



Turun yliopisto
University of Turku

MODERNI PORTFOLIOTEORIA: OPTI- MOIDUN SJOITUSSALKUN SUORIUTUMI- NEN SUHTEESSA TASAHAJAUTUKSEEN

Liiketaloustiede, laskentatoimen pro
gradu -tutkielma

Laatija:
Heikki Rikkinen

Ohjaajat:
KTT Vesa Partanen
KTM Hanna Pitkänen

23.09.2012

Turku



Turun kauppakorkeakoulu • Turku School of Economics

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
1.1	Johdatus aihepiiriin	6
1.2	Tutkimuksen tavoite.....	10
1.3	Tutkimuksen tekotapa	11
1.4	Rakenne.....	13
2	OPTIMAALISEN PORTFOLION VALINNAN TEORIA	14
2.1	Tuottojen laskeminen	14
2.1.1	Sijoituksen tuotto	14
2.1.2	Lyhyeksimynti	14
2.1.3	Arvopaperisalkun tuotto	15
2.2	Satunnaismuuttujat ja satunnaistuotot.....	16
2.2.1	Odotusarvo ja varianssi.....	16
2.2.2	Komponenttien kovarianssi ja korrelaatiokerroin.....	17
2.2.3	Summan varianssi	17
2.2.4	Salkun keskituotto ja tuoton varianssi	18
2.2.5	Salkun hajauttaminen.....	18
2.3	Markowitzin malli	19
2.3.1	Kahden rahaston lause	20
2.3.2	Yhden rahaston lause	22
2.3.3	Mallin hyötyfunktio	23
2.3.4	Markowitzin mallin rajoitteet	23
2.4	CAP-malli	25
2.4.1	Markkinoiden tasapaino.....	25
2.4.2	Pääomamarkkinoiden suora.....	26
2.4.3	Hinnoittelumalli ja salkun beeta	28
2.4.4	Arvopaperimarkkinasuora ja systemaattinen riski.....	29
2.5	Sijoitussalkun arviointi.....	29
2.5.1	Sharpen luku	30
2.5.2	Informaatio ratio ja tracking error	30
2.5.3	Sortinon luku.....	31
3	SIJOITUSSALKUN HOITAMINEN JA OPTIMOINTITAPOJEN ESITTELY. 33	
3.1	Salkunhoito	33
3.1.1	Passiivinen salkunhoito.....	33
3.1.2	Aktiivinen salkunhoito.....	34

3.1.3	Passiivisen ja aktiivisen salkunhoidon vertailua.....	35
3.1.4	Strateginen salkunhoito.....	36
3.1.5	Taktinen salkunhoito.....	37
3.2	Yhden ja useamman faktorin mallit sekä tuottojen ennustaminen.....	38
3.2.1	CAP-malli yhden faktorin mallina.....	39
3.2.2	Faktoreiden valinta.....	40
3.2.3	Koko- ja arvofaktorit.....	41
3.2.4	Ajoitus- ja momentum-efekti.....	41
3.3	Optimointitavat.....	42
3.3.1	Tasahajautus.....	42
3.3.2	Minimivarianssisalkku ja maksimituotto suhteessa varianssiin	42
3.3.3	Rajoitetut salkut	43
3.3.4	Yhdistelmäsalkut.....	44
3.3.5	Shrinkage-estimointi	44
3.3.6	Black-Litterman-malli.....	45
3.4	Yhteenvedo käytetyistä optimointitavoista	47
4	EMPIIRINEN TUTKIMUS JA TULOKSET	49
4.1	Käytetty data-aineisto.....	49
4.2	Tasahajautussalkulla saadut tutkimustulokset.....	52
4.3	Minimivarianssisalkku ja maksimituotto	54
4.4	Rajoitettu salkku.....	59
4.5	Yhdistelmäsalkku	61
4.6	Shrinkage-estimointi	62
4.7	Black-Litterman-malli	62
4.8	t-tilastot ja tilastollinen merkittävyys	64
5	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	66
	LÄHTEET.....	70
	LIITTEET	73
	LIITE 1 MALLILASKU EMPIIRISEN OSAN OPTIMOINTITAVOISTA	73

KUVIOT

Kuvio 1	Lähestymistapa portfolion optimointiin (Fabozzi, Gupta & Markowitz 2002).....	8
Kuvio 2	Data-aineiston jako optimointiin ja tutkimukseen kun kyseessä on passiivisesti hoidetut sijoitussalkut.	12
Kuvio 3	Keskiarvo-varianssirintamat ilman riskitöntä sijoituskohdetta ja riskittömän sijoituskohteen kanssa (Brandt 2004, 3)	21
Kuvio 4	Pääomamarkkinoiden suora (Luenberger 1998, 176)	27
Kuvio 5	Arvopaperimarkkinasuora ja sen riippuvuussuhteet	29
Kuvio 6	Yhden faktorin malli graafisesti (Luenberger 1998, 199).....	39
Kuvio 7	Black-Litterman-mallin odotettujen tuottojen rakennuspalikat (Idzorek 2002, 16).....	46
Kuvio 8	USA:n valtion 20 vuoden ja 3 kuukauden velkakirjojen tuotot sekä niiden erotus	47
Kuvio 9	Työssä käytettyjen sijoituskohteiden käyttäytyminen viimeisen 20 vuoden aikana.....	51
Kuvio 10	Arvopaperien tuotot, volatilitetit sekä tasahajautettu salkku ennen testiä 220 kuukauden aikasarjoilla	53
Kuvio 11	Minimivarianssisalkku ja maksimituottosalkku 220 kk:n data-aineistolla optimoituna	55
Kuvio 12	Decay factorin merkitys uusimman data-aineiston painotuksessa (J.P.Morgan/Reuters 1996, 95).....	58
Kuvio 13	VAR(1)- mallilla saatu ennuste ja realisaatio, kun kyseessä on Dow Jones Industrial-indeksi	63
Kuvio 14	VAR(1)- mallilla saatu ennuste ja realisaatio, kun kyseessä on Gold Spot-hinta	64

TAULUKOT

Taulukko 1	Optimointitapojen keskeisimmät piirteet	48
Taulukko 2	Arvopapereiden korrelaatiokertoimet 220 kk:n optimoimisjaksolla..	52
Taulukko 3	Vertailusalkun arviointi	54
Taulukko 4	Minimivarianssisalkun ja maksimituottosalkun painot 220 kk:n data- aineistosta	56
Taulukko 5	Minimivarianssisalkun ja maksimituottosalkun suoriutuminen 12 kuukauden ja 36 kuukauden ajanjaksoilla, kun tuottojen odotusarvo on laskettu aritmeettisellä keskiarvolla	57
Taulukko 6	Minimivarianssisalkun ja maksimituottosalkun suoriutuminen 12 kuukauden ja 36 kuukauden ajanjaksoilla, kun tuottojen odotusarvo on laskettu geometrisellä keskiarvolla.....	57
Taulukko 7	Salkkujen suoriutuminen EWMA-menetelmällä, kun odotetut tuotot on laskettu geometrisellä keskiarvolla.....	59
Taulukko 8	Painojen keskittyminen harvoihin arvopapereihin, kun painot on rajoitettuja 0-100 %:in.....	60
Taulukko 9	Rajoitetun salkun (0-100 %) suoriutuminen, kun tuotto-odotukset on laskettu aritmeettisesti sekä geometrisesti.....	60
Taulukko 10	Rajoitetun salkun (0-25 %) suoriutuminen, kun tuotto-odotukset on laskettu aritmeettisesti sekä geometrisesti.....	61
Taulukko 11	Yhdistelmäsalkun testitulokset.....	61
Taulukko 12	Shrinkage-menetelmällä saadut testitulokset	62
Taulukko 13	Black-Litterman salkun saamat tulokset	63
Taulukko 14	t-tilastot ja tilastollinen merkitsevyys.....	65

1 JOHDANTO

1.1 Johdatus aihepiiriin

Vuonna 1952 *The Journal of Finance* julkaisi Harry Markowitzin kirjoittaman artikkelin nimeltä "Portfolio Selection". Siinä esitetyt ideat ovat luoneet pohjan rahoitusteorian alueelle, johon yleisesti viitataan nimellä *moderni portfolioteoria* (MPT). Alussa MPT ei herättänyt suurta kiinnostusta, mutta ajan kuluessa se on omaksuttu rahoituksen alalla, ja sen käyttämät periaatteet ovat olleet pohjana moniin uusiin rahoitusmalleihin.

MPT on käyttökelpoinen monilla rahoituksen alueilla, mutta suurin merkitys sillä on ollut sijoitussalkunhoidossa. MPT tuottaa viitekehyksen, jonka avulla voidaan luoda ja valita portfolio, riippuen sijoituskohteiden odotetuista tuotoista ja sijoittajan riskinottohalukkuudesta. MPT, jota kutsutaan myös keskiarvo-varianssi-optimoinniksi (*mean-variance*, MV-optimointi), esitteli myös aivan uuden terminologian, josta on tullut normi sijoitustoiminnan alalla.

Sijoitussalkun valinnan teoria on normatiivinen. Se kuvaa sitä, miten sijoittajan tulisi käyttäytyä sijoitussalkkua luotaessa. Hinnoittelumallit puolestaan ovat positiivisia teorioita. Ne käyttävät olettamuksia siitä, miten sijoittajat käyttäytyvät, eivätkä miten heidän tulisi käyttäytyä. Hinnoittelumallit, kuten *capital asset pricing model* (CAPM), formalisoivat suhteen, jonka pitäisi olla olemassa odotettujen tuottojen ja riskin välillä, mikäli sijoittajat valitsisivat sijoitussalkkunsu keskiarvo-varianssi-optimoinnin perusteella.

MPT ja hinnoittelumallit luovat yhdessä puitteet, joilla voidaan määrittää ja mitata sijoituksen riskiä. Ne luovat myös pohjan odotettujen tuottojen ja riskin välille. On kuitenkin syytä huomata, että MPT on erillinen teoria hinnoittelumalleista. Se tarkoittaa, että MPT:n validiteetti ei riipu hinnoittelumallien validiteetista.

Modernin portfolioteorian perustana on sijoitussalkun tehokas hajauttaminen riskin pienentämiseksi. Sijoitussalkulla tai portfoliolla tarkoitetaan sijoittajan hallussa olevien erilaisten sijoituskohteiden yhdistelmää. Sijoittajan tavoitteena on saada mahdollisimman suurta tuottoa sijoituksilleen suhteessa riskiin. Sijoitussalkun optimoinnilla pyritään löytämään sijoitusinstrumenteille parhaat mahdolliset painot tuotto-riski-suhteen maksimoimiseksi. Optimaalisen portfolion valinta perustuu modernin portfolioteorian peruskäsitteisiin, tuottoon ja riskiin. Riskiä kuvataan tuottojen keskihajonnalla eli volatilitteetilla. Portfolioon voi kuulua mitä tahansa sijoituskohteita, kuten osakkeita, velkakirjoja, arvoesineitä, kiinteistöjä ja taidetta. Salkun koostumus ei vaikuta sen tuoton ja riskin laskemistapaan, mutta mikäli sijoituskohteita ei noteerata markkinoilla, aiheuttaa se käytännön ongelmia optimoinnissa. Sijoituskohteet, joita ei noteerata millään markkinoilla, tuottavat ongelmia sekä optimoinnissa että esimerkiksi CAP-mallin testaamisessa.

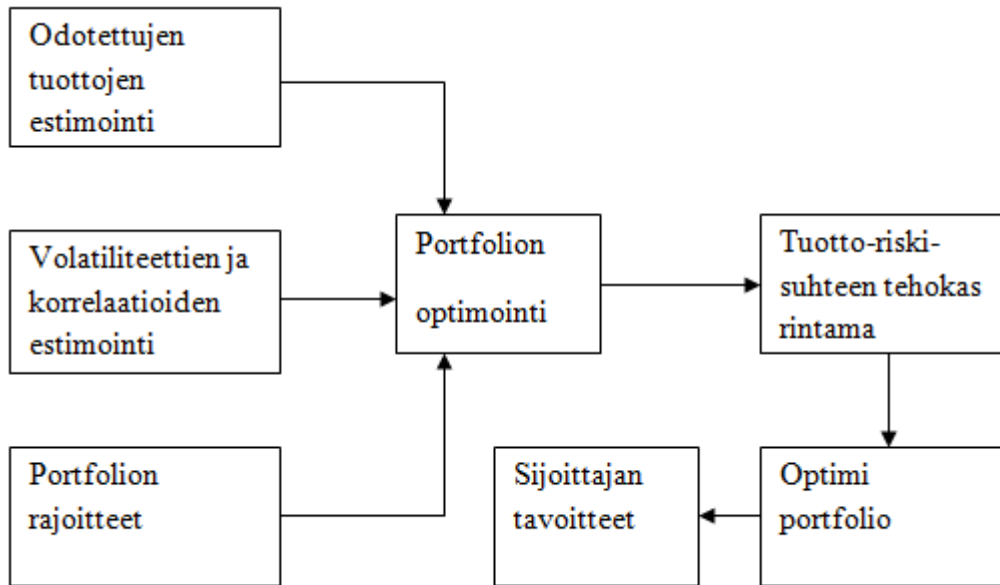
Jo vanha kansanviisaus sanoo, ettei kaikkea tule laittaa yhden kortin varaan. Teknisemmin sanottuna sananparressa puhutaan hajautuksen hyödyistä. MPT ilmaisee numeerisesti hajautuksen käsitteen, käyttämällä kovarianssin ja korrelaation käsitteitä. Mikäli sijoituskohteet korreloivat suuressa määrin toistensa kanssa, on mahdollista, että ne kaikki liikkuvat samanaikaisesti sijoittajan kannalta huonoon suuntaan. Se ei ole kovin järkevä sijoitusstrategia edes silloin, kun mahdollisuus siihen, että yksi sijoituskohte käyttäytyisi epäedullisesti, on pieni. Sijoituskohteiden suuresta korrelaatiosta johtuen yhdenkin sijoituksen huono suoriutuminen johtaa samaan tulokseen muidenkin sijoitusten osalta, mikä puolestaan tarkoittaa huonoa tulosta koko portfolion osalta.

Hajautuksen käsite on niin intuitiivinen ja vahva, että sitä käytetään jatkuvasti rahoituksen eri osa-alueilla. Lukuisat innovaatiot rahoituksen alalla ovat olleet joko sovelluksia hajautuksesta tai uusien menetelmien keksintöjä varianssien ja kovarianssien arvioimiseksi paremmin, ja siten tehden mahdolliseksi hajautushyödyn tarkemman mittaamisen sekä tarkemman riskimitan. Seuraavassa on joitakin rahoituksen sovelluksia, jotka ovat joko suoraan tai epäsuoraan MPT:n seurauksia (Fabozzi, Gupta & Markowitz 2002):

1. Sijoitusten allokointi keskiarvo-varianssi-optimoinnilla
2. Varojen ja velvollisuuksien hoito
3. Velkakirjaportfolion immunisointi
4. Value at risk (VaR) riskienhallinta
5. Suojautumisstrategiat (Hedging strategies)

Markowitzin kehittämä keskiarvo-varianssi-optimointi on modernin rahoitusteorian kulmakiviä sekä tehokas työkalu varallisuuden kohdentamiseen tehokkaasti eri sijoituskohteiden välillä (Jorion 1992). Mallin keskeisimpiä oivalluksia on ensinnäkin se, että se kuvaa hajautuksesta saatavaa hyötyä. Toiseksi portfolion ollessa täysin hajautettu, korkeampaa odotettua tuottoa on mahdollista saada vain ottamalla enemmän riskiä.

Vaikka MPT:n taustalla oleva teoria on suhteellisen suoraviivainen, voi sen käytännön toteutus olla melko monimutkaista. MV-optimoinnilla luodut sijoitussalkut vaativat suuren määrän estimaatteja. Jokaisesta arvopaperista tarvitaan odotettu tuotto, tuottojen varianssi sekä arvopapereiden välinen korrelaatio tai kovarianssi. Esimerkiksi jos ollaan tekemässä portfoliota 200 arvopaperista, vaaditaan siihen 200 odotettua tuottoa, 200 tuoton varianssia sekä 19900 korrelaatiota tai kovarianssia. Niiden avulla pystytään suorittamaan optimointi, joka tuottaa riskin ja tuoton suhteessa tehokkaan rintaman. Rintama on tehokas, koska jokainen piste rintamalla on portfolio, joka tuottaa parhaan mahdollisen odotetun tuoton valitulla riskitasolla tai pienimmän riskin valitulla odotetulla tuotolla. Portfoliot, jotka sijaitsevat tehokkaalla rintamalla, luovat tehokkaiden portfolioiden joukon. Kuviossa 1 esitetään tämä lähestymistapa portfolion optimointiin.



Kuvio 1 Lähestymistapa portfolion optimointiin (Fabozzi, Gupta & Markowitz 2002)

Tehokkaita portfolioita ratkaistaessa tulee kiinnittää erityistä huomiota aikasarjojen pituuteen. Koska aikasarjoista lasketaan estimaatit, sisältävät ne aina estimointivirheitä ja se onkin merkittävin syy, miksi optimointi ei läheskään aina tuota käytännössä optimaalista salkkua. Estimoinnit vaaditaan kuvion 1 mukaisesti odotetuilta tuotoilta, volatiliteteilta ja korrelaatioilta. MPT olettaa kaikkien estimaattien olevan yhtä tarkkoja tai epätarkkoja ja kohtelee niitä siten samalla tavalla. Pitkillä aikasarjoilla pyritään pienentämään estimointivirheitä. Useimmiten MV-optimoinnin käyttäjät yhdistävät uskomuksiaan estimaattien tarkkuuksista asettamalla rajoja siihen, miten paljon maksimissaan optimointi altistuu mahdollisille epätarkkuuksille sijoitusluokkien estimaateissa. Sijoitusluokat, joihin näitä rajoituksia tehdään, ovat yleensä ne, joiden odotettu suoriutuminen on vaikeimmin arvioitavissa tai ne, joiden aikasarjat ovat epätarkimpia. Tässä tutkielmassa rajoitteita käytetään muun muassa sen testaamiseen, onko lyhyeksi-myyntikiellolla vaikutusta sijoitussalkun suoriutumiseen. Portfolion optimoinnin jälkeen saadaan muodostettua tehokas rintama. Optimi portfolio on valittavissa tehokkaalta rintamalta, kun sijoittajan tavoitteet tuotto-riski-suhteesta ovat selvillä. Mikäli sijoittaja haluaa minimoida riskin, valitsee hän minimivarianssisalkun. Jos puolestaan sijoittajan on tarkoitus maksimoida tuotto suhteessa riskiin, valitsee hän maksimituottosalkun.

Käytännössä, mikäli salkunhoitajat uskovat historiallisten tuottojen kuvaavan huonosti sijoituskohteen tulevia tuottoja, he voivat objektiivisesti tai subjektiivisesti muuttaa syötetietoja. Eri salkunhoitajilla voi olla erilaiset uskomukset tulevasta ja siten optimoinnin syötteinä olevat tuotto-odotukset ovat erilaisia. Tärkeää on kuitenkin se, että syötteisiin tehtävillä muutoksilla on teoreettiset perusteet, jotta ymmärretään, miten ne

vaikuttavat optimointiin. Käyttämällä salkunhoitajan omia oletuksia syötteinä, saadaan optimoinnin tuloksena tehokas salkku salkunhoitajan mielipiteisiin nähden (vrt. kuvio 1). Se määrä subjektiivista harkintaa, jota voidaan käyttää muuttamaan historiallisen datan estimaatteja, riippuu niiden tekijöiden ymmärryksestä, jotka vaikuttavat tuottoihin. Tehtäessä subjektiivisia oletuksia odotetuista tuotoista on myös ymmärrettävä näiden tekijöiden painoarvo. Tuottoihin vaikuttavina tekijöinä voidaan pitää mm. maan poliittista ympäristöä, raha- ja finanssipoliittikkaa, kuluttajien luottamusta talouteen sekä talouden syklisyyttä (Fabozzi ym. 2002). Tutkielmassa käytettävä Black-Litterman-malli kuuluu kategoriaan, jossa käytetään muitakin kuin aikasarjoista saatavia oletuksia laskettaessa odotettuja tuottoja.

MV-optimoinnissa on myös heikkoutensa, joista tärkeimmät on esitetty seuraavassa luettelossa (Brandt 2004, 5):

1. Optimaalisen portfolion painot ovat erittäin herkkiä suhteessa odotettuihin tuottoihin.
2. Tilastolliset estimaatit odotetuista tuotoista sisältävät runsaasti kohinaa. Ongelmana on, ettei optimointialgoritmi ota huomioon estimointivirheitä.
3. Riskimittana toimii pelkästään tuoton keskihajonta.
4. Optimointi ei ota lainkaan aikaa huomioon.
5. Tuottojen oletetaan olevan normaalijakautuneita. Optimointi ei huomioi lainkaan tuottojakauman vinoutta eikä kurtositeettia eli jakauman häntien paksumutta.

Käytettäessä historiallisia tuottoja estimaatteina optimoinnissa, paremmat tulokset saadaan data-aineiston ollessa pitkältä aikaväliltä ja suhteellisen vakaata. Se, että data on suhteellisen vakaata, johtuu poliittisesta vakaudesta sekä johdonmukaisuudesta talouspolitiikassa. Vasta sen jälkeen kun taloudellisesta suoriutumisesta on pitkä ja jatkuva aikasarja, voidaan historiallista data-aineistoa pitää hyvänä estimaattina tulevasta (Fabozzi ym. 2002). Aikasarjat, joita on käytetty tässä tutkimuksessa, ovat kehittyneistä talouksista, kuten USA:sta ja Euroopan ja Aasian talousmahdeista, sillä niistä on saatavana kattavat aikasarjat.

Portfolion valinnan tärkeydestä huolimatta on yllättävää, ettei ole olemassa yhtä ekonometristä mallia estimaattien laskemiseen, joka esiintyisi selvänä suosikkina optimointia tehtäessä. Jokaisella mallilla on sekä hyvät että huonot puolensa ja siksi jossakin tilanteessa hyvältä näyttävä malli ei välttämättä toimikaan toisessa tilanteessa (Brandt 2004, 1). Tässä tutkimuksessa käytetään mm. aritmeettista ja geometrista keskiarvoa laskettaessa estimaatteja, joilla on vaikutusta odotettuihin tuottoihin.

Aikaisemmassa vastaavanlaisessa tutkimuksessa, jonka tekivät Demiguel, Garlappi ja Uppal (2007, 25) ja jossa käytettiin seitsemää erilaista data-aineistoa ja simuloitua dataa, tultiin tulokseen, että out-of-sample testissä keskiarvo-varianssi-strategia toimii

huomattavasti huonommin kuin tasahajautus, kun sitä verrataan Sharpen luvun antamiin tuloksiin. Johtopäätöksenä on ollut se, että tuottojen ja kovarianssien estimointivirheet kuluttavat kaiken hyödyn, joka on saatu optimaalisesta hajautuksesta, kun sitä verrataan tasahajautukseen. Tutkimuksessa tultiin myös johtopäätökseen, että suurin osa kirjallisuudessa esitetyistä parannusehdotuksista estimointivirheiden pienentämiseksi ei tavallisesti toimi paremmin kuin tasahajautus. Tutkimuksessa käytiin läpi 14 erilaista mallia, joiden tuloksia verrattiin tasahajautettuun portfolioon. Tässä tutkimuksessa käytetään neljää samankaltaista optimointitapaa sekä kahta erilaista. Optimointitavoista samoja tai samankaltaisia ovat: minimivarianssisalkku, shrinkage-estimointi, rajoitettu salkku ja yhdistelmä-salkku. Kaksi viimeistä poikkeaa hieman DeMiguelin (2007) ym. tutkimuksesta. Erilaiset optimointitavat ovat maksimituottosalkku ja Black-Litterman-malli. Tutkimus eroaa myös data-aineistoltaan kahdessa merkittävässä kohdassa. Ensimmäisenä ja merkittävämpänä on datasarjojen pituus. Demiguel (2007) ym. käyttivät testaukseen 60-120 kuukauden data-aineistoja, kun tässä työssä käytetään 196-229 kuukauden data-aineistoa optimointiin (vrt. kuvio 2), jolla pyritään estimointivirheiden pienentämiseen ja siten optimoinnin parantamiseen. On myös huomattava, että aineisto on täysin eri ja ajankohta on myöhempi. Eri ajankohdilla saattaa olla merkitystä sijoitussalkkujen suoriutumiseen ja estimaatteihin ja siten tutkimustuloksiin. Esimerkiksi volatilitietin vaihtelu eri ajanjaksoilla saattaa vaikuttaa tuloksiin. Toisaalta, mikäli optimointi toimii kuten teoriassa, tällä ei pitäisi olla suurta merkitystä.

Demiguel (2007) ym. saivat tutkimuksissaan tulokseksi simuloidulla aineistolla, että 25 sijoituskohteen ollessa kyseessä tarvitaan noin 3000 kuukauden data-aineisto keskiarvo-varianssi-periaatetta käytettäessä, jotta voitaisiin lyödä tasahajautusstrategia tilastollisesti merkittävässä mielessä. Vastaavasti 50 sijoituskohteen ollessa kyseessä tarvittiin noin 6000 kuukauden data-aineisto. Tämä vastaa 250 ja 500 vuoden data-aineistoja.

1.2 Tutkimuksen tavoite

Tutkimuksen tarkoituksena on testata, voiko Markowitzin luomalla optimoinnilla ja sen parannusehdotuksilla saavuttaa paremman riskisopeutetun tuoton kuin yksinkertaisella tasahajautuksella. Tarkoitus on pyrkiä parantamaan keskiarvo-varianssi-optimointia erilaisin kirjallisuudessa esitettävien keinoin. Tasahajautuksella tarkoitetaan, että sijoitettava varallisuus sijoitetaan tasan kaikkien sijoituskohteiden välillä.

Tutkimuskysymykset ovat seuraavat:

1. Saavutetaanko kvantitatiivisella optimoinnilla parempaa riskisopeutettua tuottoa kuin tasahajautuksella? Mikäli saavutetaan, onko riskisopeutetulla salkulla saavutetun tuoton ero verrattuna tasahajautettuun salkkuun tilastollisesti merkitsevä?

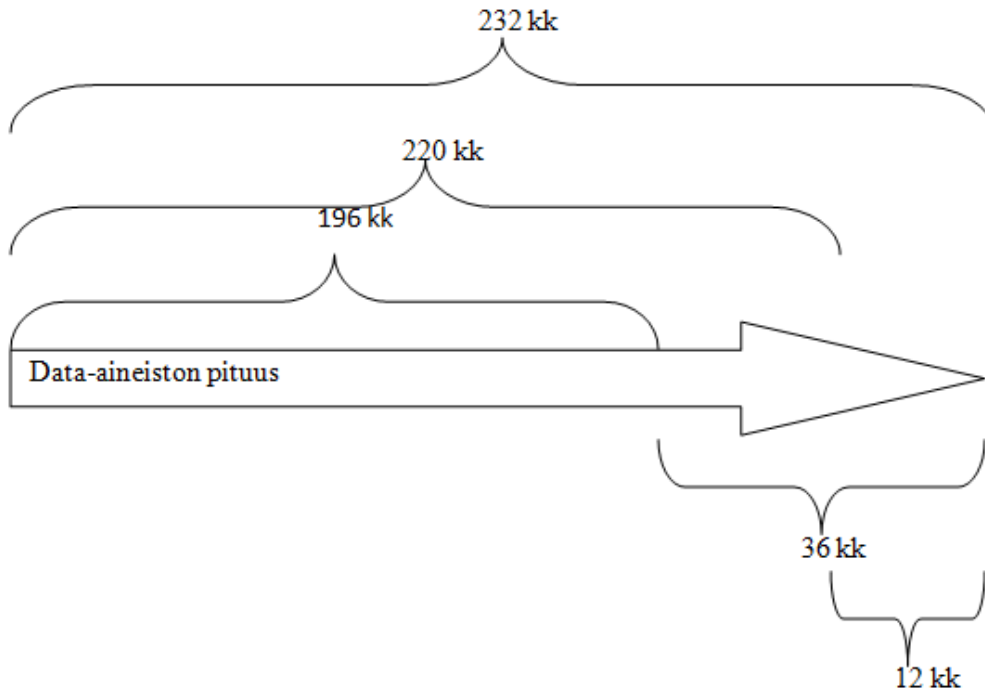
2. Millä malleista on paras tulos ja miksi?

Tarkoitus ei ole, tuloksista riippumatta, tehdä suoria johtopäätöksiä kvantitatiivisen optimoinnin tarpeellisuudesta, mutta siihen otetaan kantaa tuloksien pohjalta. Tarkoituksena on pitää tasahajautusstrategiaa vertailukohtana, koska se on helposti ymmärrettävissä. Tasahajautus ei myöskään vaadi minkäänlaisia data-aikasarjoja eikä optimoimisalgoritmeja, joten se on helposti sovellettavissa yksityisten sijoittajien käyttöön. Työssä ei oteta huomioon kaupankäyntikustannuksia, valuuttakursseja eikä veroja. Tulokset tulkitaan riskisopeutettuna tuottona eli riskin vaikutus tuottoon pyritään eliminomaan. Se tapahtuu siten, että tulokset ovat tuoton ja volatilitietin osamääriä tai riskisopeutus on tehty jollakin vastaavalla tavalla.

1.3 Tutkimuksen tekotapa

Kirjallisuudessa on esitetty kaksi erilaista ekonometristä peruslähestymistapaa portfolion valintaongelmaan: plug-in-estimointi ja päätösteoria. Plug-in-estimoinnilla tarkoitetaan sitä, että tutkija tekee johtopäätöksiä optimaalisesta portfoliosta sijoittamalla optimointifunktioon jokin sopiva lauseke, joka pienentää tilastollisia virheitä. Päätösteoriassa otetaan huomioon sekä tilastolliset tiedot että sijoittajan omat subjektiiviset odotukset ja muodostetaan niiden perusteella optimaalinen portfolio. Sijoittajan omat odotukset vaikuttavat optimointiin siten, että portfolion painot liikkuvat myös niiden perusteella eikä pelkästään odotusarvojen mukaan (Brandt 2004, 23). Kirjallisuudessa on esitetty matemaattisia malleja koskien kumpaakin lähestymistapaa ja niitä on tutkielmassa tarkoitettu testata. Tutkielmassa käytetty shrinkage-estimointi on esimerkki plug-in-estimoinnista ja Black-Litterman-malli on esimerkki päätösteoriasta. Malleilla pyritään ratkaisemaan MV-optimoinnin rajoitteita. Black-Litterman-malli on esimerkki aktiivisesta salkunhoidosta ja tutkielmassa käytetään vektoriautoregressiivistä ennustemallia, VAR(1), luomaan ennusteita tulevasta. Markowitzin luoma perusoptimointi on puolestaan esimerkki passiivisesta salkunhoidosta.

Data-aikasarjat, joita tutkielmassa käytetään, on haettu finance.yahoo.com ja goldprice.org sivuilta. Sieltä on saatu yhtenäiset aikasarjat vuodesta 1992 lähtien. Optimointiin tutkielmassa käytetään aikasarjoja indeksien sekä kullin tuotoista. Aikasarja jaetaan kahteen osaan: ensimmäistä osaa käytetään optimointiin (in-sample-optimointi) ja toista osaa käytetään sen tutkimiseen, miten olisi käynyt, jos optimointia olisi käytetty hyväksi (out-of-sample-testaus). Kuvio 2 havainnollistaa asiaa.



Kuvio 2 Data-aineiston jako optimointiin ja tutkimukseen kun kyseessä on passiivisesti hoidetut sijoitussalkut.

Kuviosta 2 nähdään koko data-aineiston olevan 232 kuukautta pitkä. Optimointiin käytetään koko aineisto vähennettynä aikasarjan loppuosasta tarvittava testiosa. Ajan merkitystä salkkujen tuottoon testataan siten, että out-of-sample-testaukseen käytetään 12 ja 36 kuukauden tuottoja, kun testataan passiivisesti hoidettuja sijoitussalkkuja. Aktiivisesti hoidettuja salkkuja testataan 3, 6 ja 12 kuukauden tuotoilla. Valinnat ajanjaksojen pituuksille ovat perusteltavissa käytännön kautta: aktiivisesti hoidettuja salkkuja muutetaan ja tasapainotetaan huomattavasti useammin kuin passiivisesti hoidettuja. Työssä testataan malleja indeksituotoilla eri puolilta maailmaa sekä kullan tuotolla. Syynä valintaan on se, että indeksituotoista ja kullan tuotosta on olemassa pitkiä aikasarjoja, mikä puolestaan lisää optimoinnin luotettavuutta.

Datan käsittely ja laskenta tapahtuvat taulukkolaskelmaohjelmilla, joihin on ohjelmoitu optimointialgoritmit (vrt. kuvio 1).

Tulokset tulkitaan suhteessa riskisopeutettuun tuottoon, kuten Sharpen lukuun ja Sortinon lukuun. Muita tulkintaan käytettäviä lukuja ovat informaatio ratio ja tracking error. Tilastollista merkitsevyyttä testataan ns. informaatio ratiolla. Tutkielman tuloksia ja johtopäätöksiä rajoittaa se, että tutkielmassa on käytetty jo valmiiksi hajautettuja indeksejä yksittäisten arvopapereiden sijaan.

1.4 Rakenne

Tutkielman toisessa luvussa käydään läpi matemaattiset mallit, joita tarvitaan optimoinnin estimaattien laskemiseen. Sen jälkeen syvennytään varsinaiseen Markowitzin luomaan portfolioteoriaan. Luvussa esitetään myös mallit, joilla empiirisessä osuudessa tehdään johtopäätöksiä sijoitussalkkujen arvioinnista.

Kolmannessa luvussa keskitytään sijoitussalkun hoitamiseen. Siinä käydään läpi erilaisia sijoitusstrategioita, joiden voidaan katsoa vaikuttavan odotettavissa olevaan tuottoon. Sijoitusstrategiat ovat johdettavissa lähes suoraan modernista portfolioteoriasta. Luvussa esitetään myös optimointitavat, joita käytetään empiirisessä osiossa.

Neljännessä luvussa tehdään empiirinen tutkimus ja tulosten analysointi. Luvussa esitetään myös käytetty data-aineisto. Aivan lopussa on yhteenveto ja johtopäätökset.

2 OPTIMAALISEN PORTFOLION VALINNAN TEORIA

2.1 Tuottojen laskeminen

2.1.1 Sijoituksen tuotto

Jos ajatellaan, että sijoituskohde ostetaan hetkellä 0 hintaan X_0 ja vuoden päästä se myydään hintaan X_1 , saadaan sijoituksesta kaavan 1 mukainen kokonaistuotto R .

$$R = \frac{X_1}{X_0} \quad (1)$$

Vastaavasti sijoituksen tuottovauhti, r , saadaan laskettua sijoituksen nettotuoton ja sijoitetun summan osamääränä kaavan 2 mukaisesti.

$$r = \frac{X_1 - X_0}{X_0} \quad (2)$$

Edellä olevista kaavoista voi huomata sen, että $R = 1 + r$. Näin ollen, tuottovauhti voidaan kuvata mallilla $X_1 = (1 + r)X_0$. Se voidaan tulkita koroksi, joka lankeaa sijoitetulle pääomalle. Tämän tutkielman puitteissa tuotolla tarkoitetaan sijoituksen tuottovauhtia (Luenberger¹ 1998, 138).

2.1.2 Lyhyeksimyyni

Lyhyeksimyynnillä (short selling) tarkoitetaan tilannetta, jossa sijoittaja itse ei omista myytävää sijoituskohdetta. Jotta tämä olisi mahdollista, täytyy sijoittajan lainata sijoituskohde sen omistajalta. Lainaaminen voi tapahtua esimerkiksi arvopaperin välitysliikkeen avulla joltakin toiselta sijoittajalta tai itse välitysliikkeeltä. Sen jälkeen sijoittaja myy arvopaperin eteenpäin jollekin muulle ja saa itselleen myyntihinnan. Myöhemmin lainaksi ottajan tarvitsee ostaa vastaava arvopaperi takaisin ja palauttaa se lainaksi antajalle. Mikäli arvopaperin hinta on laskenut lainaamishetkestä, sijoittaja tekee niiden erotuksen verran voittoa. Tästä johtuen, lyhyeksimyyni on kannattavaa, kun arvopaperin hinta laskee (Elton ym. 2003, 26).

¹ Tässä luvussa käytetään useasti lähteenä Luenbergerin (1998) teosta, jotta kaavoissa pysyy vastaava esitysmuoto koko ajan.

Monet sijoittajat pitävät lyhyeksimyyntiä melko korkeariskisenä, jopa vaarallisena sijoitusstrategiana. Syy siihen on se, että mahdollinen tappio on rajoittamaton. Arvopaperin hinta voi nousta mielivaltaisesti ja sitä myöden myös tappio. Ainakin osittain tästä syystä rahoituslaitokset ovat rajoittaneet lyhyeksi myyntiä tai se on jopa kokonaan kielletty². Sijoittajan myydessä arvopaperin lyhyeksi hän ottaa periaatteessa vastaavan roolin kuin sen liikkeelle laskenut yritys. Sijoittaja myy arvopaperin kerätäkseen pääomaa ja mikäli arvopaperi tuottaa osinkoa lainausaikana, tulee lainaajan maksaa se alkuperäiselle omistajalle. Lyhyeksimyynnin sijoituksen tuotto lasketaan aivan vastaavalla tavalla kuin edellä kaavassa 2, sillä lainan ja tuoton aiheuttamat negatiiviset etumerkit kumoavat toisensa. Se, että puhutaan lyhyeksimyynnin tuotosta, saattaa tuntua oudolta, sillä ei ole olemassa mitään alkupanostusta. Teoreettisessa viitekehityksessä se on kuitenkin aivan oikea tapa ja tutkielmassa käytetään tällaista ideaalitapausta. Käytännössä lyhyeksimyynnin prosessia on täydennetty tietyin rajoituksin ja turvatoimin, kuten välittäjäliikkeen vaatimilla vakuuksilla (Luenberger 1998, 138–140).

2.1.3 Arvopaperisalkun tuotto

Luenbergerin (1998, 140) esittämän esimerkin mukaisesti oletetaan, että markkinoilla on olemassa n kappaletta sijoituskohteita, joihin sijoittajalla on mahdollisuus sijoittaa alkupääomaa yhteensä X_0 . Sijoituskohteita yhdistelemällä voidaan luoda sijoitussalkku. Merkinnällä X_{0i} , $i = 1, 2, \dots, n$ tarkoitetaan arvopaperiin i sijoitettua summaa. Tällöin kokonaissumma saadaan kaavasta 3.

$$\sum_{i=1}^n X_{0i} = X_0 \quad (3)$$

Mikäli lyhyeksimyymistä ei ole rajoitettu, on mahdollista, että osa summista X_{0i} on negatiivisia. Jakamalla puolittain kaavan 3 tekijät kokonaissummalla X_0 saadaan tulokseksi

² Iso-Britanniassa sekä USA:ssa tuli voimaan rahoitussektoria koskeva väliaikainen lyhyeksimyynntikielto syyskuussa 2008. Sillä on pyritty rauhoittamaan finanssikriisistä kärsiviä markkinoita. Tätä poikkeuksellista toimenpidettä on perusteltu erittäin poikkeuksellisilla olosuhteilla. SEC (Securities and Exchange Commission) ilmoitti olevansa huolestunut ”perusteettomien huhujen aiheuttamista keinotekoisista muutoksista” osakkeiden hinnoissa (Raivio, Helsingin Sanomat 19.9.2008). Lyhyeksimyynntikielto on kuitenkin mahdollista kiertää käyttämällä optioita. Tällöin on kyse ns. synteettisestä lyhyeksimyynnistä.

$$\sum_{i=1}^n \frac{X_{0i}}{X_0} = 1 = \sum_{i=1}^n w_i, \quad (4)$$

jossa merkinnällä w_i kuvataan arvopaperin i suhteellista osuutta sijoitussalkussa. Edellä esitettyjen kaavojen perusteella saadaan salkun tuotoksi n kohteen painotettu keskiarvo. Se lasketaan kaavan 5 mukaisesti.

$$r = \sum_{i=1}^n \omega_i r_i \quad (5)$$

Edellä esitettyjä kaavoja käytetään sekä optimoinnin suorittamisessa että tutkimustuloksia laskettaessa.

2.2 Satunnaismuuttujat ja satunnaistuotot

Useasti rahamäärä, joka sijoituksesta saadaan myyntihetkellä, on ostotilanteessa epävarma. Sellaisessa tapauksessa tuotto on satunnainen ja sitä voidaan kuvata todennäköisyyslaskennan keinoin. Tiheysfunktiolla pystytään kuvaamaan mahdollisia arvoja ja niiden todennäköisyyksiä.

2.2.1 Odotusarvo ja varianssi

Odotusarvo mittaa satunnaismuuttujan saamaa keskimääräistä arvoa riittävän useasti toistetussa kokeessa. Satunnaistuoton odotusarvo voidaan laskea painotetulla keskiarvolla, mikäli kaikkien mahdollisten tapausten todennäköisyydet ovat tiedossa. Toinen tapa laskea satunnaistuottojen odotusarvo on käyttää perinteistä aritmeettista keskiarvoa. Tuottojen aritmeettista keskiarvoa käytetään tutkielmassa muodostettaessa teorian mukaiset sijoitussalkut. Tutkimuksessa testataan myös geometrisen keskiarvon vaikutusta optimointiin. Aritmeettinen keskiarvo on noin puolet sen varianssista suurempi kuin geometrinen keskiarvo. Se aiheuttaa geometriseen keskiarvoon ns. varianssivastusta. Sijoittajan saama tuotto sijoitukselle lasketaan todellisuudessa aina geometrisenä tuottona (Bernstein 2000, 69).

Odotusarvo mittaa siis satunnaismuuttujan saamaa keskimääräistä arvoa. Se ei kuitenkaan kerro mitään siitä, kuinka paljon satunnaiskokeessa esiintyvät tapaukset poikkeavat keskiarvosta. Yksi tällaista poikkeamaa mittaava suure on satunnaismuuttujan varianssi. Satunnaismuuttujan x_1 odotusarvoa merkitään merkinnällä \bar{x}_1 . Tällöin satunnaismuuttujan varianssi $\text{var}[x_1]$ määritellään satunnaismuuttujan $(x_1 - \bar{x}_1)^2$ odotusarvona kaavan 6 mukaisesti.

$$\text{var}[x_1] = E[(x_1 - \bar{x}_1)^2] = E[x_1^2] - \bar{x}_1^2 = \sigma_1^2 \quad (6)$$

Mitä kauempana x_l :n arvo on sen odotusarvosta \bar{x}_1 , sitä suurempi on varianssi $\text{var}[x_l]$. On syytä myös huomata se, että koska $(x_1 - \bar{x}_1)^2 \geq 0$, niin myös varianssin on oltava joko 0 tai sitä suurempi. Varianssi on neliömuotoinen termi ja siten se ei ole yhteismitallinen odotusarvon kanssa. Sen takia tarkastellaankin useasti satunnaismuuttujan keskihajontaa (ts. volatilitteettia), joka on varianssin neliöjuuri (Luenberger 1998, 143).

2.2.2 Komponenttien kovarianssi ja korrelaatiokerroin

Salkun valintaan vaikuttavat tyypillisesti useat satunnaiset tekijät. Kun kyseessä on kaksi tai useampaa satunnaismuuttujaa, voidaan niiden keskinäistä riippuvuutta kuvata niiden välisellä kovarianssilla. Jos x_1 ja x_2 ovat satunnaismuuttujia, joilla on vastaavat odotusarvot \bar{x}_1 ja \bar{x}_2 , on niiden välinen kovarianssi määritelty kaavalla 7.

$$\text{cov}[x_1, x_2] = E[(x_1 - \bar{x}_1)(x_2 - \bar{x}_2)] = E[x_1 x_2] - \bar{x}_1 \bar{x}_2 = \sigma_{12} = \sigma_{21} \quad (7)$$

Mikäli satunnaismuuttujien x_1 ja x_2 kovarianssi saa arvokseen 0, sanotaan niiden olevan korreloimattomia. Se tarkoittaa tilannetta, jossa tieto toisen muuttujan arvosta ei kerro mitään toisesta. Silloin kun muuttujat ovat toisistaan lineaarisesti riippumattomia, ne ovat korreloimattomia. Jos taas kovarianssi saa arvokseen nollaa suuremman arvon, sanotaan muuttujien olevan positiivisesti korreloituneita. Siinä tapauksessa mikäli toinen muuttujista saa keskiarvoaan suuremman arvon, saa sen todennäköisesti myös toinen muuttuja. Negatiiviselle korrelaatiolle pätee päinvastainen. Satunnaismuuttujille on myös määritelty lineaarista riippuvuutta kuvaava korrelaatiokerroin, joka saadaan laskettua kovarianssin avulla kaavalla 8 (Luenberger 1998, 144–145).

$$\rho_{12} = \frac{E[(x_1 - \bar{x}_1)(x_2 - \bar{x}_2)]}{\sqrt{E[(x_1 - \bar{x}_1)^2]E[(x_2 - \bar{x}_2)^2]}} = \frac{\sigma_{12}}{\sigma_1 \sigma_2}, \quad |\rho_{12}| \leq 1 \quad (8)$$

2.2.3 Summan varianssi

Jos kahden satunnaismuuttujan välinen kovarianssi on tiedossa, on mahdollista laskea niiden yhteisvarienssi. Oletetaan, että muuttujat x_1 ja x_2 ovat satunnaisia. Niiden odotusarvo on $E(x_1 + x_2) = \bar{x}_1 + \bar{x}_2$. Odotusarvon, varianssin ja kovarianssin määritelmien avulla voidaan johtaa seuraava summan varianssin kaava (Luenberger 1998, 146).

$$\begin{aligned} \text{var}(x_1 + x_2) &= E[(x_1 - \bar{x}_1 + x_2 - \bar{x}_2)^2] \\ &= E[(x_1 - \bar{x}_1)^2] + 2E[(x_1 - \bar{x}_1)(x_2 - \bar{x}_2)] + E[(x_2 - \bar{x}_2)^2] \\ &= \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + 2\sigma_{12} = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + 2\sigma_1 \sigma_2 \rho_{12} \end{aligned} \quad (9)$$

2.2.4 Salkun keskituotto ja tuoton varianssi

Edellä esitettyjen yksittäisille sijoituskohteille laskettujen odotettujen tuottojen ja tuoton varianssin sekä useamman tuoton kovarianssin perusteella käydään seuraavaksi läpi, miten koko portfoliolle lasketaan keskiarvo ja varianssi.

Oletetaan, että salkku tehdään n kappaleesta sijoituskohteita, joiden tuottovauhdit ovat satunnaisia ja joiden odotetut tuotot ovat $(E[r_1], \dots, E[r_n]) = (\bar{r}_1, \dots, \bar{r}_n)$. Muodostetaan arvopaperisalkku, jossa yksittäisen arvopaperin osuutta koko salkussa kuvataan painolla $w_i, i = 1, \dots, n$. Tällöin koko salkun satunnainen tuottovauhti voidaan laskea kaavalla 10

$$\bar{r} = E\left[\sum_{i=1}^n w_i r_i\right] = \sum_{i=1}^n w_i E[r_i] \quad (10)$$

tai matriisimuodossa kaavalla 11 (Luenberger 1998, 150)

$$\omega^T \bar{\mu} = \bar{r}, \quad (11)$$

jossa yläindeksillä T tarkoitetaan matriisin transpoosia³ ja $\bar{\mu}$ on odotettujen tuottojen matriisi.

Merkitään salkun tuoton varianssia σ^2 , yksittäisen arvopaperin tuoton varianssia merkinnällä $\sigma_i^2, i = 1, \dots, n$, ja arvopapereiden i ja j tuottojen kovarianssia merkinnällä $\sigma_{ij}, i, j = 1, \dots, n$. Tällöin koko salkun varianssiksi saadaan kaavan 12 mukainen tulos (Luenberger 1998, 150).

$$\sigma^2 = E\left[\left(\sum_{i=1}^n \omega_i (r_i - \bar{r}_i)\right)^2\right] = E\left[\left(\sum_{i=1}^n \omega_i (r_i - \bar{r}_i)\right)\left(\sum_{j=1}^n \omega_j (r_j - \bar{r}_j)\right)\right] = \sum_{i,j=1}^n \omega_i \omega_j \sigma_{ij} \quad (12)$$

Se voidaan esittää myös matriisimuodossa kaavan 13 mukaan

$$\omega^T \Sigma \omega = \sigma^2, \quad (13)$$

jossa merkinnällä Σ tarkoitetaan kovarianssimatriisia. Kaavoja 11 ja 13 käytetään testattaessa optimoitujen salkkujen suoriutumista tutkielman empiirisessä osassa.

2.2.5 Salkun hajauttaminen

Mikäli salkussa on vähän arvopapereita, altistuu se suurelle riskille. Tämä johtuu siitä, että salkku ei sisällä arvopapereita, joilla joidenkin arvopapereiden tuottamia tappioita voitaisiin kompensoida. Riski voidaan havaita salkun suurena varianssina. Mikäli on

³ Lineaarialgebrassa matriisin transpoosilla tarkoitetaan sitä, että alkuperäisen matriisin sarakkeet muutetaan riveiksi ja rivit sarakkeiksi.

olemassa sijoituskohteita, joiden välillä ei ole lainkaan korrelaatiota, on mahdollista aina pienentää tuoton varianssia lisäämällä salkkuun uusia korreloimattomia sijoituskohteita. Käyttämällä tasahajautusta on mahdollista saada varianssi lähestymään nolaa. Tilanne, jossa arvopaperit olisivat täysin korreloimattomia, on käytännössä erittäin harvinainen ja tutkielmassa käytettävät indeksit ovat aina jossain määrin positiivisesti korreloituneita. Kulta tuo lisäarvoa tutkimukseen, sillä se on heikosti korreloiva kaikkien tutkimuksessa käytettävien indeksien kanssa. Kullalla on heikko negatiivinen korrelaatiokerroin muutaman indeksin kanssa (ks. taulukko 1). Arvopaperien ollessa positiivisesti korreloituneita voi hajautuksessa tulla vastaan raja, jolloin tuoton varianssia ei saada enää pienemmän lisähajautuksella (Luenberger 1998, 151–153).

Tällainen analyysi, jonka taustalla on ajatus, että kaikkien arvopaperien odotetut tuotot ovat samoja, on melko karkea. Yleisesti ottaen hajautus voi vähentää odotettua kokonaistuottoa pienennettäessä varianssia. Tämä huomio on tärkeä, sillä se selittää, miksi riskin hajauttamisidea ei ole välttämättä aina paras mahdollinen strategia. Huomio toimii perusteluna sijoittajien haluttomuudelle pienentää riskiä alentamalla merkittävästi arvopaperisalkkujensa tuottoa. Hajautuksen yhteisvaikutus sekä keskiarvoon että varianssiin toimiikin motivaationa Markowitzin MV-optimointiin. Se antaa täsmällisen vastauksen keskiarvon ja varianssin väliseen vaihtokauppaan (Luenberger 1998, 152).

2.3 Markowitzin malli

Markowitzin esittämä (1952) keskiarvo-varianssimalli on yleisin esitys portfolion valinnan ongelmaan. Se on staattinen yhden periodin malli. Sen mukaan sijoittaja joko minimoi riskin tai maksimoi odotetun tuoton arvopapereita allokoimalla. Tehokkaalla portfoliolla on minimiriski tietyllä odotetun tuoton tasolla tai maksimi odotettu tuotto tietyllä portfolion riskitasolla. Hyödyntääkseen optimointialgoritmia sijoittajan tulee antaa syötetietoina yhden periodin odotetut tuotot, varianssit sekä kovarianssit. Sijoittaja voi itse päättää käytettävät laskentatavat ja ennustemallit syötteille. Optimointi käsittelee kaikkia syötetietoja samalla tavalla eli se olettaa kaikkien syötteiden olevan yhtä tarkkoja.

MV-optimointi on joustava siinä mielessä, että se sallii erilaisten rajoitteiden käyttämisen optimoinnissa. Esimerkkeinä mahdollisista rajoitteista on budjettirajoite sekä lyhyeksimyntikielto. Budjettirajoitteella tarkoitetaan sitä, että suhteellisten painojen tulee summautua ykköseen. Lyhyeksimyntikiellolla puolestaan estetään suhteellisten painojen negatiivisuus. Frostin ja Savarinon (1988) tekemän tutkimuksen mukaan asianmukaisilla rajoitteilla optimoitu portfolio suoriutuu paremmin kuin rajoittamaton portfolio. Edellä mainittua tutkimustulosta tarkastellaan myös tässä tutkimuksessa, kun verrataan rajoitettuja ja rajoittamattomien salkkujen riskisopeutettuja tuottoja.

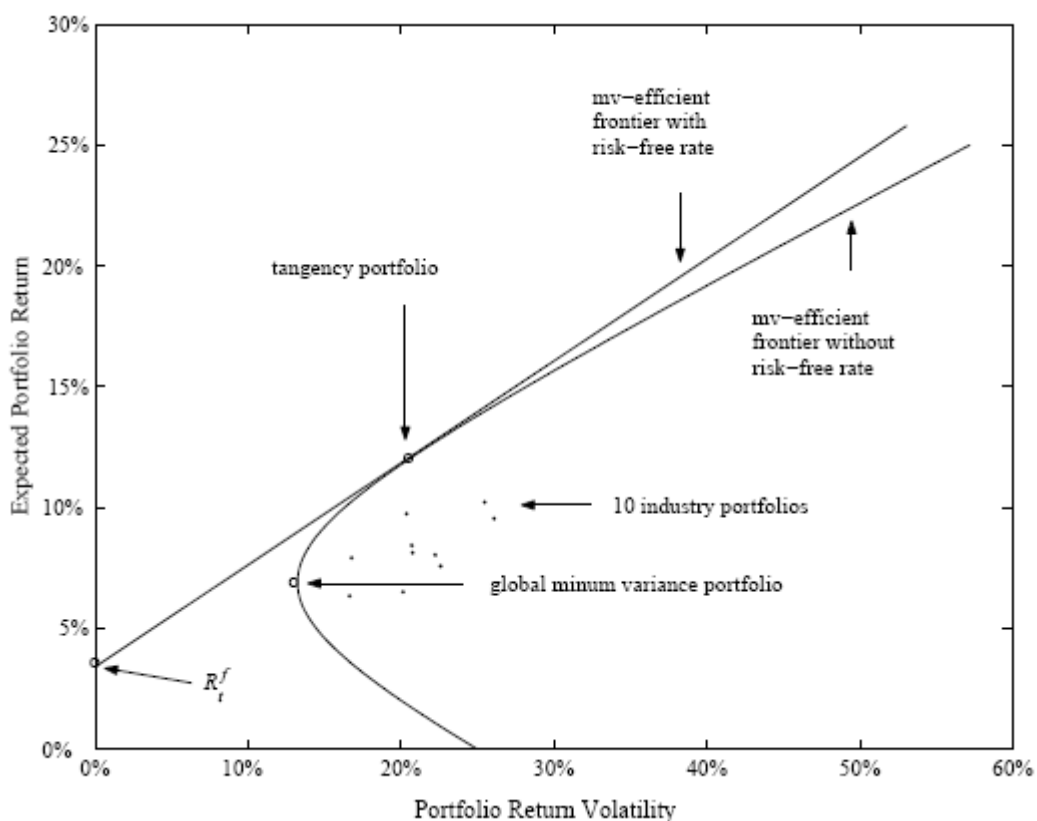
2.3.1 Kahden rahaston lause

Syötetietojen estimoinnin jälkeen sijoittaja ratkaisee optimointiongelman, jossa hän minimoi portfolion varianssin odotetulla portfolion tuottotasolla R_{t+1}^p . Riskittömän sijoituskohteen puuttuessa ja käyttämällä budjettirajoitetta optimointiongelma voidaan kirjoittaa kaavan 14 mukaiseen matriisimuotoon (Brandt 2004, 2):

$$\min_w \text{var}[R_{t+1}^p] = w^T \Sigma w, \text{ ehdoilla} \quad (14)$$

$$E[R_{t+1}^p] = w^T E[R_{t+1}^p], \quad \sum_{i=1}^n w_i = 1$$

Kovarianssimatriisin ja halutun tuottotason $E[R_{t+1}^p]$ oletetaan olevan vakioita yli aikaperiodin. Muuttamalla haluttua tuottotasoa ja ratkaisemalla optimointiongelma kerta kerran jälkeen saadaan muodostettua tehokkaiden salkkujen rintama. Se piirretään kuvion 3 mukaisesti useimmiten portfolion odotetun tuoton ja volatiliteetin tasossa ja ilman riskitöntä sijoituskohdetta se on hyperbelin muotoinen. Rintaman jokaisessa pisteessä portfolion volatiliteetti on minimoitu suhteessa portfolion odotettuun tuottoon. Hyperbelin sisällä olevat pisteet kuvaavat yksittäisiä portfolioita, joista rintama on muodostettu. Se, että yksittäiset portfolioit ovat tehokkaan rintaman sisäpuolella, kuvaa hajautuksesta saatavaa hyötyä. Yksittäiset portfolioit voidaan yhdistää siten, että saadaan aikaiseksi salkku, jonka odotetut tuotot samalla volatiliteettitasolla ovat korkeampia tai vastaavasti odotetut tuotot ovat samoja pienemmällä volatiliteettitasolla. Kuvio 4 kuvaa hyvin myös vaihtokaupan odotetun tuoton ja riskin välillä. Aloittamalla eniten hajautetusta ja siten pienimmän volatiliteetin omaavasta salkusta hyperbelin vasemmassa kärjessä (ns. globaali minimivarianssisalkku) huomataan, että suurempaa odotettua tuottoa on mahdollista saada vain kasvattamalla volatiliteetin määrää (Brandt 2004, 3).



Kuvio 3 Keskiarvo-varianssirintamat ilman riskitöntä sijoituskohdetta ja riskittömän sijoituskohteen kanssa (Brandt 2004, 3)

Kahden rahaston lauseen mukaan on mahdollista määrittää kaksi tehokasta arvopaperisalkkua siten, että mielivaltainen tehokas salkku voidaan replikoida näiden kahden rahaston tehokkaiden salkkujen kombinaationa keskituoton ja keskihajonnan suhteen. Toisin sanoen sijoittajalle riittää investoida kumpaankin näihin mainituista rahastoista mielivaltaisessa suhteessa, niin silloin hänen sijoitustaan kuvaava salkku on itsessään tehokas (Luenberger 1998, 163).

Kahden rahaston lauseen merkittävin seuraus on se, että tehokasta sijoitusstrategiaa etsivälle sijoittajalle riittää investoida kahteen tehokkaasti sijoittavaan rahastoon. Se tarkoittaa sitä, että ei olisi tarvetta sijoittaa yksittäisiin osakkeisiin erikseen, vaan kaksi sijoitusrahastoa riittäisi tuottamaan täydellisen sijoituspalvelun kaikille tehokkaasti rahansa sijoittaville sijoittajille. Tällaisen johtopäätöksen taustalla ovat oletukset siitä, että sijoittajat olisivat kiinnostuneita pelkästään keskiarvosta ja varianssista, kaikilla sijoittajilla olisi samat arviot keskiarvoista, variansseista sekä kovariansseista, sekä oletamus siitä, että yhden periodin malli olisi riittävä (Luenberger 1998, 163).

2.3.2 Yhden rahaston lause

Tärkeä lisäys Markowitzin luomaan malliin oli James Tobinin vuonna 1958 johtama yhden rahaston lause, jossa mukaan tuli riskitön sijoituskohteeseen sekä antaa ja ottaa lainaksi samaan riskittömään hintaan R^f , kaikki tehokkaat salkut voidaan luoda riskillisten ja riskittömän sijoituskohteen kombinaatioina. Riskittömän sijoituskohteen ollessa mahdollinen, tehokas rintama ei ole enää hyperbeli vaan suora, joka kuviossa 3 kulkee riskittömästä sijoituskohteesta ja tangeeraa riskillisten sijoitusten muodostamaa hyperbeliä. Tämä suora on optimaalinen, sillä se maksimoi portfolion Sharpen luvun, joka on määritelty kaavan 15 lailla (Sharpe 1994). Kaavassa käytetyllä merkinnällä std tarkoitetaan keskihajontaa.

$$Sharpe_p = \frac{E[R_{t+1}^p - R_t^f]}{std[R_{t+1}^p - R_t^f]} \quad (15)$$

Merkittävä ominaisuus tehokkaalla rintamalla riskittömän lainan annon ja oton ollessa mahdollista on se, että jokaisen sijoittajan tulisi sijoittaa samaan portfolioon. Tätä portfolioa on kuviossa 4 merkitty tangentiportfolio. Se määrä, joka tähän portfolioon sijoitetaan, riippuu sijoittajan riskinottohalukkuudesta. Tämä esitys antaa teoreettisen todistuksen passiiviseen indeksisijoittamiseen.

Riskittömän sijoituskohteen ollessa mukana sijoittaja allokoii osan varallisuudestaan riskillisiin sijoituskohteisiin ja loput riskittömään. Merkitään portfolion ylituottoa suhteessa riskittömään sijoitukseen merkinnällä r_p ja haluttua ylituottoa $\bar{\mu}$. Brandtia (2004, 4) mukaillen optimointiongelma voidaan nyt ilmaista ylituoton kautta kaavan 16 mukaisesti.

$$\min_w \text{var}[r_p] = w^T \Sigma w, \text{ ehdolla } E[r_p] = w^T \mu = \bar{\mu} \quad (16)$$

Ratkaisuna tähän optimointiongelmaan saadaan kaavan 17 mukainen tulos optimaalisista painoista:

$$w^* = \frac{\bar{\mu}}{\mu^T \Sigma^{-1} \mu} \times \Sigma^{-1} \mu = \frac{\bar{\mu}}{\lambda} \times \Sigma^{-1} \mu, \quad (17)$$

missä λ on vakio ja se kuvaa riskinsietokykyä. Se skaalaa $\Sigma^{-1} \mu$ tekijän oikeassa suhteessa, jotta saadaan luotua salkku, jolla on haluttu odotettu ylituotto. Tangentiportfoliolle saadaan seuraavien kaavojen mukaisesti laskettua λ ja $\bar{\mu}$. Merkinnällä Γ^T tarkoitetaan yksikkömatriisia.

$$\lambda_{tgc} = \frac{1}{\Gamma^T \Sigma^{-1} \mu} \text{ ja } \bar{\mu}_{tgc} = \frac{\mu^T \Sigma^{-1} \mu}{\Gamma^T \Sigma^{-1} \mu} \quad (18)$$

2.3.3 Mallin hyötyfunktio

Huomioiden sijoittajan optimaalinen vaihtokauppa odotetun tuoton ja riskin välillä, voidaan keskiarvo-varianssiongelma vaihtoehtoisesti kuvata odotetun hyödyn maksimointina seuraavan kaavan mukaisesti

$$\max_w E[r_{t+1}^p] - \frac{\gamma}{2} \text{var}[r_{t+1}^p], \quad (19)$$

missä γ kuvaa sijoittajan suhteellista riskinkarttamisastetta. Ratkaisu tähän maksimointiongelmaan on annettu kaavassa 17, kun $\lambda = 1/\gamma$.

Kyseessä oleva hyötyfunktio on muodoltaan kvadraattinen. Kvadraattisen hyötyfunktion ongelmana on, että tietyn saturaatiopisteen jälkeen varallisuuden kasvu pienentää saatavaa hyötyä, mikä puolestaan on ristiriidassa suhteessa sijoittajien yleiseen käyttäytymiseen. Toisaalta kvadraattisen hyötyfunktion omaava henkilö on kiinnostunut vain tuottojen keskiarvosta ja varianssista, joten edellä esitetyt kaavat ovat suoraan käytökelpoisia. Jos siis puhutaan kvadraattisesta hyötyfunktioista, tarkoittaa se samaa, kuin että tuotot ovat normaalisti jakautuneet⁴ (Sharpe 2007, 48–49).

2.3.4 Markowitzin mallin rajoitteet

Sijoitussalkunhoidossa käytetään hyväksi erilaisia kehittyneitä rahoitustekniikoita. Yllättävää kuitenkin on, että portfolioiden luonnissa MV-optimointi ei ole saavuttanut sellaista suosiota, kuin olisi voinut odottaa. Salkunhoitajat huomaavat usein sen, että MV-optimointi johtaa epäintuitiivisiin portfolioihin, joissa on äärimmäiset salkun painot. Seuraavaksi käydään läpi päällimmäisiä MV-optimoinnin ongelmia, jotka selittävät osaltaan sen hylkäämisen tai väärinymmärryksen.

Ensimmäisenä ongelmana voidaan pitää sitä, että optimaalinen allokaatio on erittäin herkkä suhteessa estimoituihin odotettuihin tuottoihin. Roll (1979) oli yksi ensimmäisistä, joka ymmärsi keskiarvo-varianssitehokkuuden tilastollisen luonteen. Hänen mukaansa parametrit ovat tuntemattomia. Se tarkoittaa sitä, että estimaattien keskiarvot, va-

⁴ Sharpen (2007, 52) esimerkki esittää sen, miten kvadraattinen hyötyfunktio ja keskiarvo-varianssitehokas salkku vastaavat toisiaan. Kvadraattisella hyötyfunktioilla kulutuksesta saatava hyöty on mallia $EU = a + bE(X) - cE(X^2)$. Ja kuten varianssin kaavasta huomattiin $V(X) = E(X^2) - E(X)^2$, niin yhdistelemällä yhtälöt saadaan odotetuksi hyödyksi $EU = a + bE(X) - cE(X)^2 - cV(X)$, missä E on odotusarvo, U on hyöty, V on varianssi, X vastaa kulutusmahdollisuuksia ja a , b sekä c ovat numeerisia parametreja. Kaavasta huomaa, että suurempi odotettu tuotto lisää hyötyä ja varianssi pienentää sitä.

rianssit sekä kovarianssit ovat satunnaismuuttujia ja niillä kaikilla on omat todennäköisyysjakaumansa. Tämä puolestaan johtaa siihen, että optimointiin käytettävät estimaatit kohtaavat estimointivirheitä, joita optimointialgoritmi ei huomioi. Siitä johtuen, kuten monet käytännössä optimointia kokeilleet ovat huomanneet, pienetkin muutokset estimaattien alkutiloissa saavat optimoinnin käyttäytymään villisti suhteessa painoihin⁵. Siinä mielessä tehokkaan rintaman määrittäminen ei ole laskennallinen tehtävä, vaan enemmänkin tilastollinen ongelma.

Toinen ja hyvin tärkeä ongelma on se, että tilastolliset estimaatit odotetuista tuotoista sisältävät paljon kohinaa. Sen seurauksena optimointialgoritmi usein kohdistaa merkittävimmän osan painosta niihin sijoituskohteisiin, joilla on suurimmat estimointivirheet. Michaudin (1989, 33–34) mukaan MV-optimointi on perimmäiseltä merkitykseltään estimointivirheiden maksimointia. Se ylipainottaa merkittävästi sijoituskohteita, joilla on suuret odotetut tuotot, negatiiviset korrelaatiot ja pienet varianssit. Alipainotus puolestaan tapahtuu sijoituskohteille, joiden odotetut tuotot ovat pieniä ja joilla on positiiviset korrelaatiot ja suuret varianssit. Juuri nämä sijoituskohteet kokevat todennäköisesti suurimmat estimointivirheet. Oleellisena ongelmana on se, että optimointialgoritmi on liian tehokas suhteessa käytettävissä olevaan data-aineistoon, sillä on mahdotonta tuottaa jatkuvasti virheettömiä estimaatteja.

Kolmantena ongelmana voidaan pitää sitä, että MV-optimoinnissa ainoana riskimitana käytetään tuottojen volatilitteettia. Riskimittaa voidaan selitellä yksinkertaistetuina oletuksina joko sijoittajien preferensseillä (kvadraattinen hyötyfunktio) tai tuottojen jakaumilla (normaalijakauma). Rahoituskirjallisuudessa on kuitenkin raportoitu siitä, että tuotot eivät ole normaalijakautuneita, vaan useasti niiden jakaumat ovat paksuhäntäisiä. Se johtaa siihen, että Studentin t-jakauma voisi antaa paremman approksimaation tuottojen jakautumasta kuin normaalijakauma. Esimerkiksi Kahra (2003, 101) esittää syitä tuottojen ei-normaalijakautumiseen: suuressa määrin keskiarvosta poikkeavia havaintoja esiintyy melko usein, suurten negatiivisten tuottojen on tapana toteutua useammin kuin suurten positiivisten tuottojen, suurilla tuotoilla on taipumus kasaantua ja

⁵ Hyvänä esimerkkinä on Demiguelin ym. (2007, 3) käyttämä malli, jossa on kaksi sijoituskohteita. Oletetaan, että kahden sijoituskohteen todellinen vuosituotto on 8%, vuotuinen volatilitteetti 20% ja tuottojen välinen korrelaatio 0,99. Tässä tapauksessa, koska kummatkin sijoituskohteet ovat identtisiä, tulee MV-optimaaliseksi painoiksi 50% kummallekin. Jos kuitenkin ensimmäisen sijoituskohteen tuottoa ei tiedetä, vaan se estimoidaan ja saadaan 9% (8% sijaan), MV-optimointi antaisi painot, jotka vastaisivat 635% ensimmäiselle ja -535% toiselle sijoituskohteelle. Se johtuu siitä, että optimointi yrittää hyödyntää pienintäkin eroa kahdessa sijoituskohteessa ottamalla äärimmäisiä positioita ilman, että se huomioisi sen, että erot tuotoissa saattavat johtua estimointivirheistä.

suuren volatiliteetin periodeja edeltää usein suuret negatiiviset tuotot. On kuitenkin todettava, että ei-standardijakaumien implementointi voi olla hankalaa, sillä monesti niistä ei ole saatavissa suljetun muodon ratkaisua ja siten niiden hyödyntäminen on hyvin vaikeaa.

Viimeinen ongelma on se, että MV-optimointi tuottaa ratkaisun yhden periodin ajalle, keskittyen riskiin lyhyellä aikavälillä. Tämä yhden periodin ratkaisu tuottaa optimoinnin pelkästään seuraavalle periodille, jättäen huomioimatta muun harkinnanvaraisuuden ja keskittyen vain lyhyen ajanjakson tuottoihin ja riskeihin. Käytännössä optimointi tuottaa MV-tehokkaita salkkuja sijoittajille, joiden sijoitushorisontti on lyhyt ja jotka keskittyvät riskeihin lyhyellä, 1-12 kuukauden, aikavälillä. Todellisuudessa suurin osa sijoitusongelmista sisältää pidemmän sijoitushorisontin sekä sijoitussalkun väliajotaisen uudelleen tasapainottamisen.

2.4 CAP-malli

Sharpen (1964), Lintnerin (1965) ja Mossinin (1966) luoma CAP-malli on suora seuraus yhden rahaston lauseesta (Lhabitant 1998, 499). CAP-mallissa oletetaan, että kaikki sijoittajat ovat hajauttaneet osakesalkkunsu tehokkaasti keskiarvon ja varianssin suhteen. Lisäoletuksina mallissa on, että kaikilla sijoittajilla on homogeeniset odotukset tulevasta ja mahdollisuus ottaa ja antaa lainaa samalla riskittömällä korkotasolla, sijoituskohteet ovat jaettavissa murto-osiin, veroilla ja transaktiokustannuksilla ei ole merkitystä ja markkinainformaation oletetaan olevan ilmaista sekä kaikkien saatavilla. Tästä seuraa, että kaikki sijoittavat samaan tehokkaaseen sijoitusportfolioon ja säätelevät riskitasoaan riskittömän koron määrällä (Sharpe, Alexander & Bailey 1995, 262–263).

2.4.1 *Markkinoiden tasapaino*

Mikäli kaikki sijoittajat, tai ainakin valtaosa heistä, olisivat MV-optimoijia, sijoittaisivat kaikki yhden rahaston lauseen mukaan samaan portfolioon. CAP-malli antaa ratkaisun siihen, mikä tämän portfolioon tulisi olla. Pieni mietintä paljastaa, että kyseessä on oltava markkinasalkku (Luenberger 1998, 174). Markkinasalkku pitää sisällään kaikki mahdolliset sijoituskohteet kansantaloudessa, kuten osakkeet, velkakirjat, kiinteistöt, inhimillisen pääoman jne. (Lhabitant 1998, 500).

Sijoituskohteen paino salkussa määritellään siinä suhteessa, miten paljon pääomaa kokonaisuutensa osana on sijoituskohteeseen allokoitu. Siitä johtuen sijoituskohteen paino markkinasalkussa vastaa sen markkina-arvon suhdetta kaikkien sijoituskohteiden markkina-arvoon. Mikäli riittävän suuri määrä sijoittajia olisi MV-optimoinnin käyttäjiä ja

heillä olisi käytössään samat estimaatit, ei yksittäisen sijoittajan tarvitsisi ratkaista optimointiongelmaa. Tämä on seuraus tasapainoargumentista: tasapainossa kysynnän tulee vastata tarjontaa. Optimoinnin suorittaminen heijastuu markkinoilla hintoihin. Niiden sijoituskohteiden hinnat nousevat, joiden kysyntä kasvaa. Sijoituskohteiden ylitarjonta puolestaan laskee hintoja. Hintojen muutokset vaikuttavat optimointiin ja se suoritetaan uudestaan. Prosessi jatkuu, kunnes kysyntä ja tarjonta kohtaavat ja tasapaino on saavutettu. Tämän kaltaista tasapainoteoriaa käytetään lähinnä sellaisten sijoituskohteiden kanssa, joilla käydään jatkuvasti kauppaa, kuten osakkeilla. Tällaisessa tapauksessa sijoittajien ajatellaan sopeuttavan tuotto-odotuksiaan hitaasti ja tekevän vain pieniä muutoksia laskelmiinsa, ennemmin kuin suorittamalla koko optimointiongelma uudestaan. Tausta-ajatuksena tasapainomallille on myös se, että vain muutamien omistautuneiden sijoittajien tarvitsee tehdä tarvittavat laskelmat. Tällaisella tasapainomallilla on sekä hyvät että huonot puolensa⁶ (Luenberger 1998, 174–175).

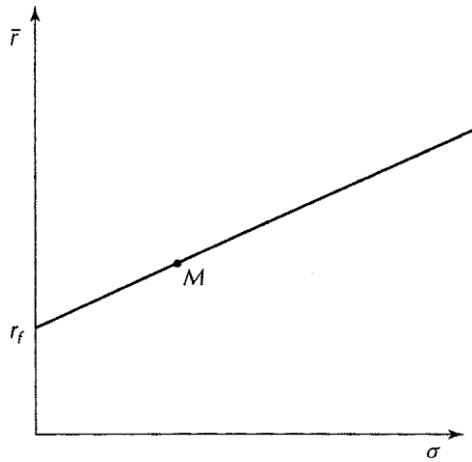
2.4.2 Pääomamarkkinoiden suora

Edellä käytyjen olettamuksien vallitessa siitä, että ainut tehokas portfolio on markkinaportfolio, on mahdollista kuvata se keskituotto-keskihajonta-akseleilla. Kuviossa 4 odotettu tuotto on pystyakselilla ja keskihajonta vaaka-akselilla. M kuvaa markkinaportfolioa ja r_f riskitöntä tuottotasoa.

⁶ Yksi kuuluisa CAP-mallin validiteettia analysoiva artikkeli tunnetaan Rollin kritiikkinä (Roll's Critique). Se nostatti kaksi kysymystä mallista:

1. Roll esitti, että CAP-mallia ei ole koskaan todellisuudessa testattu, sillä mallin empiiriset testit ovat tautologisia siinä mielessä, että saatuihin testituloksiin päädyttäisiin joka tapauksessa riippumatta siitä, miten osakehinnat riippuisivat riskeistä todellisuudessa.
2. Roll huomasi, että CAP-malli ei ole empiirisesti testattavissa. Se johtuu siitä, että ei ole mahdollista käytännössä havaita markkinaportfolioa, koska tuottojen kerääminen jokaisesta omaisuusluokasta jokaisessa maassa on mahdotonta.

Tähän päivään mennessä Rollin kritiikkiin ei ole pystytty vastaamaan tyydyttävästi ja se on yhä yksi suurimmista ongelmista CAP-mallissa (MorganStanley).



Kuvio 4 Pääomamarkkinoiden suora (Luenberger 1998, 176)

Kuviossa 4 olevaa suoraa viivaa kutsutaan yleensä pääomamarkkinoiden suoraksi (Capital Market Line). Kaikki sijoittajat päätyvät sijoittamaan portfolioihin, jotka sijaitsevat jossakin kohtaa pääomamarkkinoiden suoraa ja kaikki tehokkaat portfolioit sijaitsevat tällä suoralla. On kuitenkin syytä huomata, että kaikki sijoituskohteet sekä portfolioit eivät sijaitse suoralla. Kuten aiemmin tehokkaan rintaman käsittelyssä kävi ilmi, kaikki riskilliset ja riskittömät sijoituskohteet sijaitsevat suoran alapuolella elleivät ne ole itsessään tehokkaita (Elton ym. 2003, 295). Pääomamarkkinoiden suoran kulmakerroin voidaan laskea markkinaportfolion odotetun tuoton ja riskittömän koron erotuksena ($\bar{r}_M - r_f$) suhteessa niiden riskin erotukseen ($\sigma_M - 0$). Tämän perusteella voidaan laskea tehokkaan portfolion odotettu tuotto kaavan 20 mukaisesti. Kaavassa \bar{r}_p kuvaa portfolion odotettua tuottoa ja σ_p sen keskihajontaa (Sharpe ym. 1995, 266–267). Suoran kulmakerrointa voidaan ajatella riskin markkinahintana tehokkaissa portfolioissa. Se tarkoittaa sitä ylimääräistä tuottoa, joka voidaan saada kantamalla yhden yksikön verran lisää riskiä. Toisin sanoen riskin kasvaessa tulee myös odotetun tuoton kasvaa. Sitä kutsutaan yleisesti myös Sharpen luvuksi, jota käytetään myös tässä tutkimuksessa, kun testataan riskisopeutettua tuottoa (ks. luku 2.5.1) (Elton ym. 2003, 295).

$$\bar{r}_p = r_f + \left[\frac{\bar{r}_M - r_f}{\sigma_M} \right] \sigma_p \quad (20)$$

Tasapainoa arvopaperimarkkinoilla voidaan kuvata kahdella avainluvulla. Ensimmäinen luvuista on kohta, jossa pääomamarkkinoiden suora leikkaa pystyakselin (ts. riskitön korko). Siihen viitataan usein, kun puhutaan odottamisen palkkiosta. Toinen luvuista on pääomamarkkinoiden suoran kulmakerroin, johon viitataan, kun puhutaan riskinkantamisen palkkiosta. Perimmiltään arvopaperimarkkinat tarjoavat paikan, jossa

voidaan käydä kauppaa ajalla ja riskillä, joiden hinnat määräytyvät kysynnän ja tarjonnan mukaisesti (Sharpe ym. 1995, 268).

2.4.3 Hinnoittelumalli ja salkun beeta

Pääomamarkkinoiden suora liittyy tehokkaan salkun odotetun tuoton keskihajontaan. Se ei kuitenkaan esitä sitä, miten yksittäisen arvopaperin odotettu tuotto liittyy arvopaperin riskiin. Tämä yhteys selviää pääomahyödykkeiden hinnoittelumallin (CAPM) avulla. CAP-mallin tulos arvopaperin i odotetulle tuotolle on kaavan 21 mukainen (Luenberger 1998, 177).

$$\bar{r}_i - r_f = \beta_i (\bar{r}_M - r_f), \text{ jossa } \beta_i = \frac{\sigma_{iM}}{\sigma_M^2} \quad (21)$$

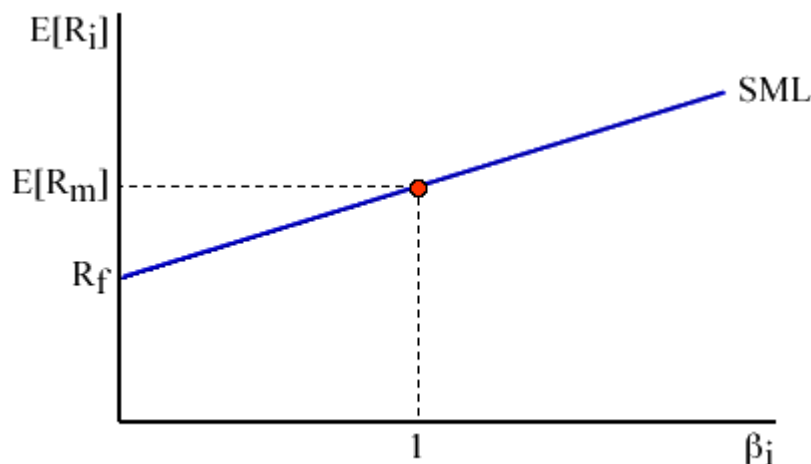
Parametrissa β_i käytetään nimitystä arvopaperin i beeta. $\bar{r}_i - r_f$ on arvopaperin i odotettu ylituotto, sillä se mittaa sitä odotettua tuottoa, joka arvopaperille i lankeaa yli riskittömän tuoton. Vastaavasti $\bar{r}_M - r_f$ on markkinasalkun odotettu ylituotto. CAP-mallin mukaan arvopaperin ylituotto on suoraan verrannollinen markkinasalkun ylituottoon siten, että beeta on suhteellisuustekijä. Koska beeta on myös markkinasalkun varianssilla normalisoitu versio arvopaperin tuoton kovarianssista markkinasalkun tuoton kanssa (ks. kaava 21), kertoo CAP-malli sen, että arvopaperin odotettu tuotto on suhteessa sen kovarianssiin markkinasalkun tuoton kanssa (Luenberger 1998, 179).

Esimerkkeinä tarkastellaan kahta ääritapausta. Ensimmäisessä tapauksessa arvopaperin tuotto ei korreloi markkinasalkun tuoton kanssa eli β on nolla. Tällöin odotetun tuoton on oltava sama kuin riskitön tuotto, vaikka arvopaperin keskihajonta olisi kuinka suuri tahansa. Se johtuu siitä, että tällaisen korreloimattoman arvopaperin riski voidaan hajauttaa. Toisessa tapauksessa β on negatiivinen. Tällöin odotetun tuoton on oltava pienempi kuin riskitön tuotto, vaikka arvopaperin keskihajonta olisi kuinka suuri tahansa. Tämän kaltainen arvopaperi vähentää salkun kokonaisriskiä silloin, kun se otetaan salkkuun mukaan. Sijoittajat ovat siksi valmiita hyväksymään alhaisemman tuoton, koska arvopaperi vähentää kokonaisriskiä ja se toimii vakuutuksen kaltaisesti. Negatiivisen beetan omaavat arvopaperit tuottavat hyvin silloin, kun positiivisen beetan omaavat tuottavat huonosti. CAP-malli korvaa yksittäisen arvopaperin riskin mittarina keskihajonnan arvopaperin beetalla. Portfolion kokonaisriskiä mitattaessa portfolion riskimitarina toimii kuitenkin keskihajonta (Luenberger 1998, 179).

Salkun beeta voidaan laskea yksittäisten arvopapereiden beetojen avulla. Portfolion beeta saadaan yksittäisten arvopapereiden beetojen painotettuna keskiarvona. Painoina ovat samat painot, jotka määrittävät portfolion koostumuksen (Luenberger 1998, 181).

2.4.4 Arvopaperimarkkinasuora ja systemaattinen riski

CAP-malli voidaan havainnollistaa kuvalla, joka esittää kyseisen mallin kaavaa lineaarisella riippuvuussuhteella. Tätä suhdetta kutsutaan arvopaperimarkkinasuoraksi.



Kuvio 5 Arvopaperimarkkinasuora ja sen riippuvuussuhteet

Kuviosta näkee odotetun tuoton lineaarisen riippuvuussuhteen beetaan nähden. Markkinaportfolio on kuvattu kohdassa, jossa beeta on arvoltaan 1. Suora kuvaa CAP-mallin ydinajatusta. Se tarkoittaa sitä, että edellä esitettyjen oletusten vallitessa kaikkien arvopaperien tulisi sijoittua arvopaperimarkkinasuoralle. Suora kuvaa CAP-mallin mukaista arvopaperin riski-tuottorakennetta, korostaen sitä, että arvopaperin riski on beetan funktio. Vastaavasti se voidaan kuvata arvopaperin kovarianssina markkinoihin (Luenberger 1998, 181).

Systemaattisella riskillä tarkoitetaan koko markkinoita koskevaa riskiä. Sitä ei voida pienentää hajauttamalla, sillä kaikkiin arvopapereihin, joilla on nollasta poikkeava beeta, sisältyy tämä riski. Arvopaperi voi sisältää myös ns. ei-systemaattista riskiä, joka on arvopaperikohtaista. Se ei korreloi markkinoiden kanssa ja on siten poistettavissa hajauttamisen kautta. CAP-mallin puitteissa arvopaperin tai portfolion odotettu tuotto on sitä suurempi, mitä suurempi markkinariski on. Ei-systemaattisen riskin kannosta ei palkita suuremmilla odotetuilla tuotoilla vaan pelkästään systemaattisen riskin kanto palkitaan suuremmilla odotetuilla tuotoilla (Sharpe 2007, 13).

2.5 Sijoitussalkun arviointi

Sijoitussalkun suoriutumisen arvioinnissa on tuoton lisäksi otettava huomioon tapa, jolla tuotot ovat saavutettu. Jos suuremmat tuotot on saatu lisäämällä riskiä, ne eivät ole

suoraan vertailukelpoisia. Seuraavissa osissa esitellään tässä työssä käytettäviä arviointimenetelmiä, joiden avulla on pyritty saamaan riskisopeutettuja tuottoja vertailukelpoiksi.

2.5.1 *Sharpen luku*

Luvuksi, jolla kuvataan sijoitusrahastojen suoriutumista, Sharpe esitti alun perin nimeä reward-to-variability. Vaikka luvusta onkin tullut suosittu, ei nimestä voida sanoa samaa. Kirjallisuudessa käytetään useita eri nimiä kuvaamaan juuri tätä samaa asiaa (esim. Sharpe ratio, Sharpe measure, Sharpe index, jne.) (Sharpe Fall 1994). Laskentamalli Sharpen luvulle on esitetty kappaleessa 2.3.2 kaavassa 15. Sharpen luku kuvaa, kuinka paljon enemmän rahasto on tuottanut verrattuna riskittömään tuottoon suhteessa tuoton volatiliteettiin. Sharpen luku on rahaston tuoton ja riskittömän tuoton erotus jaetuna volatiliteetilla. Mitä suurempi Sharpen luku on, sitä paremmin rahasto on tuottanut suhteessa riskiinsä.

2.5.2 *Informaatio ratio ja tracking error*

Informaatio ratio on mitta, joka pyrkii esittämään yhdellä luvulla aktiivisesti hoidetun sijoitussalkun keskiarvo-varianssiominaisuuksia. Se perustuu Markowitzin malliin siten, että oletuksena on tuottojen keskiarvojen ja varianssien riittävyys kuvaamaan sijoitussalkkuja. Sharpen luvusta poiketen tuottoja verrataan vertailusalkun tuottoon, joka tässä tapauksessa on tasahajautettu salkku. Mikäli tuotto on suurempaa kuin vertailusalkulla, tulee osoittajaksi kaavassa positiivinen luku. Erotusta kaavassa merkitään kirjaimilla ER . Nimittäjäksi tulee näiden ns. ylituottojen volatiliteetti, josta käytetään nimeä tracking error. Siten saadaan vertailukelpoiseksi salkun tuotto suhteessa käytettyyn riskiin.

$$IR = \frac{ER}{\sigma_{ER}} \quad (22)$$

Informaatio ratio on tehokas työkalu arvioitaessa aktiivisen salkunhoitajan taitoja. Se on luultavasti yksi parhaista tavoista arvioida aktiivisen salkunhoidon ominaispiirteitä suhteessa keskiarvoon ja varianssiin. Sijoittajien ei kuitenkaan tule luottaa pelkästään yhteen lukuun arvioitaessa salkunhoitajia, koska luku perustuu menneeseen data-aineistoon, eikä siten pysty ennustamaan tulevaa. Luku on myös manipuloitavissa, var-

sinkin jos vertailussa käytetään epäsojivaa vertailusalkkua (Goodwin 1998, 34–42). Informaatio ration avulla voidaan myös laskea tuottojen tilastollista merkitystä⁷.

Tracking error kertoo, kuinka tarkasti sijoituksen tuotto on seurannut vertailukohteen tuottoa. Jos rahaston tracking error on suuri, on rahaston tuotto vaihdellut paljon suhteessa vertailusalkkuun. Vastaavasti rahaston alhainen tracking error paljastaa historiallisten tuottojen olleen lähellä vertailukohteen tuottoja. Yleensä aktiivisesti hoidettujen rahastojen tracking error on suurempi kuin passiivisesti hoidettujen.

2.5.3 Sortinon luku

Sortinon luku on variaatio Sharpen luvusta. Se erottaa haitallisen volatilitietin yleisestä volatilitietista käyttämällä laskentakaavassa nimittäjänä tappioriskiä (downside deviation). Sortinon luku lasketaan huomioimalla ainoastaan negatiiviset tuotonvaihtelut. Luku lasketaan salkun tuotto (r_p) vähennettynä riskitön tuotto (r_f) suhteessa ns. huonoon volatilitiettiin (σ_b). Huonolla volatilitietillä tarkoitetaan negatiivisia tuottoja. Positiivisten tuottojen aiheuttamat volatilitietit jätetään huomioimatta, sillä ne ovat sijoittajalle useimmiten mieluisia (Morningstar).

$$S = \frac{r_p - r_f}{\sigma_b} \quad (23)$$

Tappioriskiä laskettaessa on määriteltävä minimituotto, joka on hyväksyttävissä. Tuotot, jotka ylittävät tämän rajan jäävät volatilitiettilaskujen ulkopuolelle ja tuotot, jotka jäävät sen alapuolelle vaikuttavat ainoastaan tappioriskin laskentaan. Tässä tutkielmassa minimituottorajana on käytetty riskitöntä tuottoa.

Sortinon luku on arvoltaan aina vähintään sama kuin Sharpen luku, mutta useimmiten se on suurempi. Se johtuu juuri tappioriskistä kaavan nimittäjässä. Nimittäjä on sama kuin Sharpen luvussa vain jos kaikki laskentaperiodin tuotot ovat olleet alle minimituottorajan. Mikäli laskentaperiodilla on rajan ylittäviä tuottoja, pienentää se laskettavaa haitallista volatilitietettä. Pienemmästä nimittäjästä johtuen koko tunnusluku kasvaa. Mitä vähemmän minimituottorajan alittavia tapauksia on, sitä suuremmaksi tunnusluku määrytyy. Tapauksissa, joissa kaikki laskentaperiodin tuotot ylittävät minimituottorajan, tunnusluvun arvo ei enää pystytä määrittämään, sillä kaavan nimittäjäksi tulee nolla. Tunnusluvun arvo lähestyy ääretöntä silloin, kun nimittäjä lähestyy nollaa.

⁷ Truman (2003, 2) esittää, miten informaatio ratiota voidaan käyttää testattaessa tulosten tilastollista merkitystä. Otoksesta laskettu informaatio ratio voidaan muuttaa Studentin jakaumassa käytettäväksi t-luvuksi. Mikäli tuottoja ei ole muutettu vuosituotoiksi, t-luvuksi saadaan $t = \sqrt{N} * ir$, käyttämällä N-1 vapausastetta. N on otoskoko.

Sortinon luvun ja Sharpen luvun suhteesta voi vetää johtopäätöksiä siitä, miten tuotot ovat käyttäytyneet laskentaperiodilla. Jos ero lukujen välillä on suuri, tuotot ovat olleet enimmäkseen positiivisia. Jos ero on pieni, huomattavia negatiivisia tuottoja on myös osunut laskentaperiodille.

3 SIJOITUSSALKUN HOITAMINEN JA OPTIMOINTITAPOJEN ESITTELY

3.1 Salkunhoito

3.1.1 Passiivinen salkunhoito

Elton, Gruber, Brown ja Goetzmann (2003, 676) esittävät, että 1990-luvulla oli helppoa jakaa salkunhoitotyylit aktiivisiin ja passiivisiin keskusteltaessa osakesalkkujen hoidosta. Passiivinen salkunhoitaja osti markkinaindeksiä ja aktiivinen salkunhoitaja osti jotain muuta. Tällainen jaottelu olisi edelleenkin helppoa, mutta se ei huomioisi passiivisen salkunhoidon viimeaikaista kehitystä. Sen sijaan jaottelu aktiiviseen ja passiiviseen salkunhoitoon tehdään sen perusteella, riippuuko toiminta jostakin ennustemallista.

Passiivisella salkunhoidolla tarkoitetaan ns. buy-and-hold-strategiaa. Kaupankäyntikustannukset, jotka usein syövät aktiivisesti hoidettujen salkkujen tuottoja, saadaan siten pidettyä pienempinä. Passiivinen salkunhoito ei yritä suoranaisesti erotella houkuttelevia sijoituskohteita houkuttelemattomista. Sen tarkoituksena ei ole myöskään yrittää ennustaa tulevia arvopapereiden hintoja eikä ajoittaa markkinoita tai markkinasektoreita oikein. Passiiviset salkunhoitajat sijoittavat laaja-alaisesti eri omaisuusluokkiin. Aktiivisten salkunhoitajien tavoin he haluavat saada sijoituksistaan voittoa, mutta he tyytyvät eri omaisuusluokkien keskimääräiseen tuottoon. Passiiviset salkunhoitajat eivät hyödynnä markkinainformaatiota läheskään samassa määrin kuin aktiiviset salkunhoitajat. Sen sijaan he kohdentavat rahavarat empiirisesti todettujen odotettujen tuottojen ja riskien perusteella eri omaisuusluokkiin käyttäen hajautusta hyväkseen. Sijoitukset pidetään yli pitkän aikavälin, määrääjain tasapainottaen sijoituspainoja omaisuusluokkien välillä (Evanson Asset Management).

Yksinkertaisin muoto passiivisesta salkunhoidosta on indeksisijoittaminen. Siinä sijoitetaan suoraan indeksiin, mikäli sellainen tuote on saatavilla. Toisena vaihtoehtona on luoda sijoitussalkku, jonka on tarkoitus suoriutua samoin kuin indeksin. Tällainen indeksin replikointi saadaan aikaan ostamalla omaisuusluokkia täsmälleen samassa suhteessa kuin mikä niiden painoarvo on indeksissä. Esimerkiksi jos jonkin yhtiön paino indeksissä on viisi prosenttia, ostaa sijoittaja täsmälleen viiden prosentin verran yhtiön osakkeita suhteessa oman sijoitussalkkunsuun kokoon nähden. Teoreettisena perusteluna tämän tapaiseen indeksisijoittamiseen voidaan pitää Sharpen, Lintnerin ja Mossinin esit-

tämää CAP-mallia⁸, mikäli hyväksyy sen, että indeksi kuvaa hyvin riskillisten sijoituskohteiden markkinaportfoliota. Indeksien arvo nousee ja laskee sitä mukaa miten siihen kuuluvien arvopapereiden arvot nousevat ja laskevat (Elton ym. 2003, 676–677). Käytännönläheisempänä perusteluna indeksisijoittamiseen voidaan pitää tutkimuksia siitä, että keskimääräinen aktiivisesti hoidettu sijoitusrahasto on hävinnyt 1,23 prosenttiyksikköä vuodessa markkinaindeksille (Cochrane 1999, 49).

Täsmällinen replikointi on helpoin tapa rakentaa indeksirahasto. Tästä huolimatta monet niistä on rakennettu eri tavalla. Tämä puolestaan johtuu siitä, että laajat indeksit kuten S&P 500 sisältävät 500 eri osaketta ja jokaista niistä tulisi ostaa määrä, joka vastaa niiden markkinaosuutta, mistä puolestaan aiheutuu suuret transaktiokustannukset. Elton ym. (2003, 677) esittävät kolme usein käytettyä tapaa rakentaa indeksirahasto. Jokainen niistä on kompromissi suhteessa transaktiokustannuksiin ja tarkkuuteen siitä, miten hyvin se vastaa alkuperäistä indeksiä.

1. Ostetaan jokaista osaketta suhteessa siihen määrään, joka vastaa niiden painoarvoa kyseisessä indeksissä.
2. Muodostetaan matemaattisesti portfolio, jossa on vähemmän osakkeita kuin indeksissä, mutta joka parhaiten seuraa indeksin liikkeitä historiallisesti.
3. Käytetään pienempää osuutta osakkeita, joiden suhteellinen määrä indeksiin nähden vastaa tiettyjä ominaisuuksia. Tällaisia ominaisuuksia voivat olla esimerkiksi sama suhde teollisuus-, hyödyke- ja rahoitusosakkeissa.

Indeksejä, joissa on vain vähän osakkeita, on helppo replikoida ostamalla kaikkia siihen kuuluvia osakkeita. Laaja-alaisten indeksien replikoinnissa puolestaan joudutaan käyttämään yhdistelmiä kolmesta yllä olevasta vaihtoehdosta.

3.1.2 *Aktiivinen salkunhoito*

Aktiivisessa salkunhoidossa sijoituksille otetaan positio, joka eroaa passiivisesta salkunhoidosta, perustuen johonkin ennusteeseen tulevasta. Tavoitteena on lyödä passiivisen vertailusalkun tuotto aktiivisella sijoitusstrategialla. Neutraali positio on valita salkulle täsmälleen sama koostumus kuin passiivisessa salkunhallinnassa. Poikkeamat siitä kuvastavat ennusteen mukaista arviota tulevasta. Vaikka ei ole olemassa mitään yhtenäistä jaottelutapaa aktiivisten salkunhoitajien välillä, Elton ym. (2003, 679) jakavat ne markkinoiden ajoittajiin, sijoituskohteiden valitsijoihin ja markkinasektoreiden valitsijoihin.

⁸ CAP-malli esitettiin kappaleessa 2.4

Markkinoiden ajoittajat muuttavat portfolioidensa CAP-mallin mukaista beeta-lukua sen mukaan, miten ennustemallit ennustavat markkinoiden käyttäytyvän. Koko portfolion beetan muuttaminen voi tapahtua muuttamalla osakkeiden määriä, käyttämällä johdannaisia tai muuttamalla sijoitusosuutta lyhyen aikavälin velkakirjoissa.

Sijoituskohteiden valitsijat etsivät arvopapereita, jotka ovat heidän mielestään yli- ja aliarvostettuja. Aliarvostettujen arvopapereiden hintojen oletetaan nousevan, kun taas yliarvostettujen oletetaan laskevan. Sijoituskohteiden valitsijat lisäävät siis aliarvostettujen arvopapereiden määrä vähentäen samalla yliarvostettujen osuutta. Tämä on yleinen käytäntö aktiivisessa salkunhallinnassa.

Markkinasektorien tai toimialojen valitsijat toimivat monin tavoin samalla lailla kuin sijoituskohteiden valitsijat eroten heistä kuitenkin niin, että kiinnostuksen kohteena ovat yksittäisten arvopapereiden sijaan kokonaiset toimialat. Analyysien pohjalta tehdään arvioita koko toimialan ali- tai yliarvostuksesta.

3.1.3 Passiivisen ja aktiivisen salkunhoidon vertailua

Suuri määrä empiiristä tutkimusta on tehty aktiivisen salkunhoidon suoriutumisesta suhteessa markkinaindeksiin. Niiden mukaan keskimääräinen aktiivisesti hoidettu rahasto häviää markkinaindeksille. Se on hieman yllättävää, sillä sijoitusammattilaisen voisi luulla pystyvän suoriutumaan paremmin kuin yksinkertaisen indeksisijoittamisstrategian (Cochrane 1999, 49). Siitä huolimatta aktiivisesti hallinnoitut rahastot houkuttavat suuren osan rahastosijoituksista.

Aktiivisessa salkunhoidossa hallinnointikustannukset ovat merkittävästi suuremmat kuin passiivisessa. Passiivisten indeksirahastojen hallinnointikustannukset voivat olla niinkin alhaisia kuin 0,08–0,10 %:a omistusosuudesta. Se tarkoittaa kahdeksasta kymmeneen senttiin jokaista sataa euroa kohden. Aktiivisten rahastojen hallinnointipalkkiot ovat 0,75-2 %:n luokkaa (Sharpe, 2007, 130).

Eltonin ym. (2003, 680–681) mukaan aktiivisen salkunhoidon käyttämien ennusteiden tulisi kattaa ainakin seuraavat kustannukset:

1. Aktiivisesta salkunhoidosta aiheutuvat korkeammat hallinnointikustannukset.
2. Hajautuksesta aiheutuvat kustannukset. Aktiivisesti hoidetuissa salkuissa on enemmän käyttämätöntä mahdollisuutta hajauttaa kuin markkinaindeksissä. Sijoittajaa tulee kompensoida suuremmasta riskistä.
3. Aktiivisessa salkunhoidossa on suuremmat transaktiokustannukset, sillä painotuksia muutetaan useammin kuin passiivisessa.
4. Mahdolliset veroseuraukset siitä, että myydään osuuksia sijoitussalkussa.

Osa salkunhoitajista pystyy voittamaan markkinaindeksin ja rahastoja myyvät yritykset painottavatkin sitä kautta aktiivisen salkunhoidon hyötyjä. Kuitenkaan kukaan ei pysty sanomaan etukäteen, ketkä salkunhoitajat tulevat suoriutumaan paremmin kuin markkinaindeksi, ja voittajien suoriutuminen voi johtua pelkästä hyvästä onnesta.

Cochranen (1999, 51) esittämässä tutkimuksessa löytyi selvä korrelaatio aktiivisesti hoidettujen rahastojen keskimääräisten tuottojen ja beetan välillä. Rahastot, jotka suoriutuivat hyvin, ottivat enemmän markkinariskiä. Rahastojen keskimääräisten tuottojen suuri hajonta oli lähes samaa luokkaa kuin yksittäisten osakkeiden. Se antaa ymmärtää, että suuri osa rahastoista ei sisällä hyvin hajautettua portfoliota, joka vähentäisi tuottojen vaihtelua. Vaikuttaakin siltä, että rahastot tekevät panostuksia mahdollisesti ennustemalliansa mukaan tai luottaen sattumaan. Ongelmana on erottaa hyvä onni taidosta. Mikäli rahaston suoriutuminen on kiinni taidosta ja hyvistä ennustemalleista, luulisi niiden suoriutuneen aikaisemmin hyvin ja jatkavan sitä tulevaisuudessa. Vuosikymmenten empiirinen tutkimus rahastojen suoriutumisesta sijoituskohteiden valitsijoina ei kuitenkaan ole löytänyt jatkuvuutta rahastojen taitoon valita tuottoisimpia osakkeita. Rahastot, jotka ovat suoriutuneet aikaisemmin hyvin, eivät ole yhtään sen todennäköisempiä valitsemaan sijoituskohteita tulevaisuudessa paremmin pitkällä aikavälillä. Se, että jotkut rahastoista ovat pärjänneet muita paremmin pidemmän aikaa, on johtunut siitä, että ne ovat jossain vaiheessa valinneet oikeat osakkeet. Tämä rahastojen suoriutumisen jatkuvuus on johtunut siis kyseessä olevien osakkeiden suoriutumisen jatkuvuudesta, eikä sijoituskohteiden valinnan taidosta (Cochrane 1999, 49–51).

Carhart (1997) esittää kolme tärkeää peukalosääntöä aktiivisesti hoidettuihin rahastoihin sijoittaville. Ensinnäkin jatkuvasti huonosti suoriutuvia rahastoja on pyrittävä välttämään. Toiseksi rahastoilla, jotka suoriutuivat hyvin edellisenä vuonna, on keskimääräistä suurempi odotettu tuotto seuraavana vuonna, mutta ei enää sen jälkeen. Kolmanneksi investointikustannuksilla, transaktiokustannuksilla ja muilla palkkioilla on suora negatiivinen vaikutus rahaston suoriutumiseen.

3.1.4 Strateginen salkunhoito

Useimmiten strateginen ja taktinen salkunhoito erotetaan toisistaan sijoitusajanjaksojen pituuden perusteella. Prosessia, jossa valitaan pitkän ajanjakson yli kestävä sijoitusten kohdentaminen, kutsutaan yleensä strategiseksi salkunhoidoksi. Lyhyellä aikavälillä kohdesalkun koostumuksessa tehtyjä muutoksia kutsutaan taktiseksi allokoinniksi tai salkunhoidoksi. Molemmat määritelmät perustuvat yhden aikavälin runkokehikkoon, useimmiten Markowitzin malliin tuotoista ja variansseista (Rey 2004, 1).

Strategista allokoointia suoritetaan jaksottaisesti, esimerkiksi kerran kolmessa vuodessa, ja siten hallitaan portfolion tuottoja ja riskejä pitkällä aikavälillä. Useimmiten strate-

ginen portfolio valitaan pitkän aikavälin tuotto- ja riskioletusten sekä sen perusteella, miten sijoittaja suhtautuu riskiin. Perusoletus strategisessa lähestymistavassa on se, että markkinoiden tuotot ovat epävarmoja lyhyellä aikavälillä. Siten kiinteä sekoitus varallisuusluokkia on taloudellisin vaihtoehto. Olettaen, että sijoittajan riskinsietokyky ei muutu ja että tuotot, varianssit ja korrelaatiot pysyvät ajan mittaan vakioina, sijoittaja pitää saman vakiosalkun. Arvonmuutokset riskipitoisissa varallisuusluokissa aiheuttavat kuitenkin yleensä muutoksia koko portfolion arvoon. Riskipitoisten arvopaperien arvojen noustessa kasvattaa se samalla niiden muodostamaa osaa portfoliosta ja täten lisää koko salkun arvoa, mikäli muita muutoksia ei tapahdu. Sijoittajien tulee siten päättää, miten tasapainottaa salkkua suhteessa tuottoon ja riskiin (Rey 2004, 2–3).

Kaksi luultavasti tunnetuimpaa strategiaa salkun tasapainottamiseen ovat ns. buy-and-hold-strategia ja constant-mix-strategia. Ensiksi mainitulle on ominaista se, että alkuperäisen salkun koostumukseen ei kosketa, vaan se pidetään sellaisenaan. Se on ns. ”älä tee mitään”-strategia. Sillä tarkoitetaan sitä, että riippumatta siitä, mitä tapahtuu suhteellisille arvoille salkun sisällössä, minkäänlaista tasapainottamista ei tarvita. Constant-mix-strategiassa puolestaan riskillisten sijoituskohteiden arvojen osuus salkussa on vakio suhteessa koko salkun arvoon. Strategia on dynaaminen ja vaatii siten sääntöjä ja ehtoja siitä, milloin tasapainottaminen tehdään. Esimerkkinä tyypillisestä lähestymistavasta on transaktioiden välttäminen, kunnes portfolion arvo tai osuus sen arvosta on muuttunut vähintään tietyn prosentimäärän (Rey 2004, 3).

3.1.5 Taktinen salkunhoito

Taktisessa salkunhoidossa sijoittajat yrittävät ennustaa sijoituskohteiden odotettuja tuotovektoreita ja kovarianssimatriiseja lyhyellä aikavälillä. Taktisia menettelytapoja sovelletaan rutiininomaisesti, vaikkapa joka toinen kuukausi. Niillä pyritään sovittamaan portfolion koostumus suhteessa lyhyen aikavälin markkinainformaatioon. Siinä mielessä se on lisä strategiseen salkunhoitoon, että taktinen salkunhoito otetaan käyttöön, kun päätökset strategisessa mielessä ovat jo tehty ja salkun koostumus valittu. Suhteessa portfolioon, joka on valittu strategisessa salkunhoidossa, taktinen salkunhoito painottaa niitä sijoituskohteita, joiden pitäisi suoriutua paremmin lyhyellä aikavälillä. Se, miten tämä tapahtuu, riippuu pitkälti käytettävästä mallista. Painotus on lyhyen aikavälin suoriutumisen jättäen siten sijoittajan pitkäaikavälin riskitoleranssit ja preferenssit ennalleen (Rey 2004, 4).

Käytännössä taktisen salkunhoidon suoriutuminen mitataan suhteessa strategiseen ns. vertailuportfolioon. Mikäli salkunhoitaja on saavuttanut suurempaa tuottoa taktisella salkunhoidolla suhteessa vertailusalkkuun, sanotaan, että salkunhoitaja on tuottanut positiivista ”alfaa”. Ei pelkästään se, että salkunhoitaja pystyy tuottamaan parempia tulok-

sia suhteessa vertailukohteeseen, vaan myös se, että niin tapahtuu johdonmukaisesti, on tärkeää. Salkunhoitajaa, joka pystyy taktisella salkunhoidolla johdonmukaisesti tuottamaan positiivisempaa alfaa, sanotaan yleisesti ottaen taitavammaksi. Sitä mitataan useimmiten alfan volatilitteetilla ja sitä kutsutaan myös ”tracking erroriksi”. Samaan tapaan kuin Sharpen luku, joka ottaa huomioon kokonaistuoton ja -riskin, yksi tyypillisin tapa verrata erilaisten taktisten salkkujen suoriutumista on informaatio ratio. Sillä tarkoitetaan alfan suhdetta tracking erroriin. Mitä suurempi informaatio ratio on, sen parempi (Rey 2004, 5).

3.2 Yhden ja useamman faktorin mallit sekä tuottojen ennustaminen

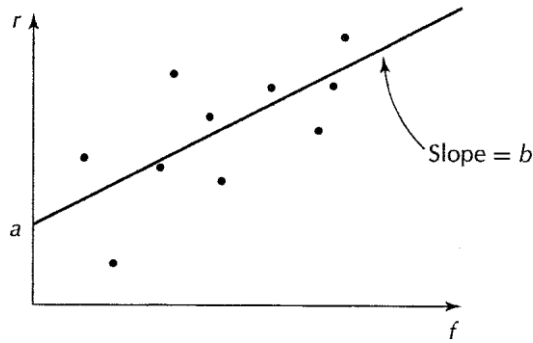
Faktorimalleilla pyritään ennustamaan odotettavia tuottoja. Tuottojen satunnaisuutta pystytään jäljittämään taustalla vaikuttaviin satunnaisuuden lähteisiin eli faktoreihin, jotka vaikuttavat yksittäisiin tuottoihin.

Faktorit, jotka valitaan selittämään satunnaisuutta, on valittava huolellisesti. Oikeat valinnat faktoreiksi riippuvat pitkälti siitä, minkä tyyppiset omaisuusluokat ovat kyseessä. Esimerkiksi kiinteistöjen ja maa-alueiden tuottoja ennustavia faktoreita saattaisivat olla asukasmäärä, työttömyys kyseisellä alueella ja koulutuksen taso. Faktoreina, jotka kuvaisivat osakkeiden tuottoja, voisivat olla mm. osakkeiden keskimääräinen tuotto, bruttokansantuote ja työttömyys. Faktoreiden valinta on usein tulosta kokeilusta ja erehdyksestä (Luenberger 1998, 198).

Yhden faktorin malli on yksinkertaisin esimerkki faktorimalleista, mutta se kuvaa koko käsitettä melko hyvin. Jos ajatellaan, että n kappaletta tuottoja kuvataan kirjaimella r ja ainoana faktorina on f , joka voi olla esimerkiksi osakemarkkinoiden keskimääräinen tuotto tietyllä aikavälillä, niin se voidaan mallintaa kaavan 24 mukaisesti:

$$r_i = a_i + b_i f + e_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (24)$$

Tässä tapauksessa a_i ja b_i ovat kiinteitä vakioita, e_i :n ollessa sattumanvarainen ja virheitä kuvaava. Analyysin tekemistä varten usein oletetaan virhetermien keskiarvojen olevan nolla. Virhetermien oletetaan myös olevan korreloimattomia toistensa sekä faktorin kanssa. Kuvio 6 esittää yhden faktorin mallin graafisesti.



Kuvio 6 Yhden faktorin malli graafisesti (Luenberger 1998, 199)

Kuviossa termillä a tarkoitetaan kohtaa, jossa piirretty jana leikkaa pystyakselin. Termillä b tarkoitetaan faktorilatausta, sillä se kuvaa odotetun tuoton herkkyyttä suhteessa faktoriin. Tuotot ovat siis lineaarisesti riippuvaisia faktoriin nähden, ainoastaan sattumanvaraiset virheet lisätään tuottoon. Vastaavaa mallinnusta voidaan käyttää myös useampien parametrien estimoimiseen, kun on kyseessä usean faktorin malli (Luenberger 1998, 198–203).

3.2.1 CAP-malli yhden faktorin mallina

CAP-malli voidaan johtaa erikoistapauksena käyttämällä yhden faktorin mallia. Se lisää käsitystä CAP-mallin kehittämiseen. Tässä tapauksessa faktorimallilla pyritään kuvaamaan arvopaperin tuottoa, faktorin ollessa markkinoiden keskimääräinen tuotto r_M . Vähennettäessä faktorimallista (24) puolittain vakio r_f , päädytään malliin, joka kuvaa arvopaperin ylituottoa. Faktorimalli tulee kaavan 25 mukaiseen muotoon.

$$r_i - r_f = a_i + b_i(r_M - r_f) + e_i \quad (25)$$

Edellisessä luvussa käytetyt oletukset ovat vielä voimassa. Mallin odotusarvo on täysin sama kuin CAP-mallissa lukuun ottamatta termiä a_i , jonka on CAP-mallissa odotettu olevan 0. Vakion b_i arvo voidaan tässä mallissa laskea suoraan, ottamalla kovarianssi puolittain suhteessa markkinoiden keskimääräiseen tuottoon ja ratkaisemalla yhtälö.

$$b_i = \frac{\sigma_{iM}}{\sigma_M^2} = \beta_i \quad (26)$$

Termin arvoksi saadaan täsmälleen sama arvo, kuin CAP-mallin tuottama arvo. Faktorimallin tuottamat tulokset ovat yleisluontoisempia suhteessa CAP-malliin, sillä se sallii termin a_i olevan myös nollasta poikkeava. Jos asiaa ajatellaan CAP-mallin näkökulmasta, termiä a_i voidaan pitää mittarina, jolla kuvataan sitä kuinka paljon arvopaperi

on hinnoiteltu väärin. Termin ollessa positiivinen arvopaperi suoriutuu paremmin kuin sen pitäisi. Termin ollessa negatiivinen on tilanne päinvastainen. On kuitenkin syytä huomioida se, että yhden faktorin malli, joka johtaa CAP-mallin kaavaan, ei ole ekvivalentti yleiseen malliin, joka on CAP-mallin taustalla. Yleinen malli perustuu sattumanvaraiseen kovarianssimatriisiin, mutta olettaa markkinoiden olevan tehokkaat. Yhden faktorin mallissa kovarianssirakenne on hyvin yksinkertainen eikä se tee mitään oletuksia markkinoiden tehokkuudesta (Luenberger 1998. 205–206).

3.2.2 *Faktoreiden valinta*

Luenbergerin (1998, 204) mukaan faktoreiden valinta on osittain tiedettä ja osittain taidetta. On kuitenkin hyödyllistä jakaa faktorit kolmeen kategoriaan. Ensimmäisenä ovat ulkoiset faktorit. Useasti faktorit valitaan sellaisiksi, jotka ovat ulkopuolisia suhteessa arvopapereihin, joita mallilla pyritään kuvaamaan. Tällaisia saattavat olla esim. BKT, kuluttajahintaindeksi, työttömyysluvut tai muut vastaavanlaiset tekijät, jotka saattavat vaikuttaa jollakin tapaa arvopaperin tuottoon.

Toinen tapa valita faktoreita on poimia faktori arvopapereiden tuottoinformaatiosta. Tällainen usein käytetty faktori on esim. markkinaportfolion tuotto. Myös muiden arvopapereiden tuottoa voidaan käyttää faktorina ennustettaessa toisten arvopapereiden tuottoa.

Kolmantena ovat yksityiskohtaisemmat faktorit. Tällaisia hyvin yksilöityyn arvopaperiin liittyviä faktoreita saattavat olla hinta suhteessa tuottoon, osingon maksu, yrityskohtaiset tuottoennusteet ja monet vastaavat tunnusluvut.

Campbell (2000, 1522) on koonnut listan muuttujista, joilla on kirjallisuudessa todettu olevan vaikutusta osakkeiden tuottoihin. Näitä ovat:

1. viivästetyt tuotot,
2. osinko-hinta-suhde,
3. tulot suhteessa hintaan,
4. kirjanpitoarvo suhteessa markkina-arvoon,
5. osingonmaksusuhde,
6. oman pääoman suhde uudessa rahoituksessa,
7. tuottoerot pitkän ja lyhyen koron välillä sekä huonon ja hyvän luottoluokituksen omaavan velkakirjan välillä,
8. viimeaikaiset muutokset lyhyissä koroissa ja
9. kulutuksen taso suhteessa tuloihin ja varallisuuteen.

Tässä työssä käytettävä VAR(1)-malli⁹ käyttää arvopaperin omaa viivästettyä hintakehitystä ja korkoeroa tuottamaan ennusteita tulevasta.

3.2.3 *Koko- ja arvofaktorit*

Cochrane (1999, 40–43) on koonnut tutkimustuloksia eri tutkimuksista, joissa käytössä on ollut kolmen faktorin malli. Malli on perustunut Eugene F. Faman ja Kenneth R. Frenchin löytämiin faktoreihin. Niissä on käytetty markkinoiden tuottoa yhtenä faktorina. Toisena faktorina on ollut markkina-arvoltaan pienten ja suurten yritysten tuoton erotus (SMB¹⁰). Kolmantena faktorina on ollut korkean ja matalan kirjanpitoarvon omaavien arvopaperien (HML) erotus suhteessa markkina-arvoihin. Vaikka tässä työssä ei ole data-aineistosta johtuen käytetty näitä faktoreita, on hyvä huomioida tulokset, jotka kyseiset faktorit ovat saaneet aikaan.

Tuloksina tutkimuksista on saatu se, että tämä kolmen faktorin malli on tuottanut CAP-malliin verrattuna parempia tuloksia osakkeiden tuottoja ennustettaessa. Syy tähän on kuitenkin jäänyt hivenen epäselväksi ja selityksiä on haettu makroekonomiasta sekä sijoittajien käyttäytymisestä. Yhtenä ongelmana Cochrane (1999, 43) mainitsee lisäksi sen, että näiden faktoreiden tuottamat lisätuotot ovat vähentyneet jo 1990-luvulla.

3.2.4 *Ajoitus- ja momentum-efekti*

Tuotot, jotka ovat pidemmän aikaa olleet hyvät, tuottavat arvopaperille korkean hinnan. Pidemmän ajan jälkeen ne tuottavat heikommin, koska hinta on jo noussut korkealle. Vastaavasti pidemmän aikaa heikosti tuottaneilla osakkeilla hinta on laskenut, jolloin niiden tuotto tulevaisuudessa on mahdollisesti suurempi. Cochrane (1999, 44–45) kuvaa tutkimuksessaan tällaisen ajoitusefektin vaikutusta, jossa on ostettu viiden viime vuoden aikana kymmenen heikoimmin ja parhaiten suoriutunutta osaketta. Aikaisemmin huonosti suoriutuneet osakkeet tuottavat nyt 0,74 %:a paremmin kuukausittain kuin aikaisemmin hyvin suoriutuneet.

⁹ VAR(1)-mallia käytetään Black-Litterman-mallin yhteydessä kun tehdään tuottoennusteita.

¹⁰ SMB tulee sanoista small minus big ja HML sanoista high book/market minus low book/market

Momentum-efektiä on samassa tutkimuksessa testattu ostamalla viimeisen vuoden aikana hyvin suoriutuneita osakkeita ja myymällä lyhyeksi huonosti menestyneitä osakkeita. Tällä tavoin saatiin aikaiseksi 1,31 %:n kuukausituotto. Momentum-taktiikalla saadut hyödyt jäävät kuitenkin pieniksi, kun ottaa huomioon kaupankäyntikulut ja kulut, jotka aiheutuvat lyhyeksimyynistä (Cochrane 1999, 44–45).

3.3 Optimointitavat

3.3.1 *Tasahajautus*

Tasahajautusstrategia, joka on tutkimuksen vertailukohta, tarkoittaa sitä, että jokaisen riskillisen sijoituskohteen N paino portfolioissa on $1/N$. Strategia ei vaadi minkäänlaista optimointia eikä estimointia ja se jättää datan kokonaan huomioimatta. Sitä voi ajatella myös kohdan 3.3.4 mukaisesti siten, että estimoidaan odotetut tuotot ja kovarianssit, mutta asetetaan tasahajautusta vastaavat rajoitteet painoille. Siten ajateltuna odotetut tuotot ovat suhteessa kokonaisriskiin eikä systemaattiseen riskiin.

3.3.2 *Minimivarianssisalkku ja maksimituotto suhteessa varianssiin*

Markowitzin keskiarvo-varienssi-mallissa sijoittaja optimoi odotettujen tuottojen ja varianssin välillä olevaa tasapainoa. Malli tuottaa kaksi tärkeää taloudellista oivallusta. Ensinnäkin se antaa valoa hajauttamisen vaikutuksista. Varat, jotka eivät korreloi täysin keskenään, voidaan yhdistää portfolioiksi, joilla on halutummalla odotetut tuotto-riskiluonteenpiirteet. Toiseksi se osoittaa sen, että täysin hajautettuna portfolion odotettuja tuottoja voidaan kasvattaa vain ottamalla enemmän riskiä. Se on Brandtin esittämä (2004, 2) nähtävissä kuviossa 3 sivulla 21.

Kuviossa esitettyä käyvän joukon vasenta reunaa kutsutaan minimivarianssijoukoksi, koska jokaista valittua keskimääräisen tuoton arvoa vastaa piste, jossa varianssi tai vastaavasti keskihajonta on pienin mahdollinen annettuun keskituottoon nähden. Minimivarianssijoukon pisteet muodostavat ns. tehokkaan rintaman. Näiden pisteiden joukossa on yksi erityinen piste eli minimivarianssipiste (MVP), jossa salkun tuoton varianssi minimoituu (Luenberger 1998, 156). Kuviossa 3 tämä piste on nimeltään global minimum variance portfolio. Löytääksemme minimivarianssisalkun annetulla tuottotasolla \bar{r} tulee seuraavien optimointiehtojen täyttyä:

$$\text{minimoidaan } \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^n \omega_i \omega_j \sigma_{ij}$$

$$\begin{aligned} \text{ehdoilla} \quad \sum_{i=1}^n \omega_i \bar{r}_i &= \bar{r} \\ \sum_{i=1}^n \omega_i &= 1 \end{aligned} \quad (27)$$

Kerroin $\frac{1}{2}$ varianssin edessä on vain valittu helpottamaan yhtälöiden viimeisiä muotoja. Tällä tavoin etenemällä pystytään muodostamaan koko tehokas rintama vaihtamalla tuottotasoa. Arvopaperien painoja ei ehdoissa ole rajoitettu, mikä tarkoittaa sitä, että lyhyeksimyyni on sallittua. Painot, jotka esiintyvät negatiivisilla arvoilla, kuvaavat lyhyeksi myyntiä (Luenberger 1998, 157–158). Tutkimuksen liiteosassa on esitetty, miten kyseinen salkku on muodostettu.

Maksimituottosalkkua muodostettaessa lasketaan painot data-aineistosta muodostetulle tangentiportfoliolle (ks. kuvio 3). Se maksimoi Sharpen luvun menneestä data-aineistosta. Oletuksena on, että data-aineistosta laskettu keskiarvo on paras ennustemalli tulevasta. Työssä testataan odotusarvon laskemista sekä aritmeettisellä että geometrisellä keskiarvolla. Tutkimuksessa käytetään myös EWMA-menetelmää¹¹, jolla lisätään viimeisimpien havaintojen painoa aikasarjoissa. Menetelmää on käytetty muodostettaessa uudet minimivarianssi- ja maksimituottosalkut.

3.3.3 Rajoitetut salkut

Näissä salkuissa on asetettu rajoituksia siihen, millaisia painoja salkut voivat saada optimoinnissa. Lyhyeksimyynnin ollessa kiellettyä valtavat heilahtelut salkkujen painoissa pienenevät. Toisaalta lyhyeksimyynnin kiellosta johtuen on mahdollista, että monet salkun arvopapereista saavat painokseen 0 ja varallisuus keskittyy vain muutamaisiin arvopapereihin. Merkittävin ero rajoittamattoman ja lyhyeksimyynirajoitetun salkun välillä on se, että rajoittamattomassa salkussa lähes kaikkiin, ellei kaikkiin, painoiksi tulee nollasta poikkeava arvo. Tämä tarkoittaa, että kaikkia arvopapereita käytetään salkun luontiin. Optimointiehdot muuttuvat seuraavanlaisiksi:

$$\begin{aligned} \text{minimoidaan} \quad & \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^n \omega_i \omega_j \sigma_{ij} \\ \text{ehdoilla} \quad & \sum_{i=1}^n \omega_i \bar{r}_i = \bar{r} \\ & \sum_{i=1}^n \omega_i = 1 \\ & \omega_i \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (28)$$

Tätä ongelmaa ei voida pelkistää lineaarisiksi yhtälöryhmiksi ja myös ratkaisusta tulee monimutkaisempi. Laskentaohjelmat pystyvät kuitenkin vaivatta ratkaisemaan ongelman (Luenberger 1998, 161). Toisaalta painoja voidaan rajoittaa myös siten, että mak-

¹¹ Menetelmä on kuvattu tarkemmin kappaleessa 4.3

simipaino salkussa on 50 % tai jokin muu prosentuaalinen määrä. Tässä työssä tarkoituksena on testata salkkuja, joissa rajoitukset ovat 0-100 % sekä 0- 25 %. Perusteena on Frostin ja Savarinon (1988) tekemä tutkimus, jonka mukaan asianmukaisilla rajoitteilla optimoitu portfolio suoriutuu paremmin kuin rajoittamaton portfolio. Lyhyeksimyyntikielto on valittu rajoitteeksi, koska sitä ei ole aina mahdollista tehdä. 25 %:n maksimirajoitus on tehty, jotta varallisuus ei keskittyisi vain muutamaan arvopaperiin.

3.3.4 Yhdistelmäsalkut

Yhdistelmäsalkkuja muodostetaan siten, että edellä lasketuista tapauksista saatuja painoja summataan yhteen. Näillä tarkoitetaan tasahajautuksen ja minimivarianssi- ja tangenttisalkun yhdistelmiä. Työssä käytetään yhdistelmänä juuri näiden kolmen salkun yhdistelmää, jotka kaikki saavat painokseen yhden kolmasosan.

3.3.5 Shrinkage-estimointi

Shrinkage-estimoinnin idean toivat julki alun perin James ja Stein vuonna 1961. He huomasivat, että kun itsenäisiä normaaleja satunnaismuuttujia N on kolme tai enemmän, niin otoksen keskiarvojen vektoria, $\bar{\mu}$, dominoi jäännösneliösumman mielessä konvekssi yhdistelmä otoksen keskiarvoja sekä yleinen vakio μ_0 . Se johtaa estimaattoriin, joka on esitetty kaavassa 29 (Brandt 2004, 33).

$$\mu_s = \delta\mu_0 + (1 - \delta)\bar{\mu}, \text{ missä } 0 < \delta < 1 \quad (29)$$

James-Stein-estimaattori pakottaa otoskeskiarvot kohti yleistä vakiota. Tässä tutkielmassa yleisenä vakiona käytetään Jorionia (1986) mukaillen minimivarianssiportfolion tuottoa. James-Stein-estimaattori vähentää äärimmäisiä estimointivirheitä, joita voi esiintyä yksittäisten keskiarvojen poikkileikkausaineistossa. Siitä on seurauksena pienempi estimaattien varianssi, joka kompensoi puolueellisuuden (bias) määrää. Optimaalinen vaihtokauppa (trade-off) puolueellisuuden ja varianssin välillä saavutetaan optimaalisella shrinkage-kertoimella δ^* , joka saadaan laskettua kaavan 30 mukaan.

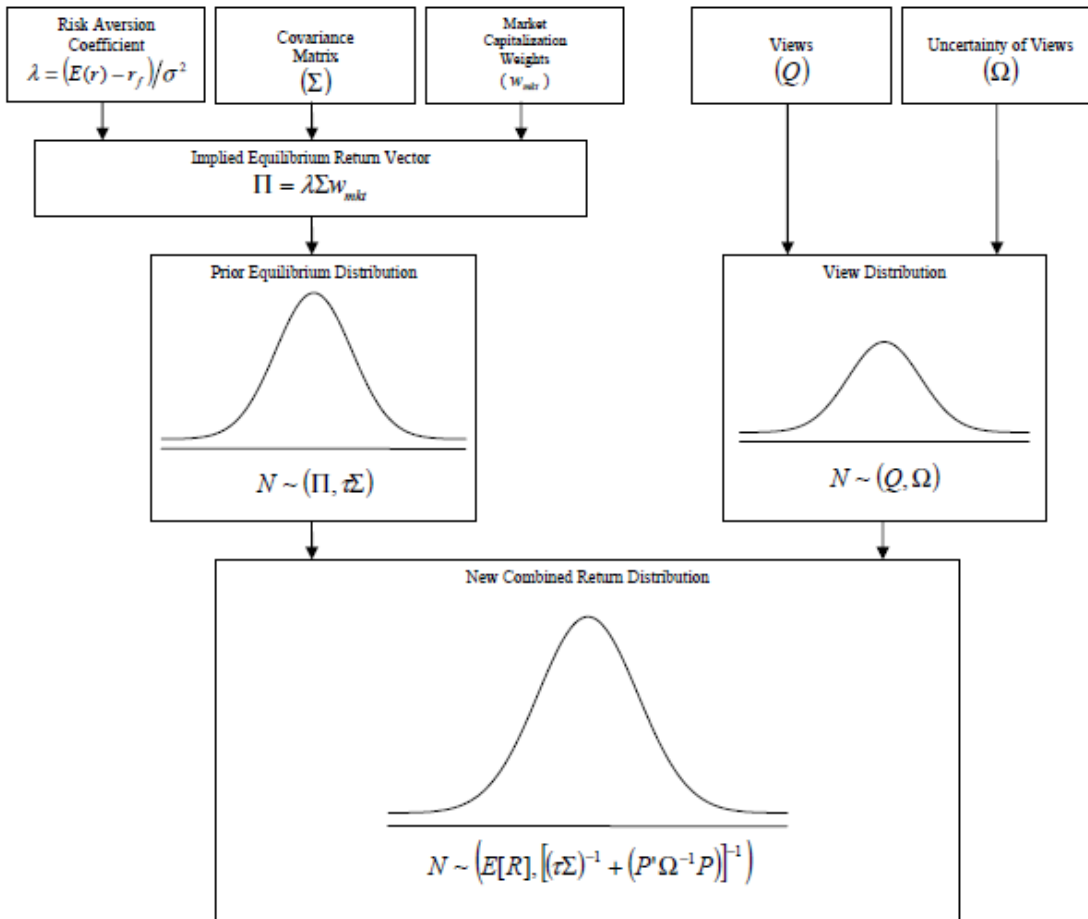
$$\delta^* = \min \left[1, \frac{(N - 2)/K}{(\bar{\mu} - \mu_0)^T \Sigma^{-1} (\bar{\mu} - \mu_0)} \right] \quad (30)$$

Optimaalinen shrinkage-kerroin kasvaa keskiarvojen lukumäärän N kasvaessa ja pienenee kun otoskoko K kasvaa, koska se määrää otoksen tarkkuuden. Shrinkage-kerroin pienenee myös kun otoskeskiarvojen hajonta on suuri suhteessa yleiseen vakioon (Brandt 2004, 33).

3.3.6 *Black-Litterman-malli*

Tässä työssä aktiivista salkunhoitoa on kuvaamassa Black-Litterman-malli. B-L-mallin ovat kehittäneet Fischer Black ja Robert Litterman. Se on pitkälle kehitetty portfolion rakentamismetodi. Sen avulla nujerretaan osa ongelmista, jotka vaivaavat Markowitzin mallia, kuten vahvasti keskittyneet portfoliot, syötettävien parametrien herkkyyden mallin antamiin tuloksiin ja estimointivirheiden maksimointi. Nämä kolme toisiinsa liittyvää ongelmaa ovat luultavasti syy siihen, ettei mallia käytetä enemmän käytännössä. B-L-malli luo vakaita ja keskiarvo-varianssi-suhteessa tehokkaita portfolioita, jotka perustuvat sijoittajien tietoon. B-L mallin sanotaan myös vähentävän huomattavasti estimointivirheiden maksimointia (ks. Michaud 1989, 33–34) levittämällä virheitä jokaiselle odotetun tuoton vektorille (Idzorek 2002, 2). Kuviossa 6 esitetty B-L-malli käyttää bayesialaista¹² lähestymistapaa yhdistääkseen sijoittajan subjektiiviset mielipiteet tulevista tuotoista yhteen markkinatasapainon oletuksiin niistä (prior distribution) muodostaakseen uuden yhdistetyn estimaatin odotetuista tuotoista. Tällä tavalla muodostettu uusi tuottovektori (posterior distribution) johtaa intuitiivisiin portfolioihin, joilla on mielekkäät painot (Idzorek 2002, 1-2). Mallin huonona puolena on sen vaatimien syötteiden rakentamisen monimutkaisuus. Mallin pohjana toimivaan matematiikkaan ei keskitytä tässä, mutta sen voi havainnoida kuvioista 6. Tässä työssä käytetään Thomas Idzorekin alla esittämää mallia.

¹² Bayesin teoreema on ehdolliseen todennäköisyyteen liittyvä matemaattinen teoreema. Teoreeman voidaan tulkita kuvaavan käsitysten päivittämistä uuden todisteaineiston valossa (posterior distribution).



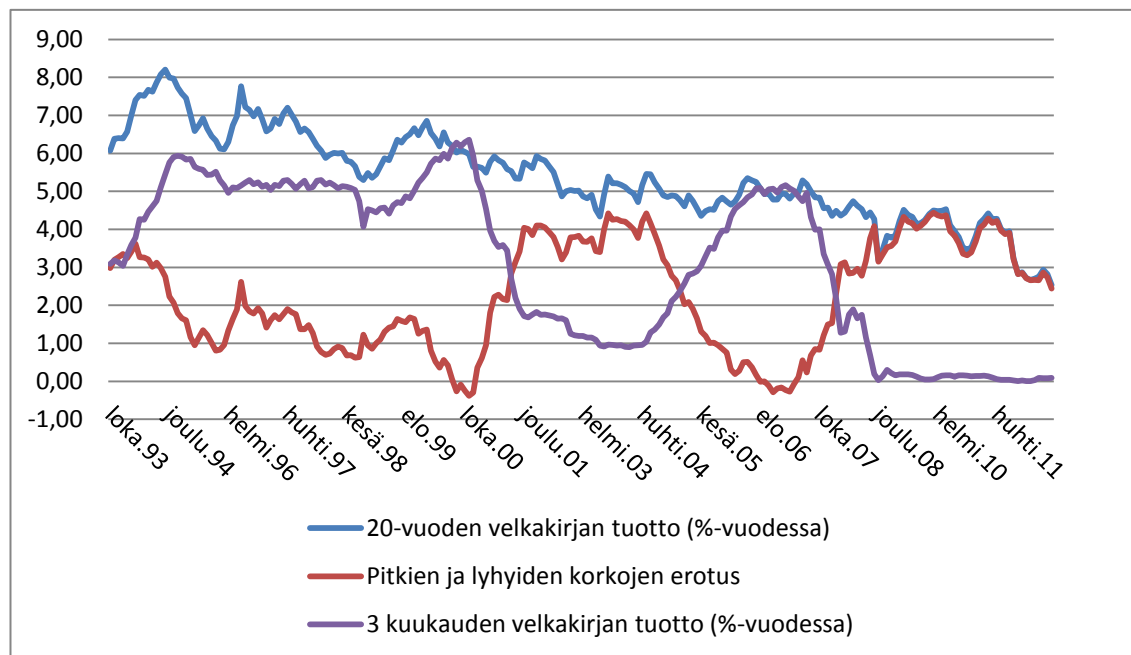
Kuvio 7 Black-Litterman-mallin odotettujen tuottojen rakennuspalikat (Idzorek 2002, 16)

Kuvion 7 B-L-mallissa määritellään ensin markkinoiden kokemat painot sijoituskohteille. Se kuvaa keskimääräisen sijoittajan käyttäytymistä. Tuloksiin päädytään käänteisellä optimoinnilla. Tämän jälkeen malliin syötetään subjektiiviset odotukset tuotoista ja sijoittajan luottamustaso näihin odotuksiin. Kun edelliset kohdat on saatu yhdistettyä, saadaan laskettua uudet korjatut odotetut tuotot. Optimointi suoritetaan käyttämällä näitä uusia odotettuja tuottoja. Optimoinnissa saatavat painot liikkuvat subjektiivisten odotusten suuntaan. Se, kuinka paljon ne liikkuvat, riippuu luottamustasosta, joka on määriteltävä aikaisemmin.

Tässä työssä subjektiivisia odotuksia varten rakennetaan vektoriautoregressiivinen VAR(1)-malli¹³. Pelkästään subjektiivisten oletusten käyttäminen olisi väärin, sillä tulokset ovat jo tiedossa ennen testausta. Mallissa käytetään pitkien ja lyhytaikaisten USA:n velkakirjojen korkoerojen viivästettyä tuottoa ja arvopaperien viivästettyä hintaa

¹³ Kahden muuttujan tapauksessa muuttujaan 1 voi vaikuttaa sen oma historia, muuttujan 2 samanaikainen realisaatio ja historia. Muuttujan 2 kohdalla pätee vastaavasti samoin.

tuottamaan ennusteita. Bernanke (1990) on esittänyt, että korot ja korkoerot selvästi sisältävät informaatiota tulevasta ja ne voivat toimia informatiivisina ennustettaessa tulevaa talouden tilaa. Ennustemallin antamat ennusteet vaikuttavat suoraan B-L-mallilla saatuihin painoihin ja sitä myöten tuloksiin. Jos ennustemalli toimii hyvin, tulokset ovat myös hyviä ja päinvastoin.



Kuvio 8 USA:n valtion 20 vuoden ja 3 kuukauden velkakirjojen tuotot sekä niiden erotus

Kuviossa 8 on kuvattu ennusteisiin käytettäviä korkoja ja niiden erotus. Tässä työssä niillä tehdään ennusteita kolmen, kuuden ja kahdentoista kuukauden ajanjaksoille. Mitä pidemmiksi ennusteet tulevat, sitä epäluotettavimmiksi niiden tuottamat tulokset yleensä muuttuvat.

3.4 Yhteenveto käytetyistä optimointitavoista

Taulukkoon 1 on koottu optimointitavat ja niiden keskeisimmät piirteet ja tavoitteet. Taulukossa on eri menetelmiä yhdistetty, jotta niistä saataisiin selkeä kuva. Kaikki 18 optimointitapaa on esillä taulukossa 14.

Taulukko 1 Optimointitapojen keskeisimmät piirteet

	Aritmeettinen keskiarvo	Geometrisen keskiarvo	Havaintojen painotus	Estimointivirheiden pienentäminen	Ennustemallin käyttäminen	Riskin minimointi halutulla tuottotasolla	Rajoitteet salkun luonnissa
Minimivarianssi	x	x				x	
Maksimituotto	x	x				x	
Minimivarianssi ewma-menettelmä		x	x			x	
Maksimituotto ewma-menettelmä	x	x				x	
Minimivarianssi rajoitettu 0-100 %	x	x		x		x	x
Maksimituotto rajoitettu 0-100 %	x	x		x		x	x
Rajoitettu 0-25 % minimivarianssi	x	x		x		x	x
Rajoitettu 0-25 % maksimituotto	x	x		x		x	x
Yhdistelmäsalkku	x	x				x	x
Minimivarianssi shrinkage	x	x		x		x	
Maksimituotto shrinkage	x	x		x		x	
Black-Litterman-malli		x			x	x	

Käyttämällä geometrista keskiarvoa odotettujen tuottojen laskemiseen on pyritty pienentämään aritmeettisesta keskiarvosta aiheutuvia estimointivirheitä. Sitä ei ole kuitenkaan taulukossa huomioitu estimointivirheiden pienentämisenä, sillä sitä varten on käytetty erikseen shrinkage-estimointia. Kaikki optimointitavat pyrkivät minimoimaan riskin tietyllä odotetun tuoton tasolla. EWMA-menettelmässä painotetaan viimeisimpiä havaintoja enemmän, kun taas muissa menetelmissä kaikki havainnot saavat saman painoarvon. Black-Litterman-mallissa käytetään odotettujen tuottojen lisäksi ennusteita tulevasta, kun muodostetaan optimaalinen sijoitussalkku. Rajoitteilla on pyritty estämään äärimmäisiä painoja salkkuja luotaessa.

4 EMPIIRINEN TUTKIMUS JA TULOKSET

4.1 Käytetty data-aineisto

Tutkimuksessa käytetty data-aineisto on haettu finance.yahoo.com ja goldprice.org sivuilta. Kyseisiltä sivustoilta on mahdollista ladata pitkiä ja kattavia aikasarjoja, joita työssä on käytetty empiiriseen tutkimukseen. Työssä käytetyt aikasarjat alkavat joulukuusta 1992 ja päättyvät maaliskuuhun 2012. Aineistoon kuuluu siten 232 kuukauden data-aineisto. Optimointiin käytetään 196 kuukauden aikasarjoja testattaessa kolmen vuoden suoriutumista ja 220 kuukauden aikasarjoja kun testataan vuoden ajanjaksolla salkkujen suoriutumista (ks. kuvio 2). Edellisiä aikasarjoja käytetään passiivisesti hoidettujen salkkujen testaamiseen. Aktiivisesti hoidettuja salkkuja testataan kolmen, kuuden ja myös kahdentoista kuukauden jaksoilla. Kyseiset aikaikkunat on valittu, koska passiivisesti hoidettuja salkkuja tasapainotetaan harvemmin kuin aktiivisesti hoidettuja. Black-Litterman-malli kuuluu aktiivisesti hoidettuihin sijoitussalkkuihin, muut kuuluvat passiivisiin tässä tutkimuksessa.

Tässä osiossa käydään läpi tutkielmassa käytettävä materiaali. Perusteena aineiston valinnalle on ollut sen pitkäaikaisuus, kattavuus ja saatavuus. Data-aineiston pituudella pyritään pienentämään estimoinnista aiheutuvia virheitä.

Saksan valtion velkakirjoja käytetään tässä työssä kuvaamaan ns. riskitöntä tuottoa. Ne valittiin sen takia, että Saksa kuului tutkimuksen tekoaikana luottoluokituksestaan korkeimpaan kategoriaan ja sijoittajien luottamus Saksan takaisinmaksukykyyn oli niin vahva, että se sai kaupaksi kuuden kuukauden velkakirjojaan negatiivisella korolla. ”*Käytännössä velkakirjan koron tippuminen nollan alapuolelle tarkoittaa, että sijoittajat suostuvat saamaan Saksalta vähemmän rahaa takaisin, kuin mitä ovat sille lainanneet.*” (Taloussanomien 9.1.2012). Vuoden maturiteetilla olevassa velkakirjassa on vain 0,07 %:n tuotto (Bloomberg 12.5.2012), mutta sitä käytetään arvioitaessa tuloksia.

Dow Jones Industrial Average on kolmenkymmenen toimialojensa johtavien yritysten osakkeiden hintapainotettu keskiarvo. Näiden yritysten osakkeet ovat yleensä hyvin arvonsa säilyttäviä. Dow Jones on ollut laajalti seurattu indikaattori vuoden 1928 lokaan alusta lähtien (Bloomberg, World Stock Indexes). Arvopaperista käytetään merkintää ^DJI.

Standard and Poor’s 500 Index on 500 yrityksen osakkeiden markkina-arvopainotettu indeksi. Indeksillä on suunniteltu mittaamaan laajasti USA:n kansantalouden toimintakykyä ottamalla huomioon muutokset näiden 500 yrityksen osakkeiden yhteenlasketussa markkina-arvossa. Kyseiset yritykset edustavat kaikkia päätoimialoja. Kun indeksi otettiin käyttöön, perustasona oli 10 ja perusajanjaksona 1941–1943 (Bloomberg, World Stock Indexes). Arvopaperista käytetään merkintää ^GSPC.

NASDAQ Composite Index on osakkeiden laajapohjainen, markkina-arvopainotettu indeksi kaikissa kolmessa NASDAQ ryhmässä: Global Select, Global Market ja Capital Market. Kun indeksi otettiin käyttöön helmikuun 5 päivänä 1971, perustasoksi valittiin 100 (Bloomberg, World Stock Indexes). Arvopaperista käytetään merkintää ^IXIC.

Russell 1000 Index muodostuu 1000 suurimmasta yrityksestä, jotka ovat mukana Russell 3000 Indeksissä. Tämä indeksi kuvaa markkina-arvoltaan suuryritysten osakkeiden maailmaa, joista aktiiviset salkunhoitajat yleensä valitsevat arvopaperinsa. Indeksini otettiin käyttöön joulukuun viimeisenä päivänä 1986. Perusarvo oli silloin 130 (Bloomberg, World Stock Indexes). Arvopaperista käytetään merkintää ^RUI.

FTSE 100 Index on sadan markkina-arvoltaan suurimman yrityksen markkina-arvopainotettu indeksi. Kauppapaikkana on Lontoon pörssi. Indeksini otettiin käyttöön tammikuun 3 päivänä 1984 perusarvon ollessa 1000 (Bloomberg, World Stock Indexes). Arvopaperista käytetään merkintää ^FTSE.

CAC-40 Index on 40 Pariisin pörssissä listatun yrityksen kapeapohjainen, modifioitu, markkina-arvopainotettu indeksi. Indeksini otettiin käyttöön joulukuun viimeisenä päivänä 1987 perusarvon ollessa 1000. Joulukuun ensimmäisenä päivänä 2003 indeksistä tuli vapaasti kelluva indeksi (Bloomberg, World Stock Indexes). Arvopaperista käytetään merkintää ^FCHI.

German Stock Index on 30 erityisesti valitun, yleensä hyvin arvonsa säilyttävän saksalaisyhtiön kokonaistuottoindeksi. Osakkeiden kauppapaikkana on Frankfurtin pörssi. DAX:in perusarvo on 1000 pistettä ja aloituspäivä joulukuun viimeinen 1987. Vuoden 1999 kesäkuun 18 päivästä lähtien vain XETRA osakkeiden hintoja käytetään, kun lasketaan kaikkia DAX indeksejä (Bloomberg, World Stock Indexes). Arvopaperista käytetään merkintää ^GDAXI.

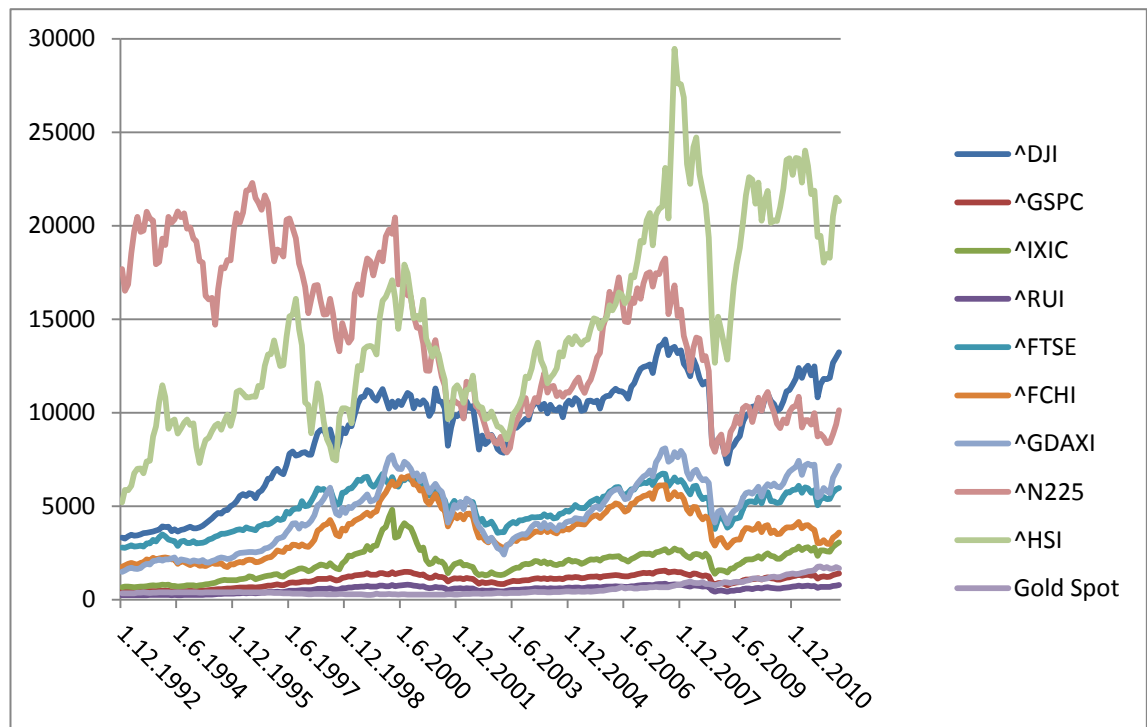
Nikkei-225 Stock Average on 225 japanilaisen huippuyhtiön osakkeiden hintapainotettu keskiarvo. Nämä osakkeet ovat listattuina Tokion pörssin ensimmäisellä osastolla. Nikkei Stock Average julkaistiin ensi kerran toukokuun 16 päivänä vuonna 1949. Keskiarvohinta oli 176.21 jeniä jakajan ollessa 225 (Bloomberg, World Stock Indexes). Arvopaperista käytetään merkintää ^N225.

Hang Seng Index on vapaasti kelluva markkina-arvopainotettu indeksi. Indeksissä on mukana valittu ryhmä yrityksiä, jotka on noteerattu Hongkongin pörssissä. Indeksini osatekijät on jaettu neljään alaindeksiin: kauppa ja teollisuus, rahoitus, julkisten laitosten osakkeet ja kiinteistöt. Indeksini otettiin käyttöön heinäkuun viimeisenä päivänä vuonna 1964 perustason ollessa 100 (Bloomberg, World Stock Indexes). Arvopaperista käytetään merkintää ^HSI.

Kulta, Lontoon markkinapaikka. Lontoo on kansainvälisen kullan ja hopean Over the Counter -myynnin keskus. Asiakkaina ovat valtaosa keskuspankeista kultavaran-toineen sekä jalometallien tuottajat, jalostajat, valmistajat ja kauppiat ympäri maailman. Sekä kulta- että hopeaharkkojen markkinat Lontoossa ovat tukkumarkkinat, missä

pienin kaupattava kultamäärä on yleensä 1.000 unssia ja vastaavasti hopeassa 50.000 unssia. Toisin kuin futuuripörssi, missä kaupankäynti perustuu vakiomallisiin sopimuksiin, suorituspäiviin ja toimituserittelyihin, OTC-markkinapaikka sallii joustavuuden. Se tarjoaa myös luottamuksellisuutta, kun kaupat tapahtuvat kahden päämiehen kesken (LBMA, The London Bullion Market Association). Arvopaperista käytetään merkintää GOLD SPOT.

Seuraavasta kuviosta saa yleiskatsauksen siitä, miten kyseiset indeksit ja kulta ovat suoriutuneet viimeisen 20 vuoden aikana. Tuottoja laskettaessa tulee huomioida arvopaperin lähtötaso. Vaikka ^N225-indeksi on viimeisellä tarkasteluhetkellä kolmanneksi korkeimmalla, on sen arvo alentunut lähtötasosta ja tuottanut siten tappiota koko ajanjaksolla.



Kuvio 9 Työssä käytettyjen sijoituskohteiden käyttäytyminen viimeisen 20 vuoden aikana

Kuviosta 9 voi huomata selvästi vuoden 2008 talouskriisin ja sen vaikutukset useiden arvopapereiden arvoihin. Huomattavaa on myös se, että testattavilla ajanjaksoilla monet arvopapereista ovat olleet nousussa. Arvopaperia kuvaavan suoran tasaisuudesta voi päätellä, että sen varianssi on pienempi kuin sellaisen, jonka kuvaaja on heiluva. Arvo-

papereiden erilaisista lähtöarvoista johtuen kuvio 9 ei anna aivan tarkkaa kuvaa kaikkien arvopapereiden heilunnasta.

Taulukosta 2 nähdään testiaineistossa käytettävien arvopapereiden korrelaatiokerroimet. Niiden perusteella voidaan tehdä päätelmiä lineaarisista riippuvuussuhteista. Korrelaatiot vaikuttavat myös hajautusta tehtäessä optimointiin, kuten aikaisemmin on todettu.

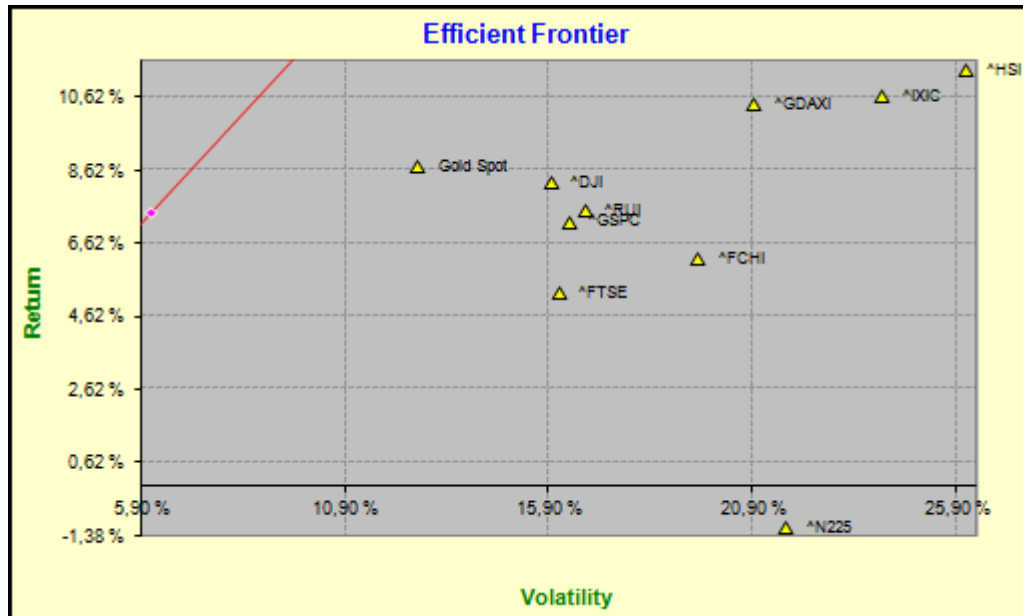
Taulukko 2 Arvopapereiden korrelaatiokerroimet 220 kk:n optimoimisjaksolla

	^DJI	^GSPC	^IXIC	^RUI	^FTSE	^FCHI	^GDAXI	^N225	^HSI	Gold Spot
^DJI	1,000	0,943	0,719	0,923	0,787	0,773	0,745	0,559	0,578	-0,039
^GSPC	0,943	1,000	0,841	0,990	0,831	0,820	0,781	0,590	0,573	-0,020
^IXIC	0,719	0,841	1,000	0,853	0,684	0,734	0,714	0,503	0,546	0,006
^RUI	0,923	0,990	0,853	1,000	0,824	0,820	0,782	0,602	0,569	-0,020
^FTSE	0,787	0,831	0,684	0,824	1,000	0,867	0,784	0,595	0,610	-0,010
^FCHI	0,773	0,820	0,734	0,820	0,867	1,000	0,881	0,628	0,563	-0,018
^GDAXI	0,745	0,781	0,714	0,782	0,784	0,881	1,000	0,615	0,567	-0,015
^N225	0,559	0,590	0,503	0,602	0,595	0,628	0,615	1,000	0,471	0,048
^HSI	0,578	0,573	0,546	0,569	0,610	0,563	0,567	0,471	1,000	0,126
Gold Spot	-0,039	-0,020	0,006	-0,020	-0,010	-0,018	-0,015	0,048	0,126	1,000

Mielenkiintoista on havaita, miten vähän kulta on korreloinut indeksien kanssa. Se merkitsee sitä, että indeksien liikkeet eivät ole juuri vaikuttaneet kullan hintakehitykseen tai päinvastoin. Indeksien välillä positiivinen korreloituminen on kohtalaista ja jopa voimakasta. Se merkitsee sitä, että useimmiten jonkin indeksin liikkeet ylöspäin vaikuttavat vastaavaan suuntaan muissa indekseissä. Korrelaatiokerroimen ollessa 1, arvopaperi on täysin lineaarisesti riippuva toisesta arvopaperista. Taulukosta voi huomioda, että arvopapereilla on yhdestä poikkeava korrelaatiokerroin kaikkien muiden paitsi itsensä kanssa.

4.2 Tasahajautussalkulla saadut tutkimustulokset

Tarkastelemalla 220 kuukauden in-sample-aikasarjoja ja laskemalla niistä saadaan odotetuksi vuotuiseksi tuotoksi 7,48 %. Vastaavasti vuotuinen volatilitteetti on 6,15 %. Sharpen luvuksi saadaan täten 1,20. Kuvio 10 havainnollistaa asiaa. Tasahajautettu salkku on esitetty punaisella pisteellä kuvion vasemmassa reunassa. Yksittäiset arvopaperit on puolestaan merkitty kolmioilla.



Kuvio 10 Arvopaperien tuotot, volatilitetit sekä tasahajautettu salkku ennen testiä 220 kuukauden aikasarjoilla

Kuviosta näkee, että pelkästään tasahajauttamisen pitäisi tuottaa selvää riskin pienemistä ja joissain tapauksissa myös tuottojen kasvamista. Vastaavat luvut 196 kuukauden aikasarjoilla ovat 5,46 %:n tuotto ja 15,23 %:n volatilitetti. Sharpen luvuksi saadaan näin 0,35.

Vuoden out-of-sample-jaksolla salkun vuotuinen tuotto on 2,77 % ja vuotuinen volatilitetti on 19,97 %. Seuraavassa taulukossa esitellään eri arviointimeteodeilla saatuja lukuja, joita käytetään vertailtaessa optimointitapoja. Sharpen luku, Sortinon luku, vuotuinen volatilitetti ja tuotto ovat riippumattomia vertailusalkusta ja siksi ne saavat taulukossa nolasta poikkeavan lukuarvon tulokseksi. Poikkeuksena on ensimmäinen sarakke Sortinon luvussa. Se saa jakajaksi nollan ja siitä syystä lukua ei ole määritelty ja se lähestyy ääretöntä. Suuri arvo Sortinon luvun toisessa sarakkeessa ilmaisee sen, että tuottojen heilunta on ollut melkein koko ajan ylöspäin ja siten haitallinen volatilitetti on jäänyt pieneksi. Mitä pienempi jakaja on, sitä suuremmaksi vertailuluku kasvaa.

Taulukko 3 Vertailusalkun arviointi

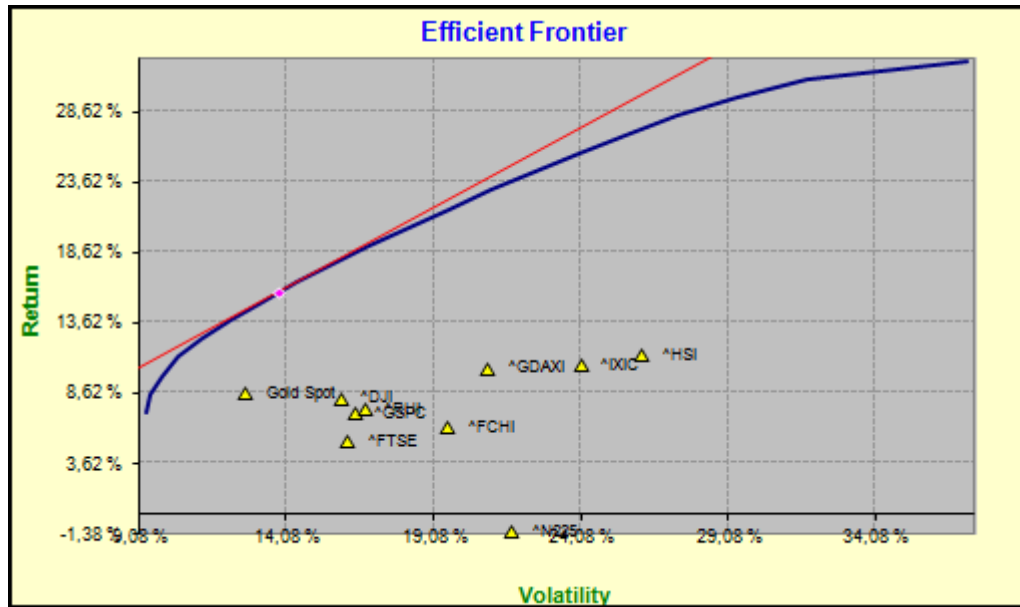
Testiaineisto	Sharpen luku	Informaatio ratio	Tracking error	Sortinon luku	Vuotuinen volatiliti	Vuotuinen tuotto
3 kk	19,26	0,00	0,00 %	∞	4,12 %	79,44 %
6 kk	2,26	0,00	0,00 %	72,60	13,13 %	29,71 %
12 kk	0,14	0,00	0,00 %	0,55	19,97 %	2,77 %
36 kk	0,88	0,00	0,00 %	1,09	15,81 %	13,98 %

On huomionarvoista, että kaksi saraketta keskellä saavat arvon nolla. Tämä johtuu siitä, että niissä vertailua tehdään nimenomaan vertailusalkun kanssa ja on luonnollista, että ne käyttäytyvät täysin samoin. Ne saavat arvoja kun päästään vertaamaan optimointitavoilla saatuja tuloksia vertailusalkkuun. Kolmen kuukauden testijaksolla saadaan Sharpen luvuksi huima 19,26. Tämä johtuu siitä, että kaikki testattavat arvopaperit ovat olleet silloin tasaisessa kasvussa. Täten vuotuinen volatiliti on jäänyt pieneksi ja vuotuinen tuotto on ollut suuri. Muilla ajanjaksoilla tuottojen määrä on jäänyt pienemmäksi ja niiden vaihtelu on ollut suurempaa ja siitä johtuu suurempi volatiliti.

4.3 Minimivarianssisalkku ja maksimituotto

Minimivarianssisalkussa on nimensä mukaisesti minimoitu varianssia tai vastaavasti keskihajontaa. 220 kuukauden data-aineistolla saadaan kuvion 11 mukainen salkku muodostettua, kun käytetään tuottojen odotusarvoa laskettaessa aritmeettista keskiarvoa¹⁴. Kuvassa on myös samalla aineistolla tehty maksimituottosalkku.

¹⁴ Liitteessä 1 on esitetty laskut, joiden perusteella kyseiset salkut ovat luotu.



Kuvio 11 Minimivarianssisalkku ja maksimituottosalkku 220 kk:n data-aineistolla optimoituina

Minimivarianssisalkku on esitetty sinisen viivan vasemmassa päässä. Siinä pisteessä on käytettyjen arvopapereiden minimivarianssipiste. Maksimituottosalkku on esitetty punaisella pisteellä. Siinä kohtaa maksimituu tuotto suhteessa riskiin.

Taulukosta 4 saadaan painot edellä esitetyille salkuille. Painot salkuissa heilahtavat melkoisesti haettaessa lisätuottoja. Minimivarianssisalkkujen painot pysyvät samoina laskutavasta riippumatta, sillä niillä on samat korrelaatiot sekä varianssit ja tarkoituksena on nimenomaan hakea salkkua, joka minimoi varianssin. Tällöin tuottoja ei huomioida vaan pelkästään minimoidaan yhteisvarienssia. Tilanne muuttuu jonkin verran laskettaessa maksimituottosalkkua, sillä silloin tuottojen odotusarvot vaikuttavat yhtälöön.

Taulukko 4 Minimivarianssisalkun ja maksimituottosalkun painot 220 kk:n data-aineistosta

aritmeettisesti laskettu tuottojen odotusarvo	^DJI	^GSPC	^IXIC	^RUI	^FTSE	^FCHI	^GDAXI	^N225	^HSI	Gold Spot	
minimivarianssi (%)	32,94	-7,44	-5,32	7,46	28,74	-9,40	-0,28	3,35	-7,84	57,80	
maksimituotto (%)	105,18	-	17,84	108,11	2,69	-38,49	53,09	-39,03	2,73	71,78	
geometrisesti laskettu tuottojen odotusarvo	^DJI	^GSPC	^IXIC	^RUI	^FTSE	^FCHI	^GDAXI	^N225	^HSI	Gold Spot	
minimivarianssi (%)	32,94	-7,44	-5,32	7,45	28,74	-9,40	-0,27	3,35	-7,84	57,79	
maksimituotto (%)	106,99	-	187,51	8,99	126,31	5,20	-43,95	57,56	-47,98	-0,58	74,96

Taulukosta 4 huomaa, miten tuottojen odotusarvon laskentatapa vaikuttaa optimoinnissa saataviin painoihin maksimituottosalkkua muodostettaessa. Esimerkiksi Russell 1000 indeksin (^RUI) painot heilahtavat 18,2 %. Liitteessä 1 on esitetty molemmilla laskentatavoilla lasketut odotetut tuotot. Erot odotetuissa tuotoissa vaikuttavat optimointiin ja siksi painot salkuissa muuttuvat.

Minimivarianssisalkku ja maksimituottosalkku suoriutuivat käytetyillä ajanjaksoilla hyvin kuten taulukko 5 osoittaa. Sharpen luku on suurempi kuin vertailusalkulla molemmilla ajanjaksoilla. Se johtuu siitä, että suurempien tuottojen lisäksi vain yhdellä salkuista on suurempi volatilitteetti kuin vastaavalla tasahajautussalkulla (maksimituottosalkku 36 kk). Siinäkin tapauksessa suuremmat tuotot riittävät kompensoimaan käytettyä riskiä.

Taulukko 5 Minimivarianssisalkun ja maksimituottosalkun suoriutuminen 12 kuukauden ja 36 kuukauden ajanjaksoilla, kun tuottojen odotusarvo on laskettu aritmeettisella keskiarvolla

Minimivarianssisalkku	Sharpen luku	Informaatio ratio	Tracking error	Sortinon luku	Vuotuinen volatiliti	Vuotuinen tuotto
12 kk	1,39	0,77	11,27 %	3,80	8,17 %	11,44 %
36 kk	1,31	0,40	10,41 %	2,49	13,77 %	18,11 %
Maksimituottosalkku						
12 kk	1,05	1,64	7,35 %	3,05	14,04 %	14,84 %
36 kk	1,82	1,71	9,63 %	3,12	16,63 %	30,42 %

Informaatio ration ollessa positiivinen voi suoraan nähdä sen, että testattavan salkun tuotto on ollut suurempi kuin vertailusalkun. Se johtuu laskentakaavan 22 osoittajasta. Siinä vähennetään sijoitussalkun tuotosta vertailusalkun tuotto. Silloin kun tunnusluku on positiivinen ja nolasta poikkeava, on sijoitussalkun tuotto ollut suurempi kuin vertailusalkun.

Seuraavassa on esitetty vastaavat tulokset, kun tuottojen odotusarvojen laskemiseen on käytetty geometrisia tuottoja.

Taulukko 6 Minimivarianssisalkun ja maksimituottosalkun suoriutuminen 12 kuukauden ja 36 kuukauden ajanjaksoilla, kun tuottojen odotusarvo on laskettu geometrisella keskiarvolla

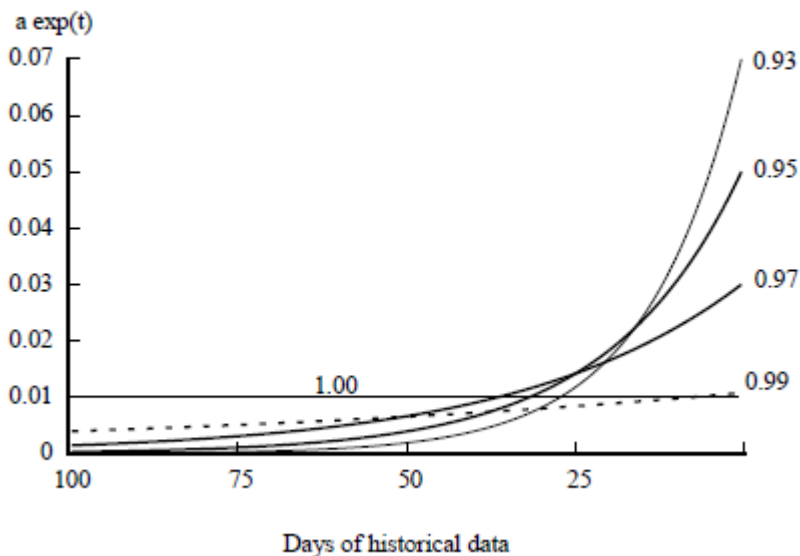
Minimivarianssisalkku	Sharpen luku	Informaatio ratio	Tracking error	Sortinon luku	Vuotuinen volatiliti	Vuotuinen tuotto
12 kk	1,39	0,77	11,27 %	3,80	8,17 %	11,44 %
36 kk	1,31	0,40	10,41 %	2,49	13,77 %	18,11 %
Maksimituottosalkku						
12 kk	1,19	1,44	8,96 %	3,17	13,14 %	15,68 %
36 kk	2,03	1,49	12,62 %	3,34	16,12 %	32,79 %

Taulukosta näkee, että minimivarianssisalkkujen saamat testitulokset ovat täsmälleen samoja laskutavasta riippumatta, kuten aiemmin mainittiin, sillä tarkoitus on vain minimoida salkkujen varianssi. Jälleen salkut suoriutuvat vertailusalkkua paremmin, joka on nähtävissä positiivisista informaatio ratioista. Vertailtaessa maksimituottosalkkuja keskenään huomataan, että vuotuiset tuotot ovat suurempia, kun odotusarvo on laskettu geometrisesti. Vuotuinen volatiliti on samalla pienempi, joten geometrisella odotusarvolla optimoidut salkut saavat suuremman Sharpen luvun. Sortinon luku on myös suurempi kyseisellä menetelmällä, joten salkun painot ovat vaikuttaneet siihen, että po-

sitiivisiä tuottoja on ollut enemmän. Informaatio ratio on puolestaan huonompi. Tämä kertoo siitä, että geometrisilla odotusarvoilla optimoidun salkun tuotto on seurannut heikommin vertailusalkkua. Sen voi huomata Tracking error-sarakkeesta.

Testaamisen vuoksi seuraavassa on tehty optimointi käyttämällä geometrisia tuottoja odotettujen tuottojen laskemiseksi. Samalla on käytetty EWMA-menetelmää (exponentially weighted moving average) salkkujen varianssien ja kovarianssien laskemiseen. Geometrisia tuottoja käytetään siksi, että tuotot eivät ole täysin riippumattomia toisistaan ja geometrisella keskiarvolla saadaan tässä tapauksessa tarkempi kuvaus tapahtuneesta kuin aritmeettisella keskiarvolla. EWMA-menetelmä antaa enemmän painoarvoa viimeisimmille tapauksille ja pidemmän aikaa sitten tapahtuneet asiat saavat vähemmän painoarvoa. Seuraava kuvio esittää kyseistä asiaa. Siinä ns. decay factori kuvaa sitä, miten uusinta tietoa painotetaan. Sen ollessa 1 koko data-aineisto saa saman painoarvon. Kuvioista 12 huomataan, että decay factorin ollessa 0,93 se painottaa viimeisimpiä datahavaintoja enemmän kuin sen ollessa 0,99. 40 päivän jälkeen 0,93 decay factori painottaa dataa vähemmän kuin 0,99. Siitä voi päätellä, että mitä lähempänä kyseinen decay factor on 1:tä, sitä vähemmän se reagoi uusimpaan dataan. J.P.Morganilla kehitetty riskinhallinta ohjelma RiskMetrics käyttää kuukausidataan decay factoria 0,97 ja sitä käytetään myös tässä työssä (J.P.Morgan/Reuters 1996, 100).

Exponential weights for $T = 100$
decay factors = 1, .99, .97, .95, .93



Kuvio 12 Decay factorin merkitys uusimman data-aineiston painotuksessa (J.P.Morgan/Reuters 1996, 95)

Taulukko 7 kertoo, miten kyseisellä menetelmällä optimoidut salkut suoriutuivat testeistä.

Taulukko 7 Salkkujen suoriutuminen EWMA-menetelmällä, kun odotetut tuotot on laskettu geometrisella keskiarvolla

Minimi- varianssisalk- ku	Shar- pen luku	Informaatio ratio	Tracking error	Sorti- non luku	Vuotuinen volatiliteet- ti	Vuotui- nen tuotto
12 kk	1,27	1,37	7,65 %	3,35	10,41 %	13,26 %
36 kk	0,49	0,28	11,21 %	2,02	35,01 %	17,08 %
Maksimituot- tosalkku						
12 kk	0,68	1,56	6,79 %	2,63	19,37 %	13,33 %
36 kk	0,86	3,06	9,01 %	3,95	48,55 %	41,58 %

Positiivisista informaatio ratioista voi päätellä, että kyseisillä salkuilla on ollut paremmat tuotot kuin tasahajautuksella. 12 kuukauden testijaksolla Sharpen luvut ovat myös parempia, mutta kun testijakso on 36 kuukautta, ne jäävät alle vertailusalkun suuresta volatiliteetista johtuen. Katsottaessa vuotuisia volatiliteettaja voidaan tehdä johtopäätös, että malli toimii paremmin vain lyhyemmillä sijoitusjaksoilla. Malli soveltuu, kun käytössä on lyhyet aikasarjat optimointia varten, sillä painotuksen vaikutus aiheuttaa sen, että pitkistä aikasarjoista ei ole juuri hyötyä.

4.4 Rajoitettu salkku

Tässä osiossa salkkujen painot on rajoitettu olemaan 0-100 %:a. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että lyhyeksimynti on kiellettyä eikä lainarahalla saa ostaa lisää arvopapereita. Rajoitettu salkku on valittu siksi, että lyhyeksimynti on ollut kiellettyä tai sen toteuttaminen ei ole ollut kaikille sijoittajille mahdollista (ks. 2.1.2). Kuten aikaisemmin on todettu, tällaisten rajoitusten asettaminen johtaa optimoinnissa keskittymisen vain harvoihin arvopapereihin. Se selviää myös seuraavasta taulukosta, jossa on esitetty erilaisten rajoitettujen salkkujen painoja. Tummennettuna on 220 kuukauden data-aineistosta saadut optimointitulokset ja kursivoituna 196 kuukauden tulokset.

Taulukko 8 Painojen keskittyminen harvoihin arvopapereihin, kun painot on rajoitettuja 0-100 %:in

	^DJI	^GSPC	^IXIC	^RUI	^FTSE	^FCHI	^GDAXI	^N225	^HSI	Gold Spot
minimivarianssi (%)	24,85 22,57	0,00 0,00	0,00 0,00	0,00 0,00	15,86 19,44	0,00 0,00	0,00 0,00	0,64 0,00	0,00 0,00	58,65 57,99
maksimituotto (%) tuotto-odotukset aritmeettisesti	25,89 21,01	0,00 0,00	0,34 0,00	0,00 0,00	0,00 0,00	0,00 0,00	12,06 15,88	0,00 0,00	0,00 0,14	61,71 62,97
maksimituotto (%) tuotto-odotukset geometrisesti	28,77 23,53	0,00 0,00	0,00 0,00	0,00 0,00	0,00 0,00	0,00 0,00	7,73 10,72	0,00 0,00	0,00 0,00	63,50 65,75

Hajauttamisen vaikutus vähenee selvästi, kun painot ovat keskittyneinä. Vuoden 2008 jälkeisen finanssikriisin jälkeen lyhyeksimyntiä on rajoitettu tai jopa pyritty estämään. Tällä on pyritty rauhoittamaan markkinoita. Kaupankäyntitapaa on pidetty haitallisena, koska sen on uskottu jyrkentävän osakekurssien vaihteluita (Taloussanommat/Bloomberg, 2011).

Seuraavassa taulukossa esitetään tuloksia siitä, miten kyseinen rajoitettu salkku suoriutui testijaksolla.

Taulukko 9 Rajoitetun salkun (0-100 %) suoriutuminen, kun tuotto-odotukset on laskettu aritmeettisesti sekä geometrisesti

Minimivarianssisalkku	Sharpen luku	Informaatio ratio	Tracking error	Sortinon luku	Vuotuinen volatiliti	Vuotuinen tuotto
12kk	1,12	0,85	8,06 %	3,09	8,55 %	9,62 %
36kk	2,15	0,69	6,83 %	2,56	8,67 %	18,72 %
Maksimituottosalkku						
12 kk (arit.)	1,16	1,19	6,30 %	2,83	8,75 %	10,24 %
12 kk (geom.)	1,20	1,12	7,07 %	2,69	8,81 %	10,67 %
36 kk (arit.)	2,27	0,83	6,83 %	3,16	8,64 %	19,65 %
36 kk (geom.)	2,32	0,84	7,02 %	2,63	8,53 %	19,90 %

Vaikka sijoituskohteet ovat keskittyneet vain muutamaani arvopapereihin, suoriutuivat ne testijaksolla tasahajautusta paremmin, jonka näkee positiivisesta informaatio ratioista. Laskentatavasta ja ajanjaksosta riippumatta tuotot olivat suurempia ja volatilitiitit pienempiä rajoitetussa salkussa kuin vertailusalkussa.

Seuraavaan taulukkoon on koottu vastaavat tulokset, kun painot ovat rajoitettuna 0-25 %:in.

Taulukko 10 Rajoitetun salkun (0-25 %) suoriutuminen, kun tuotto-odotukset on laskettu aritmeettisesti sekä geometrisesti

Minimivarianssisalkku	Sharpen luku	Informaatio ratio	Tracking error	Sortinon luku	Vuotuinen volatiliti	Vuotuinen tuotto
12kk	0,49	0,69	5,55 %	1,58	13,28 %	6,60 %
36kk	1,33	0,34	4,92 %	1,59	11,72 %	15,67 %
Maksimituottosalkku						
12 kk (arit.)	0,27	1,02	1,81 %	0,92	16,67 %	4,61 %
12 kk (geom.)	0,32	0,95	2,76 %	1,49	16,65 %	5,38 %
36 kk (arit.)	1,27	1,01	2,75 %	1,06	13,18 %	16,75 %
36 kk (geom.)	1,30	1,06	2,67 %	1,51	12,90 %	16,81 %

Jälleen Sharpen luku pysyy parempana kuin tasahajautetussa salkussa, mutta taulukoon 9 verrattuna tuotot putoavat ja volatilitiitit kasvavat. Tuotot ja volatilitiitit kuitenkin pysyvät vertailusalkkua paremmalla tasolla. Tracking error on tässä pieni, joten sijoitussalkun tuotot ovat seuranneet lähellä vertailusalkun tuottoja. Painot ovat jakautuneet 3-4 sijoituskohteen sijaan 5-6 arvopaperiin.

4.5 Yhdistelmäsalkku

Tässä kohtaa erillistä optimointia ei enää tehdä, vaan salkut saavat painokseen kolmasosan tasahajautussalkun sekä rajoittamattoman minimivarianssi- ja maksimituottosalkun painoista. Taulukossa nähtävät merkinnät, aritmeettinen ja geometrinen, vaikuttavat vain maksimituottosalkkujen painoissa. Kuten aikaisemmin todettiin, eri metodeilla laskettavat tuotto-odotukset eivät vaikuta minimivarianssisalkkuun, koska niiden varianssit ja korrelaatiot ovat samoja. Sen lisäksi tasahajautussalkun painot ovat ennalta määrättyt vakiot.

Taulukko 11 Yhdistelmäsalkun testitulokset

Yhdistelmäsalkku	Sharpen luku	Informaatio ratio	Tracking error	Sortinon luku	Vuotuinen volatiliti	Vuotuinen tuotto
12 kk (arit.)	0,88	1,24	5,60 %	2,15	10,92 %	9,68 %
12 kk (geom.)	0,91	1,15	6,23 %	2,22	10,84 %	9,96 %
36 kk (arit.)	2,19	1,10	6,59 %	2,21	9,67 %	21,24 %
36 kk (geom.)	2,39	1,05	7,78 %	2,58	9,25 %	22,17 %

Jälleen salkku suoriutuu vertailusalkkua paremmin laskentatavasta huolimatta. Huomioitavaa on myös se, että geometrisesti lasketut odotusarvot optimointia varten ovat

toimineet kaikissa testitapauksissa paremmin kuin aritmeettisesti lasketut. Se saattaa johtua siitä, että geometrisesti lasketut odotetut tuotot kuvaavat paremmin oikeita tuottoja.

4.6 Shrinkage-estimointi

Jorionin (1986) esittämän mallin mukaan odotetut tuotot on laskettu ns. shrinkage-menetelmällä. Sen jälkeen on käytetty normaalisti laskettuja kovariansseja sekä variansseja, jotta saadaan optimointi tehtyä. Seuraavassa taulukossa on koottu testitulokset.

Taulukko 12 Shrinkage-menetelmällä saadut testitulokset

Minimivarianssisalkku	Sharpen luku	Informaatio ratio	Tracking error	Sortinon luku	Vuotuinen volatiliti	Vuotuinen tuotto
12 kk	1,39	0,77	11,27 %	3,80	8,17 %	11,44 %
36 kk	1,31	0,40	10,41 %	2,49	13,77 %	18,11 %
Maksimituottosalkku						
12 kk	1,30	1,39	7,59 %	3,03	10,19 %	13,28 %
36 kk	2,33	1,14	8,99 %	2,71	10,34 %	24,21 %

Tässäkin tapauksessa muodostettu salkku saa paremmat vertailuluvut kuin vertailusalkku. Poikkeuksena aikaisempiin testisalkkuihin, EWMA-menetelmää lukuun ottamatta, vuotuinen volatiliti on suurempi pidemmällä testijaksolla kuin lyhyemmällä. Tästä huolimatta volatiliti pysyvät pienempänä maksimituottosalkuissa verrattuna maksimituottosalkkuun ilman shrinkage-menetelmää. Tämä onkin intuitiivista, sillä shrinkage-menetelmällä pyritään estimointivirheiden pienentämiseen ja siten volatilitien pienentämiseen. Huomattavaa on myös se, että minimivarianssisalkun tulokset ovat täsmälleen samoja kuin ilman shrinkage-menetelmää. Se johtuu siitä, että shrinkage-menetelmä pakottaa salkun tuottoja kohti minimivarianssisalkun tuottoja ja minimivarianssisalkun osalta menetelmällä ei ole vaikutusta.

4.7 Black-Litterman-malli

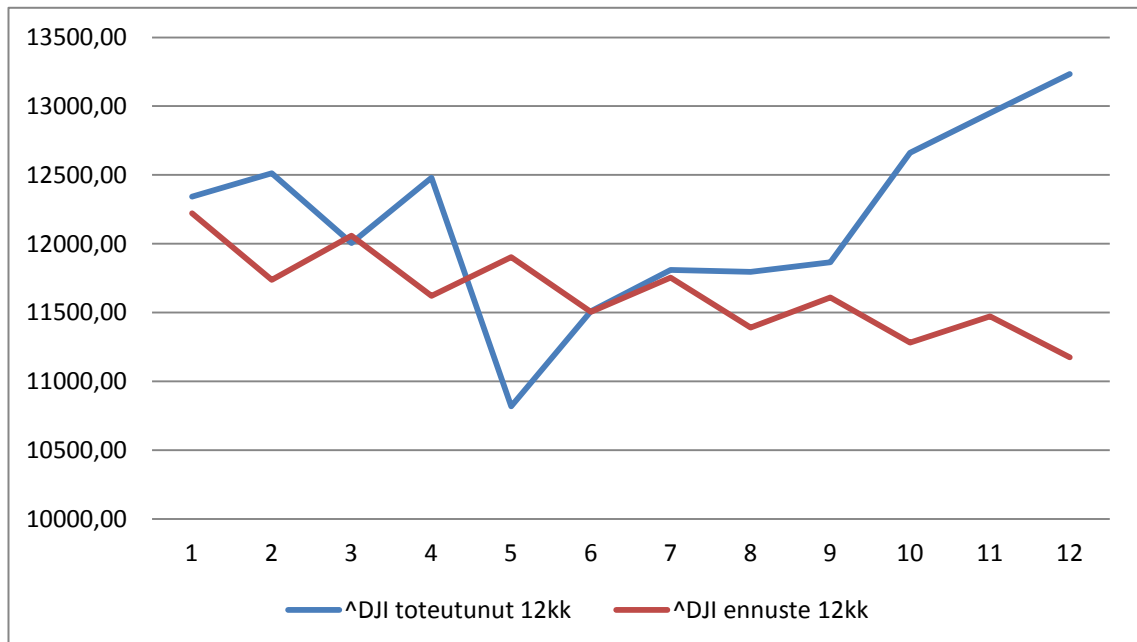
Black-Litterman-malli on hyvä esimerkki menetelmästä, jossa käytetään optimointia ja subjektiivisia mielipiteitä hyödyksi. Tässä tutkimuksessa sitä on käytetty kuvaamaan aktiivisesti hoidettujen salkkujen suoriutumista. Ongelmina mallin käytössä tässä tutkimuksessa on ollut käytettävien indeksien ja kunnan kokonaisvaltainen pörssi-arvo (market capitalization) sekä hyvän ennustemallin luominen. Molemmat näistä vaikuttavat tulok-

siin ja niiden vertailukelpoisuuteen. Seuraavassa on esitetty VAR(1)-mallia käyttämällä saadut testitulokset.

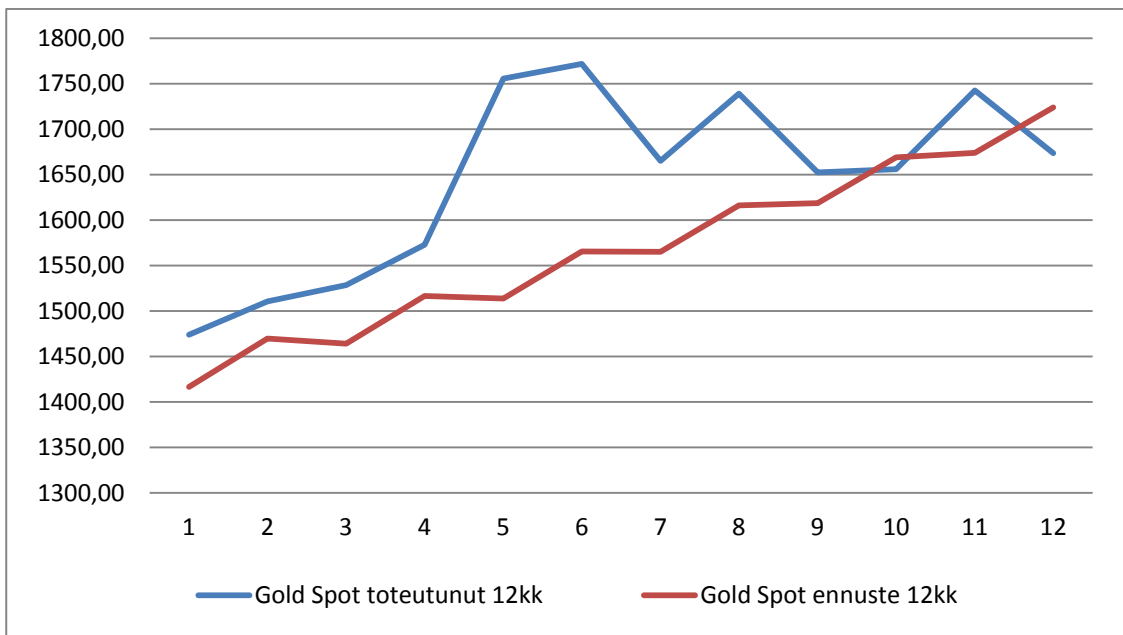
Taulukko 13 Black-Litterman salkun saamat tulokset

Testiaineisto	Sharpen luku	Informaatio ratio	Tracking error	Sortinon luku	Vuotuinen volatiliti	Vuotuinen tuotto
3 kk	2,45	-8,20	5,37 %	∞	14,44 %	35,38 %
6 kk	2,04	0,03	8,66 %	16,74	14,67 %	29,99 %
12 kk	0,83	0,81	12,93 %	3,63	16,01 %	13,28 %

Informaatio ratioista voi heti päätellä sen, että kolmen kuukauden jaksolla tasahajautettu salkku lyö testisalkun reilusti. Tasahajautetulla salkulla on reilusti parempi tuotto ja pienempi volatiliti. Kuitenkin Sortinon luvusta voi päätellä, että kyseisellä ajanjaksolla on ollut vain riskittömän tuoton ylittäviä tuottoja. Kuuden kuukauden jaksolla testisalkulla on jo hivenen parempi tuotto, ks. informaatio ratio, mutta volatiliti on vielä suurempi. Vasta pidemmällä kahdentoista kuukauden jaksolla testisalkku suorittuu paremmin kuin vertailusalkku, kun verrataan Sharpen lukuja. Silloin testisalkun tuotto on parempi ja volatiliti pienempi kuin mitä se on vertailusalkulla. Syynä tähän saattaa olla se, että ennustemalli toimii paremmin pidemmällä ajanjaksolla kuin lyhyellä. Seuraavissa kuvioissa on esitetty, miten ennustemalli on toiminut suhteessa realisoituneeseen tulemaan.



Kuvio 13 VAR(1)-mallilla saatu ennuste ja realisaatio, kun kyseessä on Dow Jones Industrial-indeksi



Kuvio 14 VAR(1)- mallilla saatu ennuste ja realisaatio, kun kyseessä on Gold Spot-hinta

Kuvioista 13 ja 14 voi havaita, miten kahdentoista kuukauden ennustemalli on toiminut kahden arvopaperin tapauksessa. Ensimmäisessä se antaa tulokseksi huomattavasti heikomman tuleman kuin realisaatio ja toisessa hivenen paremman. B-L-malli asettaa enemmän painoa niihin arvopapereihin, joihin ennustemalli lupaa parempaa tuottoa ja päinvastoin. Tästä voi vetää johtopäätöksiä ennustemallin toimivuudesta ja sen vaikutuksista saatuihin tuloksiin.

4.8 t-tilastot ja tilastollinen merkittävyys

Seuraavassa taulukossa käydään läpi kaikki testatut menetelmät tilastollisen merkittävyyden kannalta ajateltuna. Laskettaessa t-lukua käytetään Trumanin (2003, 2)¹⁵ esittämää mallia. Taulukossa tummennettuna olevat lukuarvot ovat tilastollisesti merkitseviä. Testinä on ollut ylituottojen eroaminen nolasta. Ylituotoilla tarkoitetaan optimoinnin ja tasahajautuksen tuottojen erotusta.

¹⁵ Ks. alaviite sivulla 31

Taulukko 14 t-tilastot ja tilastollinen merkitsevyys

		Minimi- variassi	Maksi- mituotto (arit.)	Maksi- mituotto (geom.)	Minimi- variassi EWMA- menet- elmä	Maksi- mituotto EWMA- mene- telmä	Minimi- variassi rajoitet- tu 0-100 %	Maksimi- tuotto rajoitettu 0-100 % (arit.)	Maksi- mituotto rajoitet- tu 0-100 % (geom.)
12 kk	t-luku	0,770	1,642	1,441	1,372	1,557	0,851	1,186	1,117
	merkit- sevyys	0,457	0,129	0,178	0,198	0,148	0,413	0,261	0,288
36 kk	t-luku	0,687	2,959	2,583	0,479	5,307	1,202	1,439	1,462
	merkit- sevyys	0,496	0,006	0,014	0,635	0,00001	0,237	0,159	0,153
		Rajoitet- tu 0-25 % mini- vianssi	Rajoitet- tu 0-25 % maks- tuotto (arit.)	Rajoitet- tu 0-25 % maks- tuotto (geom)	Yhdistel- mäsalk- ku (arit.)	Yhdistel- mäsalk- ku (geom.)	Minimi- variassi shrinka- ge	Maksimi- tuotto shrinkage	
12 kk	t-luku	0,691	1,019	0,946	1,236	1,155	0,770	1,386	
	merkit- sevyys	0,504	0,330	0,364	0,242	0,273	0,457	0,097	
36 kk	t-luku	0,595	1,746	1,836	1,909	1,822	0,687	1,972	
	merkit- sevyys	0,555	0,090	0,075	0,065	0,077	0,496	0,057	
		B-L 12kk	B-L 6kk	B-L 3kk					
t-luku		0,813	0,023	4,100					
	merkit- sevyys	0,434	0,983	0,055					

Taulukosta 14 näkee, että viiden %:n merkitsevyystasolla vain kolmella salkulla on tilastollisesti merkittävää eroa suhteessa tasahajautussalkkuun. Salkut, jotka suoriutuivat tilastollisesti merkitsevällä tasolla paremmin, ovat 36 kuukauden maksimituottosalkut sekä EWMA-menetelmällä laskettu 36 kuukauden salkku. On kuitenkin huomioitava, etteivät kyseisillä menetelmillä lasketut 12 kuukauden salkut suoriutuneet vastaavalla tavalla. Siitä johtuen ei voida sanoa, että mikään optimointitapa tuottaisi ylivoimaisesti parasta tulosta kun asiaa mietitään tilastollisen merkityksen näkökulmasta. Kuitenkin trendinä voi taulukon luvuista vetää johtopäätöksen, että optimointitavat toimivat paremmin pidemmällä 36 kuukauden jaksolla.

5 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Olen tutkinut tässä työssä optimoitujen sijoitussalkkujen suoriutumista, kun vertailukohteena on ollut tasahajautettu salkku. Optimoinnin lähtökohtana on käytetty Markowitzin (1952) esittämää mallia, jonka perusteella pystytään luomaan sijoitussalkku, joka minimoi riskit tai maksimoi tuotot suhteessa riskiin. Vertailusalkuksi on valittu tasahajautussalkku, sillä se tuo esiin hajautuksen hyödyn eikä sen muodostamiseen vaadita hankalia laskutoimituksia. Tässä luvussa käydään läpi pääpiirteittäin käsitellyt aiheet, tärkeimmät löydökset, vastaukset tutkimuskysymyksiin sekä niistä tehtävät johtopäätökset.

Luvut 2 ja 3 luovat teoreettisen pohjan ja käytännön kannalta perustelun syystä sille, miksi käytetyt optimointitavat ja ajanjaksot ovat valittu. Osa optimointitavoista, kuten minimivarianssi- ja maksimituottosalkut, tulevat suoraan teorian pohjalta. Ne esittävät Nobel-palkitun Markowitzin luomaa mallia salkun valinnasta. Mallista käy ilmi, miten hajautus vaikuttaa tuoton ja riskin kombinaatioihin. Se oli ensimmäinen matemaattisesti esitetty ja helposti ymmärrettävä malli, joka kuvasi hajautuksen hyödyt. Mallilla on ollut myös oma osansa, kun muita rahoituksen teoreettisia malleja on luotu. Markowitzin kehittämä keskiarvo-varianssi-optimointi on modernin rahoitusteorian kulmakiviä. Se on myös toimiva työkalu varallisuuden kohdentamiseen tehokkaasti eri sijoituskohteiden välillä. Sen kaksi keskeisintä oivallusta ovat: Se kuvaa hajautuksesta saatavaa hyötyä ja kun portfolio on täysin hajautettu, korkeampaa odotettua tuottoa on mahdollista saada vain ottamalla enemmän riskiä.

Teoriaosassa käydään tarkkaan läpi, miten mallin vaatimat estimaatit saadaan tuotettua data-aineistosta. Mallissa on myös heikkoutensa ja se on saanut paljon kritiikkiä sen osalta. Osittain tästä johtuen sen suora käyttö salkun hallinnassa on jäänyt vähäiseksi. Seuraavassa on lueteltu mallin tärkeimmät heikkoudet (Brandt 2004, 5):

1. Optimaalisen portfolion painot ovat erittäin herkkiä suhteessa odotettuihin tuottoihin.
2. Tilastolliset estimaatit odotetuista tuotoista sisältävät runsaasti kohinaa. Ongelmana on, ettei optimointialgoritmi ota huomioon estimointivirheitä.
3. Riskimittana toimii pelkästään tuoton keskihajonta.
4. Optimointi ei ota lainkaan aikaa huomioon.
5. Tuottojen oletetaan olevan normaalijakautuneita. Optimointi ei huomioi lainkaan tuottojakauman vinoutta eikä kurtositeettia.

Painojen heilahtelu odotettujen tuottojen suhteen on tullut myös esille tämän tutkielman empiirisessä osassa. Pelkästään se, että odotetut tuotot laskettiin aritmeettisen keskiarvon sijaan geometrisella keskiarvolla, sai painot heilahtelemaan eri arvopaperien välillä. Painojen heilahteluun on vaikutettu asettamalla rajoituksia painoihin, kuten lyhyeksimyntikielto, sillä Frostin ja Savarinon (1988) tekemän tutkimuksen mukaan

asianmukaisilla rajoitteilla optimoitu portfolio suoriutuu paremmin kuin rajoittamaton portfolio. Tämä käy myös ilmi tutkielmassa kun verrataan rajoitettua (0-100 %) salkkua rajoittamattomaan minimivarianssi- ja maksimituottosalkkuun ja tunnuslukuna käytetään Sharpen lukua. Kun rajoitukset ovat laitettu 0-25 %:n välille, ei vastaavaa hyötyä ole enää koettu, vaan Sharpen luvut ovat jääneet pääsääntöisesti heikommiksi.

Työssä on testattu optimointitapoja, joilla on pyritty pienentämään estimointivirheitä. Käytetyistä tavoista erityisesti Shrinkage-menetelmä pyrkii siihen. Sillä onkin saavutettu parempaa tulosta Sharpen luvun suhteen, kun sitä verrataan rajoittamattomiin maksimituottosalkkuihin ja vertailusalkkuun.

Riskimitäna on käytetty muitakin tunnuslukuja kuin pelkästään keskihajontaa. Ensimmäisenä on muunnelma keskihajonnasta, ns. tappioriski. Se ottaa huomioon pelkästään minimituottovaatimuksen alittavat tuotot ja niistä muodostetaan keskihajonta. Tappioriskiä käytetään kun muodostetaan Sortinon lukua. Toisena on tracking error, jonka tehtävänä on tarkastella, miten sijoitussalkun tuotto on seurannut vertailusalkun tuottoa. Suuri tracking error kertoo siitä, että sijoitussalkun tuotto on vaihdellut suhteessa vertailusalkun tuottoon.

Vaikka optimointialgoritmi ei itsessään huomioi aikaa, on tutkimuksessa otettu aikaulottuvuus mukaan testaamalla sijoitussalkkuja yhteensä neljällä eri ajanjaksolla. Valittuja ajanjaksoja perustellaan teoriaosassa erilaisilla sijoitussalkun hoitomenetelmillä. Tutkimuksessa ei ole huomioitu kaupankäyntikustannuksia, mutta niiden vaikutus sijoitussalkun suoriutumiseen on teoriaosassa käsitelty.

Tuottojen normaalijakautumisolettamaan on vastattu käyttämällä Studentin t-jakaumaa tilastollisen merkityksen laskemiseen. Jakaumassa on paksummat hännät, joten se huomioi kurtositeettia paremmin kuin normaalijakauma. Jakauman vinouteen sillä ei ole vaikutusta.

Data-aineisto on aikasarjoiltaan pitkä (232 kk), jolla on myös pyritty pienentämään estimoinnissa aiheutuvia virheitä. Se on myös maantieteellisesti hajautettu Amerikan, Euroopan ja Aasian välillä. Data-aineisto sisältää yhdeksän suurta ja merkittävää indeksiä sekä raaka-aineista kullaa. Työssä on myös esitelty muissa tutkimuksissa esiin tulleita vaikutuksia sijoitussalkkujen painojen vaihteluihin.

Tutkimuskysymykset ovat olleet seuraavat:

1. Saavutetaanko kvantitatiivisella optimoinnilla parempaa riskisopeutettua tuottoa kuin tasahajautuksella? Mikäli saavutetaan, niin onko riskisopeutettu ero tasahajautettuun salkkuun tilastollisesti merkitsevä?
2. Millä malleista on paras tulos ja miksi?

Ensimmäisen tutkimuskysymyksen ensimmäistä osaa käsiteltäessä on otettava huomioon Sharpen luku ja toisessa osassa muunnettu informaatio ratio¹⁶, jonka avulla pysytään tekemään tilastollisia päättelyitä ja samalla validoidaan tutkimustuloksia. Kaiken kaikkiaan 18 erilaisesta optimointitavasta vain neljällä oli huonompi riskisopeutettu tuotto kuin tasahajautussalkulla. Muilla salkuilla oli myös lähes poikkeuksetta parempi tuotto ja pienempi volatilitteetti kuin vertailusalkulla. Syynä kahteen poikkeukseen on tutkimuksessa käytetty ennustemalli, jonka tarkkuus ei ole ollut lyhyellä aikavälillä tarpeeksi tarkka, vaikka ennustemallit toimivatkin yleensä paremmin lyhyellä aikavälillä. Tutkimuksessa käytetty ennustemalli antoi osalle arvopapereista liian optimistisia ennusteita ja osalle liian pessimistisiä. Kahdessa muussa tapauksessa salkkujen tuotot eivät riittä kattamaan suurta keskihajontaa tuotoissa ja siksi Sharpen luku jää pieneksi. Vaikka suurimmalla osalla optimoiduista salkuista vuotuinen tuotto on tuntuvasti suurempaa kuin tasahajautetulla, on tilastollisesti merkittäviä tuloksia vain kolme 5 %:n merkitsevyystasolla. Testinä on ollut ylituottojen eroaminen nolosta. Ylituotoilla tarkoitetaan optimoinnin ja tasahajautuksen tuottojen erotusta. Vaikka tilastollisesti merkitseviä tapauksia on vain kolme, niin kuitenkin suorat taloudelliset vaikutukset kvantitatiivisesta optimoinnista on nähtävissä. Se, että lähes poikkeuksetta kvantitatiivisella optimoinnilla on saavutettu parempaa tuottoa pienemmällä riskillä kuin tasahajautuksella, kertoo optimoinnin tarpeellisuudesta parempia tuottoja haettaessa.

Toiseen tutkimuskysymykseen ei voi antaa suoraa ja tyhjentävää vastausta. 12 kuukauden testijaksolla parhaan Sharpen luvun antoi minimivarianssisalkku. Se johtuu siitä, että sillä oli pienin volatilitteetti. Vaikkei sillä ollutkaan paras tuotto kyseisellä ajanjaksolla, riitti se tuottamaan suurimman tunnusluvun. 36 kuukauden testijaksolla parhaan Sharpen luvun sai yhdistelmäsalkku, jossa oli käytetty geometrisesti laskettuja tuottojen odotusarvoja. Vaikka kyseisellä salkulla ei ollut tällä kertaa pienin volatilitteetti, oli se riittävän pieni ja tuotot kattavat sen, mitä tarvittiin suurimman tunnusluvun saamiseksi. Tilastollisesti merkittävistä tuloksistakaan ei pysty vetämään suoria johtopäätöksiä parhaasta menetelmästä. Optimointitavoista yksikään ei ollut selvästi toisia parempi, kun otetaan huomioon eripituiset testijaksot. Yksikään malleista ei tuottanut parasta tunnuslukua kaikissa testijaksoissa. Syynä tähän voidaan pitää odotusarvon heikkoa ennustekykyä tulevasta. Mielenkiintoista oli kuitenkin havaita, että odotusarvoja laskettaessa geometrinen keskiarvo toimi poikkeuksetta aritmeettista paremmin. Tähän on syynä hintojen riippuvuus aikaisemmista hinnoista, joka tulee huomioitua tuottojen geometrisen keskiarvoa laskettaessa paremmin kuin aritmeettisella keskiarvolla.

Tutkimustuloksista on vedettävissä johtopäätös, että passiivinen salkunhoito on tuottanut parempaa tulosta kuin aktiivinen, joka vastaa Cochranen (1999, 49) esittämiä tut-

¹⁶ Ks. alaviite sivulla 31

kimustuloksia aktiivisesta ja passiivisesta salkunhoidosta. Aktiivista salkunhoitoa on työssä esittänyt B-L-malli, jossa on käytetty ennustemallia luotaessa sijoitussalkkua. Muut optimointimenetelmät on laitettu passiivisen salkunhoidon kategoriaan. Tulos olisi voinut olla eri, mikäli luotu ennustemalli olisi toiminut paremmin.

Jatkotutkimuksissa olisi mielenkiintoista kokeilla mallien toimivuutta yksittäisillä arvopapereilla, eikä pelkästään jo valmiiksi hajautetuilla indekseillä. Jatkotutkimuksissa voisi olla mielekäästä käyttää myös erilaisia riskimittareita ja ennustemalleja.

LÄHTEET

- Bernanke, Ben S. (1990) *On the Predictive Power of Interest Rates and Interest Rate Spreads*. New England Economic Review. November/December 1990
- Bernstein, William J. (2000) *The intelligent asset allocator: How to build your portfolio to maximize returns and minimize risk*. McGraw-Hill.
- Bloomberg (2012) *German Government bonds* <<http://www.bloomberg.com/markets/rates-bonds/government-bonds/germany/>>, haettu 12.5.2012
- Bloomberg, World Stock Indexes, <<http://www.bloomberg.com/markets/stocks/world-indexes>>, haettu 3.4.2012
- Brandt, Michael W. (2004) *Portfolio choice problems*. Fuqua School of Business, Duke University and NBER.
- Campbell, J.Y. (2000) *Asset Pricing at the Millennium*. Journal of Finance, Vol. 55, Issue 4, 1515-1567
- Carhart, Mark M. (1997). *On persistence in mutual fund performance*. Journal of Finance, Vol. 52, No.1, March, 57-82
- Cochrane, John H. (1999). *New Facts in Finance*. Economic Perspectives, Federal Reserve Bank of Chicago, Vol. 23, No. 3, 36-58
- Demiguel, V. – Garlappi, L. – Uppal R. (2007) *Optimal versus Naive Diversification: How Inefficient Is the 1/N Portfolio Strategy?* <<http://www.er.ethz.ch/teaching/Optimal-Versus-Naive-Diversification.pdf>> haettu 12.12.2010
- Elton, Edwin J. – Gruber, Martin J. – Brown, Stephen J. – Goetzmann, William N. (2003) *Modern portfolio theory and investment analysis*. Sixth edition. John Wiley & Sons, Inc.
- Evanson Asset Management, A Comparison of Active and Passive Investment Strategies. <http://www.evansonasset.com/index.cfm/Page/2.htm>. Haettu 8.1.2008
- Fabozzi, Frank J. – Gupta, Francis – Markowitz, Harry M. (2002). *The Legacy of Modern Portfolio Theory*. Journal of Investing, Vol 11, No 3, 7-16
- Frost, Peter A. – Savarino James E (1988). *For better performance: Constrain portfolio weights*. Journal of portfolio management, Vol. 15 Issue 1, 29-34
- Goodwin, Thomas H. (1998) *The information ratio*. Financial Analysts Journal, July/August 1998, 34-43
- Idzorek, T. (2002), *A step-by-step guide to the Black-Litterman model*, <http://www.mcombs.utexas.edu/faculty/keith.brown/ChileMaterial/Idzorek%20WP.pdf>. Haettu 18.10.2007

- J.P.Morgan/Reuters (1996) *RiskMetrics—Technical document*, fourth edition, New York
- Jorion, P (1986) *Bayes-Stein estimation for portfolio analysis*. Journal of Financial and quantitative analysis. Vol. 21, No. 3, 279-292
- Jorion, Philippe (1992). *Portfolio Optimization In Practice*. Financial Analysts Journal, Vol. 48, No. 1, January/February 68-74
- Kahra, Hannu (2003) *Consumption, liquidity and strategic asset allocation*, Helsinki School of Economics
- Lhabitant, F-S (1998) *Portfolio management in the 20th century: An overview*, Finanzmarkt und Portfolio Management, 12. Jahrgang, Nr. 4
- Luenberger, David G. (1998) *Investment science*. Oxford university press.
- Markowitz, H. M. (1952), *Portfolio selection*, The journal of finance, Vol. 7, No. 1
- Michaud, Richard O. (1989) *The Markowitz optimization enigma: is optimized optimal?* Financial analysis Journal, Vol. 45, No.1
- MorganStanley (2012) *Roll's Critique*.
<http://morganstanleycontent.intuition.com/lms/glossary/a_to_z_definition.asp?188885>, haettu 21.6.2012
- Morningstar (2012) *Sortino ratio*.
<http://www.morningstar.com/InvGlossary/sortino_ratio_definition_what_is.aspx> , haettu 4.3.2012
- Raivio, Jyri (2008) *Osakkeiden lyhyeksi myyntiä rajoitettiin myös USA:ssa*. Helsingin Sanomat 19.9.2008. < <http://www.hs.fi/talous/artikkeli/Osakkeiden+lyhyeksi+myynti%C3%A4+rajoitettiin+my%C3%B6s+USAssa/1135239570863>>, haettu 20.9.2008
- Rey, David (2004) *Tactical Asset Allocation: An Alternative Definition*. University Basel/University of St. Gallen
- Roll, R. (1979) *Testing a Portfolio Ex Ante Mean-Variance Efficiency*, 135-149 in Studies in the Management Sciences, Elton, E. and Gruber, M. (eds.), Amsterdam: North-Holland Publishing Company (1979)
- Sharpe, William F. (1994). *The Sharpe ratio*. Journal of portfolio management, Vol. 21 Issue 1, 49-59
- Sharpe, William F. (Fall 1994). *The Sharpe ratio*. Reprinted from the Journal of portfolio management, Stanford University < <http://www.stanford.edu/~wfsarpe/art/sr/sr.htm>>, haettu 3.3.2012
- Sharpe, William F. – Alexander, Gordon J. – Bailey, Jeffrey V. (1995) *Investments*. Prentice Hall Inc.

Sharpe, William F. (2007). *Investors and markets. Portfolio choices, asset prices, and investment advice*. Princeton university press.

Taloussanomat (2012) *Historiallista: Saksa myi velkakirjojaan miinuskorolla*. <<http://www.taloussanomat.fi/rahoitus/2012/01/09/historiallista-saksa-myi-velkakirjojaan-miinuskorolla/201220547/12>>, haettu 3.3.2012

Taloussanomat/Bloomberg (2011) *Shorttauskielto sai jatkoa*. <<http://www.taloussanomat.fi/ulkomaat/2011/08/25/shorttauskielto-sai-jatkoa/201111942/12>>, haettu 3.6.2012

The London Bullion Market Association, *The London Market*, <http://www.lbma.org.uk/pages/index.cfm?page_id=3&title=the_london_market>, haettu 3.4.2012

Truman, A. Clark (2003) *Inside the Information Ratio*. <<http://www.masecoprivatewealth.com/new2010/pubs/Inside%20the%20Information%20Ratio.pdf>>, haettu 21.6.2012

LIITTEET

LIITE 1 MALLILASKU EMPIIRISEN OSAN OPTIMOINTITAVOISTA

Tässä liitteessä käydään läpi minimivarianssi- ja maksimituottoportfolion luonti 220 kuukauden in-sample aineistosta sekä niiden testaaminen 12 kuukauden out-of-sample periodilla. Aivan ensimmäiseksi lasketaan odotetut tuotot kaavan 2 (s. 14) mukaisesti. Seuraavasta taulukosta näkee odotetut aritmeettiset ja geometriset tuotot.

	^DJI	^GSPC	^IXIC	^RUI	^FTSE	^FCHI	^GDAXI	^N225	^HSI	Gold Spot
Aritmeettinen	0,083	0,073	0,107	0,075	0,053	0,062	0,105	-0,011	0,114	0,087
Geometrinen	0,070	0,058	0,076	0,061	0,039	0,042	0,082	-0,036	0,080	0,080

Tuotot on muutettu valmiiksi vuosituotoiksi. Sen jälkeen on laskettu arvopaperien volatiliteetit. Saadut tulokset on esitetty seuraavassa taulukossa. Huomattavaa on, että riippumatta tuottojen laskentatavasta, ne ovat täsmälleen samoja.

	^DJI	^GSPC	^IXIC	^RUI	^FTSE	^FCHI	^GDAXI	^N225	^HSI	Gold Spot
Aritmeettinen	0,159	0,164	0,241	0,168	0,162	0,196	0,209	0,217	0,262	0,127
Geometrinen	0,159	0,164	0,241	0,168	0,162	0,196	0,209	0,217	0,262	0,127

Volatiliteetit on muutettu myös valmiiksi vuositasolle. Mitä suurempi volatiliteetti on, sitä enemmän sen suoriutuminen on vaihdellut. Tämän jälkeen lasketaan arvopaperien väliset korrelaatiokertoimet. Ne ovat nähtävissä taulukossa 2 sivulla 52.

Kun nämä tiedot on syötetty taulukkolaskelmaohjelmaan johon on ohjelmoitu tarvittavat ehdot, ratkaisee ohjelma optimaaliset salkut iteroimalla. Kuviosta 11 (s. 55) näkee yksittäiset arvopaperit sekä niiden avulla luodun minimivarianssi- ja maksimituottosal-
kun. Taulukko 4 (s. 56) ilmaisee kunkin arvopaperin painon kyseisissä salkuissa.

Tämän jälkeen on empiirisen out-of-sample-testaamisen vuoro. Saavutettu tuotto las-
ketaan kaavan 11 (s. 18) mukaisesti. Ensin lasketaan kunkin arvopaperin vuotuinen
tuotto, joka kerrotaan sen salkussa olevalla painoarvolla ja lopulta tulot lasketaan yh-
teen. Sitten lasketaan varianssi kaavan 13 (s. 18) mukaisesti. Ensin on kuitenkin muo-
dostettava arvopapereiden out-of-sample-kovarianssimatriisi. Seuraavassa taulukossa on
esitetty 12 kuukauden out-of-sample kovarianssimatriisi.

	^DJI	^GSPC	^IXIC	^RUI	^FTSE	^FCHI	^GDAXI	^N225	^HSI	Gold Spot
^DJI	0,0033	0,0037	0,0045	0,0039	0,0033	0,0042	0,0054	0,0029	0,0027	-0,0017
^GSPC	0,0037	0,0043	0,0052	0,0045	0,0038	0,0048	0,0061	0,0034	0,0031	-0,0018
^IXIC	0,0045	0,0052	0,0065	0,0054	0,0046	0,0055	0,0070	0,0042	0,0039	-0,0018
^RUI	0,0039	0,0045	0,0054	0,0046	0,0039	0,0050	0,0063	0,0036	0,0033	-0,0018
^FTSE	0,0033	0,0038	0,0046	0,0039	0,0034	0,0043	0,0055	0,0030	0,0027	-0,0017
^FCHI	0,0042	0,0048	0,0055	0,0050	0,0043	0,0067	0,0082	0,0041	0,0036	-0,0028
^GDAXI	0,0054	0,0061	0,0070	0,0063	0,0055	0,0082	0,0105	0,0051	0,0045	-0,0033
^N225	0,0029	0,0034	0,0042	0,0036	0,0030	0,0041	0,0051	0,0037	0,0028	-0,0014
^HSI	0,0027	0,0031	0,0039	0,0033	0,0027	0,0036	0,0045	0,0028	0,0041	-0,0004
Gold Spot	-0,0017	-0,0018	-0,0018	-0,0018	-0,0017	-0,0028	-0,0033	-0,0014	-0,0004	0,0025

^DJI:n risteyskohdassa itsensä kanssa on esitetty kyseisen arvopaperin varianssi. Muut sarakkeet kuvaavat kovariansseja, joita sillä on toisten arvopaperien kanssa. Mat-riisilaskennalla saadaan selville koko salkun varianssi ja volatilitteetti. Kyseisten salkku-jen suoriutuminen on esitetty taulukoissa 5 ja 6 (s. 57).