validiteetilla eli pätevyydellä puolestaan tarkoitetaan tutkimusmenetelmän kykyä mitata sitä, mitä sillä on tarkoitus mitata. Tutkimuksen validiteetti on perusteltava teorianmuodostuksen yhteydessä. Tutkimuksen tuloksen on vastattava hyvin tutkimuskohdetta ja tutkimukselle asetettuja päämääriä. (Hirsjärvi ym. 1997, 213)

Tutkimuksessa käytettävät oletukset vaikuttavat jonkin verran tutkimustuloksiin. Sijoitussalkun optimoinnissa jvk-salkku ja osakesalkku ovat hyvin hajautettuja, ja siksi tuottojen oletetaan noudattavan yleisiä markkinaindeksejä. Myös sijoitussalkkua optimoitaessa rahastosalkun oletetaan noudattavan markkinaindeksiä. Tämä ei välttämättä anna täysin oikeaa kuvaa sijoitussalkun instrumenttien tuottojen kehittymisestä.

Monte Carlo -simuloinnissa tehdään myös joitakin oletuksia. Ensimmäkin instrumenttien tuottojen oletetaan noudattavan multinormaalijakaumaa, ja tästä multinormaalijakaumasta tehdään satunnaisotoksia. Todellisuudessa instrumenttien tuotot eivät välttämättä noudata mitään jakaumaa. Toiseksi Monte Carlo -simuloinnissa tulevaa tappiota pyritään ennustamaan historiallisesta datasta. Väite, että historia toistaa itseään, ei aina toteudu. Kolmas simuloinnin tuloksiin vaikuttava heikkous Jaurin (1997, 277) mukaan

on konvergenssi, koska portfolion arvoja simuloidaan satunnaislukujen avulla. Satunnaislukujen teoreettinen konvergenssi on suhteessa satunnaislukujen neliöjuureen. Tällä tarkoitetaan sitä, että kaksinkertaiseen tarkkuuteen vaaditaan nelinkertainen määrä satunnaislukuja. Heikkoa konvergenssia pyritään tutkielmassa välttämään riittävän laajan simuloinnin avulla.

Tutkimuksen reliabiliteetti on kuitenkin hyvä, sillä mittausmenetelmien ja mittareiden antamat tulokset ovat samoja jokaisella eri mittauskerralla. Mittaustuloksiin ei vaikuta satunnaisvirheet eikä mittausolosuhteet. Tutkimuksessa käytettävien mittareiden voidaan sanoa olevan luotettavia ja jokainen tutkija saisi samat tutkimustulokset tutkittavasta ilmiöstä. Korkeaan validiteettiin tutkimuksessa pyritään ensinnäkin sillä, että koko tutkimusprosessi kuvaillaan mahdollisimman tarkasti. Toiseksi tehdyt valinnat perustellaan mahdollisimman hyvin. Kolmanneksi tulosten tulkinnan ja ymmärtämisen suhteuttamista painotetaan teoreettiseen viitekehykseen. Tutkimus pyritään raportoimaan niin tarkasti, että lukijan olisi mahdollista toteuttaa vastaava tutkimus uudestaan. Tutkielman validiteettia lisää se, että riskin mittaamiseen ja riskimittarin testaamiseen on käytetty Basel II:n suosittelemia malleja. Voidaan sanoa, että tutkielma ja tutkielman mittarit mittaavat riittävän tarkasti ja tehokkaasti juuri sitä, mitä halutaan mitata, jolloin tutkimus on validi.

### **5.3 Kurikan Osuuspankin likvidit varat**

#### **5.3.1 Pankin esittely ja vuoden 2004 markkinakatsaus**

Kurikan Osuuspankki on paikallisosuuspankki, jonka toimialueena on koko Suomi. Vuosi 2004 oli pankin 79. toimintavuosi. Pankin asiakaskunta koostuu lähinnä yksityisasiakkaista, maatalousyrittäjistä ja toimialueen pienyrityksistä. Kurikan Osuuspankilla on lähes 15 000 asiakasta, joista pääosa on perinteisellä toimialueella Kurikassa. Kurikan Osuuspankki on kuitenkin koko ajan kasvattanut asiakaskuntaa uudella toimialueella Tampereella. Kaiken kaikkiaan konttoreita on kuusi. Pääkonttori sijaitsee Kurikassa, kaksi konttoria Tampereella ja kolme muuta konttoria ovat Miedossa, Luopiossa ja Panttilassa.

Ripeä talouskasvu, matala korkotaso ja pörssikurssien vahva kehittyminen kuvasivat keskeisesti Suomen pankkitoiminnan taloudellista toimintaympäristöä vuonna 2004.

Kansainvälisillä osakemarkkinoilla pörssivuosi oli melko normaali. Eurostoxx 50 -indeksin tuotto vuonna 2004 oli 9,39 %. Matala korkotaso on vaikeuttanut tuloksen tekemistä pankkisektorilla ja kiristänyt pankkien välistä kilpailua. Kehitys näkyy erityisesti tuottomarginaalien kapenemisena. Yhdysvaltain keskuspankki muutti kuitenkin rahapolitiikkaansa ja aloitti koronnostot kesäkuussa 2004. Ohjaukorkoa nostettiin 1 %:sta 2,25 %:iin vuoden 2004 aikana. Epävarmuus korkomarkkinoilla aiheutti huomattavaa vaihtelua kansainvälisten velkakirjojen tuotoissa vuoden 2004 aikana.

Pankkitoiminnan edellytykset olivat kasvun kannalta vuoden 2004 aikana kuitenkin hyvät. Matala korkotaso ja yritysten vahva tuloskunto ovat nostaneet yrityslainojen markkinahintoja. Samalla yritysten vahvat tulosjulkistukset ovat nostaneet suomalaisten pörssiyhtiöiden osakekurseja. Kurikan Osuuspankin tase kasvoi vuoden 2004 aikana 13,6 %, ja tase oli vuoden lopussa 151,3 milj. euroa. Talletusten kasvu oli 19,5 milj. euroa eli 18,8 %. Talletusten yhteismäärä oli 123,3 milj. euroa. Pankin varainhankinta oli yhteensä 126,2 milj. euroa, joista liikkeelle laskettuja jvk-lainoja oli 2,5 milj. euroa ja debentuurilainoja 0,5 milj. euroa. Liiketoiminnan myönteistä kehitystä tukivat vahva volyymikasvu luotonannossa, talletuksissa ja asiakasmäärissä.

### **5.3.2 Likvidit varat**

Kurikan Osuuspankilla oli sijoitettua likvidiä varallisuutta 31.12.2004 noin 28.900.000 euroa. Likvidien varojen sijoitukset on jaettu kuuteen erilliseen sijoitussalkkuun, jotka yhdessä muodostavat likvidien varojen sijoitussalkun. Likvidien varojen sijoitussalkku muodostuu lyhytaikaisista talletuksista (Money Market 1 -salkku), jvk- ja muista yritystodistuksista (Bond 1 -salkku), maksuliiketilien talletuksista (Money Market 2 -salkku), kapitalisaatiosopimuksista (Bond 2 -salkku), osakesijoituksista (Osakesalkku) ja rahastosijoituksista (Rahastosalkku). Varojen jakautuminen eri sijoitussalkkuihin ilmenee seuraavalla sivulla olevasta taulukosta (taulukko 2).

TAULUKKO 2. Kurikan Osuuspankin likvidien varojen allokaatio vuonna 2004.

	<b>Määrä</b>	<b>Määrä %</b>
<b>Money Market 1 -salkku</b>	19.000.000	65,7 %
<b>Bond 1 -salkku</b>	4.500.000	15,6 %
<b>Money Market 2 -salkku</b>	2.500.000	8,6 %
<b>Bond 2 -salkku</b>	1.000.000	3,5 %
<b>Osakesalkku</b>	1.000.000	3,5 %
<b>Rahastosalkku</b>	900.000	3,1 %

65,7 % likvideistä varoista on sijoitettu lyhytaikaisiin rahamarkkinainstrumentteihin. Nämä ovat kiinteäkorkoisia sijoituskohteita, jotka uusitaan talletusten eräpäivänä. Rahamarkkinainstrumentteihin luetaan myös maksuliiketilit, sillä kaikkien talletussijoitusten korkoprosentti on riippuvainen Euribor-korkojen suuruudesta talletuksen eräpäivänä. Erona on kuitenkin se, että maksuliiketilit eräänntyvät nopeammin verrattuna lyhytaikaisiin talletuksiin. Maksuliiketilien osuus sijoituksista oli 8,6 %. Yhteensä rahamarkkinasijoituksia on siis 74,3 %. Loput 25,7 % likvideistä varoista on sijoitettu pääomamarkkinoille, joista suurinta osuutta edustavat julkisesti noteeratut jvk- ja muut yritysinstrumentit 15,6 %:n osuudella. Kapitalisaatiosopimukset koostuvat vakuutusyhtiösijoituksista ja sijoituksista muihin julkisesti noteeraamattomiin yhtiöihin. Kapitalisaatiosopimusten osuus on 3,5 %. Loput pääomasijoituksista on tehty julkisesti noteerattuihin pörssi-yhtiöihin 3,5 % ja sijoitusrahastoihin 3,1 %.

### **5.3.3 Likvidien varojen tuotto**

Vahvan osakemarkkinoiden kurssikehityksen ja yrityslainojen korkean tuoton ansiosta Kurikan Osuuspankin likvidien varojen tuotto vuonna 2004 oli 3,20 %. Osakesalkun tuotto oli 12,50 %. Suurin yksittäinen sijoitus vuonna 2004 oli yhden kuukauden määräaikaistalletus, jonka vuosituotto oli 2,05 %. Koko Money Market 1 -salkun vuosituotto oli 2,08 %. Alhaisen markkinakoron ja yritysten vahvan tulokunnon seurauksena Bond 1 -salkku tuotti vuoden 2004 aikana 6,3 %. Myös kapitalisaatiosopimusten 5 %:n tuottoa voidaan pitää hyvänä. Rahastosijoitusten 3,03 %:n tuottoa ei voida pitää markkinatilanteeseen nähden parhaana mahdollisena. Matalin tuotto oli odotetusti maksuliiketeissä, joiden tuotto oli 1,76 %. Sijoitussalkkujen tuotot on esitetty taulukossa 3.

TAULUKKO 3. *Likvidien varojen tuotot vuonna 2004 sijoitussalkuittain.*

	<b>Tuotto %</b>
<b>Money Market 1 -salkku</b>	2,08 %
<b>Bond 1 –salkku</b>	6,30 %
<b>Money Market 2 -salkku</b>	1,76 %
<b>Bond 2 –salkku</b>	5,00 %
<b>Osakesalkku</b>	12,50 %
<b>Rahastosalkku</b>	3,03 %

Kokonaisuudessaan likvidien varojen 3,2 %:n tuottoa voidaan pitää varsin hyvänä ottaen huomioon sijoitussalkun matala riski. Lyhytaikaisten talletusten suuri prosentuaalinen osuus salkussa laskee kokonaistuottoa, mutta samalla se rajaa suurten tappioiden mahdollisuuden pieneksi. Todella hyvänä voidaan pitää Bond 1 -salkun ja osakesalkun tuottoa. Erityisesti Bond 1 -salkun vaikutus koko likvidien varojen tuoton vipuamiseen korkeammaksi on merkittävä.

Vaikka sijoitussalkun tuotto oli hyvä ja riski pieni, on kuitenkin mahdollista, että sijoitettu varallisuus ei ole allokoitunut mahdollisimman tehokkaasti. Tässä tehottomuudella tarkoitetaan ensiksi sitä, että likvidejä varoja ei ole voinut sijoittaa tuottavampiin sijoituskohteisiin lakisääteisten rajoitteiden johdosta. Toiseksi sijoitussalkun sijoituskohteita ei ole valittu modernin portfolioteorian perusteella ja siksi puutteellinen salkun optimointi aiheuttaa tehottomuutta. Myös optimointia ovat rajoittaneet useat eri tahot, jolloin optimointi modernin portfolioteorian pohjalta ei ole ollut mahdollista.

#### **5.4 Likvidien varojen sijoitussalkun optimointi**

Seuraavaksi tutkimuksessa selvitetään, olisiko likvideille varoille mahdollista saada korkeampaa tuottoa ilman, että pankki altistuu olennaisesti suuremmalle riskille. Modernissa rahoitusteoriassa sijoitussalkku optimoidaan tuotto–varienssi-säännöllä. Tutkielmassa kiinnitetään tuottotavoite ennalta määrätyle tasolle, jonka jälkeen minimoidaan standardipoikkeamaa. Kolmen erilaisen sijoitussalkun tuottotavoitteiksi on asetettu 1 %, 1,5 % ja 2 % korkeampi tuotto verrattuna vuoden 2004 todellisen sijoitussalkun tuottoon. Nämä kolme salkkua ovat: **Optimisalkku 1**, **Optimisalkku 2** ja **Optimisalkku 3**. Vuoden 2004 todellinen sijoitussalkku on **Salkku 2004**. Sijoitussalkkujen allokaa-

tiot imenevät taulukosta 4. Lisäksi taulukossa 4 näkyy sijoitussalkkujen odotettu tuotto ja standardipoikkeama.

TAULUKKO 4. *Likvidien varojen allokaatio eri sijoitussalkkujen välillä vuonna 2004 ja optimoitujen sijoitussalkkujen allokaatiot.*

	<b>Salkku 2004</b> (tuotto 3,2 %, SD 11271 €)	<b>Optimisalkku 1</b> (tuotto 4,2 %, SD 20581 €)	<b>Optimisalkku 2</b> (tuotto 4,7 %, SD 28862 €)	<b>Optimisalkku 3</b> (tuotto 5,2 %, SD 34102 €)
<b>Money Market 1-salkku</b>	65,7 % (19 000 000 €)	56 % (16 184 000 €)	48 % (13 872 000 €)	40 % (11 560 000 €)
<b>Bond 1 -salkku</b>	15,6 % (4 500 000 €)	22 % (6 358 000 €)	26 % (7 514 000 €)	29 % (8 310 000 €)
<b>Money Market 2-salkku</b>	8,7 % (2 500 000 €)	6 % (1 734 000 €)	6 % (1 734 000 €)	6 % (1 734 000 €)
<b>Bond 2 -salkku</b>	3,5 % (1 000 000 €)	4 % (1 156 000 €)	4 % (1 156 000 €)	5 % (1 445 000 €)
<b>Osakesalkku</b>	3,5 % (1 000 000 €)	8 % (2 312 000 €)	9 % (2 601 000 €)	11 % (3 179 000 €)
<b>Rahastosalkku</b>	3,1 % (900 000 €)	4 % (1 156 000 €)	7 % (2 230 000 €)	9 % (2 601 000 €)

Salkun 2004 tuotto, standardipoikkeama ja salkun allokaatio ovat siis todellisen salkun lukuja. Salkkua ei ole optimoitu, toisin kuin optimointisalkkuja. Tuottotavoitetta kasvatamalla ja sijoitussalkkuja optimoimalla allokaatio muuttuu siten, että varoja siirretään riskittömistä pankkitalletuksista riskillisempiin jvk-, rahasto- ja osakesijoituksiin. Tuottotavoitteen ollessa 4,2 % (optimisalkku 1) vähenevät rahamarkkinasijoitukset 12,4 %. Money Market 1 -salkun määrä laskee 9,7 % ja Money Market 2 -salkun 2,7 %. Osakesalkun osuus kokonaissalkusta nousee 8 %:iin ja Bond 1 -salkun osuus 22 %:iin. Tuottotavoitteen ollessa 4,7 % (Optimisalkku 2) on lyhytaikaisten talletusten osuus koko sijoitussalkusta enää 48 %. Tällöin Bond 1 -salkun osuus on noussut jo 26 %:iin. Sekä Osake- että Rahastosalkkuun sijoitettavien varojen määrän täytyy yli kaksinkertaistua vuoden 2004 tilanteeseen, jotta saavutetaan 1,5 % korkeampi tuottotavoite. Tuottotavoitteen ollessa 5,2 % (Optimisalkku 3) Money Market 1 -salkun osuus likvidien varojen sijoitussalkusta joudutaan supistamaan 40 %:iin. Tällöin lyhytaikaisista talletuksista vapautuvat varat pitäisi sijoittaa tuotto-varianssi-säännön mukaan siten, että Bond 1 -salkun osuus sijoituksista kasvaa 29 %:iin, Osakesalkun 11 %:iin ja Rahastosalkun 9 %:iin. 2 % korkeammalla tuottotavoitteella Bond 1 -salkkuun sijoitettavan varallisuuden määrä on lähes kaksinkertaistunut ja Osake- ja Rahastosalkun kolmenkertaistunut verrattuna vuoden 2004 tilanteeseen. Optimoinnissa on kuitenkin tärkeää



huomata, että vähiten tuottavalle maksuliiketilille (Money Market 2 -salkku) sijoitettava varallisuutta ei pysty alentamaan alle 6 %:n tason, jotta juoksevista velvoitteista pystytään suoriutumaan. Lisäksi kapitalisaatiosopimuksia (Bond 2 -salkku) ei pystytä kasvattamaan yli tietyn maksimimäärän.

Taulukosta 4 huomataan, että yhden prosenttiyksikön tuoton kasvattaminen kaksinkertaistaa sijoitussalkun riskin määrää standardipoikkeamalla mitattuna. Tällöin rahamääräiseksi muutettuna päivittäinen standardipoikkeama on 20 581 euroa, kun vuoden 2004 salkun euromääräinen standardipoikkeama on 11 271 euroa. Kasvatettaessa sijoitussalkun odotettua tuottoa edelleen 4,7 %:iin standardipoikkeama kasvaa 28 862 euroon. 5,2 %:n tuottotavoitteella standardipoikkeamaksi saadaan 34 102 euroa. Sijoitussalkun riskin suuruutta standardipoikkeamalla mitattuna voidaan pitää matalana kaikilla odotetun tuoton määrillä, vaikka riskin prosentuaalinen kasvu on huomattava verrattuna vuoden 2004 tilanteeseen. Lisäksi voidaan todeta, että Kurikan Osuuspankin likvidit varat ovat olleet jo vuonna 2004 lähes optimaalisesti sijoitettuja. Optimoitaessa vuoden 2004 salkku 3,2 % tuottotavoitteella laskee standardipoikkeama ainoastaan 867 eurolla.

## **5.5 Likvidien varojen sijoitussalkun riski**

### **5.5.1 Monte Carlo -simulointi**

SAS Risk Dimensions -ohjelma on kehitetty rahoitusalan yritysten, lähinnä pankkien riskin mittaamisen työvälineeksi. Ohjelmaa käytetään lähinnä korko- ja valuuttakurssiriskin mittaamiseen, mutta myös käyttö trading-salkun markkinariskin mittaamiseen on yleistymässä. Ohjelmalla on mahdollista laskea markkinariskiä kaikilla VaR-menetelmillä, mutta tutkielman menetelmäksi on valittu Monte Carlo -simulointi. Monte Carlo -simulointi on teoreettisesti paras menetelmä ja antaa mahdollisimman todellisen kuvan sijoitussalkkuun liittyvästä markkinariskistä.

Tutkimuksen simuloinnissa käytetään riskimuuttujien volatiliteetin ennustamiseen GARCH(1,1)-estimointimenetelmää, jolloin malli sisältää yhden viivästetyn virheneliön ja yhden viivästetyn autoregressiivisen termin (ks. kaava 17). Monte Carlo -menetelmä simuloi kovarianssimatriisin ja kurssiodotusten perusteella simulointikierrosten mukaiset korkokäyrät ja kurssimuutokset. Tämän jälkeen Monte Carlo -menetelmä arvostaa jokaisen instrumentin simulointikierrosten lukumäärän mukaisesti

ja muodostaa markkina-arvojen perusteella VaR-menetelmän mukaisen todennäköisyysjakauman. VaR-luvut saadaan tarkastelemalla jakauman markkina-arvoja suuruusjärjestyksessä. VaR-analyysi tehdään 1 %:n VaR-luvulla. Realisaatiot on toteutettu 10 000:n simulaatiokierroksen avulla. Simuloinnin tulokset on esitetty alla olevassa taulukossa:

TAULUKKO 5. *Sijoitussalkkujen simuloitut VaR-luvut sekä maksimaalisen voiton ja tappion suurus.*

	<b>Salkku 2004</b>	<b>Optimisalkku 1</b>	<b>Optimisalkku 2</b>	<b>Optimisalkku 3</b>
<b>VaR</b>	-22 891 €	-44 881 €	-51 445 €	-62 575 €
<b>Maksimi (voitto)</b>	+43 111 €	+84 759 €	+97 481 €	+115 873 €
<b>Minimi (tappio)</b>	-40 097 €	-77 425 €	-87 591 €	-103 780 €

Simuloinnin tuloksena vuoden 2004 salkun euromääräiseksi VaR-luvuksi saadaan -22 891 euroa. Maksimaalinen päivätappion suuruus on -40 097 euroa. Maksimaalinen päivävoitto saa arvon +43 111. Optimisalkun 1 VaR-luku on -44 881 euroa. VaR-luku melkein kaksinkertaistuu vuoden 2004 salkkuun verrattuna. Vaikka tuottotavoite nousee vain yhdellä prosentilla, se aiheuttaa huomattavasti suurempaa vaihtelua sijoitussalkun arvoon. Huonoimmassa tilanteessa markkinoiden ollessa normaalit, voi päivätappiota syntyä -77 425 euroa. Optimisalkun 2 VaR-luku nousee edelleen -51 445 euroon. Äärimmäiset päivävaihtelut ovat kaksinkertaistuneet vuoden 2004 salkkuun verrattuna päivätappion ollessa -87 591 euroa ja päivävoiton +97 481 euroa. Optimisalkun 3 VaR-luku on -62 575 euroa ja huonoimmassa tapauksessa salkun arvo pienenee -103 780 euroa yhden päivän aikana.

Simuloinnin tuloksia voidaan tarkastella myös jakaumien avulla (ks. liite 1). Liitteessä 1 on kuvattu vuoden 2004 sijoitussalkun simuloitu jakauma koko likvidien varojen sijoitussalkulle ja erikseen jokaiselle sijoitussalkulle instrumenttityypeittäin. Lisäksi liitteessä on optimoitujen sijoitussalkkujen jakaumat. Huomion arvoista on, että Money Market 1- ja Money Market 2 -salkkujen simuloitu VaR-luku on positiivinen vuoden 2004 datasta laskettuna. Syy tähän on Euribor-korkojen maltilliset liikkeet vuoden 2004 aikana ja rahamarkkinasijoitusten hyvä kuponkituotto. Sijoitussalkkujen tuottojen jakaumista huomataan myös, että tuottojakaumat noudattavat hyvin teoreettista normaalijakaumaa. Jakaumat eivät ole vinoja, eli havainnot jakautuvat tasaisesti keskiarvonsa ympärille. Jos sijoitussalkussa käytettäisiin suojausinstrumentteja, muuttuisivat jakaumat vinoiksi positiiviseen suuntaan, sillä tuotot olisivat painottuneet keskiarvonsa oikealle

puolelle ja saaneet positiivisia arvoja. Jakaumat eivät ole myöskään huipukkaita, eli ei saada normaalia suurempia voittoja eikä tappioita.

Standardipoikkeamaan verrattuna VaR-menetelmällä laskettu sijoitussalkun riski on huomattavasti suurempi. Optimisalkkujen VaR-luvulla mitattu riski on noin kaksi kertaa suurempi kuin standardipoikkeamalla saatu riski. Tästä voidaan päätellä, että standardipoikkeama kertoo ainoastaan sen, mitä historiassa on tapahtunut. Monte Carlo-simuloinnissa ennustetaan historiallisesta datasta, mitä huomenna voi tapahtua, ja siksi menetelmän antama kuva sijoitussalkkuun sisältyvästä riskistä on todenmukaisempi.

Salkun uudelleen allokoimisessa välttämätön edellytys on, että paikallisosuuspankkien maksuvalmiuspuskurin minimimäärä toteutuu. Maksuvalmiuspuskuri on rakennettu siten, että vaaditun prosentuaalisen puskurin ylittävä maksuvalmius varmistaa pankin selviytymisen velvoitteistaan huonoimmassakin maailmantilanteessa (ks. kaava 1). Mitä suuremman arvon maksuvalmiuspuskuri saa, sitä parempi on pankin maksuvalmius. Kurikan Osuuspankin maksuvalmiuspuskurin minimirajaksi on määrätty 12,8 %. Vuoden 2004 sijoitussalkun ja optimoitujen sijoitussalkkujen maksuvalmiuspuskurien suuruus on esitetty taulukossa 6.

TAULUKKO 6. *Sijoitussalkkujen maksuvalmiuspuskurin suuruus.*

	Salkku 2004	Optimisalkku 1	Optimisalkku 2	Optimisalkku 3
<b>Maksuvalmiuspuskuri</b>	16,7 %	15,8 %	15,5 %	14,9 %

Maksuvalmiuspuskuri oli erittäin korkealla tasolla 31.12.2004, jolloin puskuri sai arvon 16,7 %. Korottamalla tuottotavoitetta 1 %:lla, Optimisalkun 1 maksuvalmiuspuskuri laskee 15,8 %:iin. Puskuri on edelleen oleellisesti yli vaadittavan minimitason. 4,7 %:n tuottotavoitteella maksuvalmiuspuskuri laskee 15,5 %:iin. Vielä 5,2 %:n tuottotavoitteella maksuvalmiuspuskuri ylittää yli 2 %:n marginaalilla vaadittavan minimin ja saa arvon 14,9 %.

Vuoden 2004 ja kaikkien optimoitujen sijoitussalkkujen riski on erittäin matalalla tasolla VaR-analyysin ja maksuvalmiuspuskurin valossa. Vaatimalla sijoitussalkulta suurempaa tuottoa kasvavat likvidien varojen sijoittamiseen liittyvä markkinariski ja likvideettiriski tasaisesti. Riski pysyy kuitenkin kohtuullisen matalalla tasolla jopa 2 %

korkeammalla tuottotavoitteella verrattuna vuoden 2004 salkkuun, ja riski pysyy vaadittujen rajoitteiden sisällä sekä VaR-analyysillä että maksuvalmiuspuskurilla mitattuna. Kurikan Osuuspankin on mahdollista valita sijoitussalkku, jonka odotettu tuotto nousee 1–2 %. Tällöin kannattaa valita joku optimisalkkujen mukainen portfolio.

### **5.5.2 Stressitesti**

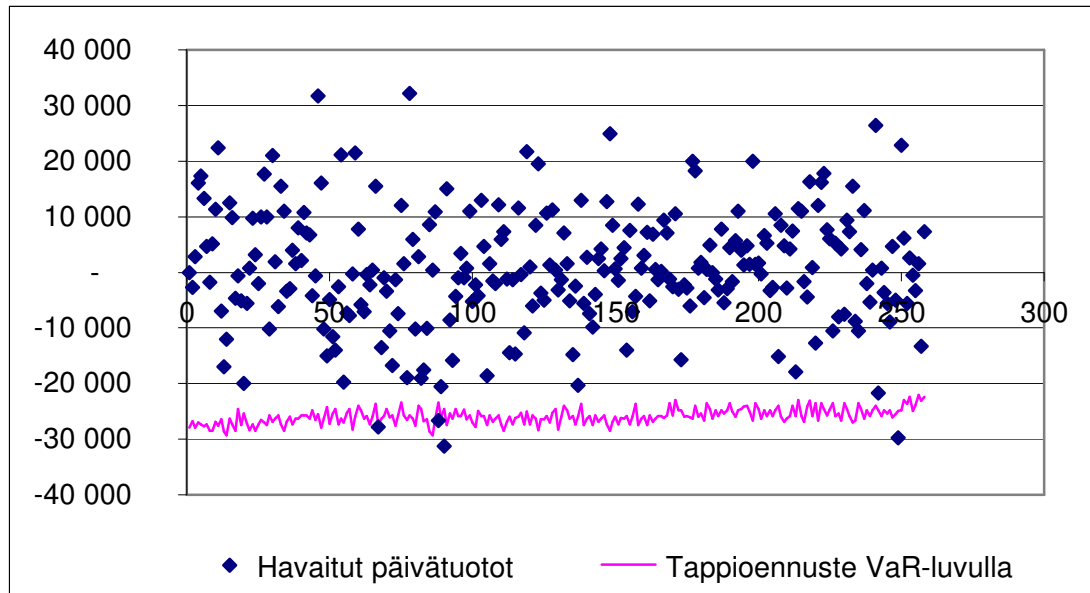
Riskianalyysin täydentäminen stressitestillä auttaa ymmärtämään, mitä Kurikan Osuuspankin sijoitussalkulle tapahtuisi, jos markkinat muuttuisivat odottamattomasti epäedulliseen suuntaan. Tutkielman stressitesti toteutetaan skenaarioanalyysin ja mekaanisen analyysin avulla. Skenaario on rakennettu seuraavan kysymyksen pohjalta: Kuinka suuri optimaalisten sijoitussalkkujen riski VaR-luvulla mitattuna olisi, jos vuoden 2000 pörssiromahdus toistuisi? Stressitestin mekaaninen analyysi toteutetaan Monte Carlo-simuloinnilla 1 %:n luottamustasolla. Markkinadata on kerätty vuoden 2000 touko-kuulta, jolloin markkinoiden volatilitteetti oli voimakasta. Lyhennetty data korostaa suuria päivävaihteluita vuoden 2000 aikana.

Simuloinnin tuloksena Optimisalkun 1 VaR-luku skenaariolle on -266 347 euroa. Vastaava luku Optimisalkulle 2 on -301 578 euroa ja Optimisalkulle 3 on -352 770 euroa. Skenaarion toteutuessa mahdollisen päivätappioiden suuruus on moninkertainen verrattuna vuoden 2004 normaaliin markkinatilanteeseen. Optimoitujen salkkujen VaR-luvut skenaariolle ovat lähes kuusinkertaisia verrattuna vuoden 2004 markkinatilanteeseen. Pankin onkin tärkeää ottaa huomioon tällaiset odotettua suuremmat heilahtelut varmistukseen maksuvalmiuden riittävyyden. Salkunhoitajan on tärkeää havaita markkinoiden ylikuumeneminen ja muuttaa sijoitussalkun rakennetta markkinatilanteen mukaan. Toisaalta kaikkiin ilmiöihin, esimerkiksi luonnonkatastrofin aiheuttamaan pörssiromahdukseen ei voida valmistautua muuten kuin pitämällä riittävä kassavarantoa varmuuden vuoksi. Edellä esitetyn skenaarion toteutuessa täysin yllättäen ei vielä yksin aiheuttaisi Kurikan Osuuspankille välitöntä likviditeettivaikeutta.

### **5.5.3 Backtesting**

Mallin paikkansapitävyyttä testataan backtestingin avulla. Testaukseen käytettävät hyväksymisrajat eli ohjearovot saadaan Kupiecan testistä (ks. taulukko 1). Testissä laskeaan, kuinka moni todellinen havainto on ylittänyt päivittäisen VaR-luvun. Testaus tehdään ainoastaan vuoden 2004 sijoitussalkulle, jonka perusteella mallin paikkansa pitä-

vyys voidaan todeta samaksi optimoiduissa salkuissa. VaR-luku on laskettu erikseen jokaiselle päivälle vuonna 2004. Kupiecan testin mukaan malli on hyväksyttävä, jos vuoden mittaisista todellisista päivähavainnoista alle seitsemän ylittää simuloidun VaR-luvun. Havaitut päivätuotot ja VaR-luvun osoittama maksimitappioennuste on esitetty kuviossa 3.



KUVIO 3. Ennustettu VaR-rajoite ja havaitut päivätuotot vuonna 2004.

Kuviosta havaitaan, että neljä todellista havaintoa on ylittänyt tappioennusteen vuoden 2004 aikana. Luku on selvästi hyväksyttävällä alueella Kupiecan likiarvotaulukon mukaan. Tällöin mallia voidaan pitää luotettavana. Baselin komitean suositteleman falurearit -menetelmän (ks. s. 54) mukaan 257 havainnon aineistosta 1 %:n luottamustasolla neljä havaintoa saa ylittää VaR-rajoitteen. Ylitysten ollessa pienempi tai yhtä suuri kuin neljä ollaan vihreällä alueella. Myös Baselin komitean kriteereillä tutkielman simulointimalli ennustaa hyvin, eikä malliin tarvitse suhtautua kriittisesti.

## 6 Päätelmät

Riskit ovat olennainen osa pankkitoimintaa. Likvidejä varoja sijoitettaessa on tärkeää aktiivisesti yrittää tunnistaa sijoittamiseen liittyviä uhkatekijöitä ja tiedostaa niiden vaikutus liiketoimintaan. Pankkitoiminnassa likviditeettiongelmiä voi esiintyä ainoastaan tilapäisesti, ja siksi likvidejä varoja sijoitettaessa täytyy varmistua maksuvalmiuden riittävydestä kaikkina aikoina.

Likvidien varojen sijoitusten tuotto-odotusta kasvattamalla pankin likviditeettiriski kasvaa. Likviditeettiriski konkretisoituu markkinariskin välityksellä, jos likvidit varat on sijoitettu aktiiviset markkinat omaaviin instrumentteihin. Basel II -standardin vuoksi likvidien varojen sijoittamiseen liittyvät rajoitteet poistettiin 1.1.2005. Uudessa standardissa likvidien varojen sijoittamisesta vastaa pankin johto. Näin likvidien varojen sijoitusten allokaatiota voidaan muuttaa sijoittamalla tuottavampiin sijoituskohteisiin. Samalla salkun riskillisyytilanteen päivittäminen tulee entistä tärkeämmäksi.

Tutkielman empiirisessä osiossa suoritetaan likvidien varojen sijoitussalkun optimoinnit vaadituille tuottotavoitteille modernin portfolioteorian pohjalta. Sijoitussalkkujen riskin mittaamiseen valittiin teorian pohjalta soveltuvin VaR-menetelmä, joka haluttiin tuoda nykyisen maksuvalmiuspuskurin rinnalle mittaamaan likvidien varojen sijoittamiseen sisältyvää riskiä. VaR-mallia täydennettiin stressitestillä ja mallin ennustuskykyä mitattiin backtestingin avulla.

Markkinariskin ennustaminen toteutettiin stokastisen Monte Carlo -simuloinnin avulla. VaR-mallien vertailussa Monte Carlo -malli on ehdottomasti paras kaikissa muissa osaluissa, paitsi nopeudessa. Kurikan Osuuspankin likvidien varojen sijoitussalkku ei kuitenkaan ole niin monimutkainen, että nopeuden kriteeri olisi muodostunut ongelmaksi.

Sijoitussalkun optimoinnin tuloksena Kurikan Osuuspankin likvidit varat ovat olleet tuotto-varianssi-säännön mukaan lähes optimaalisella tavalla sijoitettu vuonna 2004. Optimoimalla vuoden 2004 sijoitussalkku toteutuneella 3,2 %:n tuottotavoitteella standardipoikkeama ei oleellisesti laske. Vaatimalla likvideille varoille suurempaa tuottotavoitetta sijoitussalkkuun sisältyvä riski kasvaa. Odotetun tuoton määrälle asetettiin ta-

voitteeksi 1 %, 1,5 % ja 2 % suurempi tuotto verrattuna vuoden 2004 3,2 %:n tuottoon. Vuoden 2004 sijoitussalkun ja suuremman tuottotavoitteiden optimoitujen sijoitussalkujen riskiä analysoitiin VaR-lukujen ja maksuvalmiuspuskurin avulla. Vaatimalla 2 %:n korkeampaa tuottoa verrattuna vuoden 2004 tilanteeseen VaR-luku on melkein kolminkertaistunut. VaR-luvulla ennustettu päivätappio on kuitenkin matalalla tasolla tällä 5,2 %:n tuottotavoitteella saaden arvon -62 575 euroa. Myös maksuvalmiuspuskurilla mitattu riski kasvaa odotetun tuoton kasvaessa, mutta pysyy vaadittavien rajojen sisäpuolella vielä 5,2 %:n tuottotavoitteella. Riskianalyysi vahvistaa sen, että likvidejä varoja voitaisiin sijoittaa tuottavampiin sijoituskohteisiin ilman, että salkkuun sisältyvä riski kasvaa liian suureksi. Odotetun tuoton ollessa 1 %, 1,5 % tai 2 % korkeampi verrattuna vuoden 2004 likvidien varojen tuottoon kannattaa sijoitussalkuksi valita jokin optimoiduista sijoitussalkuista. Se, kuinka korkean tuottotavoitteen salkun päätöksentekijä valitsee, riippuu salkunhoitajan riskinsietokyvystä ja siitä, kuinka lähellä riskirajoja halutaan liikkua.

Sijoittamiseen sisältyvistä piilevistä riskeistä saatiin tietoa, kun VaR-menetelmää täydennettiin stressitestin avulla. Valitulla skenaariolla haluttiin tietää, millaiseksi tappio muodostuu, jos vuoden 2000 pörssiromahdus toistuisi. Päivätappiot olisivat moninkertaisia normaaliin markkinatilanteeseen verrattuna. Skenaarion toteutuessa Kurikan Osuuspankille ei aiheutuisi välitöntä likviditeettivaraa.

Sovellettaessa käytäntöön tilastollisia malleja, on myös varmistuttava mallin paikkansapitävyydestä. Tutkielman Monte Carlo -simulointia voidaan pitää luotettavana menetelmänä, sillä todellisten havaintojen määrä on ylittänyt vuoden 2004 aikana vain neljä kertaa VaR-rajoitteen. Kupiecan likiarvotaulukon mukaan vuoden aineistossa ylityksiä saa olla seitsemän, ja Basel II:n suosittelman failure rait -menetelmästä johdetun backtestingin mukaan 4.

Tuloksia tarkasteltaessa on kuitenkin muistettava, että kyseessä on lyhyt data vuodelta 2004. VaR-menetelmä olettaa, että riskitekijöiden historialliset muutokset toteutuvat tulevaisuudessa. Näin ei välttämättä käytännössä tapahdu, vaan volatilitetit ja korrelaatiot muuttuvat ajan kuluessa. Tällä hetkellä VaR-menetelmät ovat kuitenkin kehittyneimpiä riskinmittausmenetelmiä, ja ne antavat parhaan kuvan siitä, mitä tulevaisuudessa voi tapahtua.

Tutkielman perusteella perinteisten likviditeettimittaristojen rinnalle voisi suositella kehittyneen VaR-mittariston käyttöönottoa. VaR-mittaristot kehittävät pankin riskinhallintajärjestelmää, mutta lisäävät samalla kustannuksia. Basel II -standardi kannustaa uusien riskinhallintajärjestelmien käyttöönottoa ja kehittämistä, mutta tällä hetkellä uusien menetelmien käyttöönotto ei ole vielä yleistynyt pienissä pankeissa. Miten uudet säännökset ja lakimuutokset muuttavat pankkien riskinhallintajärjestelmää, selviää vasta Basel II -säännöksen tultua voimaan kokonaisuudessaan.



## Lähteet

Ahlstedt, M. ja Halme, L., (1987). Suomalaisten pankkien riskit ja kansainvälisen toiminnan seuranta. Helsinki: Suomen Pankin ulkomaisen rahoituksen osasto. Keskustelu-aloitteita.

Alexander, C., (1998). Risk management and analysis: Measuring and modelling financial risk. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.

Alexander, C., (1996). The Handbook of Risk Management and Analysis. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.

Anttila T., (1996). Pankki, riskit ja sääntely. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Basle Committee on Banking Supervision, (1996). Supervisory Framework for the Use of Backtesting in Conjunction with the Internal Models Approach to Market Risk Capital Requirements.

Blake, D., (2000). Financial Market Analysis, 2<sup>th</sup> edition. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.

Boudough, J., Righardson, M. ja Whitelaw, R., (1995). Expect the worst. Risk 8, syyskuu: 100-101.

Boyle, P., (1976). Options: a Monte Carlo approach. Journal of Financial Economics 4(4): 323-338.

Crabbe, L. E. ja Fabozzi, F. J., (2002). Corporate bond portfolio management. New York: Wiley.

Crutis, G., (2002). Modern Portfolio Theory and Quantum Mechanics. The Journal of Wealth Management: 7-13

Danielsson, J. ja de Vries, C.G., (1997). Extreme Returns, Tail Estimation, and Value-at-Risk. Institute of Economic Studies working papers, maaliskuu: 2-27.

Dowd, K., (1998). Beyond Value At Risk: The New Science of Risk Management. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.

Elton, E. J. ja Gruber, M. J., (1995). Modern Portfolio Theory and Investment Analysis. New York: John Wiley & Sons Ltd.

Hirsjärvi, S. ja Hurme, H., (2001). Tutkimushaastattelu: Teemahaastattelun teoria ja käytäntö. Helsinki: Yliopistopaino.

Hirsjärvi, S., Remes, P. ja Sajavaara, P., (1997). Tutki ja kirjoita. Helsinki: Tammi.

Jarrow, R. ja Turnbull, S., (2000). The Intersection of Market and Credit Risk. Journal of Banking and Finance Vol. 24: 271-299.

- Jauri, O., (1997). Riskienhallinta uudesta näkökulmasta. Helsinki: Kauppakaari Oy.
- Jansen, D. W., Koedijk K. G. ja de Vries, C. G., (2000). Portfolio selection with limited downside risk. *Journal of Empirical Finance* Vol 7, no. 3-4: 247-269.
- J.P. Morgan/Reuters, (1996). RiskMetrics™ - Technical Documents, 6<sup>th</sup> edition. New York.
- Johnson, R. A. ja Wichern, D. W., (2002). Applied multivariate statistical analysis, 5<sup>th</sup> edition. Upper Saddle River (N.J.): Pearson Education Ltd.
- Jorion, P., (2001). Value at Risk: The New Benchmark for Managing Financial Risk. New York: McGraw-Hill.
- Järvinen, P. ja Järvinen, A., (2000). Tutkimustyön metodeista. Tampere: Opinpajan kirja.
- Järvinen, P. ja Järvinen, A., (1993). Tutkimustyön metodeista. Tampere: Tampereen yliopisto.
- Kasanen, E., Lundström, T., Puttonen, V. ja Veijola, R., (1997). Rahoitusriskit yrityksissä. Porvoo: WSOY.
- Koskelainen, P., (2004). Pankkien riskienhallinnan uudistus. Helsinki: Samlink.
- Kontkanen, E., (1998). Pankit ja rahoituksen välitys, teoksessa: Pankkitoiminta Suomessa. Suomen Pankkiyhdistys
- Kontkanen, E., (1991). Pankkitoiminnan käsikirja. Rauma: Kirjayhtymä tai Oy Länsi-Suomi.
- Kurikan Osuuspankki, (2004). Vuosikertomus 2004. Kurikka.
- Linsmeier, T. J. ja Pearson, N. D., (2000). Value at Risk. *Financial Analysts Journal* 2, maaliskuu/huhtikuu: 47-67.
- Markowitz, H. M., (1952). Portfolio Selection, *Journal of Finance* 7, maaliskuu: 77-91.
- Mina, J. ja Yi Xiao, J., (2001). Return to RiskMetrics: The Evolution of a Standard. New York
- Niskanen, J., ja Niskanen, M., (2000). Yritysrahoitus. Helsinki: Oy Ebita Ab.
- Ross, S. A., (1976). The Arbitrage Theory of Capital Asset Pricing. *Journal of Economic Theory* 13(3): 341-360.
- Ross, R. A., Westerfield, R. W., ja Jaffe, J., (2002). Corporate Finance 6<sup>th</sup> edition. Boston: McGraw-Hill.

Saunders, A ja Cornett, M., (2003). Financial institutions Management: A Risk Management Approach. New York: McGraw-Hill.

Sharpe, W. F., (1964). Capital asset prices: A Theory of Market Equilibrium Under Conditions of Risk, Journal of Finance 19(3): 425-442.

Solnik, B. H., (1995). Why Not Diversify Internationally Rather Than Domestically? Financial Analyst Journal 51(1): 89-94.

Uotila L., (1998). Pankit ja rahoituksen välitys, teoksessa: Pankkitoiminta Suomessa. Suomen Pankkiyhdistys.

*Muut lähteet:*

Kurikan Osuuspankin koulutusmateriaali 2004.

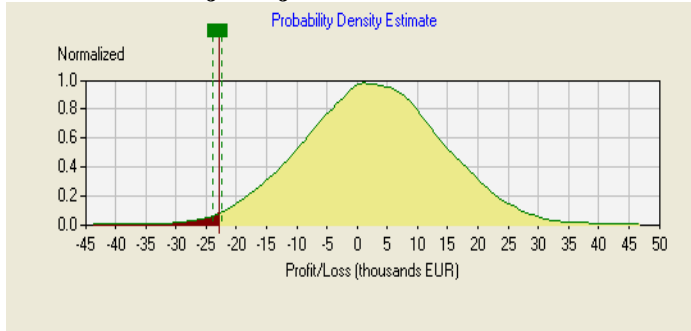
Suomen rahastoyhdistys ry:

<http://www.sijoitustutkimus.fi/lehdistotiedotteet/2005/lehdisto0501.pdf>

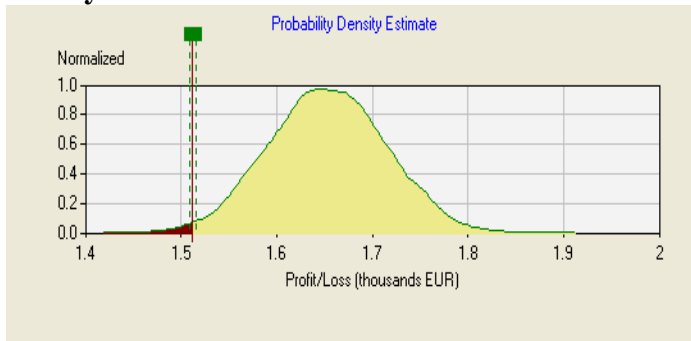
## Liitteet

LIITE 1. Simuloitujen jakaumien graafinen tarkastelu.

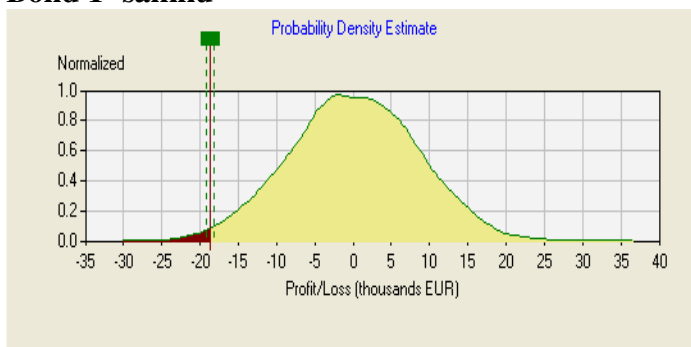
### Likvidien varojen sijoitussalkku vuonna 2004



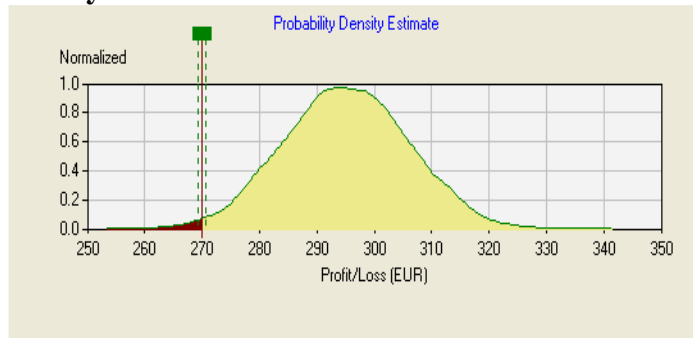
### Money Market 1 -salkku



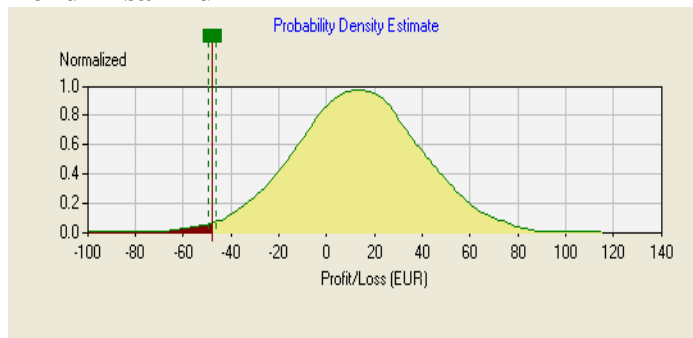
### Bond 1 -salkku



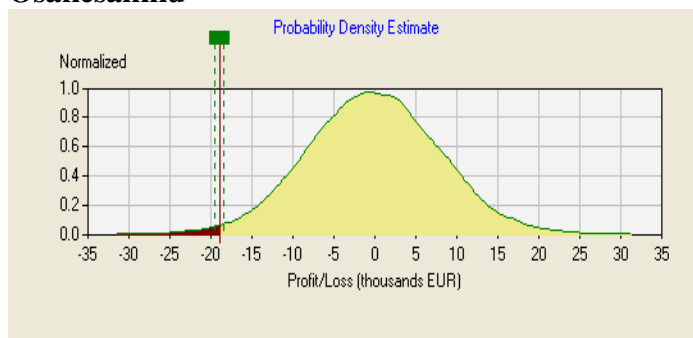
### Money Market 2 -salkku



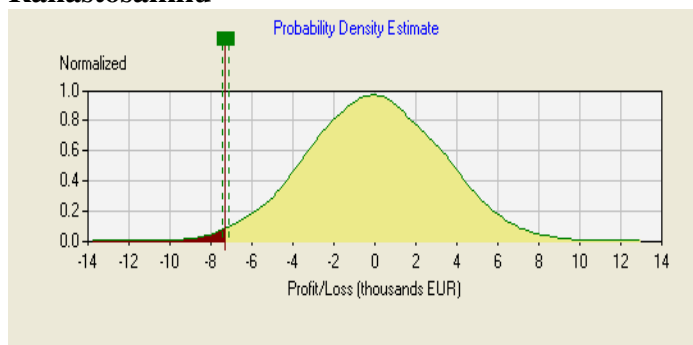
### Bond 2 -salkku



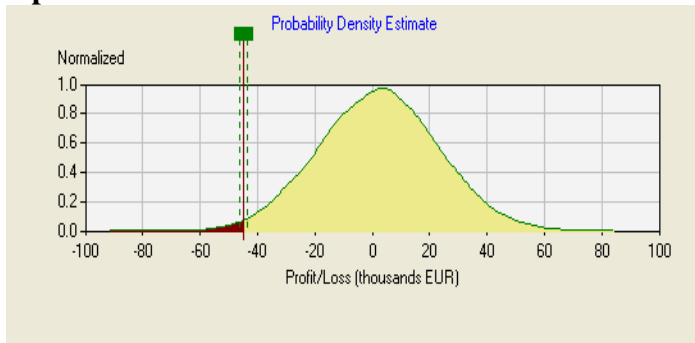
### Osakesalkku



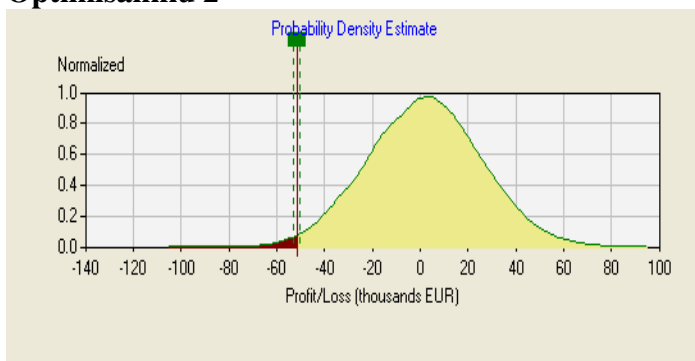
### Rahastosalkku



### Optimisalkku 1



### Optimisalkku 2



### Optimisalkku 3

