

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO
Kauppakorkeakoulu

SOLVENSSI II -TYYPPISEN
VAKAVARAISUUSSÄÄNNÖSTÖN
VAIKUTUS TYÖELÄKEYHTIÖN
SIJOITUSTOIMINTAAN

Taloustieteen pro gradu -tutkielma
4.7.2011

Laatinut: Ilari Puranen
Ohjaaja: Kari Heimonen

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTON KAUPPAKORKEAKOULU

Tekijä Ilari Puranen	
Työn nimi Solvenssi II -tyyppisen vakavaraisuussäännösten vaikutus työeläkeyhtiön sijoitustoimintaan	
Oppiaine Kansantaloustiede	Työn laji Pro gradu -tutkielma
Aika heinäkuu 2011	Sivumäärä 90+14
Tiivistelmä - Abstract Tässä tutkimuksessa verrataan Solvenssi II -tyyppisen vakavaraisuussäännösten ja Suomen yksityisen sektorin työeläkejärjestelmän vakavaraisuussäännösten eroja ja vaikutusta eläkelaitosten sijoitustoimintaan. Tutkimuksessa kehitetään myös uusi sijoitustuottomalli, joka laajentaa aiempia malleja huomioiden luottoriskit ja vaihtoehtoiset sijoitukset. Tutkimusmetodologialla pystytään löytämään vakavaraisuusjärjestelmien heikkouksia sekä vertaamaan sijoitusallokaatioita ja -tuottoja näissä kahdessa kehikossa. Tulosten perusteella Solvenssi II -tyyppinen kehikko ohjaisi eläkelaitoksia vähentämään kiinteistösijoituksia ja lisäämään vaihtoehtoisia sijoituksia. Vakavaraisuussäännösten uusiminen ei myöskään vaikeuttaisi tavoitetuoton saavuttamista, vaan saattaisi jopa helpottaa sitä, mikäli eläkelaitokset sopeuttaisivat sijoitustoimintaansa.	
Asiasanat eläkelaitokset, sijoitustoiminta, vakavaraisuus, ekonometria, säädökset, aikasarja-analyysi, arvopaperisalkut	
Säilytyspaikka Jyväskylän yliopiston kauppakorkeakoulu	

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	VAKAVARAISUUSSÄÄNNÖKSET JA NIIDEN UUDISTAMINEN	12
	2.1 Nykyinen vakavaraisuuskehikko	12
	2.2 Kehittämistarpeet	15
	2.3 Solvenssi II: markkinariskimoduuli	17
3	KIRJALLISUUSKATSAUS SKENAARIOSIMULOINTIIN JA TALOUS- MUUTTUJIEN VÄLISIIN RIIPPUVUUKSIIN	25
	3.1 Skenaariosimulointi	25
	3.2 Taloudellisten muuttujien riippuvuussuhteista	31
	3.2.1 Osakemarkkinat	31
	3.2.2 Korot	32
	3.2.3 Luottomarginaalit	33
4	BONDIPORTFOLION MALLINTAMINEN	37
	4.1 Korkokäyrä	37
	4.2 Luottomarginaalit portfolion hinnoittelussa	40
	4.3 Luottomigraatio	41
5	AIKASARJAMALLI ELÄKEYHTIÖN SIOITUSTUOTOILLE	46
	5.1 Aineisto	46
	5.2 Mallin valinta ja estimointi	50
	5.3 Mallin kalibrointi	56
6	SIOITUSTEN ALLOKAATION JA PERFORMANSSIN VERTAILU JÄRJESTELMIEN VÄLILLÄ	59
	6.1 Sijoitustoiminnan analysointiin käytettävät menetelmät	59
	6.2 Omaisuusluokkien riskiattribuutiot ja vakavaraisuuskäyrät	61
	6.3 Optimaalinen sijoittaminen järjestelmissä	68
	6.4 Dynaaminen tarkastelu	71
7	YHTEENVETO	74
	LIITE 1: Kertaus VAR- ja VECM-malleihin	91
	LIITE 2: Matemaattinen liite	93
	LIITE 3: Yksityisen sektorin eläkelaitosten sijoitukset	96
	LIITE 4: Taulukot	98

LIITE 5: Kuviot.....102

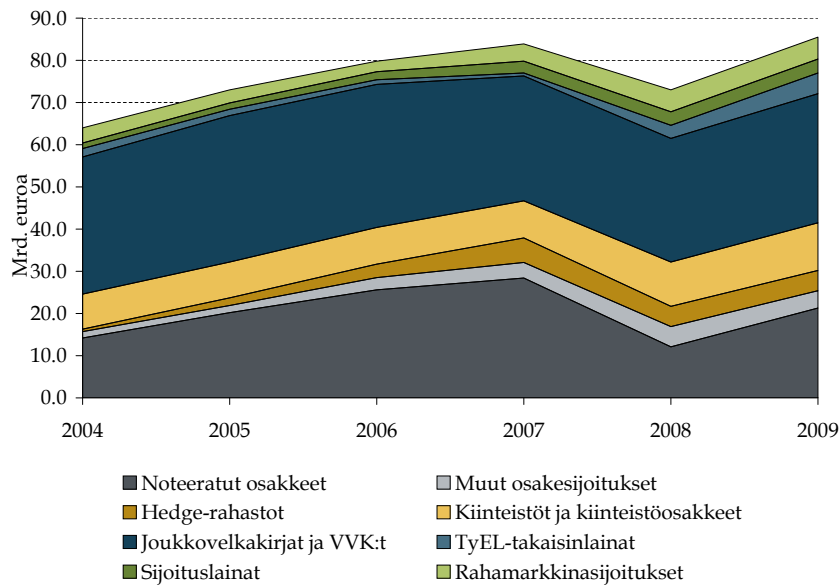
1 JOHDANTO

Suomen työeläkejärjestelmä on jatkuvan uudistuksen kohteena. Järjestelmän kestävyys on eräs kansantalouden kohtaamista haasteista ja aihe herättää keskustelua sekä akateemikoiden että yhteiskuntavaikuttajien piireissä. Koska eläkkeiden rahoitukseen liittyy mittavia sijoituksia, säädellään eläkeyhtiöiden riskienottoa vakavaraisuussäännöksillä. Vuosien 2007–2009 finanssikriisi on osoittanut kuinka tärkeää säännösten suunnittelu ja hyvä implementointi on. Aihe onkin myös rahoituksen taloustieteelle merkittävä tutkimuskohde.

Suomessa yksityisalojen lakisääteinen työeläkejärjestelmä on osittain rahastoiva. Tämä tarkoittaa sitä, että noin neljännes eläkemaksuista rahastoidaan tulevia eläkkeitä varten ja loput kolme neljännestä käytetään maksussa olevien eläkkeiden rahoittamiseen. Ennakkorahastoinnilla pyritään alentamaan tulevaa vakuutusmaksutasoa, koska rahastoiduille varoille saaduilla sijoitustuotoilla voidaan kustantaa osa maksettavista eläkkeistä. Rahastoinnin seurauksena eläkelaitoksilla on hoidettavanaan mittavat sijoitusvarat ja yksityisten alojen työeläkelaitosten sijoituskannan koko olikin vuoden 2009 lopussa vajaat 86 miljardia euroa (kuviot 1). Eläkelaitoksista merkittävimpiä ovat työeläkevakuutusyhtiöt, jotka ovat Suomen finanssimarkkinoiden merkittävimpiä institutionaalisia sijoittajia. (Kiviniemi, 2009)

Taseen toiselle puolelle rahastoiduista vakuutusmaksuosista syntyy laitoksille niin sanottua vastuovelkaa, joka on niiden taseen suurimpia eriä. Vastuovelka on velkaa eläkkeensaajille ja se koostuu maksussa olevia ja tulevia eläkkeitä varten varatuista eristä. Sen tarkoitus on kuvata tulevaisuudessa tapahtuvien eläkemaksujen nykyarvoa. Eläkelaitosten yhteenlaskettu TyEL:n mukainen vastuuelvan määrä oli 76 miljardia euroa vuoden 2009 lopussa (Kiviniemi, 2009). (ETK, 2011)

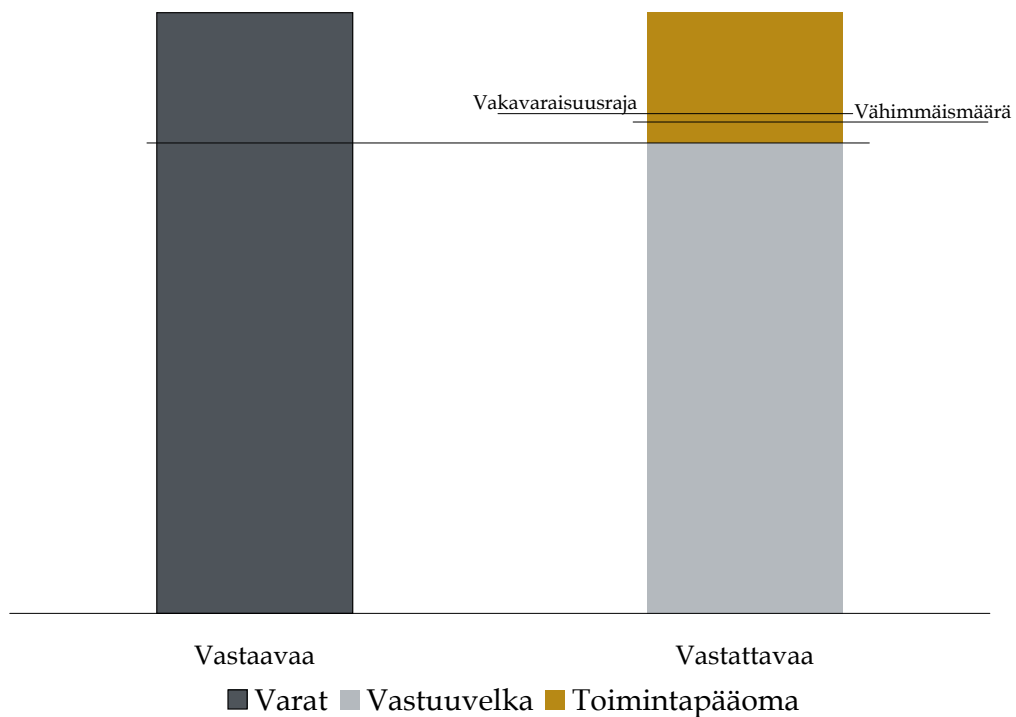
Vastuovelkaa katetaan sijoitusomaisuudella ja eläkelaitoksen varojen tulee aina ylittää vastuovelka. Tätä vastuuelvan ylittävää osaa varoista kutsutaan toimintapääomaksi. Vakavaraisuussäännöstö muodostaa lainsäädännöllisen rajoitteen työeläkelaitosten riskinotolle, sillä vakavaraisuusraja toimii alarajana, jota toimintapääoma ei saa alittaa. Raja on sitä korkeampi mitä korkeammat sijoitusriskit laitoksella on ja sen tarkoituksena on rajata laitoksen todennäköisyyttä joutua vararikkoon. Vakavaraisuusraja voidaankin tulkita approksimaatioksi yhtiön Value-at-Risk -tasolle, jonka avulla yhtiö ja valvontaviranomainen voivat tarkkailla



KUVIO 1 Yksityisten alojen työeläkelaitosten sijoituskanta 2004–2009 (TELA, 2011)

yhtiön riskejä.

Eläkelaitoksen vakavaraisuuteen liittyviä käsitteitä hahmotetaan kuviossa 2. Kuvion vasemmassa pylväässä on yhtiön varat. Vastattavaa-puolella ylivoimaisesti suurin erä on vastuovelka. Toimintapääomaan lukeutuu osuus, jolla varallisuus ylittää vastuuvelan. Toimintapääoman vähimmäismäärä on kaksi kolmasosaa vakavaraisuusraja.



KUVIO 2 Työeläkelaitoksen tase

Nykyisessä vakavaraisuussäännöstössä on havaittu merkittäviä puutteita, jonka vuoksi yksityisten alojen työeläkejärjestelmän vakavaraisuussäntelyn uudistamistarpeita on selvitetty sosiaali- ja terveysministeriön 20.5.2009 asettamissa työryhmissä. Nämä työryhmät ovat laatineet aiheesta kaksi selvitystä, *laaja-alaisen työryhmän selvitys (STM, 2010b)* ja *asiantuntijaryhmän selvitys (STM, 2010a)*. Selvitysryhmät ehdottavat vakavaraisuusmekanismin uudistusta ja parhaillaan onkin meneillään mittava projekti eläkejärjestelmän vakavaraisuussäännösten uusimiseksi, joka toimii myös tämän tutkimuksen motivaationa. Eläkelaitosten vakavaraisuutta koskee myös määräaikainen lainmuutos, joka jatkuu vuoden 2012 loppuun. Lisäksi työeläkelaitosten vakavaraisuusrajan laskemista ja vastuuvelan kattamista koskeviin säännöksiin on tulossa muutoksia 31.3.2011 alkaen. Samalla ajankäytetään vakavaraisuussäännösten sisältämien sijoitusryhmien muutustien arvoja, joiden avulla eläkeyhtiön vakavaraisuusvaatimus lasketaan. (Fiva, 2011)

Euroopan unionissa on parhaillaan meneillään mittava vakuutusalan vakavaraisuussäännösten uudistusprojekti, jolla on valtava vaikutus alueen vakuutusalan kehitykseen. EU:n jäsenvaltioissa on saatettava voimaan uudet vakuutus- ja jälleenvakuutustoiminnan vakavaraisuussäännökset 31.10.2012 mennessä. Nämä säännökset ovat *Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2009/138/EY mukaiset ja niistä käytetään nimitystä Solvenssi II*. Direktiivissä esitetään vakavaraisuuskehikon periaatteet ja täytäntöönpanotoimenpiteet vahvistaa Euroopan komissio. Täytäntöönpanoa koskevat useat kokonaisuudet ovat edelleen keskenrääisiä. Komissio on pyytänyt Euroopan vakuutus- ja työeläkevalvontaviranomaisten komiteaa CEIOPS:ia (Committee of European Insurance and Occupational Pensions Supervisors) laatimaan ehdotukset täytäntöönpanotoimenpiteiksi. (STM 2010a; 2010b)

Solvenssi II -uudistuksella on useita tarkoituksia. Toisaalta halutaan luoda uudet, yhtenäiset vakavaraisuusvaatimukset kaikille vakuutusyhtiöille EU:ssa, sekä yhtenäiset periaatteet vakuutusvalvonnalle. Lisäksi direktiivi lähentää vakuutus- ja finanssialan valvonnan periaatteita toisiinsa, sillä Solvenssi II:n pääperiaatteet vastaavat monilta osin luottolaitosten Basel II -säännöksiä. Varsinaisena uudistuksen tavoitteena on parantaa EU:n sisämarkkinoiden toimintaa, kannustaa vakuutusyhtiöitä kehittyneempään riskienhallintaan ja edistää EU:n vakuutusalan kilpailukykyä. Solvenssi II:n merkitys eurooppalaisille vahinko- ja henkivakuutusyhtiöille tulee olemaan valtava. (STM 2010a; 2010b)

Koska Solvenssi II:n soveltamisala ei ulotu Suomen työeläkejärjestelmään, ei sen mukaisia muutoksia ei ole tarpeen implementoida työeläkejärjestelmään. Solvenssi II:n mukainen sääntely on kuitenkin esillä myös meneillään olevassa uudistusprojektissa. On mahdollista, että sen mukaisella sääntelyn huomioimisella voidaan kehittää työeläkejärjestelmän vakavaraisuuden ja sijoitustoiminnan valvonnan nykyistä sääntelyä (STM 2010a; 2010b). Eläkelaitoksia koskevia säännöksiä on muutettu useaan kertaan 1990-luvun alkupuolelta lukien, jolla on ollut merkittävä vaikutus myös sijoitusten kohdentumiseen. Viimeisin merkittävä uudistus oli vuonna 2007, jolloin nykyiset vakavaraisuussäännökset tulivat voimaan. Tässä työssä pyritään selvittämään millaisia vaikutuksia Solvenssi II -tyyppisellä säännöstelyllä tulisi olemaan.

Solvenssi II:n soveltuvuutta eläkejärjestelmään on selvitetty alustavalta osin

STM:n raporteissa (2010a; 2010b). Lisäksi Laakso (2009) on selvittänyt Solvenssi II:n soveltuvuutta Suomen työeläkejärjestelmään. STM:n selvitykset ovat muodoltaan laadullisia ja jättävät tarkemman vertailun järjestelmien osalta jatkotutkimuksille. Laakso puolestaan vertaa järjestelmien periaatteellisia näkökulmia esimerkiksi yhtiön hallintoon ja vastuiden ja varojen arvostamiseen liittyen. Lisäksi Laakso pohtii työeläkejärjestelmän erityispiirteitä, joita Solvenssi II:ssa ei ole huomioitu, mutta jotka tulisi huomioida mikäli sen tyyppisiä säännöksiä sovellettaisiin eläkejärjestelmään.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on täydentää näitä selvityksiä kvantitatiivisella metodologialla, jolla pyritään selvittämään Solvenssi II -tyyppisten säännösten vaikutuksia eläkeyhtiön sijoitustoimintaan. Tutkimus pyrkii vertaamaan järjestelmiä kolmesta eri näkökulmasta. Ensimmäinen tavoite on selvittää miten eri omaisuusluokat vaikuttavat vakavaraisuusrajaan kummassakin järjestelmässä. Tarkoituksena on verrata poikkeako eri sijoitusluokkien kohtelu järjestelmien välillä ja ohjaisiko Solvenssi II:n mukainen kehikko erilaiseen sijoitusallokaatioon kuin nykyinen. Toinen tavoite on verrata millaisia sijoitustuottoja kahdessa järjestelmässä pystytään saavuttamaan. Kommas tutkimustavoite on tarkastella olisiko uudella järjestelmällä mahdollisia vaikutuksia eläkelaitosten vakavaraisuuteen. Mikäli Solvenssi II -tyyppisiä säännöksiä sovellettaisiin eläkelaitoksiin, ei niitä sovellettaisi sellaisenaan, vaan kyseeseen tulisi modifioidut säännökset. Työn ulkopuolelle rajataan valtaosa Solvenssi II:n säännöksistä ja tutkimuksessa keskitytään vakavaraisuusrajan tarkasteluun.

Vakavaraisuussäännösten vertailu sijoitustoiminnan näkökulmasta on erittäin olennaista, kun eläkejärjestelmää uudistetaan. Säännöstöllä on suuri vaikutus eläkelaitosten kykyyn ottaa riskiä ja saada sijoitustuottoja. Nämä seikat puolestaan vaikuttavat eläkejärjestelmän kykyyn suoriutua eläkevelvoitteista tulevaisuudessa ja eläkeyhtiöille onkin asetettu ns. tavoitetuotto. Yhtiöt jakavat lisäksi asiakkailleen asiakashyvityksiä ja hyvitysten määrään vaikuttaa yhtiön vakavaraisuus. Mitä vakavaraisempi yhtiö on, sitä suurempia asiakashyvityksiä se voi jakaa. Siispä vakavaraisuussäännöksillä on myös välillistä vaikutusta suomalaisten yritysten henkilöstökustannuksiin ja kilpailukykyyn. Voidaankin sanoa, että hyvä vakavaraisuuskehikko on tärkeää koko Suomen kansantalouden kannalta.

Eri järjestelmiä verrattaessa, parempi järjestelmä on sellainen, jossa yhtiöt voivat saavuttaa korkeampia sijoitustuottoja ilman että vakavaraisuus vaarantuu. Hyvän järjestelmän tärkeä piirre on, että se ei yli- tai aliarvioi mitään riskejä, ja toisaalta ottaa kaikki olennaiset riskit huomioon. Tämän merkitys korostuu, sillä vakavaraisuussäännöksillä voi olla merkittävä vaikutus sijoitusten kohdentumiseen. Vuosien 2007–2008 finanssikriisi osoitti, että vajavaiset säännökset voivat ohjata finanssilaitosten sijoituksia liialliseen riskinottoon. Tässä tutkimuksessa esitetäänkin lähestymistapa, jolla voidaan verrata vakavaraisuussäännösten vaikutusta sijoitusjakaumaan.

Tutkimusmetodologiana käytetään ns. financial engineering -toiminnasta omaksuttuja portfolioanalyysimenetelmiä ja niin sanottua talousskenaariosimulointia (Economic Scenario Generation, ESG). Skenaariosimulointi on tutkimusala, jota käytetään paljon erityisesti Euroopassa ja Yhdysvalloissa finanssialan riskienhallinnassa ja sijoitustoiminnassa (Geyer & Ziemba, 2008; Wilkie, 1986, 1995), mutta jolla on perinteitä myös akateemisissa tutkimuksissa liittyen mm. portfo-

lion optimointiin ja riskienhallintaan (Brennan et al., 1997; Cesari & Cremonini, 2003; Jamshidian & Zhu, 1997; Markowitz & Perold, 1981). Metodologia soveltuu tilanteeseen, jossa eläkeyhtiön sijoituksista on vain vähän historiallista aineistoa ja joistakin omaisuusluokista vain alle 10 vuoden aikasarjoja. Menetelmän vahvuus on myös se, että simuloidut skenaariot heijastavat hyvin erilaisia markkinatilanteen kehityksiä, jolloin tulokset yleistyvät huomattavasti paremmin kuin käytettäessä vain historiallista aineistoa. Lisäksi yhtiöiden sijoitusstrategia olisi ollut erilainen, jos niihin olisi sovellettu Solvenssi II:ta, joten skenaariosimuloinnilla pyritään vastamaan myös Lucaksen (1976) kritiikkiin¹.

Pääperiaatteena on kehittää ekonometrinen malli eri talousmuuttujille, kuten eläkeyhtiön sijoitustuotoille, ja käyttää mallia simulointikokeissa. Eläkeyhtiöille on kehitetty sijoitustuottomalleja myös aiemmin, kun tutkimustapaa on käytetty selvittäessä eri uudistusten vaikutuksia eläkejärjestelmään (Heikkilä, 2004; Hilli, 2007). Lisäksi Eläketurvakeskus käyttää erilaisia simulointimalleja pitkän aikavälin ennusteissaan (Elo et al., 2009; Risku & Kaliva, 2009). Erilaiset simulointimallit ovatkin keskeinen tutkimusmenetelmä työeläkejärjestelmässä. Aiemmin kehitetyissä malleissa on kuitenkin merkittäviä puutteita, sillä niistä puuttuu esimerkiksi luottoriskien vaikutus ja vaihtoehtoiset sijoituskohteet. Tässä tutkimuksessa kehitetään näitä malleja realistisempi malli, joka on myös enemmän yhdenmukainen Solvenssi II:n kanssa. Mallissa huomioidaan aiempaa paremmin korko- ja luottoriskien vaikutus sijoitustuottoihin, sekä otetaan huomioon myös vaihtoehtoiset sijoitukset. Mallia sovelletaan tutkimuksen muiden tavoitteiden selvittämiseksi simuloinneissa, joissa eläkeyhtiön vakavaraisuuden ja sijoitustuottojen kehitystä verrataan kahdessa vakavaraisuuskehikossa.

Tutkimuksen rakenne on seuraava. Luvussa 2 esitellään sekä nykyjärjestelmän että Solvenssi II:n mukaiset vakavaraisuussäännökset niiltä osin, kun ne ovat tälle tutkimukselle oleelliset. Lisäksi luvussa käsitellään nykyjärjestelmään liittyviä puutteita, jotka toimivat uudistustarpeiden motivaationa. Luku 3 on kirjallisuuskatsaus, joka jakautuu kahteen osioon. Ensimmäisessä osiossa käydään läpi aikaisempia tutkimuksia skenaariosimuloinnista ja erityisesti eläkeyhtiön sijoitustuottomalleista. Koska empiirisellä taloustieteellä on suuri merkitys mallien kehittämisellä, käydään toisessa osiossa läpi tärkeimpiä finanssimarkkinamuuttujien välisiä riippuvuussuhteita. Koska Solvenssi II:ssa joukkovelkakirjojen, eli bondien, jaoittelulle on omat vaatimuksensa, asettaa se haasteita myös sijoitustuottomallille. Luvussa 4 esitellään uudenlainen tapa mallintaa eläkeyhtiön bondiportfolio. Luku 5 on työn empiirinen osio, jossa kehitetään malli eläkeyhtiön sijoitustuotoille. Luvussa esitellään aineisto, suoritetaan vaadittava tilastollinen analyysi ja kalibroidaan valitun mallin parametrit. Näin saatua mallia sovelletaan luvussa 6, jossa verrataan eläkeyhtiön sijoitustuottoja ja vakavaraisuutta kahdessa eri vakavaraisuusjärjestelmässä käyttämällä skenaariosimulointia.

¹ Lucaksen kritiikin mukaan on naiivia yrittää ennakoida politiikkamuutosten vaikutuksia vain historiallisen aineiston nojalla.

2 VAKAVARAISUUSSÄÄNNÖKSET JA NIIDEN UUDISTAMINEN

Koska tutkimuksen tavoitteena on verrata eläkeyhtiön vakavaraisuutta ja sijoitustuottoja kahdessa eri vakavaraisuuskehikossa, tullaan tässä luvussa esittelemään nämä kehitöt. Tutkimuksen suorittamiseen tulee molemmista säännöksistä tietää, kuinka yhtiön vakavaraisuusraja lasketaan. Ensimmäisessä osiossa esitellään, kuinka suomalaisten työeläkeyhtiöiden vakavaraisuuspääomavaatimus lasketaan nykyisissä vakavaraisuussäännöksissä. Toisessa osiossa käydään läpi niiden kehittämistarpeet, jotka toimivat tutkimuksen motivaationa. Kolmannessa osiossa puolestaan käydään läpi Solvenssi II:n mukaiset vakavaraisuusrajan laskentakaavat niiltä osin, kun ne mahdollisesti tulisivat sovellettaviksi eläkejärjestelmään.

2.1 Nykyinen vakavaraisuuskehikko

Työeläkelaitosten nykyinen vakavaraisuuskehikko tuli voimaan vuonna 2007. Eläkeyhtiöiden on laskettava niin sanottu vakavaraisuusraja, johon vaikuttaa yhtiön sijoitukset ja vastuuvélka. Eläkelaitoksen toimintapääomalla tarkoitetaan sitä määrää, jolla eläkelaitoksen varojen on katsottava ylittävän yhtiön velat. Lainsäädännössä toimintapääoman riittävyttä mitataan vakavaraisuusrajan avulla ja raja määritellään seuraavasti (lain 17 §):

”Vakavaraisuusraja määritellään riskiteoreettisesti vastaamaan yhden vuoden toimintapääoman tarvetta ottaen huomioon sijoitusten jakautuminen eri omaisuuslajeihin. Vakavaraisuusrajan laskemisesta säädetään tarkemmin eläkelaitoksen vakavaraisuusrajan laskemisesta ja vastuuvélan kattamisesta annetussa laissa.”

Lain eläkelaitoksen vakavaraisuudesta (2006) mukaan sijoitukset tulee luokitella siten, että sijoitus luokitellaan ensin oikeudellisen muodon mukaiseen luokkaan. Mikäli luokka ei kuitenkaan analyysin perusteella vastaa sijoituksen todellista riskiä, on se siirrettävä riskiä parhaiten vastaavaan luokkaan. Vakava-

raisuusvaatimus on sitä korkeampi mitä riskillisempiä eläkelaitoksen sijoitukset ovat.

Vakavaraisuusluokittelun (lain 6 §) ryhmät jakautuvat viiteen pääluokkaan ja edelleen 20 alaluokkaan. Kullekin näistä on laissa määritelty tuotto-odotukset ja riskiparametrit. Luokkien väliset korrelaatiot on määritelty viidelle pääryhmälle ja alaryhmien oletetaan olevan täysin korreloituneita pääryhmän sisällä (korrelaatio 1). Vakavaraisuuslaissa määritellyt sijoitusluokat ovat taulukossa 1. Korrelaatiot ovat taulukossa 2. Rahamarkkinavälineillä tarkoitetaan alle vuoden pituisia velkasitoumuksia.

TAULUKKO 1 Sijoitusluokat parametreineen (Laki 1114/8.12.2006)

Sijoitusluokat/alaluokat		Tuotto	Riski
I Rahamarkkinavälineet	1) valtion velkasitoumus (ETA/OECD)*	3,0	0,8
	2) pankkien sijoitustodistus (ETA/OECD)*	3,5	1,5
	3) yritystodistus (ETA/OECD)*	4,0	2,5
	4) muut rahamarkkina-sijoitukset*	3,5	3,0
II Joukkovelkakirjat	1) T- ja S-lainat*	4,5	2,0
	2) valtio (ETA/OECD)*	5,0	5,0
	3) valtio (OECD:n ulkopuoliset)*	6,0	6,0
	4) yritys (ETA/OECD)*	6,0	6,0
	5) muut jvk-sijoitukset*	7,0	9,0
III Kiinteistöt	1) asunnot (ETA/OECD)	6,0	7,0
	2) liike- tms kiinteistöt (ETA/OECD)	7,0	10,0
	3) muut kiinteistöt (ETA/OECD)	7,0	11,0
	4) muut kiinteistöt (OECD:n ulkopuoliset)	8,5	15,0
IV Osakkeet	1) noteeratut (ETA/OECD)	8,0	18,0
	2) noteeraamattomat (ETA/OECD)	10,0	24,0
	3) muut osakkeet	11,0	28,0
V Erinäiset sijoitukset	1) valuuttamääräiset rm-sijoitukset	4,0	4,5
	2) valuuttamääräiset jvk-sijoitukset	6,5	7,5
	3) hyödykkeet	8,0	20,0
	4) muut sijoitukset	12,0	34,0

*Euromääräiset tai täysin valuuttasuojatut sijoitukset.

Vakavaraisuussääntöjen nojalla työeläkelaitoksella on oltava sitä enemmän vakavaraisuutta, mitä enemmän sen sijoitukset painottuvat riskillisiin sijoituksiin. Edellä sanotuista pääryhmistä I luokka on (pääosin) vähäriskillisin ja V (pääosin) riskillisin. Vuoden 2007 sijoitusuudistuksen yhteydessä vakavaraisuuslaskentaa koskeviin sääntöihin sisällytettiin osaketuottosidonnainen lisävakuutusvastuu, minkä nojalla osa sijoitusluokan IV riskeistä on siirretty yksittäiseltä eläkelaitokselta järjestelmätasolle. Tämä sallii työeläkelaitosten keskimäärin allokoivan suuremman osan sijoitusomaisuudestaan osakkeisiin kuin ilman kyseistä mekanismia. (STM, 2010b)

Eläkelaitoksen vakavaraisuusraja on Value-at-Risk -pohjainen ja sen tarkoituksena on rajata vararikkotodennäköisyys 2,5 %:iin yhden vuoden ajanjaksolla. Vakavaraisuusraja (lain 10 §) lasketaan kertomalla vastuovelka vakavaraisuuspa-

rametrillä p , joka saadaan kaavasta

$$p = \left[- \left(\sum_i \beta_i \mu_i - t \right) + 1,96 \sqrt{\sum_{i,j} \beta_i \beta_j \sigma_i \sigma_j \rho_{ij} + \lambda^2 S^2} \right] / 100. \quad (2.1)$$

Kaavassa β_i on sijoitusryhmään i kuuluvien sijoitusten osuus, missä kuitenkin sijoitusryhmän IV osuudesta vähennetään ns. osaketuottosidonaisuuden aste $\lambda = 0,1$. Sijoitusryhmän tuoton odotusarvo, μ_i , ja hajonta, σ_i , saadaan taulukosta 1 alaryhmien tuottoparametrien ja riskiparametrien arvoista alaryhmiin luokiteltujen sijoitusten osuuksilla painotettuina keskiarvoina. Sijoitusryhmien i ja j väliset korrelaatiot, ρ_{ij} , ovat taulukossa 2. Eläkelaitoksen osaketuottojen poikkeama eläkelaitosten osaketuottojen keskimäärästä (S) saa kaavassa arvon 4,5 % ja t on eläkevastuun täydennyskerroin lisätynä vastuuvelan diskonttokorolla (tässä tutkimuksessa 4,1 %). Parametrin p arvo on kuitenkin vähintään 0,05.

TAULUKKO 2 Sijoitusluokkien väliset korrelaatiot (Laki 1114/8.12.2006)

	I	II	III	IV	V
I	1	0,3	0	0	0,2
II	0,3	1	0	0	0,2
III	0	0	1	0,4	0
IV	0	0	0,4	1	0
V	0,2	0,2	0	0	1

Kaava koostuu kahdesta osiosta: laissa määritettyjen tuotto-odotusten mukainen ylituotto ($\sum \beta_i \mu_i - t$) suhteessa tuottovaatimukseen ja laissa määritettyjen riskiparametrien mukainen riskitermi $1,96 \sqrt{\sum \beta_i \beta_j \sigma_i \sigma_j \rho_{ij} + \lambda^2 S^2}$, joka kuvaa sijoituskohteiden luokittelun perusteella laskettavaa salkkuvolatiliteettiä kerrottuna kertoimella 1,96. Kerroin vastaa 97,5 % turvaavuustasoa olettaessa, että tuotot ovat normaalijakautuneita. Toisin sanoen, vakavaraisuus on sellaisella tasolla, että yhden vuoden aikahorisontilla yhtiön todennäköisyys joutua maksukyvyttömäksi on 2,5 %.

Lisäksi laissa määritetään säännöstö ja rajoitteet vastuuvelan kattamista varten. Työeläkelaitoksia koskee yleissäännös sijoitusriskien hajauttamisesta. Eläkelaitoksen koko omaisuus kelpaa pääsääntöisesti vastuuvelan katteeksi, mutta riskienhallinnallisista syistä joidenkin omaisuuserien käyttämistä vastuuvelan katteena on rajoitettu. Ns. katesäännösten tarkoituksena on täydentää vakavaraisuussäännöstöä rajoittamalla sijoitusten likviditeetti-, keskittymä-, luotto- ja vastapuoliriskejä sekä valuuttariskiä. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että vastuuvelan katteena käytettävien sijoitusten osalta, kullakin luokalla on yläraja, jota suurempaa osaa eläkeyhtiö ei saa sijoituksistaan siihen allokoida. Esimerkkejä katesäännöksistä on, että enintään 20 prosenttia vastuuvelasta voidaan kattaa muilla kuin euromääräisillä sijoituksilla.

2.2 Kehittämistarpeet

Nykyisistä vakavaraisuussäännöksistä on selvästi löydettävissä useita puutteita. Ensimmäinen selkeä ongelma on oikeudellisen muodon mukainen luokittelu, jossa Vakuutusvalvontavirasto (2008) on havainnut horjuvuutta eläkeyhtiöiden välillä. Tämä voi tarkoittaa sitä, että yhtiöt saattavat luokitella samoja sijoituksia eri luokkiin. Toisaalta riskillisiä sijoituksia saatetaan luokitella vähäriskisiin luokkiin, joka antaa väärän kuvan oikeudellisen muodon mukaisesta vakavaraisuusraja- ta. Luokitteluun liittyy myös ongelma siitä, että finanssimarkkinat uudistuvat jatkuvasti. Viime vuosina työeläkelaitokset ovat laajemmin sijoittaneet välillisiin sijoituksiin ja uusiin sijoitusinstrumentteihin, joilla ei ole nykyisessä kehikossa sijoituksen oikeudelliseen muotoon perustuvaa luokkaa (esim. hedge-rahastot). Tämän takia todellisen riskin mukaisen luokittelu on aikaisempaa merkittävämpää. Toisaalta kaikille sijoituksille ei myöskään löydy todellista riskiä riittävän hyvin vastaavaa luokkaa. (STM 2010a; 2010b)

Sijoitusten luokittelua vaikeuttaa myös se, että vakavaraisuussäntelyssä ei ole huomioitu riittävästi kaikkia riskilajeja. Nykyjärjestelmästä puuttuvat mm. vastapuoli-, keskittymä- ja likviditeettiriskit. Näitä riskilajeja säännellään tällä hetkellä katesäännöksillä. Huomattavia puutteita on myös, että luottoluokitus- ten vaikutuksia ei huomioida ja valuuttariskien käsittely on eriävä osakkeiden ja bondien kesken. Sijoituksiin mahdollisesti liittyvää velkavipua ei huomioida ollenkaan. (VVV, 2008; STM, 2010a)

Finanssimarkkinoiden kehitys on johtanut siihen, että nykyinen vakavarai- suuskehikko ei mittaa sijoitustoiminnan riskejä riittävällä tavalla. Mekanismin uudistaminen on siten perusteltua. Kehikkoon tulisi lisätä sellaisten sijoituksiin liittyvien riskien arviointia, jotka eivät voimassa olevassa sääntelyssä ole huo- mioituna. Myös katesääntöjen käytöstä on tarkoituksenmukaista luopua siltä osin kun niillä säänneltävät riskit voidaan ottaa huomioon vakavaraisuusvaatimuksen laskennassa. (STM 2010a; 2010b)

Vakavaraisuusparametria 2.1 voidaan kritisoida myös akateemisten tutki- musten näkökulmasta. Yleisesti tunnettu empiirinen tutkimustulos on, että sijoi- tustoiminnan tuotot eivät ole normaalijakautuneita. Lisäksi luokitteluparametrit taulukossa 1 ovat kiinteät, vaikka volatiilisuuden tiedetään olevan ajassa muuttu- va (heteroskedastisuus). Myös oletus täydellisestä korrelaatiosta luokkien välillä on epärealistinen (vaikkakin turvaava).

Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön (2010a; 2010b) selvitykset ehdottavat vakava- raisuusmekanismin uudistusta, joka perustuisi mm. seuraaville lähtökohdille:

1. Turvaavuustaso on valittava työeläkejärjestelmän tavoitteiden mukaisesti.
2. Uusi vakavaraisuusmekanismi huomioisi kaikki olennaiset työeläkevakuu- tuslaitoksen sijoitustoiminnan riskit sekä vakuutusriskit asianmukaisesti. Mekanismin tulisi tunnistaa riskilähteet ja niiden luonne sekä mitata riskejä johdonmukaisella tavalla.
3. Vakavaraisuusmekanismin tulisi kattaa markkinariskit (korkoriski, osakeris- ki, kiinteistöriski, luottomarginaaliriski, valuuttariski) sekä nykyisessä vaka- varaisuussäntelyssä riittämättömästi säännellyt riskit, kuten vastapuoli-,

keskittymä- ja likviditeettiriskit ja sijoitukseen liittyvä mahdollinen velkavipu. Johdannaisriskit ja rahastosijoitusten riskit tulisi käsitellä kattavasti ja mekanismin olisi kyettävä huomioimaan finanssimarkkinoilla kehittyvät uudet sijoitusinstrumentit.

4. Uuden mekanismin laadinnan yhteydessä tutkittaisiin myös Solvenssi II -direktiivistä mukautetun stressitestipohjaisen riskien mittaustavan hyödyntämismahdollisuudet työeläkelaitosten vakavaraisuusvaatimusten määrittämisessä.
5. Vakavaraisuusraja on määritettävä siten, että se on riittävän yksiselitteinen sekä eläkelaitoksen että valvojan näkökulmasta.
6. Vakavaraisuusmekanismiin sisältyisi rahoitusmarkkinoiden myötäsyklisyyttä vaimentavia elementtejä. Uutta mekanismia laadittaessa olisi arvioitava se, voisiko vakavaraisuusmekanismiin sisällyttää rahoitusmarkkinoiden sykleistä riippuvia elementtejä niin, että vakavaraisuusvaatimus joustaa alaspäin laskusuhdanteessa ja ylöspäin noususuhdanteessa. Tavoitteena olisi tukea tuottavaa ja turvaavaa sijoitustoimintaa pitkällä ajanjaksolla sijoitusmarkkinoiden syklit huomioon ottaen.
7. Vakavaraisuusmekanismin parametrien päivittäminen olisi mahdollisuuksien mukaan tehtävä joustavaksi siten, että markkinakehityksen trendimuutokset on mahdollista huomioida.

Molemmat työryhmät ovat tehneet myös ehdotuksia vakavaraisuussäännösten uusimiseksi lyhyellä aikavälillä. Vaikka alle vuoden pituiset joukkovelkakirjalainat vastaavat etuoikeudeltaan ja riskeiltään rahamarkkinasijoituksia, ei niitä kuitenkaan luokitella lain mukaan rahamarkkinasijoituksiksi. Työryhmät ehdottavat tämän muuttamista siten, että nämä luokiteltaisiin jatkossa luokkaan I. Lisäksi työryhmät ehdottavat, että vakavaraisuussäännöstössä siirryttäisiin joukkovelkakirjojen osalta liikkeeseenlaskijan luottoluokituksen huomioivaan luokitteluun. Vakavaraisuussäännöksiin on tulossa muutoksia 31.3.2011 alkaen, jolloin myös ajanmukaistetaan taulukoiden 1 ja 2 parametrien arvoja (Fiva, 2011).

Uudistukset huomioidaan myös tässä tutkimuksessa käyttämällä uudistettuja valtioneuvoston asetuksen 248/17.3.2011 mukaisia parametreja (taulukot 3 ja 30). Alaluokkien täydellisestä korrelaatiosta ollaan osittain luovuttu ja osaketuotosidonnaisuuden aste λ vähennetään luokan IV sijasta alaluokasta IV.1. Uudistuksien seurauksena pääluokan II alaluokat ovat muuttuneet lain 219/11.3.2011 mukaisiksi ja luottoluokat määräytyvät Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen 249/17.3.2011 mukaan. Taulukossa 3 luokitus 1 tarkoittaa luottoluokitusta AAA-AA, luokitus 2 luottoluokitusta A-BBB ja luokitus 3 luottoluokitusta BB tai alle.

TAULUKKO 3 Uudistetut sijoitusluokat parametreineen (Valtioneuvoston asetus 248/17.3.2011)

Sijoitusluokat/alaluokat		Tuotto	Riski
I Rahamarkkinavälineet	1) valtion velkasitoumus (ETA/OECD)*	3,0	0,6
	2) pankkien sijoitustodistus (ETA/OECD)*	3,5	0,8
	3) yritystodistus (ETA/OECD)*	4,0	1,5
	4) muut rahamarkkina-sijoitukset*	3,5	2,0
II Joukkovelkakirjat	1) T- ja S-lainat*	3,5	2,0
	2) valtio (luokitus 1)*	4,0	4,0
	3) muut (luokitus 1)*	4,5	5,0
	4) muut (luokitus 2)*	5,0	6,0
	5) muut (luokitus 3)*	6,0	10,0
III Kiinteistöt	1) asunnot (ETA/OECD)	6,0	7,0
	2) liike- tms kiinteistöt (ETA/OECD)	7,0	10,0
	3) muut kiinteistöt (ETA/OECD)	7,0	11,0
	4) muut kiinteistöt (OECD:n ulkopuoliset)	8,5	15,0
IV Osakkeet	1) noteeratut (ETA/OECD)	8,0	18,0
	2) noteeraamattomat (ETA/OECD)	10,0	24,0
	3) muut osakkeet	11,0	28,0
V Erinäiset sijoitukset	1) valuuttamääräiset rm-sijoitukset	4,0	6,5
	2) valuuttamääräiset jvk-sijoitukset	6,5	8,0
	3) hyödykkeet	8,0	20,0
	4) muut sijoitukset	12,0	34,0

*Euromääräiset tai täysin valuuttasuojatut sijoitukset.

2.3 Solvenssi II: markkinariskimoduuli

Solvenssi II:ssa pääomavaatimuksen laskeminen on huomattavasti monimutkaisempaa kuin nykyisissä vakavaraisuussäännöksissä. Sen lisäksi, että Solvenssi II:ssa lasketaan kaksi eri pääomavaatimusta, jakautuu niiden laskeminen useisiin eri moduuleihin ja alamoduuleihin. Tässä osiossa käydään läpi eläkeyhtiöitä mahdollisesti koskevan vakavaraisuusvaatimuksen laskenta. Osiossa noudatetaan CEIOPS:in (2010a) viimeisimpiä virallisia ohjeita pääomavaatimuksen laskemiseksi. Näihin voi mahdollisesti tulla myöhemmin muutoksia, sillä Solvenssi II on vielä joiltain osin kehityksen alla ja Euroopan komission viimeinen ohjeistus saadaan vasta kesäkuussa 2011 (EIOPA, 2011).

Solvenssi II -tyyppisissä säännöksissä yhtiö voi käyttää vakavaraisuuslaskentaan joko ns. standardimallia tai yhtiön omaa mallia. Tässä tutkimuksessa on aiheellista käyttää standardimallia. Solvenssi II:ssa vakuutusyhtiölle lasketaan kaksi eri pääomavaatimusta. Toinen näistä on nimeltään solvenssipääomavaatimus (engl. solvency capital requirement, jatkossa SCR), joka määrittelee pääomamäärän, joka vakuutuslaitoksella on oltava ennakoimattomien tappioiden kestämiseksi. Toinen pääomavaatimus on minimipääomavaatimus (engl. minimum capital requirement, MCR). Mikäli tämän tyyppisiä vaatimuksia sovellettaisiin Suomen työeläkeyhtiöihin, korvaisi SCR nykyisen vakavaraisuusrajan. Tässä

tutkimuksessa halutaan keskittyä SCR:n tarkasteluun.

Solvenssi II poikkeaa eläkeyhtiöiden nykykehikosta turvaavuustasoltaan. Myös SCR on Value-at-Risk -pohjainen ja sen tarkoitus on rajata vararikkotodennäköisyys 0,5 %:iin yhden vuoden aikajaksolla. SCR:n turvaavuus taso on siis 99,5 %, kun taas nykykehikossa turvaavuustaso on kevyempi 97,5 %. Jotta näitä kahta järjestelmää voidaan verrata keskenään, on Puranen (2011) kalibroinut standardimallin parametrit uudelleen vastaamaan 97,5 % tasoa. Purasen tutkimus noudattaa viimeisintä virallista kalibroitua, CEIOPS (2010b), joka on tehty QIS5-selvitystä (EIOPA, 2011) varten.

SCR:n laskenta jakautuu useisiin eri moduuleihin, jotka jakautuvat edelleen alamoduuleihin (CEIOPS, 2010a). Suomalaisten eläkeyhtiöiden vastuut ja liiketoiminta poikkeavat eurooppalaisista vakuutusyhtiöistä merkittävästi. Eläkeyhtiöillä ei ole vahinko- tai henkivakuutusvastuita, koska ne saavat lain mukaan harjoittaa vain lakisääteistä eläkevakuuttamista. Eläkeyhtiöille tulisikin sovellettavaksi luultavasti vain markkinariskimoduuli ja vastapuoliriskimoduuli. Vastapuoliriskimoduulin merkitys eläkelaitoksille olisi erittäin vähäinen, sillä ne eivät jälleenvakuuta sopimuksiaan. Vastapuoliriskit koskisivat lähinnä johdannaisopimuksia ja pankkitalletuksia. Koska kyseinen moduuli on QIS5:n perusteella erittäin monimutkainen käytännössä (EIOPA, 2011), saattaisi moduulin soveltaminen eläkejärjestelmään olla tarpeetonta eikä sitä huomioida tässä työssä.

Modulaarisessa lähestymistavassa kaikille moduuleille lasketaan ensin omat pääomavaatimukset, jotka yhdistetään lopuksi korrelaatiokertoimien avulla. Markkinariskimoduuli jakautuu edelleen kuuteen eri alamoduuliin. Korrelaatiokertoimien tarkoitus on huomioida hajautushyötyjä eri omaisuusluokkien välillä. Alamoduuleista käytetään jatkossa taulukon 4 mukaisia merkintöjä. (CEIOPS, 2010a)

TAULUKKO 4 Markkina- ja vastapuoliriskimoduulit

Markkinariskit	SCR_{mkt}
Korkoriskit	Mkt_{int}
Osakeriskit	Mkt_{eq}
Valuuttariskit	Mkt_{fx}
Kiinteistöriskit	Mkt_{prop}
Luottomarginaaliriskit	Mkt_{sp}
Keskittymäriskit	Mkt_{conc}
Vastapuoliriskit	SCR_{def}

Vakavaraisuussäännösten myötäsyklisyys aiheuttaa sen, että eläkelaitokset joutuvat sopeuttamaan sijoitusten riskitason markkinatilanteen mukaan, joka aiheuttaa esimerkiksi osakkeiden pakkomyyntejä osakemarkkinoiden laskiessa voimakkaasti. Tämän syklisyyden vähentämiseksi osakeriskimoduulissa on mukana niin sanottu kontrasyklinen vaimennustekijä (equity dampener), joka on kuitenkin edelleen kehitysvaiheessa. Eläkejärjestelmässä on jo syklejä tasoittavia mekanismeja, kuten osaketuottosidonnainen lisävakuutusvastuu, joten ei ole selvää miten syklejä vaimennettaisiin uudessa järjestelmässä. Kontrasyklisiä vaimentajaa ei oteta tähän työhön mukaan. (CEIOPS, 2010a,b; Puranen, 2011)

Solvenssi II:ssa bondeihin voi kohdistua korkoriskejä ja luottomarginaaliriskejä. Korkoriskimoduulin lähtökohtana on korkokäyrä. Korkokäyrällä tarkoitetaan niitä korkoja, joita markkinat käyttävät eri maturiteetin omaavien ”riskittömien” nollakuponkibondien diskonttaamiseen (nollakuponkikorkokäyrä, zero coupon yield curve). Korkokäyrää ei havaita markkinoilta suoraan, vaan se lasketaan bondien hinnoista. Luottomarginaaleilla (credit spread) tarkoitetaan puolestaan riskillisen bondin ja vastaavan maturiteetin omaavan riskittömän bondin korkojen välistä erotusta. Luottomarginaali on riskipremio, jonka sijoittajat vaativat korkeamman riskin omaavilta sijoituksilta. Empiirisissä tutkimuksissa riskittömällä bondilla tarkoitetaan yleensä valtion (esim. Saksa) velkakirjaa.

Kun markkinariskimoduulin ja vastapuoliriskimoduulin pääomavaatimukset on laskettu, yhdistetään ne kaavalla

$$SCR = \sqrt{SCR_{mkt}^2 + 2 \cdot Corr_{mkt,def} \cdot SCR_{mkt} \cdot SCR_{def} + SCR_{def}^2} \quad (2.2)$$

missä niiden välinen korrelaatiokerroin saa arvon 0,25.

Kun jokaisen alamoduulin pääomavaatimukset on laskettu, yhdistetään nämä markkinariskimoduulin pääomavaatimukseksi kaavalla

$$SCR_{mkt} = \sqrt{\sum_{i,j} Corr_{i,j} \cdot Mkt_i \cdot Mkt_j} \quad (2.3)$$

missä Mkt_i ja Mkt_j ovat alamoduuleiden i ja j pääomavaatimukset ja $Corr_{i,j}$ näiden välinen korrelaatio. Korrelaatiot ovat taulukossa 5.

TAULUKKO 5 Markkinariskimoduulin korrelaatiokertoimet

	Mkt_{int}	Mkt_{eq}	Mkt_{fx}	Mkt_{prop}	Mkt_{sp}	Mkt_{conc}
Mkt_{int}	1					
Mkt_{eq}	0,5/0	1				
Mkt_{fx}	0,5/0	0,75	1			
Mkt_{prop}	0,5/0	0,75	0,5	1		
Mkt_{sp}	0,25	0,25	0,25	0,25	1	
Mkt_{conc}	0	0	0	0	0	1

Korkoriskimoduulin piiriin kuuluvat kaikki sijoitukset ja vastuut, joiden arvoon korkokäyrän muutokset vaikuttavat. Tämä koskee mm. bondisijoituksia (fixed-income), lainoja ja korkojohdannaisia. Vastuiden osalta korkoriskimoduuli ei kuitenkaan vaikuttaisi eläkeyhtiöihin, sillä vastuuvelan diskonttaamiseen ei käytetä markkinakorkoja. (CEIOPS, 2010a; Laakso, 2009)

Moduulin pääomavaatimus lasketaan huomioimalla kaksi eri skenaariota. Ensimmäisessä skenaariossa korkokäyrää nostetaan ja toisessa lasketaan ennalta määrättyjen stressitasojen verran (taulukko 6). Sitten lasketaan portfolion arvomuutos kummassakin skenaariossa ja pääomavaatimukseksi tulee arvomuutoksesta suurempi. Esimerkiksi, jos 15 vuoden markkinakorko on $y(15)$, niin korkokäyrän noususkenaariossa vastaava ”stressattu” korkotaso on $y(15) \cdot (1 + 0,25)$. (CEIOPS, 2010a)

Alamoduulin pääomavaatimus saadaan kaavasta

$$\text{Mkt}_{\text{int}} = \max \left(\text{Mkt}_{\text{int}}^{\text{up}}, \text{Mkt}_{\text{int}}^{\text{down}}, 0 \right), \quad (2.4)$$

missä $\text{Mkt}_{\text{int}}^{\text{up}}$ on sijoitusten arvonmuutos korkokäyrän noustessa ja $\text{Mkt}_{\text{int}}^{\text{down}}$ on sijoitusten arvonmuutos korkokäyrän laskiessa. (CEIOPS, 2010a; Puranen, 2011)

TAULUKKO 6 Korkokäyrän suhteelliset muutokset (%) (Puranen, 2011)

Maturiteetti	Ylös	Alas
0,25	64	-62
0,5	64	-62
1	61	-62
2	58	-62
3	56	-53
4	52	-47
5	49	-42
6	44	-39
7	41	-36
8	38	-33
9	35	-30
10	33	-28
11	30	-27
12	29	-26
13	27	-25
14	26	-25
15	25	-24
16	23	-24
17	22	-24
18	22	-25
19	21	-25
20	21	-26
21	20	-27
22	20	-27
23	20	-28
24	20	-28
25	20	-28
30	20	-28

Osakeriskimoduulissa osakesijoitukset jaetaan ns. tavanomaisiin osakesijoituksiin ("global" equities) ja vaihtoehtoihin sijoituksiin ("other" equities). Ensimmäiseen näistä lukeutuvat EEA- ja OECD-maiden pörssilistautuneet osakkeet. Toiseen kategoriaan kuuluvat EEA- ja OECD-maiden ulkopuolella noteeratut osakkeet, noteeraamattomat osakkeet ja pääomasijoitukset, sekä hedge-rahastot, hyödykkeet ja muut sijoitukset, joita ei luokitella mihinkään muuhun alamoduuliin. (CEIOPS, 2010a)

Molemmille kategorioille lasketaan ensin oma pääomavaatimus $\text{Mkt}_{\text{eq,global}}$ ja $\text{Mkt}_{\text{eq,others}}$ niiden arvonmuutoksena. Kategorialle "golbal" arvonmuutos on

30 % ja kategorialle "others" 36 %¹. Lasketut pääomavaatimukset yhdistetään kaavalla

$$\text{Mkt}_{\text{eq}} = \sqrt{\text{Mkt}_{\text{eq,global}}^2 + 2 \cdot \text{Corr}_{\text{global,others}} \cdot \text{Mkt}_{\text{eq,global}} \cdot \text{Mkt}_{\text{eq,others}} + \text{Mkt}_{\text{eq,others}}^2} \quad (2.5)$$

Kategorioiden välinen korrelaatio on 0,75.

Valuuttariskimoduuli koskee kaikkia sijoituksia, jotka mitataan muussa valuutassa kuin euro ja joita ei ole suojattu valuuttakurssien muutoksilta. Muut moduulit, kuten osakeriskimoduuli, on suunniteltu siten, etteivät ne huomioi valuuttariskejä. Valuuttariskimoduulin pääomavaatimus lasketaan siis ikäänkuin näiden päälle. Moduulissa käsitellään kahta skenaariota. Ensimmäinen skenaario on vieraan valuutan välitön vahvistuminen euroa vastaan ja toinen skenaario on vieraan valuutan välitön heikkeneminen. Molemmissa skenaarioissa lasketaan sijoitusten arvonmuutos $\text{Mkt}_{\text{fx},C}^{\text{Up}}$ ja $\text{Mkt}_{\text{fx},C}^{\text{Down}}$ jokaiselle valuutalle C. Näistä valitaan suurempi ja saadut termit lasketaan lopuksi yhteen. Formaali kaava on siis muotoa

$$\text{Mkt}_{\text{fx}} = \sum_C \max \left(\text{Mkt}_{\text{fx},C}^{\text{Up}}, \text{Mkt}_{\text{fx},C}^{\text{Down}}, 0 \right) \quad (2.6)$$

Valuuttakurssien muutosten stressitasot ovat 20 % poiketen kuitenkin euroon sidottujen valuuttojen kohdalla. (CEIOPS, 2010a; Puranen, 2011)

Kiinteistösijoitusten pääomavaatimus on yksinkertaisesti niiden arvon puuttaminen 20 %:lla. Moduulin piiriin kuuluvat kaikki sijoitukset maa-alueisiin ja rakennuksiin. Lisäksi huomioidaan yhtiön omassa käytössä olevat kiinteistöt, sekä epäsuorat sijoitukset kiinteistöyrityksiin ja -rahastoihin. Näistä on myös joitakin poikkeuksia, jotka tulee luokitella osakeriskimoduulin piiriin (katso tarkemmin CEIOPS, 2010a).

Alamoduuleista monimutkaisin puolestaan lienee korkomarginaaliriskit, joka koskee esimerkiksi yrityslainoja, erilaisia velkasitoumuksia, hybridilainaa, talletuksia luottolaitoksiin, strukturoituja luottotuotteita (esim. ABS) ja luottojohdannaisia (esim. CDO, CDS), sekä muita sijoitusinstrumentteja, joihin kohdistuu riski korkomarginaalien muutoksista. Moduulia sovelletaan myös osakkeiksi muuntuviin vaihtovelkakirjalainoihin (convertible bond), joihin sovelletaan lisäksi osakeriskimoduulia. Moduulia ei sovelleta kuitenkaan ETA-maiden valtioiden velkoihin, tai velkoihin, jotka ovat ETA-maan takaamia sen omassa valuutassa.

Moduulissa lasketaan kolme erillistä osaa: bondien, strukturoitujen luottotuotteiden ja luottojohdannaisien pääomavaatimukset. Kun edellä mainitut palat on laskettu, saadaan luottomarginaaliriskien pääomavaatimus näiden summana

$$\text{Mkt}_{\text{sp}} = \text{Mkt}_{\text{sp}}^{\text{bonds}} + \text{Mkt}_{\text{sp}}^{\text{struc}} + \text{Mkt}_{\text{sp}}^{\text{cd}} \quad (2.7)$$

Koska kahden jälkimmäisen sijoitusluokan merkitys on eläkeyhtiöille niin pieni, ei niitä käsitellä tässä työssä tarkemmin.

Luottomarginaaliriskien osalta bondien pääomavaatimus lasketaan kertomalla kunkin instrumentin markkina-arvo sen modifioidulla duraatiolla ja riski-

¹ Kategoriaan "global" käytetään CEIOPS:in (2010a) kalibroimaa arvoa ja kategoriaan "others" Purasen (2011) kevyempää arvoa. Molemmista on vähennetty raportin CEIOPS (2010a) mukainen 9 %.

faktorilla $F(\cdot)$. Faktorin arvo määräytyy instrumentin luottoluokituksen perusteella ja sen tulkinta on luottomarginaalien leveneminen prosenttipisteissä. Tällöin sijoitusten arvonmuutos saadaan kaavasta

$$\text{Mkt}_{\text{sp}}^{\text{bonds}} = \sum_i \text{MV}_i \cdot \text{duration}_i \cdot F(\text{rating}_i), \quad (2.8)$$

missä MV_i on arvopaperin i markkina-arvo, duration_i sen modifioitu duraatio ja rating_i luottoluokitus². (CEIOPS, 2010a; Puranen, 2011)

Luottomarginaalien leveneminen $F(\cdot)$ saa taulukon 7 arvon luottoluokituksen mukaan. Esimerkiksi AAA-luokituksen omaavan bondin, jonka duraatio on kymmenen vuotta, tappioksi oletettaisiin näin $0,75 \% \cdot 10 = 7,5 \%$ sen markkina-arvosta. (CEIOPS, 2010a; Puranen, 2011)

TAULUKKO 7 Luottomarginaalien leveneminen prosenttipisteinä (Puranen, 2011)

Luottoluokitus	$F(\cdot)$
AAA	0,75
AA	1,0
A	1,3
BBB	2,5
BB	4,4
B tai huonompi	7,4
Luokittelematon	3

Keskittämäriskimoduulin lähtökohtana on se rahoitusteoriastakin tunnettu tosiasia, että hyvin hajautetun sijoitussalkun riskit ovat pienemmät, kuin huonosti hajautetun. Keskittämäriskeillä tarkoitetaan keskittymiä tiettyyn vastapuoleen, eli esimerkiksi maantieteellisiä tai toimialoittaisia keskittymiä ei huomioida. Moduulia sovelletaan kaikkiin niihin sijoituksiin, joihin sovelletaan joko osakeriski-, luottomarginaaliriski- tai kiinteistöriskimoduulia. Moduuli ei kuitenkaan koske niitä sijoituksia, jotka kuuluvat vastapuoliriskimoduulin piiriin välttämättä mahdolliset päällekkäisyydet. Tämä tarkoittaa, että esimerkiksi pankissa säilytettävä käteinen ei kuulu keskittämäriskien piiriin. (CEIOPS, 2010a)

Moduulin pääomavaatimuksen laskemiseksi sijoitukset jaetaan vastapuolitain. Jokaisen vastapuolen i osalta lasketaan altistuma E_i (exposure) vastapuolta koskevien sijoitusten summana. Esimerkiksi jos sijoituksiin kuuluu saman yhtiön X osakkeita ja velkakirjoja, sanotaan näiden yhteisarvoa altistumaksi yhtiöön X. Lisäksi jokaiselle vastapuolelle määritetään luokitus rating_i . Tämän jälkeen lasketaan liika-altistuma (excess exposure):

$$\text{XS}_i = \max \left(0; \frac{E_i}{\text{Assets}_{\text{xl}}} - \text{CT} \right), \quad (2.9)$$

² Kaava tulee siitä, että bondin markkina-arvon V muutosta voidaan approksimoida kaavalla $\Delta V \approx -V \cdot \text{mod.duraatio} \cdot \Delta y$, missä Δy on korkojen muutos. Koska riskittömän koron muutos huomioidaan jo korkoriskimoduulissa, tarkoittaa korkojen muutos tässä luottomarginaalien levenemistä.

missä $\text{Assets}_{x,l}$ on kaikkien moduulin piiriin kuuluvien sijoitusten yhteisarvo. Kaavassa CT on keskittymäraja (concentration treshold), joka riippuu luokituksesta. Esimerkiksi luokitukselle AAA raja on 3 %. Tämä tarkoittaa sitä, että vain ne altistumat, joiden osuus kaikista sijoituksista on yli keskittymärajan, ovat liika-altistumia ja aiheuttavat pääomavaatimuksia. Jokaisen vastapuolen keskittymäriski saadaan kertomalla liika-altistuma shokkiteijällä g_i , joka on luokituksesta riippuva säännösten määräämä parametri. Näin saadaan jokaiselle vastapuolelle oma pääomavaatimus $\text{Conc}_i = g_i \cdot X S_i$. Moduulin pääomavaatimus on tällöin³

$$\text{Mkt}_{\text{conc}} = \sqrt{\sum_i (\text{Conc}_i^2)}. \quad (2.10)$$

Eri markkinariskien pääomavaatimusten laskenta on tiivistetty taulukossa 8.

TAULUKKO 8 Markkinariskien pääomavaatimusten laskeminen

Alamoduuli		Laskentatapa
Korkoriskit	Mkt_{int}	Sijoitusten arvonmuutos lasketaan korkokäyrän noustessa ja lasiessa. Näistä valitaan suurempi.
Osakeriskit	Mkt_{eq}	Sekä tavanomaisille, että vaihtoehtoisille osakesijoituksille lasketaan oma pääomavaatimus prosenttiosuutena niiden markkina-arvosta. Nämä yhdistetään korrelaatiokertoimen avulla.
Valuuttariskit	Mkt_{fx}	Sijoituksille lasketaan oma pääomavaatimus prosenttiosuutena sijoitusten markkina-arvosta jokaiselle valuutalle erikseen. Saadut vaatimukset summataan yhteen.
Kiinteistöriskit	Mkt_{prop}	Pääomavaatimus on prosenttiosuus markkina-arvosta.
Luottomarginaaliriskit	Mkt_{sp}	Bondeille, strukturoiduille luottoinstrumenteille ja luottojohdannaisille lasketaan omat pääomavaatimukset, jotka summataan yhteen. Bondien pääomavaatimus on niiden arvonmuutos luottomarginaalien leventyessä.
Keskittymäriskit	Mkt_{conc}	Kaikille vastapuolille lasketaan liika-altistuma, joka kerrotaan shokkiteijällä. Nämä vaatimukset yhdistetään.

Nykyjärjestelmässä ja Solvenssi II:ssa on siis erittäin merkittäviä eroja. Solvenssi II:ssa pääomavaatimusta ei enää voida laskea yksinkertaisella kaavalla, vaan siinä käytetään modulaarista lähestymistapaa, jossa sijoituksille lasketaan

³ Moduulin pääomavaatimuksen laskeminen vaatii yksityiskohtaisia tietoja eläkelaitosten sijoituksista eikä sitä voida tehdä tässä työssä, joten moduulin vaatimus oletetaan jatkossa olevan 1 % sijoitusvarallisuuden kokonaisarvosta. QIS5:n nojalla moduulin merkitys on luultavasti selvästi pienempikin (EIOPA, 2011).

useita pääomavaatimuksia niiden sisältämien riskien mukaan. Tärkeää on huomata, että sama instrumentti voi kuulua useaan eri moduulin piiriin. Esimerkiksi yhdysvaltain dollarissa noteerattava bondi sisältää sekä valuutta-, korko-, että luottomarginaaliriskiä.

Solvenssi II pystyy paikkaamaan useita nykyjärjestelmän puutteita ja vastaamaan edellisessä osiossa käytyihin uudistuksen lähtökohtiin. Tärkeimpinä näistä on, että Solvenssi II huomioi kaikki kohdan 3 riskit (korko-, osake-, kiinteistö-, luottomarginaali-, valuutta-, vastapuoli-, keskittymä- ja likviditeettiriskit). Lisäksi Solvenssi II:ssa huomioidaan velkavipu (korkoriskimoduuli) ja johdannaisriskit (osakeriski-, luottomarginaaliriski- ja vastapuoliriskimoduuli). Erityisesti johdannaisten arvonmuutokset voidaan approksimaatioiden sijasta laskea tarkasti.

Rahastosijoitukset otetaan myös huomioon, sillä ne asetetaan niitä vastaavaan riskimoduuliin. Rahasto voidaan jakaa myös useaan moduuliin sen sisältämien sijoitusten perusteella. Tällä on suorilla laadullisia vaikutuksia vakuutusyhtiöiden sijoitustoimintaan. Jaoittelun tekemiseksi tarvitaan rahastojen käyttämistä instrumenteista tarkkojakin yksityiskohtia. Tästä käytetään Solvenssi II:ssa nimitystä "look-through approach" ja se tarkoittaa, että kaikkien epäsuorien sijoitusten instrumentit tulee käydä läpi, kun se on mahdollista. Koska tämän käytännön toteutus on hankalaa (EIOPA, 2011), on selvää, että Solvenssi II tulee vähentämään eurooppalaisten vakuutusyhtiöiden välillisiä sijoituksia⁴ ja kannustaa suoriin sijoituksiin. Toisaalta euroalueen ulkopuolelle sijoitetaan tyypillisesti rahastojen kautta, joten Solvenssi II saattaa myös muuttaa sijoitusten alueellista jakaumaa.

Kyseiseen sijoitusten läpikäyntiin liittyy läheisesti keskittymäriski- ja vastapuoliriskimoduulit. Koska kyseisiä riskejä ei huomioida nykyjärjestelmässä⁵, voidaan sanoa, että Solvenssi II kannustaa nykyjärjestelmää enemmän sijoitusten hajauttamiseen. Tämä ei kuitenkaan aina ole mahdollista esimerkiksi kustannustehokkuuden takia. QIS5-selvityksen (EIOPA, 2011) nojalla keskittymäriskimoduuli rankaisee eniten pienempiä vakuutusyhtiöitä, joten kyseisen moduulin soveltamisella eläkejärjestelmään olisi selvä kilpailua haittaava vaikutus.

Ehkä suurin yksittäinen ero nykyjärjestelmään on valuuttariskimoduuli. Koska moduulin pääomavaatimus on melko korkea, on selvää, että tämän tyyppinen vakavaraisuuskehikko tulisi alentamaan euroalueen ulkopuolisia sijoituksia. Kaikkien moduulien pääomavaatimuksia voidaan Solvenssi II:ssa alentaa käyttämällä johdannaissopimuksia (risk mitigation). Solvenssi II saattaisikin lisätä erityisesti valuuttasuojauksen käyttöä. Bondien korkomarginaaliriskien aiheuttamia pääomavaatimuksia voidaan puolestaan alentaa erilaisilla luottojohdannaisilla.

Sijoitusten jaoittelu moduuleihin niiden käsittämien riskien mukaan tekee Solvenssi II:sta nykyjärjestelmää yksikäsitteisemmän (kohta 5), mutta monimutkaisemman. Moduuleita on mahdollista lisätä tarvittaessa ja Solvenssi II:n tyyppisissä säännöksissä yhtiöiden eriävät käytännöt sijoitusten luokittelussa luultavasti poistuisivat. Lisäksi on hyvä kiinnittää huomiota bondisijoitusten luokitteluun sekä maturiteeteittain, että luottoluokittain, joka asettaa haasteita sijoitustuottojen mallille. Myös tähän palataan työn myöhemmissä osissa.

⁴ Toisaalta Solvenssi II tulee lisäämään rahastojen avoimuutta.

⁵ Tarkalleen ottaen nykyjärjestelmässä yli 5 %:in keskittymät yksittäiseen sijoituskohteeseen lisäävät kyseisen kohteen riskiparametria.

3 KIRJALLISUUSKATSAUS SKENAARIOSIMULOINTIIN JA TALOUSMUUTTUIJEN VÄLISIIN RIIPPUVUUKSIIN

3.1 Skenaariosimulointi

Simulointimalleilla on pitkät perinteet vakuutusosalalla ja erityisesti vakuutusmatemaattisissa soveluuksissa. Eräs tunnetuimmista esimerkeistä on Pentikäinen et al. (1989). Myös tärkeimmät varhaiset sijoitustuottomallit on kehitetty pääasiallisesti vakuutusmatemaattiseen käyttöön, kuten kuuluisa Wilkie (1986, 1995). Sittenkin metodologian käyttö on levinnyt laajemminkin sijoitustoimintaan ja talousskenaarioiden generointi on kehittynyt omaksi tutkimusalakseen ja herättänyt myös ekonometrikoiden mielenkiinnon. Tärkeimpiä sovelluskohteita ovat riskienhallinta, varojen ja vastuuden hallinta (Asset-Liability Management, ALM) ja strateginen sijoitustoiminta (Strategic Asset Allocation, SAA). Sovelluskohde vaikuttaa ratkaisevasti mallin spesifointiin. Tässä osiossa esittelemme joitakin aiempia tutkimuksia keskittyen erityisesti pitkän aikavälin sijoitustuottoja kuvaaviin malleihin. Osion kirjallisuutta pyritään hyödyntämään tutkimuksen myöhemmissä osissa.

Koska moniulotteiset aikasarjamenetelmät (VAR, VECM, MGARCH) sopivat hyvin talousmuuttujien dynaamisten riippuvuussuhteiden kuvaamiseen, ovat ne hyvä lähtökohta myös skenaariosimulointiin¹. VARMA-prosessien teoria ja soveltaminen on hankalaa erityisesti parametrien yksikäsitteisyysongelmien vuoksi. Niitä näkeekin sovellettavan melko harvoin ja VARMA-metodologia rajataan myös tämän tutkimuksen ulkopuolelle. Monimuuttujamallien suurimpia heikkouksia on parametrien suuri määrä, joka korostuu kun muuttujia on paljon ja aineistoa suhteellisen vähän (kuten tässä tutkimuksessa). Tämä tulee olemaan tärkein tekijä sijoitustuottomallin kehittämisessä koko loppututkielman ajan. Ongelma on erityisen suuri MGARCH-malleissa, joihin liittyy myös useita muita vakavia heikkouksia, kuten parametrien konvergoitongelmat. Hyviä katsauksia MGARCH-metodologiaan ja käytännön ongelmiin ovat laatineet mm. Brooks et al.

¹ VAR-mallien perusteena on erityisesti Simsin (1980) kritiikki.

(2003) ja Bauwens et al. (2006)². Heteroskedastisuuden tutkiminen rajataan täten jo alussa tutkimusmetodologiasta pois. Myös muunlaisia skenaariosimulaattoreita on kehitetty, kuten skenaariopuut ja diffuusiomallit, mutta niitä ei tarkastella tässä työssä.

VAR- ja VECM-mallit ovat kasvattaneet suosiotaan viimeisen viidentoista vuoden aikana, ja muodostuneet taloudellisen päätöksenteon työhevosiksi. Virheenkorjausmallin esittelivät Engle & Granger (1987) ja estimointimenetelmien ja tilastollisten testien kehitys on viime vuosikymmeninä ollut merkittävää. Esimerkiksi useat keskuspankit käyttävät niitä politiikan vaikutusten analysointiin sekä talousennustamiseen (Anderson et al., 2002; Eitrheim et al., 1999; Koivu et al., 2005). Metodologian perusteita kerrataan liitteessä 1. Talousskenaario- ja sijoitustuottomallien kirjallisuudessa yleisimmin käytetty malli on VAR(1).

Tässä kirjallisuuskatsauksessa keskitytään erityisesti eläkeyhtiöille kehitettyihin soveltaviin malleihin silmällä pitäen tutkimuksen tarpeita. Kiinnostuneelle lukijalle on kuitenkin hyvä mainita myös joitakin tärkeitä tutkimuksia aihepiiriin liittyen. VAR-muotoisia sijoitustuottomalleja ovat esittäneet Campbell & Viceira (2005) ja Campbell et al. (2004, 2003), jotka linkittävät metodologian klassiseen portfolion optimointiongelmaan. Strategiseen sijoitustoimintaan skenaariosimuloinnin yhdistävät merkittävät tutkimukset Markowitz & Perold (1981), Jamshidian & Zhu (1997), Brennan et al. (1997), ja Cesari & Cremonini (2003). Skenaariosimulointi on tuonut myös uusia näkökulmia taloustieteeseen, ja eräiden varhaisten eläkerahastoille kehitettyjen mallien antamat tulokset ovat olleet niin perustavaa laatua, että aiheetta on käsitelty Journal of Financen erikoisjulkaisussa artikkeleissa Kingsland (1982), Winklevoss (1982), Sharpe (1982) ja Tepper (1982).

Mielenkiintoinen teos ESG-malleista on Steehouwer (2005), joka tekee erittäin laajan katsauksen VAR-pohjaisien mallien kehittämiseen, käyden läpi talousmuuttujien empiirisiä ominaisuuksia, VAR-mallien estimointiin, mallin valintaan ja kalibrointiin liittyviä aiheita. Erityisen mielenkiintoisia tutkimuksia ovat myös Boender (1997) ja Kouwenberg (2001), joissa VAR-metodologiaa sovelletaan hollantilaisien eläkerahastojen ALM-ongelmiin. Myös suomalaisille eläkeyhtiöille on esitetty sijoitustuottomalleja, joita on tyypillisesti käytetty selvittämään eläkejärjestelmän eri uudistusten vaikutuksia. Varhaisin näistä lienee Ranteen (1995; 1999) tutkimus. Tätä tutkimusta voidaan pitää siinä mielessä perinteiden jatkajana ja malleista tarkastellaankin uudempia versioita.

Tärkeää sijoitustuottomallin kehittämisessä on valita oikeat muuttujat, jotka vaikuttavat eläkeyhtiön sijoitustuottoihin. Heikkilä (2004) on tutkinut eläkeyhtiöiden tuottovaatimusta. Heikkilä jakaa yhtiön sijoitukset neljään kategoriaan, lyhyen ja pitkän koron sijoitukset, osakkeet ja kiinteistöt. Lisäksi mallissa on erikseen mukana inflaatio, osingot ja vuokratuotot. Metodologiana käytetään tavanomaisia yksiulotteisia AR-prosesseja. Näiden puutteena on, että muuttujien välisiä poikkikorrelaatioita tai muita riippuvuuksia voidaan kuvata vain yksisuuntaisina. Mallissa kuvataankin vain inflaation vaikutus osaketuottoihin. Heikkilän tutkimuksessa on omana piirteensä se, että parametreja ei estimoida aineistosta, vaan ne asetetaan kokeilemalla siten, että simulaatioista saadaan realistisen oloisia.

Ensimmäinen moniulotteinen malli eläkeyhtiöille on Koivu et al. (2007). Tut-

² Mielenkiintoisena esimerkkinä VECM-MGARCH-spesifioinnista mainittakoon lukijalle Hilli et al. (2010).

kimuksessa pyritään ottamaan aiempaa paremmin huomioon muuttujien väliset pitkän aikavälin relaatiot käyttämällä VECM-metodologiaa. Uutena muuttujana aiempiin malleihin nähden on palkkaindeksi, kun taas inflaatio on jätetty pois. Hilli (2007) on laajentanut tätä tutkimusta ottamalla mukaan inflaation ja jakamalla osakesijoitukset neljään kategoriaan: suomalaiset, eurooppalaiset, amerikkalaiset ja aasialaiset osakkeet. Molemmissa tutkimuksissa parametrit estimoidaan aineistosta siten, että pitkän aikavälin käyttäytymisen määräävät virheenkorjaustermit saavat ns. käyttäjän syöttämät arvot. Tämän perusteena pidetään sitä, että käyttäjällä saattaa olla parempaa tietoa pitkän aikavälin tulevista trendeistä. Aineistossa esiintyvien historiallisten trendien, kuten korkotason alenemisen, saatetaan odottaa loppuvan. Koivu et al. (2007) valitsevat virheenkorjaustermin tasapainosuhteet yleisesti tunnettujen empiiristen tulosten perusteella, kuten korkojen keskiarvoon hakeutuvuus. Lisäksi virheenkorjaustermi voidaan usein johtaa talousteoriasta (Koivu et al., 2005).

Skenaariomalleissa ei parametrien valinnassa luoteta siis pelkästään historiallisesta aineistosta saatuihin estimaatteihin, vaan mallit kalibroidaan estimoinnin yhteydessä. Toinen esimerkki on Kouwenbergin (2001) tapa rajoittaa osake- ja bondituottojen yhtälöistä viiveiden kertoimet 0:ksi, jolloin tuotot noudattavat satunnaiskävelyä³. Virheenkorjaustermien lisäksi Koivu et al. (2007) ja Hilli (2007) valitsevat myös pitkän aikavälin trendejä kuvaavat parametrit asiantuntijamielipiteeseen ja tulevaisuuden odotuksiin perustuvina. VAR- ja VECM-mallien soveluksissa on yleisestikin tavanomaista ja suotavaa parantaa estimointitarkkuutta asettamalla parametreille rajoitteita, jotka on saatu aineiston ulkopuolisesta lähteestä (Anderson et al., 2002; Lütkepohl, 2005). Rajoitteiden lisääminen voi myös helpottaa mallin estimointia.

Eri tutkijoilla on ollut eriäviä näkemyksiä siitä, miten estimoinnissa käytettävä aineisto tulisi valita. Steehouwer (2005) pitää tärkeänä, että valitut aikasarjat ovat mahdollisimman pitkiä, jolloin mukaan saadaan erilaisia taloudellisia aikoja. Koivu et al. (2007) puolestaan ottavat mukaan aineiston vain vuodesta 1991 eteenpäin, perustellen valintaa sillä, että finanssimarkkinat olivat ennen 1990-luvun alkua tiukemmin säädellyt ja avautuivat vasta EU:n myötä. Boender (1997) käyttää kolmea eri eri historiallista periodia saaden kolmet eri parametrit. Näistä jokaisilla simuloidaan tutkimuksessa 250 skenaariota.

Kahteen jälkimmäiseen tapaan valita aineisto liittyy selvästikin ongelmia. Vaikkakin 90-luvulla tapahtunut taloudellinen rakennemuutos luultavasti vähentää vanhemman aineiston merkitystä, on VAR-mallien käytössä parasta käyttää mahdollisimman laajaa aineistoa parametrien suuren määrän vuoksi. Periaatteessa simuloitaessa vuosikymmeniä eteenpäin ei voida tietää tulevatko rahoitusmarkkinat pysymään avoimina myös tulevaisuudessa. Boenderin menetelmässä ongelmana on se, että on vaikea tietää miten suuri paino eri ajanjaksoilta saatujen estimaattien tulisi saada simuloinneissa, eli tuleeko jokaisella simuloida yhtä paljon simuloitteja (250) vai tulisiko jollekin antaa suurempi merkitys. Toisaalta ei voida sanoa mitkä ovat ne relevantit historialliset periodit, jotka estimointiin tulisi valita.

Aineiston lisäksi olennainen valinta simuloinneissa on eläkeyhtiön noudattama sijoitusstrategia. Tyypillisin sijoitusstrategia eri tutkimuksissa on rebalan-

³ Katso yhtälö 7.5 liitteessä 1.

soiva strategia (rebalancing strategy, fixed mix -strategy), jossa sijoitussalkun rakenne tasapainoitetaan joka periodilla takaisin alkuperäisiin painoihin. Boender (1997) Boenderin tutkimuksessa merkillepantavaa on, että Boender simuloi ensin laajan otoksen painoja. Sitten jokaisella näistä portfolioista suoritetaan skenaario-simulointeja, joiden perusteella valitaan joukko parhaiten suoriutuvia portfolioita (katso myös Brennan et al., 1997). Kouwenbergin (2001) mukaan alankomaalaiset eläkeyhtiöt käyttävät kyseistä menetelmää rebalansoivan strategian valinnassa käytännön päätöksenteon apuna. Sekä Heikkilä (2004), Koivu et al. (2007) että Hilli (2007) käyttävät myös dynaamista "Portfolio Insurance"-sijoitusstrategiaa, jossa yhtiön vakavaraisuus vaikuttaa valintaan osake- ja bondisijoitusten välillä.

Viimeisin eläkeyhtiöiden sijoitustuottomalli on Risku & Kaliva (2009). Risku & Kaliva käyttävät pääosin yksiulotteisia aikasarjamalleja, joihin ei paneuduta syvemmin. Aiemmin käsitellyt teemat korostuvat myös Riskun ja Kalivan selvityksessä. Myös heidän mukaansa historiallisien aikasarjojen soveltuvuus tulevien riskien ennustamiseen on kyseenalaista erityisesti suomalaisella aineistolla. He päätyvätkin käyttämään pidempää Saksan aineistoa, jonka he odottavat kuvaavan myös Suomen korkojen ja inflaation kehitystä tulevaisuudessa paremmin, kuin suomalaisten aikasarjojen. Lisäksi myös Risku & Kaliva korostavat, että mallin tulee huomioida erilaiset taloustieteelliset tulokset, kuten sen, ettei korkojen simuloinneissa mahdollisteta arbitraaseja. Myös Steehouwer (2005) pitää mallien kehittämisessä tärkeänä taloudellisten riippuvuuksien tuntemusta.

Aiempien tutkimuksien perusteella empiirisen taloustieteen ja talousteorian tulisi siis olla mukana mallin suunnittelussa⁴. Työn seuraavaa osiota silmällä pitäen, on tutkijoiden käyttämiä piirteitä koottu taulukkoon 9⁵. Mainitsemisen arvoinen on myös St. Louisin FED:in malli, jossa virheenkorjaustermi sisältää mm. rahan kysyntäfunktion, Fisherin yhtälön⁶ ja korkokäyräyhtälön, joka asettaa tasapainorelaation lyhyiden ja pitkien korkojen välille (Anderson et al., 2002).

Sijoitustuottomallilta voidaan yhteenvetona vaatia kaksi ominaisuutta, jotka tulevat olemaan tässä tutkimuksessa tärkeässä osassa:

1. realistisuus,
2. yksinkertaisuus.

Ominaisuudella 1 pyritään valideihin tutkimustuloksiin ja se ei vaadi enempää perusteluja. Ominaisuus 2 puolestaan edesauttaa ominaisuuden 1 täyttymistä ja sen perusteena vedotaan Einsteinin (1934) yksinkertaisuusperiaateeseen⁷, sekä Zellnerin (1992) talousennustamisen KISS-periaateeseen⁸. Yksinkertaisuudella tarkoitetaan tässä työssä erityisesti muuttujien määrän pitämistä mahdollisimman pienenä, jolla pyritään vastaamaan VAR-mallien suurimpaan heikkouteen, eli parametrien suureen määrään suhteessa aineistoon. Ongelma korostuu erityisesti tässä tutkimuksessa, kun muuttujia on paljon ja aikasarjat ovat suhteellisen

⁴ Talousteorian käytöstä ekonometrisessä mallintamisessa ja ennustamisessa on myös paljon negatiivisia kokemuksia ja siihen tulee suhtautua varauksella (Diebold, 1998; Hendry & Clements, 2001; Sims, 1980).

⁵ Korkomarginaalilla tarkoitetaan tässä työssä pitkien ja lyhyiden korkojen välistä eroa (term spread), eikä sitä tule sekoittaa luottomarginaaliin.

⁶ Fisherin yhtälö on linkki nominaalisen korkotason ja inflaation välillä.

⁷ "...as simple as possible but not simpler"

⁸ "Keep it sophisticatedly simple."

TAULUKKO 9 Yhteenvedo mallien käyttämästä taloustieteellisistä piirteistä

Taloustieteellinen tulos	Talousteoreettinen vastine	Malli
Osaketuotot ovat satunnaiskävelyä.	markkinatehokkuus	Boender (1997); Kouwenberg (2001)
Osaketuotot ovat pitkällä aikavälillä keskiarvoon hakeutuvia.		Risku & Kaliva (2009)
Lyhyet korot ovat pitkällä aikavälillä keskiarvoon hakeutuvia.		Hilli (2007); Koivu et al. (2007); Risku & Kaliva (2009)
Korkomarkkinoiden arbitraasivapaus.	markkinatehokkuus	Risku & Kaliva (2009)
Korkokäyrä on yleensä maturiteetin suhteen nouseva.	likviditeettipreferenssiteoria	Risku & Kaliva (2009)
Korkomarginaalilla on ennustevoimaa lyhyen koron muutoksen suhteen, korkomarginaali on stationaarinen.	odotushypoteesi	Anderson et al. (2002); Koivu et al. (2007); Risku & Kaliva (2009)

lyhyitä⁹. Lisäksi monimutkaisilla tilastollisilla malleilla on usein ollut yksinkertaisempia malleja heikompi suorituskyky erilaisissa sovelluksissa (Diebold, 2004; Garcia-Ferrer et al., 1987; Hendry & Clements, 2001; Zellner & Hong, 1989).

Aiempiin malleihin voi olla tämän vuoksi aiheellista esittää myös kritiikkiä. Osinko- ja vuokratuottojen erillinen huomio mallinnuksessa ei ole tarpeellista, vaan muuttujien lukumäärän vähentämiseksi, on suotavampaa käyttää esimerkiksi kokonaistuottoindeksejä, joissa osingot on huomioitu. Hilli (2007) puolestaan asettaa vuokratuoton vakioksi sen historiallisen kehityksen perusteella. Lisäksi virheenkorjaustermi saattaa aiheuttaa tarpeetonta monimutkaisuutta (ja tarpeettomia parametreja), joten sen tarpeellisuus on syytä varmentaa tilastollisilla testeillä. Sama pätee VAR-termien lukumäärään, eli mallin asteeseen. Steehouwer (2005) ehdottaa käytettäväksi astetta neljä, mutta ottaen huomioon esimerkiksi osakemarkkinoiden tehokkuuden, vaikuttaa tämä tarpeettoman suurelta. Aiemmistä malleista voidaan omaksua tähän tutkimukseen joitakin piirteitä, joihin palataan tarkemmin työn empiirisessä osiossa.

⁹ Katso myös liite 1.

TAULUKKO 10 Yhteenveto talousskenaarioiden kirjallisuudesta

Tutkimus	Malli	VAR-aste	Aineisto	Korkomarkkinoiden mallinnus	Sijoitusstrategia
Boender (1997)	VAR	1	Kolme erillistä periodia.	Bondi-tuotot	tasapainoitettu ja optimoitu tasapainottu
Kouwenberg (2001)	VAR	1	Mahdollisimman pitkät aikasarjat. Neljännesvuosittaiset havainnot.	Bondi-tuotot	tasapainoitettu ja eri dynaamisia strategioita
Heikkilä (2004)	AR	-	Ei käytetty estimoinnissa.	Lyhyet ja pitkät korot	tasapainoitettu ja dynaaminen "Portfolio Insurance"
Steehouwer (2005)	VAR	4	Mahdollisimman pitkät aikasarjat. Kuukausittaiset havainnot.	Lyhyet ja pitkät korot, sekä luottomarginaalit	-
Koivu et al. (2007)	VECM	1	Mukaan vain havainnot 90-luvun alusta eteenpäin. Kuukausittaiset havainnot.	Lyhyet ja pitkät korot	tasapainoitettu ja dynaaminen "Portfolio Insurance"
Hilli (2007)	VECM	1	Mukaan vain havainnot 90-luvun puolesta välistä eteenpäin. Kuukausittaiset havainnot.	Lyhyet ja pitkät korot	tasapainoitettu ja dynaaminen "Portfolio Insurance"
Risku & Kaliva (2009)	-	-	Käytetään Saksan korko- ja inflaatio-sarjoja, sillä Suomen historialliset sarjat perustuvat erilaiseen talouteen.	Lyhyet ja pitkät korot	tasapainoitettu ja dynaaminen "Portfolio Insurance"

3.2 Taloudellisten muuttujien riippuvuussuhteista

Edellisessä osiossa selvitettiin kuinka sijoitustuottomalleissa ei nojauduta pelkääseen aineistosta estimoituihin riippuvuussuhteisiin, vaan niiden kehittämisessä tulee käyttää hyväksi tunnettuja empiirisiä tutkimustuloksia (stylized facts)¹⁰. Tämän merkitys korostuu kun aineistoa on vähän, jolloin estimoituihin parametreihin liittyy paljon epävarmuutta ja kaikkia pitkän aikavälin riippuvuuksia ei välttämättä löydetä aineistosta. Tässä osiossa on tarkoitus koota tärkeimpiä empiirisiä piirteitä, joita tutkijat ovat löytäneet finanssimarkkinoilta. Katsauksessa keskitytään pääasiallisesti tärkeimpien muuttujien, eli osaketuottojen, korkojen ja luottomarginaalien käyttäytymiseen. Lisäksi huomioidaan tutkimustuloksia Suomen kiinteistö- ja osakemarkkinoilta. Tuloksiin palataan myöhemmin työn empiirisessä osiossa.

3.2.1 Osakemarkkinat

Osaketuottojen on useissa tutkimuksissa havaittu noudattavan satunnaiskävelyä, eli historialliset osaketuotot eivät auta ennustamaan tulevia tuottoja. Tämä on yhdenmukaista tehokkaiden markkinoiden hypoteesin kanssa ja tarkoittaa tilastollisesti sitä, että tuottojen autokorrelaatiot eivät poikkea merkitsevästi nolasta. Tämän havainnon tekevät esimerkiksi Chan et al. (1997) laajalla 18 eri maan aineistolla. Tehokkaiden markkinoiden hypoteesi on pystytty myös kyseenalaistamaan. Faman ja Frenchin (1988) kuuluisa havainto on, että osaketuotot omaavat pitkän aikavälin muistia, eli pitkän aikavälin osaketuotot ovat keskiarvoon hakeutuvia. Tämä viittaisi siihen, että osaketuotoissa on ennustettavuutta. Ekonometrisesti tulos tarkoittaa negatiivisia autokorrelaatioita. Vaikka tähän on saatu useissa tutkimuksissa myös ristiriitaista evidenssiä (Cheung & Lai, 1995; Lo, 1991; Lux, 1996), voidaan sanoa, että satunnaiskävely saattaa yliarvioida osakkeiden riskejä pitkällä aikavälillä (Risku & Kaliva, 2009).

Kansainvälisten osakemarkkinoiden keskinäiset vuorovaikutukset ovat olennainen aihe institutionaaliselle sijoittajalle, jonka portfolio on mahdollisesti hajautettu useille eri markkinoille. Kasa (1992) tutkii viiden suuren kehittyneen talouden (USA, Japani, Iso-Britannia, Saksa ja Kanada) osaketuottoja ja toteaa näillä markkinoilla olevan yhteisen stokastisen trendin. Tämä tarkoittaa, pitkällä aikavälillä markkinat ovat täysin korreloituneet, joten hajautuksen merkitys vähenee. Tämän tutkielman näkökulmasta Kasan tutkimus on sikäli mielenkiintoinen, että Kasa tutkii olennaisia USA:n, Japanin ja Euroopan osakemarkkinoita. Lisäksi eri maiden välillä yhteisiä trendejä ovat löytäneet Engsted & Lund (1997) Euroopan ja Chaudhuri (1997a,b) kehittyvillä markkinoilla.

VECM-metodologiassa muuttujan eksogeenisuus tarkoittaa, että sillä on mahdollisesti vaikutusta muihin muuttujiin, mutta muilla muuttujilla ei ole vaikutusta siihen. Tämä mahdollistaa sen viiveiden jättämisen mallin ulkopuolelle vähentäen estimoitavien parametrien määrää. Esimerkiksi Francis & Leachman (1998) testaavat eksogeenisuutta USA:n, Ison-Britannian, Saksan ja Japanin osake-

¹⁰ Kiinnostuneelle lukijalle viitataan lisäksi pitkään listaan tuloksia, joita Steehouwer (2005) on koonnut ja joita sijoitustuottomallien kehityksessä tulisi hänen mukaansa hyödyntää.

markkinoilla ja heidän mukaansa kaikki markkinat ovat endogeenisia, eli niiden välillä on molempaan suuntaista pitkän aikavälin riippuvuutta. Tähän viittaavat myös Besslerin ja Yangin (2003) löydökset yhdeksän eri osakemarkkinan yhteisintegroituvuudesta. Erityisesti heidän tuloksensa viittaavat, että VAR-mallinnuksessa tulee huomoida virheenkorjaustermi.

Aaltonen & Östermark (1999) tutkivat Japanin ja Suomen osakemarkkinoiden välistä vuorovaikutusta testaten Granger-kausalisuutta maiden välillä. He löytävät vain heikkoa evidenssiä Japanin markkinoiden vaikutuksesta Suomeen. Mathur & Subrahmanyam (1990) testaavat USA:n markkinoiden aiheuttamaa kausalisuutta pohjoismaiden markkinoihin, ja he eivät löydä Suomen ja USA:n markkinoiden väliltä merkittävää vuorovaikutusta. Vaikka Bos et al. (1995) havaitsivat, että Yhdysvaltain osakemarkkinat vaikuttavat Suomeen yhden tai kahden kuukauden viiveellä, heidän mukaansa tuloksia ei voida yleistää ja ne koskevat vain joitakin teollisuuden aloja.

Koska eläkeyhtiöt sijoittavat merkittäviä osuuksia portfoliostaan myös Suomen kiinteistömarkkinoille, on syytä ottaa esiin myös tutkimuksia, joissa on käsitelty suomalaisten osakkeiden ja asuntojen hintojen välistä yhteyttä. Barot & Takala (1998) ja Takala & Pere (1991) havaitsivat, että sekä osakkeiden että asuntojen hinnoilla on yksikköjuuri viitaten markkinatehokkuuteen. Lisäksi Takala & Pere löytävät vahvaa evidenssiä siitä, että suomalaisten osakkeiden ja asuntojen hinnoilla on pitkän aikavälin tasapainosuhte. Kausalisuuden havaitaan kulkevan osakemarkkinoilta asuntomarkkinoille. Myös Kuosmanen & Vataja (2002) havaitsivat osakkeiden ja asuntojen hintojen välillä riippuvuutta siten, että osakeindeksin nousu aiheuttaa nousua myös asuntojen hinnoissa. Lisäksi Kuosmanen & Vataja havaitsivat, että osakkeiden hinnat reagoivat korkotason muutoksiin asuntomarkkinoita nopeammin.

3.2.2 Korot

Lyhyiden korkojen tunnetaan olevan keskiarvoon hakeutuvia ja tämä on ollut korkomallintamisessa eräs dominoiva piirre (Andersen & Lund, 1998; Balduzzi et al., 1996; Chan et al., 1992; Fama & Bliss, 1987; Wu & Zhang, 1996)¹¹. Lisäksi korkomarkkinatutkimuksessa on saatu tärkeitä tuloksia liittyen korkokäyrän käyttäytymiseen. Eräs tärkeimpiä havaintoja on, että korkokäyrän liikkeet pystytään selittämään kolmen tai neljän faktorin avulla. Faktorit ovat tyypillisesti havaitsemattomia muuttujia ja niiden tulkintana käytetään yleensä korkokäyrän tasoa, jyrkkyyttä ja kaarevuutta. Eräs tapa löytää havaitsemattomat selittävät tekijät aineistosta on käyttää pääkomponenttianalyysiä. Esimerkiksi Puranen (2011) eristää Saksan valtion joukkovelkakirjojen korkokäyräaineistosta neljä pääkomponenttia ja hänen mukaansa nämä selittävät yli 98 % aineiston varianssista. Tutkimus on olennainen, sillä käytetty aineisto on samaa, jota käytetään tässä työssä¹².

Perustavanlaatuinen tutkimus aiheesta on Litterman & Scheinkman (1991). Litterman & Scheinkman demonstroivat havaintoiaan soveltamalla kolmen faktorin mallia Yhdysvaltain valtion liikkeelle laskemiin joukkovelkakirjoihin, joiden tuotoista faktorit heidän mukaansa selittävät suurimman osan. Knez et al. (1994)

¹¹ Katso esim. Blackin ja Karasinskin (1991) korkomalli liitteessä 1.

¹² Pääkomponenttianalyysiä hyödynnetään Solvenssi II:n korkoriskimoduulin kalibroinnissa.

puolestaan havaitsevat kolmen faktorin selittävän noin 86 % rahamarkkinatuotoista. Muita tärkeitä tutkimuksia aiheesta ovat mm. Bliss (1997a) ja Hall et al. (1992). Yhteenvetona voidaan sanoa (Alvarez & Koskinen, 2007):

1. Korkokäyrän nousut ja laskut selittävät n. 80–90 % korkojen varianssista
2. Lyhyiden ja pitkien korkojen siirtyminen vastakkaisiin suuntiin selittää n. 5–10 % varianssista
3. Keskipitkien korkojen siirtyminen eri suuntaan kuin pitkät ja lyhyet korot selittää n. 1–2 % varianssista.

Toinen korkokäyrän tärkeä piirre on, että se voi myös saada useita eri muotoja. Näitä ovat ainakin nouseva ja laskeva, sekä käyrä, jolla on kyttyrä ("humped" yield curve) tai käänteinen kyttyrä (Nelson & Siegel, 1987, 1988). Dieboldin ja Lin (2006) mukaan keskimäärin korkokäyrä on kasvava ja konkaavi. Eri muotoja kuvataan kuviossa 3. Muita Dieboldin ja Lin kokoamia piirteitä ovat:

1. Korkojen sopeutuminen shokkeihin on hitaampaa kuin korkomarginaalin
2. Lyhyet korot ovat volatiilimmat kuin pitkät
3. Pitkät korot sopeutuvat shokkeihin hitaammin kuin lyhyet¹³.

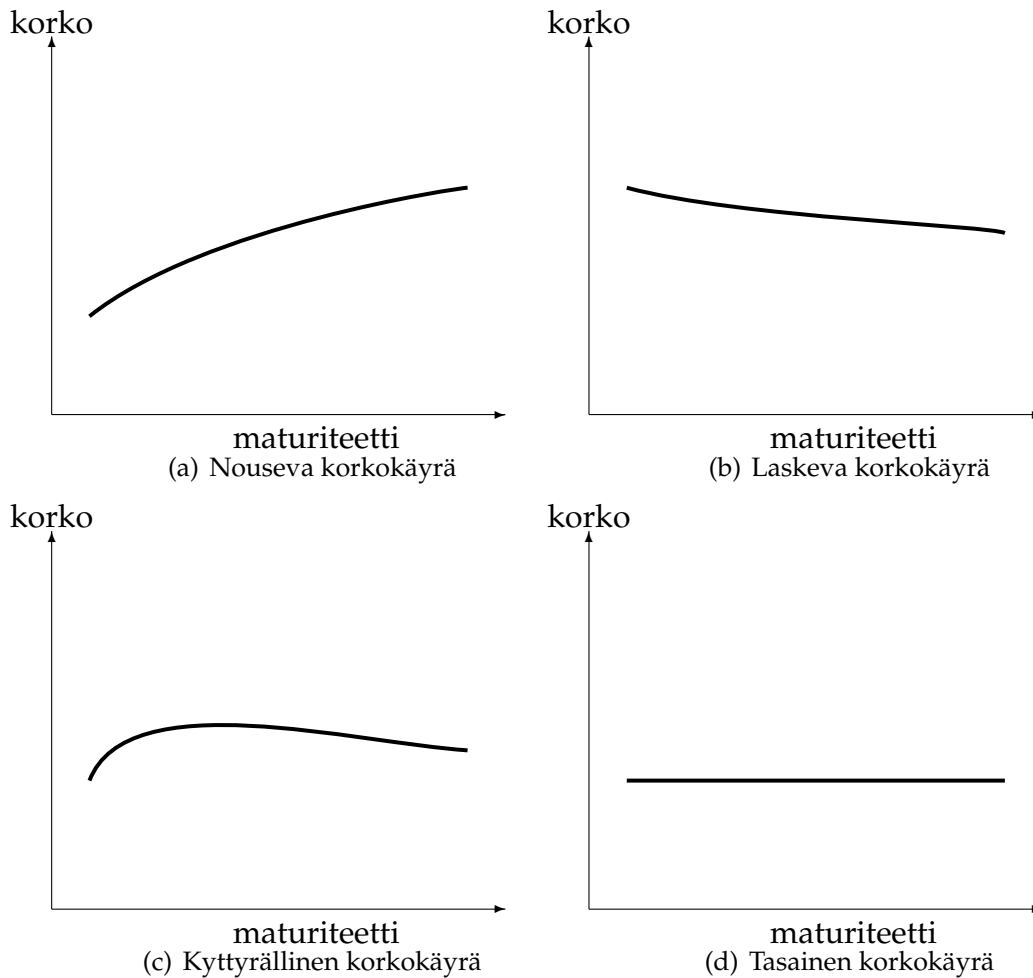
Korkomarginaalin, eli pitkien ja lyhyiden korkojen välisen eron, käyttäytymisen on olennaisin tekijä korkokäyrän jyrkkyyden määräytymisessä. Korkokäyrän jyrkkyys heijastaa markkinoiden odotuksia ja on tärkeä riskejä kuvaava mittari. Useissa tutkimuksissa on havaittu, että eri korkojen välillä esiintyy tasapainorelaatioita (Anderson et al., 2002; Bradley & Lumpkin, 1992; Campbell, 1995; Campbell et al., 1997; Campbell & Shiller, 1987; Giese, 2008; Hall et al., 1992; Zhang, 1993). Tämä viittaa siihen, että korkokäyrän jyrkkyydellä on pitkän aikavälin tasapaino. Mikäli korkokäyrä on poikkeuksellisen jyrkkä tai loiva, on sillä taipumus palautua normaaliin muotoonsa. Tutkimusten perusteella tasapainoa ei välttämättä ole pitkien ja lyhyiden korkojen välillä, vaan niitä voi löytyä useiden eri korkojen väliltä.

3.2.3 Luottomarginaalit

Luottomarginaalit ovat korkokäyrän ohella tärkeimpiä korko- ja rahamarkkinatuottoihin vaikuttavia tekijöitä. Mertonin (1974) pohjatyöstä lähtien, luottomarginaalin on ajateltu johtuvan puhtaasti luottoriskistä. Koska on mahdollista, että liikkellelaskija ei pystykään suoriutumaan velvoitteistaan, eli kokee maksuhäiriön (default), markkinat vaativat arvopaperilta riskilisää. Sittemmin empiiriset tutkimukset ovat osoittaneet, että luottomarginaaliin vaikuttaa muutkin tekijät, kuin varsinainen luottokelpoisuus, kuten verotus ja likviditeetti (Driessen, 2005; Elton et al., 2001; Tsuji, 2005).

Eriyksen tunnettu empiirinen havainto on, että matalan luokituksen bondien ("speculative grade" tai "high yield", luokitus alle BBB) luottomarginaalit

¹³ Odotushypoteesin mukaan lyhyet korot sopeutuvat pitkien korkojen muutoksiin, ks. esimerkiksi Hall et al. (1992).



KUVIO 3 Korkokäyrän eri muotoja

ovat hyvän luokituksen bondeja (investment grade) volatiilimmat (katso esim. Fama & French, 1989). Tärkeä löytö on myös luottomarginaalien pitkä muisti. McCarthy et al. (2009) löytävät vahvaa evidenssiä siitä, että pitkän maturiteetin omaavien yrityslainojen luottomarginaalit sopeutuvat shokkeihin hitaasti ja palaavat tasapainoonsa. Van Landschoot (2004) havaitsee, että pitkä muisti ja keskiarvoonhakeutuvuus ovat merkittävä tekijä eurooppalaisilla bondimarkkinoilla kaikilla maturiteeteilla ainakin hyvän luokituksen omaavien bondien osalta. Tämä tarkoittaa, että aikasarja-analyysissä tulee mahdollisesti käyttää pitkän aikavälin viivetermejä tai virheenkorjaustermiä.

Mallintamisen kannalta myös "luottomarginaalikäyrä", eli luottomarginaalien käyttäytyminen maturiteetin suhteen, on olennaista. Helwege & Turner (1999) vertaavat eri maturiteetin omaavia matalan luokituksen bondeja. He havaitsevat marginaalien nousevan maturiteetin suhteen, kun saman luokituksen bondeja verrataan keskenään. Sekä He et al. (2000), että Murphy (2003) löytävät vastaavaa evidenssiä matalan luokituksen omaavien bondien kohdalla, kun taas hyvin luokiteltujen bondien kohdalla tulokset ovat päinvastaiset. Hyvän luokituksen bondien osalta tulokset eivät kuitenkaan ole niin selviä, vaan esimerkiksi Huang & Zhang (2008) havaitsevat myös niiden luottomarginaalikäyrän nousevan maturiteetin suhteen.

Riskittömän koron ja luottomarginaalien väliset suhteet puolestaan ovat saaneet tutkimuksissa ristiriitaista evidenssiä. Morris et al. (1998) havaitsivat, että lyhyellä aikavälillä valtion velan korkojen madaltuminen aiheuttaa marginaalien kapenemista, kun taas pitkällä aikavälillä relaatio on käänteinen. Davies (2008) havaitsi riskittömän koron muutosten aiheuttavan luottomarginaaleissa saman suuntaisia muutoksia, kun taas Duffee (1998) havaitsi korkojen nousun kaventavan marginaalia. Christiansenin (2002) mukaan luottomarginaalit ovat negatiivisesti korreloituneita korkokäyrän tason ja jyrkkyyden kanssa, kun taas Van Landschoot (2004) havaitsi nousun tasossa ja/tai jyrkkyydessä vähentävän marginaalien muutoksia. Morris et al. havaitsivat korkojen ja luottomarginaalien olevan yhteisintegroituneita, mikä tarkoittaisi pitkän aikavälin tasapainorelaatiota muuttujien välillä. Erot tutkimus tuloksissa selittyvät sillä, että esimerkiksi korkojen tason ja jyrkkyyden vaikutus riippuu bondin maturiteetista ja luottoluokituksesta. Yhteenvedon voidaan myös sanoa, että korkokäyrän vaikutus luottomarginaaleihin on pieni (Avramov et al., 2007; Collin-Dufresne et al., 2001).

Faman ja Frenchin (1989) löytöjen perusteella osake- ja bondituotot ovat positiivisesti korreloituneita, joka viittaa negatiiviseen riippuvuuteen osaketuottojen ja luottomarginaalien välillä. Tämän huomioivat myös Fama & French (1993) kuuluisassa kolmen faktorin mallissaan ja vastaavia tuloksia saavat Elton et al. (2001). Näissä tutkimuksissa käytetään luottomarginaalista eri määritelmää, jossa marginaalilla tarkoitetaan riskillisen bondin ja riskittömän bondin sisäisen tuoton (yield-to-maturity) välistä eroa. Siispä tulokset osaketuottojen positiivisesta korrelaatiosta luottomarginaalin kanssa implikoivat negatiivista korrelaatiota, kun käytetään toista määritelmää.

Tämän tutkimuksen määritelmää ovat käyttäneet mm. Van Landschoot (2004), Davies (2008) ja Collin-Dufresne et al. (2001), joiden mukaan positiiviset osaketuotot kaventavat luottomarginaaleja. Daviesin (2008) mukaan osakemarkkinoilla on merkittävä vaikutus marginaaleihin myös pitkällä aikavälillä ja kyseisen tutkimuksen tuloksista tärkeä on se, että pitkällä aikavälillä osaketuottojen vaikutus marginaaleihin vaihtuu positiiviseksi, eli osakeindeksin nousu aiheuttaa marginaalien levenemistä. Collin-Dufresne et al. (2001), Avramov et al. (2007) ja Davies (2008) toteavat osaketuotoilla olevan suurempi vaikutus alhaisesti luokiteltujen bondien tuottoihin¹⁴.

¹⁴ Collin-Dufresne et al. (2001) on myös mielenkiintoinen esimerkki siitä, kuinka skenaariosimulointia voidaan hyödyntää empiirisessä taloustieteessä.

TAULUKKO 11 Yhteenvedo taloudellisten muuttujien riippuvuussuhteista

Tulos	Tutkimukset
Osaketuotot noudattavat satunnaiskävelyä.	Chan et al. (1997); Chaudhuri (1997b); Cheung & Lai (1995); Lo (1991); Lux (1996); Takala & Pere (1991)
Eri maiden osakemarkkinoiden välillä on vahvoja vuorovaikutussuhteita, kuten yhteiset pitkän aikavälin stokastiset trendit ja Granger-kausalisuus.	Aaltonen & Östermark (1999); Bessler & Yang (2003); Bos et al. (1995); Chaudhuri (1997a,b); Engsted & Lund (1997); Francis & Leachman (1998); Kasa (1992)
Suomen osake- ja kiinteistömarkkinoiden välillä on merkittävää riippuvuutta. Tuotot ovat positiivisesti korreloituneet ja niiden välillä on pitkän aikavälin tasapainosuhte.	Barot & Takala (1998); Kuosmanen & Vataja (2002); Takala & Pere (1991)
Asuntomarkkinoiden tuotoilla on yksikköjuuri.	Takala & Pere (1991)
Lyhyet korot hakeutuvat keskiarvoon.	Andersen & Lund (1998); Balduzzi et al. (1996); Black & Karasinski (1991); Chan et al. (1992); Cox et al. (1985); Fama & Bliss (1987); Heath et al. (1992); Hull & White (1990); Vasicek (1977); Wu & Zhang (1996)
Korkokäyrän liikkeet selittyvät kolmen tai neljän faktorin avulla.	Andersen & Lund (1998); Balduzzi et al. (1996); Bliss (1997a); Hall et al. (1992); Knez et al. (1994); Litterman & Scheinkman (1991); Puranen (2011)
Korkokäyrä voi saada useita eri muotoja.	Diebold & Li (2006); Nelson & Siegel (1987, 1988)
Eri korkojen välillä on tasapainosuhteita.	Anderson et al. (2002); Bradley & Lumpkin (1992); Campbell (1995); Campbell et al. (1997); Campbell & Shiller (1987); Giese (2008); Hall et al. (1992); Zhang (1993)
Luottomarginaalien volatilitteetti on korkeampi huonommilla luottoluokituksilla.	Fama & French (1989)
Luottomarginaaleilla on pitkä muisti, eli ne ovat keskiarvoonhakeutuvia.	McCarthy et al. (2009); Van Landschoot (2004)
Luottomarginaalit nousevat (laskevat) maturiteetin suhteen, jos luottoluokitus on huono (hyvä).	He et al. (2000); Helwege & Turner (1999); Huang & Zhang (2008); Murphy (2003)
Korkokäyrän vaikutus luottomarginaaleihin on vähäistä ja riippuu luokituksesta ja maturiteetista.	Christiansen (2002); Collin-Dufresne et al. (2001); Davies (2008); Duffee (1998); Morris et al. (1998)
Osaketuotot aiheuttavat lyhyellä (pitkällä) aikavälillä luottomarginaalien kapenemista (levenemistä).	Avramov et al. (2007); Collin-Dufresne et al. (2001); Davies (2008); Elton et al. (2001); Fama & French (1989, 1993); Van Landschoot (2004)

4 BONDIPORTFOLION MALLINTAMINEN

Koska Solvenssi II asettaa bondiportfolion mallintamiselle erityisiä vaatimuksia, omistetaan aiheelle tässä työssä oma lukunsa. Pääomavaatimuksen, eli SCR:n laskemiseksi sijoitukset tulee jaoitella sekä niiden maturiteetin (korkoriskimoduuli), että niiden luottoluokituksen mukaisesti (luottomarginaaliriskimoduuli). Tämä tarkoittaa kaiken kaikkiaan $196 (= 28 \cdot 7)$ eri kategoriaa, mikä asettaa mallintamisen yksinkertaisuudelle erityishaasteen.

Bondiportfolion arvoon vaikuttavat erityisesti

1. korkokäyrän liikkeet,
2. luottomarginaalien liikkeet,
3. luottoluokitusten muutokset (luottomigraatio, credit migration).

Tässä luvussa esittelemme metodologian, jolla kaikki nämä voidaan ottaa mukaan kehitettävään sijoitustuottomalliin realistisesti ja yksinkertaisesti. Metodologialla pyritään paikkaamaan aiempien sijoitustuottomallien puutteita, sillä aiemmissä malleissa ei huomioida luottoriskejä ollenkaan ja korkokäyrästä huomioidaan vain yksittäisiä korkoja (Hilli, 2007; Koivu et al., 2007; Risku & Kaliva, 2009). Luottoriskit ovat olennaisia myös Solvenssi II:ssa, jossa ne huomioidaan luottomarginaali-, keskittymä- ja vastapuoliriskimoduuleilla.

Ensimmäisessä osiossa esitellään lähestymistapa, jolla voidaan mallintaa dynaamisesti koko korkokäyrä. Toinen osio puolestaan käsittelee luottomarginaaleja ja niiden merkitystä bondien hinnoittelussa. Viimeinen osio on tutkimusalaan modernein ja se esittelee kaksi luottoriskien mallinnuksen tärkeää tekijää, luottoluokitusten muutokset ja maksuhäiriöistä aiheutuvat muutokset sijoitusten arvossa.

4.1 Korkokäyrä

Aiemmissa sijoitustuottomalleissa bondisijoitusten tuottoja ollaan tyypillisesti mallinnettu bondi-indeksien tai yksittäisten korkojen avulla. Koska Solvenssi

II:ssa sijoitukset jaetaan niiden maturiteetin mukaisesti, on tässä työssä tarpeen mallintaa korkokäyrä kokonaisuutena. Eräs vaihtoehto olisi ottaa aikasarjamalliin mukaan jokaista maturiteettia vastaava korko (Bradley & Lumpkin, 1992; Hall et al., 1992). Tämä kuitenkin tarkoittaisi 28:aa eri muuttujaa lisäten estimoitavien parametrien määrää kohtuuttoman paljon.

Erilaisia staattisia malleja korkokäyrälle on esitetty useita ja nämä voidaan jakaa karkeasti kahteen kategoriaan, arbitraasittomiin malleihin (no-arbitrage) ja tasapainomalleihin (equilibrium). Tunnetuimpia arbitraasittomia malleja ovat Hull & White (1990) ja Heath et al. (1992). Tasapainomalleista tunnetuimpia puolestaan ovat Vasicek (1977), Cox et al. (1985) ja Duffie & Kan (1996). Arbitraasittomia malleja yhdistää niiden pyrkimys mallintaa korkokäyrä tietyinä hetkenä ajassa. Affiinien korkokäyrämallien aikasarjamallintamista ja dynamiikkaa ovat tutkineet de Jong (2000), Dai & Singleton (2000) ja Duffee (2002). Esimerkiksi Duffeen tulosten perusteella ne eivät sovellu korkojen ennustamiseen, joka antaa aihetta epäillä niiden dynaamista suoriutumiskykyä.

Näiden kategorioiden ulkopuolelta ehkä tunnetuimpia korkokäyrämalleja on Nelson-Siegel (1987; 1988), jota on sovellettu paljon erityisesti käytännössä finanssialalla ja keskuspankeissa, mutta myös akateemisessa tutkimuksessa (ks. esim. Dahlquist & Svensson, 1996; Elton et al., 2001; Van Landschoot, 2004; Yu, 2005). Mallin vahvuuksia on erityisesti sen yksinkertaisuus ja mahdollisuus tarkkaan estimointiin. Mallilla on myös talousteoreettisesti mielekkäitä ominaisuuksia, kuten diskonttoteikijän suppeneminen kohti 1:tä maturiteetin lähestyessä 0:aa. Diebold & Li (2006) ovat esittäneet siitä myös dynaamisen version, joka soveltuu enemmän kuin hyvin sijoitustuottomallinnukseen ja tämän tutkimuksen valinnaksi.

Dieboldin ja Lin (2006) esittämänä lähtökohtana on sovittaa korkokäyrään jokaiselle ajanhetkelle t epälineaarinen käyrä muotoa

$$y_t(\tau) = L_t + S_t \left(\frac{1 - e^{-\Lambda_t \tau}}{\Lambda_t \tau} \right) + C_t \left(\frac{1 - e^{-\Lambda_t \tau}}{\Lambda_t \tau} - e^{-\Lambda_t \tau} \right). \quad (4.1)$$

missä τ on korkoa $y_t(\tau)$ vastaava maturiteetti. Näin saaduista estimaateista $\hat{L}_t, \hat{S}_t, \hat{C}_t$ saadaan täten kolme aikasarjaa, joita voidaan käyttää tutkimuksen aikasarjamallissa. Parametri Λ_t tekee mallista epälineaarisen ja estimointiin liittyy erinäisiä valintoja ja teknisiä seikkoja. Näiden yksityiskohdat jätetään liitteeseen 2.

Kyseisille parametreille on myös erittäin hyödyllinen tulkinta korkokäyrän muodon määräävinä faktoreina. Ensimmäinen tekijä L_t määrää korkokäyrän tason (level), S_t sen jyrkkyyden (slope) ja C_t sen kaarevuuden (curvature), mikä on yhdenpitävää kirjallisuuskatsauksessa 3.2 käytyjen empiiristen havaintojen kanssa. Diebold & Li vertaavat niiden faktorilatauksia Blissin (1997a) faktorianalyysillä saamiin, ja toteavat niiden vastaavan toisiaan. Notaatioiden yksinkertaistamiseksi käytetään jyrkkyyden ja kaarevuuden faktorilatauksista jatkossa merkintöjä

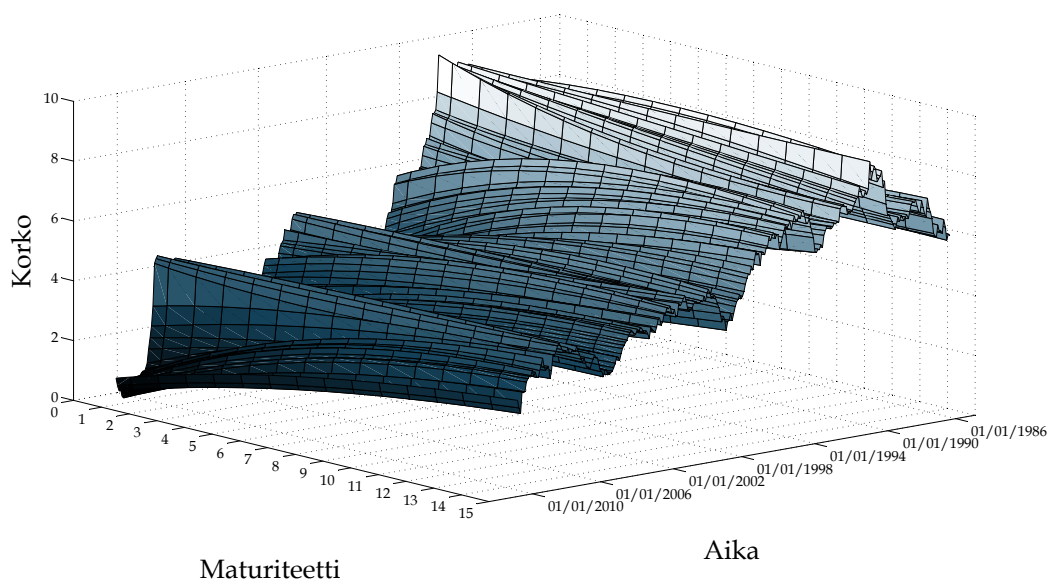
$$B^S(\tau) = \frac{1 - e^{-\Lambda_t \tau}}{\Lambda_t \tau}, \quad (4.2)$$

$$B^C(\tau) = \frac{1 - e^{-\Lambda_t \tau}}{\Lambda_t \tau} - e^{-\Lambda_t \tau}.$$

Valittu metodologia täyttää myös muut tärkeimmät empiiriset havainnot, sillä eri faktorien arvoilla korkokäyrä voi saada eri muotoja ja lisäksi korkojen keskiarvoon hakeutuva ominaisuus tulee mukaan VAR-prosessin kautta. Toisaalta mallin suorituskyvystä on saatu lupaavia tuloksia erityisesti estimointitarkkuuden ja nopean konvergoinnin, sekä ennustusvoiman suhteen (Dahlquist & Svensson, 1996; Diebold & Li, 2006; Yu & Salyards, 2009). Mallin muiden miellyttävien ominaisuuksien osalta viitataan Dieboldin ja Lin tekemään erinomaiseen katsaukseen.

Nelson-Siegel-käyrälle on esitetty myös useita laajennuksia parantamaan mallin joustavuutta. Näistä tärkein lienee Svenssonin (1994; 1995) neljän faktorin malli, joka lisää yhtälöön yhden faktorin lisää ¹. Lisäksi arbitraasimahdollisuuksien rajoittamista pois mallin spesifioinnista ovat kehittäneet Christensen et al. (2009, 2011)². Kolmen faktorin malli on kuitenkin dynaamiseen tarkasteluun paras malli. Tämän ovat osoittaneet Yu & Salyards (2009), joiden tuloksena on, että sen ennustevoima on Svenssonin mallia parempi. Lisäksi joustavuuden parantaminen tarkoittaa parametrien lisäämistä, eli kolmea useampaa aikasarjaa, joka on ristiriidassa myös tutkimuksen yksinkertaisuusperiaatteen kanssa. Tässä työssä ei olekaan aihetta poiketa yhtälön 4.1 mukaisesta spesifioinnista, jonka voidaan katsoa täyttävän vaatimukset 1 realiteetti ja 2 yksinkertaisuus.

Kuviossa 4 havainnollistetaan korkokäyrän dynaamista käyttäytymistä ajassa. Nelson-Siegel-käyrä on sovitettu Saksan valtion bondiaineistoon jokaiselle kuukaudelle vuosille 1988–2010. Korkokäyrä on tyypillisesti nouseva, mutta saa välillä myös tasaisen tai laskevan muodon. Kuviossa erottuu myös hyvin Euroopan korkotason pitkään jatkunut laskeva trendi.



KUVIO 4 Saksan valtion bondiaineistoon sovitetut Nelson-Siegel-korkokäyrät

¹ Muita laajennuksia ovat ehdottaneet Bliss (1997b), Soderlind & Svensson (1997), Björk & Christensen (1999), Filipovic (1999, 2000) ja Björk & Svensson (2001).

² Teoriassa malli ei ole arbitraasivapaa (Björk & Christensen, 1999; Filipovic, 1999), mutta Coroneo et al. (2008) ovat osoittaneet ettei malli mahdollista arbitraaseja käytännössä.

4.2 Luottomarginaalit portfolion hinnoittelussa

Aiemmissa sijoitustuottomalleissa (osio 3.1) merkillepantavaa on, että luottoriskettä ei oteta ollenkaan huomioon. Esimerkiksi Hilli (2007) olettaa bondiportfolion tuottojen määräytyvän riskittömän koron mukaisesti. Luottomarginaalien ja luottomigraation huomioimisella mallista voidaan tehdä huomattavasti realistisempi.

Käydään ensin läpi bondiportfolion aiheuttamien kassavirtojen hinnoittelu. Koska portfolion yksittäisistä instrumenteista ei haluta tehdä oletuksia³, voidaan kassavirrat aggregoida niiden luottoluokituksen ja maturiteetin mukaan, sillä bondin kuponkimaksut voidaan aina tulkita nollakuponkibondiksi. Jos luottoluokituksen c omaavien kassavirtojen, jotka eräänntyvät τ periodin kuluttua, yhteismäärä on $F^c(\tau) \in$, niin niiden arvo hetkellä t on

$$P_t^c(\tau) = e^{-\tau y_t^c(\tau)} F^c(\tau), \quad (4.3)$$

missä $c \in \{AAA, AA, A, BBB, BB, B\}$. Kassavirran diskonttaamiseen sovelletaan siis vastaavan korkokäyrän korkoa $y_t^c(\tau)$.

Luottomarginaali $s_t^c(\tau)$ määritellään maturiteettia τ ja luottoluokitusta c vastaavan koron ja vastaavan riskittömän koron erotuksena, jolloin

$$y_t^c(\tau) = y_t(\tau) + s_t^c(\tau). \quad (4.4)$$

Luottomarginaalien mallintamiseen voidaan käyttää faktorimalleja tai spline-funktioihin perustuvia menetelmiä. Jankowitsch & Pichler (2004) vertaavat useita eri vaihtoehtoja mallintaa luottomarginaalit yhdessä korkojen kanssa. Mikäli jokaisen luottoluokituksen korot mallinnettisiin omana Nelson-Siegel-korkokäyrään, saataisiin dynaamiseen malliin 21 aikasarjaa. Toisaalta jokaisen maturiteetin huomioiminen tarkoittaisi 28 aikasarjaa kutakin luottoluokitusta kohden. Luottomarginaalien ja korkojen yhteismallintamista varten esittävät Houweling et al. (2001) myös vaihtoehtoista spline-funktioihin perustuvaa metodologiaa. Tämän heikkoutena on, että siitä puuttuu taloudellinen intuitio ja tulkittavuus. Spline-funktioiden käyttöä dynaamisissa malleissa ei myöskään ole selvitetty, vaan ne soveltuvat yleensä korkojen estimointiin tietynä hetkenä ajassa. Kirjallisuudessa esitetyt menetelmät eivät ole käytännöllisiä vaan kyseeseen tulee huomattavasti yksinkertaisempi lähestymistapa.

Tyypillisesti huonomman luottoluokituksen instrumenteilla on korkeampi luottomarginaali, eli $s_t^{CCC}(\tau) > s_t^B(\tau) > \dots > s_t^{AAA}(\tau)$. Tämä asettaa rajoitteen, jota VAR- ja VECM-metodologia ei pysty huomioimaan⁴. Jotta tämä piirre säilytetään simuloinneissa, tullaan aikasarjamalliin ottamaan luottomarginaalit vain luokalle BBB, joka on alhaisin investment grade -luokitus. Lisäksi valitun marginaalin maturiteetiksi valitaan malleja Hilli (2007) ja Koivu et al. (2007) vastaava 5 vuotta (60 kuukautta). Näin marginaalien osalta malliin tulee vain yksi aikasarja ja muut marginaalit saadaan regressoimalla niille kertoimet ψ^c ja käyttämällä simuloinneissa faktorimallia

$$s_t^c = \psi^c s_t^{BBB}(60). \quad (4.5)$$

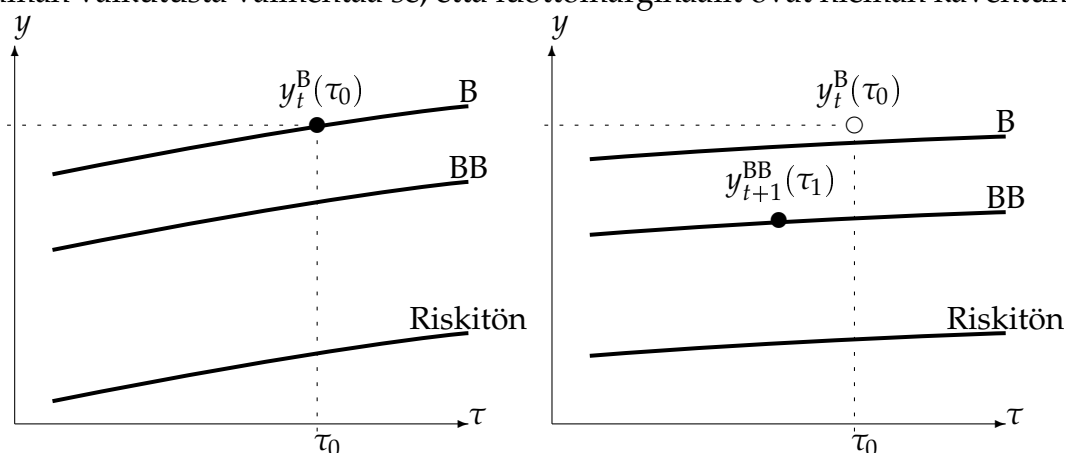
³ Kassavirrat voivat tulla käytännössä myös muun tyyppisistä instrumenteista kuin bondeista.

⁴ Tämä on ehkä eräs kehityssuunta malleille tulevaisuudessa, katso Granger (2010).

Kirjallisuuskatsauksen perusteella saadaan ristiriitaista evidenssiä luottomarginaalien käyttäytymisestä maturiteetin suhteen. Ylläolevassa yhtälössä luottomarginaalien oletetaan olevan lyhyille ja pitkille koroille samat. Regressiossa voitaisiin huomioida myös muita muuttujia, mutta talousteoria ja erityisesti niin sanotut strukturaaliset mallit selittävät luottomarginaaleja erittäin heikosti (Avramov et al., 2007; Collin-Dufresne et al., 2001). Onkin yksinkertaisempaa käyttää selittävänä muuttujana mieluummin yksittäistä luottomarginaalia, jonka selityksasteen voi odottaa olevan korkea.

4.3 Luottomigraatio

Koska korkokäyrä ja luottomarginaalit voivat heilahdella stokastisesti, vaihtelee kassavirran arvo yhtälön 4.3 perusteella. Ajanhetkellä $t + 1$ kassavirran arvo ei olekaan enää sama: sen maturiteetti on laskenut ja lisäksi sen luottoluokitus on voinut muuttua, jolloin siihen sovelletaan uutta korkoa. Tätä havainnoillistetaan kuviossa 5. Vasemmassa kuvassa kassavirran maturiteetti on τ_0 ja luottoluokitus B. Hetkellä $t + 1$ luottoluokitus kuitenkin paranee ja juoksuaika on alentunut vuodelle τ_1 :ksi, jolloin kassavirran diskonttaukseen käytetään nyt korkoa $y_{t+1}^{BB}(\tau_1)$. Katsomalla vanhaa korkoa $y_t^B(\tau_0)$ uudessa kuvassa, huomataan ettei se enää sijaitsekaan B-käyrällä. Riskitön korkokäyrä on noussut ja muuttanut muotoaan, mutta tämän vaikutusta vaimentaa se, että luottomarginaalit ovat hieman kaventuneet.



KUVIO 5 Kassavirran arvoon vaikuttavat tekijät hetkestä t hetkeen $t + 1$

Esimerkiksi Tsaig et al. (2010) ovat tuoreessa tutkimuksessaan demonstroineet, kuinka luottoluokitusten vaihtelulla, eli luottomigraatiolla on valtava vaikutus portfolion arvonkehitykseen ja riskeihin. Tämän huomioimiseksi käytetään modernia lähestymistapaa, jossa pelkkien markkinamuuttujien lisäksi simuloidaan luottoluokitusten muutoksia (ks. esimerkiksi Grundke, 2009). Lähtökohtaisesti mallin halutaan ottavan huomioon empiirisen havainnon, että makrotaloudellisilla tekijöillä on merkittävä vaikutus luottoluokitusten muutoksiin. Taloustilanteen ollessa heikko, yhtiöiden luottokelpoisuus tyypillisesti heikkenee ja yleisesti puhutaan niin sanotusta luottosyklistä (credit cycle). (Altman, 1998; Altman et al., 2005; Bonfim, 2009; Bruche & González-Aguado, 2010; Nickell et al., 2000)

Luottoluokituksiin vaikuttavat tekijät voidaan jakaa systemaattisiin (systematic) ja yrityskohtaisiin tekijöihin (idiosyncratic factors). Eräs erittäin laajalle levinnyt tapa simuloida luottomigraatiota, on käyttää havaitsematonta muuttujaa ΔA_k , joka määrittää yhtiön k luottokelpoisuuden. Muuttuja voidaan tulkita yhtiön varallisuudeksi ja sen määräävät systemaattiset faktorit, kuten makrotalous- ja markkinamuuttujat, sekä yrityskohtainen faktori. Systemaattiset tekijät ovat kaikkiin yrityksiin vaikuttavia riskitekijöitä. Kyseisen faktorimallin yleisen asettelun ovat kuvanneet yksityiskohtaisesti Grundke (2009) ja Glasserman & Li (2005).

Tässä työssä käytetään erittäin yleisesti sovellettua erikoistapausta, jossa systemaattisia faktoreita on vain yksi, ns. markkinaindikaattori⁵. Markkinaindikaattori kuvaa luottosyklin tilaa ja käytännössä indikaattoriksi valitaan usein osakemarkkinaindeksin tuotto. Koska muut markkinamuuttujat, kuten korkotaso, ovat mukana VAR-prosessissa, välittyy niiden vaikutus markkinaindikaattorin kautta. Tekniset yksityiskohdat, kuten gaussinen kopulafunktio (copula), jätetään liitteeseen 2⁶.

Yhtiön k luottokelpoisuuden määräävä tekijä on muotoa

$$\Delta A_k = \sqrt{\rho} \Delta M_t + \sqrt{(1 - \rho)} \chi_k, \quad (4.6)$$

missä ΔM_t on markkinaindikaattori ja χ_k yrityskohtainen tekijä. Eri yritysten yrityskohtaiset faktorit oletetaan keskenään korreloimattomiksi ja lisäksi korreloimattomiksi markkinaindikaattorista. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, että niiden luottoluokitukset olisivat korreloimattomia, vaan riippuvuuksia aiheuttavat tekijät on ideaalitulanteessa jo huomioitu systemaattisissa faktoreissa. Markkinaindikaattorin faktorilataus on $\sqrt{\rho}$, ja koska markkinaindikaattorin noustessa myös yhtiöiden varallisuudella on taipumus nousta, on luonnollista olettaa muuttujan ΔA_k olevan positiivisesti korreloitunut indikaattorin kanssa.

Merkataan symbolilla $q_{i,j}$ todennäköisyyttä, että arvopaperin luokitus muuttuu luokasta i luokkaan j seuraavan vuoden aikana. Arvot $q_{i,j}$ ovat niin sanotun luottomigraatiomatriisin alkioita ja ne voidaan estimoida aineistosta. Taulukossa 12 on Standard & Poor's:in (2009) laskemat keskimääräiset vuotuiset luottoluokitusten muutokset vuosilta 1981–2008. Esimerkiksi todennäköisyys, että luokitus laskee vuoden sisällä BB:sta B:hen on 7,22 %. Toisaalta maksuhäiriön (default, D) todennäköisyys on tällöin 0,99 %. Todennäköisyydet luokituksen säilymisensä samana ovat matriisin diagonaalilla.

Transitiomatriisista voidaan johtaa kullekin luokitukselle i rajat $Z_{i,j}$ ratkaisemalla rekursiivisesti yhtälöt⁷

$$\begin{aligned} q_{i,AAA} &= 1 - \Phi(Z_{i,AA}), \\ q_{i,j} &= \Phi(Z_{i,j}) - \Phi(Z_{i,j-1}), \quad \text{kun } j \neq AAA, D \\ q_{i,D} &= \Phi(Z_{i,D}), \end{aligned} \quad (4.7)$$

⁵ Mallia soveltavat empiiriseen tutkimustyöhön mm. Bangia et al. (2002); Nickell et al. (2000) ja Bonfim (2009). Lisäksi sitä käyttää kuuluisa CreditMetrics.

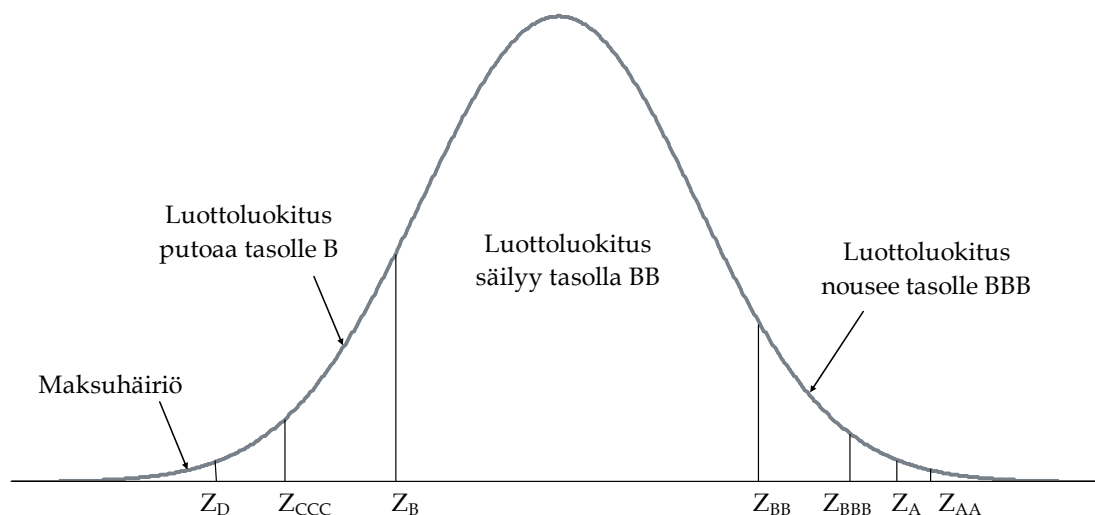
⁶ Kopulafunktioiden käyttö luottoriskien hallinnassa sai alkunsa Lin (2000) artikkelista, joka johti tuhoisiin seurauksiin. Kiinnostuneelle lukijalle viitataan myös sanomalehtiartikkeleihin Whitehouse (2005) ja Jones (2009).

⁷ Luokitusten indeksit tulee tulkita siten, että suurempi indeksi tarkoittaa parempaa luokitusta, eli esim. AA + 1 = AAA.

TAULUKKO 12 Luottomigraatiomatriisi (%), (Standard & Poor's, 2009)

	AAA	AA	A	BBB	BB	B	CCC	D	Luokit.
AAA	88,39	7,63	0,53	0,06	0,08	0,03	0,06	0,00	3,23
AA	0,58	87,02	7,79	0,54	0,06	0,09	0,03	0,03	3,86
A	0,04	2,04	87,19	5,35	0,40	0,16	0,03	0,08	4,72
BBB	0,01	0,15	3,87	84,28	4,00	0,69	0,16	0,24	6,60
BB	0,02	0,05	0,19	5,30	75,74	7,22	0,80	0,99	9,68
B	0,00	0,05	0,15	0,26	5,68	73,02	4,34	4,51	12,00
CCC	0,00	0,00	0,23	0,34	0,97	11,84	46,96	25,67	14,00
D	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00

missä $\Phi(\cdot)$ on standardin normaalijakauman kertymäfunktio. Yhtiön uusi luottoluokitus määräytyy näiden rajojen perusteella siten, että uudeksi luokitukseksi tulee j mikäli $Z_{i,j} \geq \Delta A_k > Z_{i,j-1}$. Tämä voidaan tulkita siten, että yhtiön luottoluokitukseksi tulee j , mikäli sen varat alittavat niille asetetun rajan $Z_{i,j}$. Erityistapauksia ovat paras luokitus ja maksuhäiriö. Uudeksi luottoluokitukseksi tulee AAA, mikäli $\Delta A > Z_{i,AA}$ ja maksuhäiriö aiheutuu, jos $Z_{i,D} > \Delta A$. Tilannetta hahmotetaan kuviossa 6, jossa alkuperäinen luottoluokitus on $i = BB$ (alaindeksi on jätetty luettavuuden vuoksi merkitsemättä). Uusi luokitus määräytyy sen mukaan, mille välille varallisuus ΔA_k saa arvon.



KUVIO 6 Yrityksen luottokelpoisuuden määrääntyminen

Käsitellään jatkossa suurta portfoliota, jossa kunkin luottoluokituksen yritykset ovat homogeenisia. Tämä tarkoittaa sitä, että transitiomatriisin todennäköisyydet ovat kaikille yhtiöille samat. Kaikkien yhtiöiden luottokelpoisuuden korrelaatio markkinaindikaattorin kanssa on sama⁸, $\sqrt{\rho}$. Tavoitteena on siis määrittää osuus

⁸ Käytännössä sekä oletus vain yhdestä systemaattisesta faktorista, että yritysten homogeenisuus ei ole välttämättä riittävä, vaan systemaattisia faktoreita tarvitaan enemmän ja yritykset on tapana jakaa myös alueittain ja toimialoittain (Nickell et al., 2000; Tsaig et al., 2010).

luottoluokituksen i omaavista kassavirroista, joka vaihtaa luottoluokitukseen j . Suurelle portfoliolle nämä osuudet, $p_{i,j}$, voidaan nyt laskea yhtälöistä

$$\begin{aligned} p_{i,AAA}(\Delta M_t) &= 1 - \Phi\left(\frac{Z_{i,AA} - \sqrt{\rho}\Delta M_t}{\sqrt{1-\rho}}\right), \\ p_{i,j}(\Delta M_t) &= \Phi\left(\frac{Z_{i,j} - \sqrt{\rho}\Delta M_t}{\sqrt{1-\rho}}\right) - \Phi\left(\frac{Z_{i,j-1} - \sqrt{\rho}\Delta M_t}{\sqrt{1-\rho}}\right), \quad j \neq AAA, D \\ p_{i,D}(\Delta M_t) &= \Phi\left(\frac{Z_{i,D} - \sqrt{\rho}\Delta M_t}{\sqrt{1-\rho}}\right), \end{aligned} \quad (4.8)$$

eli osuudet ovat ehdollisia markkinaindikaattorista ΔM_t .

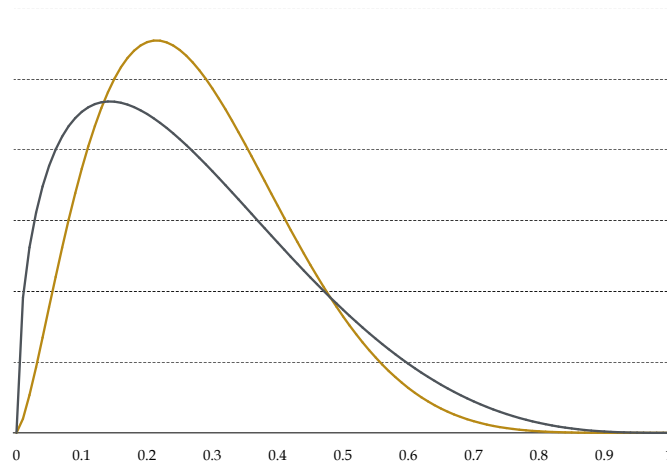
Maksuhäiriön tapauksessa kassavirta ei välttämättä menetä koko arvoaan, vaan siitä saatetaan maksaa jokin prosentuaalinen osuus, ns. palautumisaste (recovery rate). Palautumisaste oletetaan useissa tutkimuksissa vakio-osuudeksi (esimerkiksi Denzler et al., 2006 ja Grundke, 2009), mutta se voidaan mallintaa myös stokastisesti. Yleisimmin käytetään beta-jakaumaa, sillä beta-jakautuneet muuttujat saavat arvoja väliltä 0 ja 1. Tämä on intuitiivisesti järkevää, koska negatiivinen palautumisaste tarkoittaisi, että sijoittaja menettää enemmän kuin sijoitetun pääoman. Jos taas palautumisaste olisi yli yhden, sijoittaja voisi saada takaisin enemmän kuin sijoitetun pääoman. Beta-jakauma on myös yksinkertainen mallintaa, sillä sen määrittää vain kaksi parametria (α ja β). Liitteessä 2 annetaan kuvaus beta-jakaumasta ja sen simuloinnista.

Palautumisasteen on havaittu riippuvan talouden tilasta, sillä taloudellinen tilanne vaikuttaa yleensä velallisen varallisuuteen ja mahdollisten vakuuksien arvoon (Altman et al., 2005; Frye, 2000). Tämän riippuvuuden huomioimiseksi Bruche & González-Aguado (2010) ovat esittäneet ekonometrisen mallin, jossa jakauman parametrit α_t ja β_t riippuvat mm. makrotalousmuuttujista ja yrityksen toimialasta. Bruche & González-Aguado käyttävät lisäksi muuttujaa, joka saa arvon 0 tai 1 sen mukaan, missä tilassa luottosykli on. Mallista käytetään yksinkertaisempaa versiota, jossa hyödynnetään jälleen markkinaindikaattoria. Tällöin se integroituu luontevasti aiemmin kuvattuun luottomigraatiomalliin, sillä beta-jakauman parametrit saadaan yhtälöistä

$$\begin{aligned} \alpha_t &= \exp(\delta_0 + \delta_1 \mathbf{1}_{\{\Delta M_t > 0\}}), \\ \beta_t &= \exp(\zeta_0 + \zeta_1 \mathbf{1}_{\{\Delta M_t > 0\}}). \end{aligned} \quad (4.9)$$

Indikaattorifunktio $\mathbf{1}_{\{\Delta M_t > 0\}}$ kuvaa nyt luottosyklin tilaa ja se saa arvon 1, kun markkinaindikaattori on positiivinen ja arvon 0, kun markkinaindikaattori on negatiivinen. Kuviossa 7 on piirretty palautumisasteen noudattama beta-jakauman kuvaaja. Kun markkinaindikaattori on negatiivinen, on palautumisaste keskimäärin alhaisempi (vasen jakauma), ja hyvinä aikoina keskimäärin korkeampi (oikea jakauma).

Luottomigraation ja palautumisasteen mallintamiseen tarvitaan kaiken kaikkiaan viisi parametria: luottokelpoisuuden korrelaatio markkinaindikaattorin kanssa ($\sqrt{\rho}$), palautumisasteen jakauman määräävät parametrit, kun markkinaindikaattori on negatiivinen (δ_0, ζ_0) ja positiivisen markkinaindikaattorin vaikutus



KUVIO 7 Palautumisasteen noudattama beta-jakauma, kun markkinaindikaattori on positiivinen ja negatiivinen

palautumisasteen jakaumaan (δ_1, ζ_1) . Luottomarginaaleille tarvitaan puolestaan yksi kerroin ψ^c jokaiselle luokitukselle AAA–CCC, eli yhteensä 6 kerrointa. Parametreihin palataan osiossa 5.3.

5 AIKASARJAMALLI ELÄKEYHTIÖN SIOITUSTUOTOILLE

Tutkimuksen laajoja simulointikokeita varten tarvitaan aikasarjamalli kuvaamaan eläkeyhtiön sijoitustuottoja. Edellisten lukujen perusteella on selvää, että aikasarjamallin rakentaminen vaatii itsessään laajaa tutkimustyötä.

Empiirisen taloustieteen yleisesti tunnettu tulos on, että VAR- ja VECM-prosessit soveltuvat talousennustamiseen usein yksinkertaisempia malleja huommin (Diebold & Li, 2006). Tässä tutkimuksessa ei kuitenkaan pyritä tarkkaan ennustamiseen, vaan talousskenaarioiden simulointiin. Tätä varten muuttujien välisien riippuvuuksien merkitys korkostuu, joka puoltaa moniulotteisten aikasarjamallien käyttöä. Jatkossa kaikki analyysi tehdään kuitenkin yksinkertaisuusperiaatetta silmälläpitäen.

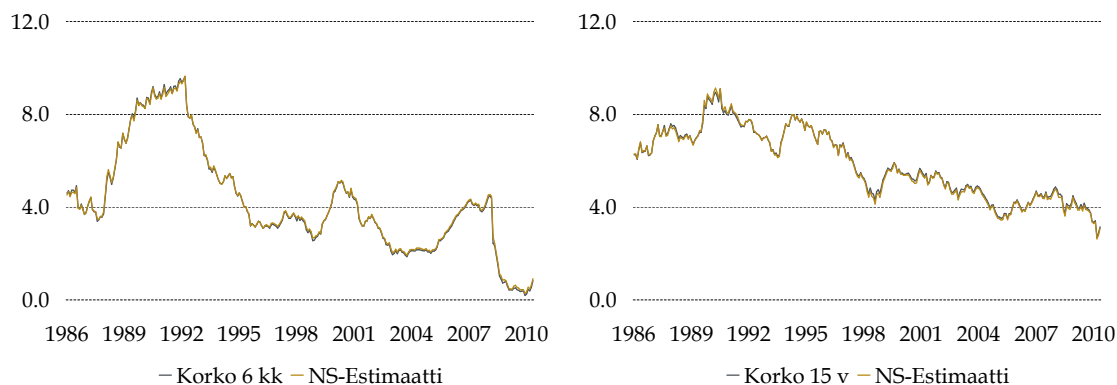
Luku koostuu kolmesta eri osiosta. Ensimmäinen osio pohjautuu liitteessä 3 käsiteltävään eläkeyhtiön sijoitusten jakaumaan. Osiossa esitellään tutkimuksessa käytettävä aineisto sekä sen vaatima esikäsittely. Toisessa osiossa suoritetaan tutkittavien aikasarjojen, sekä niiden välisten riippuvuuksien tarkka analysointi. Näiden pohjalta estimoidaan sijoitustuottomallin ytimessä oleva aikasarjamalli. Kolmannessa osiossa kalibroidaan ja estimoidaan loput jäljelle jäävät parametrit.

5.1 Aineisto

Korkoaineistona käytetään Bundesbankin julkaisemia Saksan valtion liikkeellelaskemien joukkovelkakirjojen nollakuponkikorkoja. Aineisto käsittää maturiteetit 6 kuukautta ja 1–15 vuotta tasavuositain. Kuukausittaiset aikasarjat ulottuvat kesäkuusta 1986 lokakuuhun 2010. Aineiston valinta on luonnollinen, sillä Saksan valtion velkaa pidetään yleisesti euroalueen ”riskittömänä” sijoituskohteena. Rahamarkkinakorkona käytetään 12 kuukauden korkoa. Aiemmissä malleissa Saksan korkoja ovat käyttäneet myös Risku & Kaliva (2009), Hilli (2007) ja Koivu et al. (2007).

Aineistoon sovitetaan Nelson-Siegel-käyrä (yhtälö 4.1), josta saadaan mal-

linnuksessa käytettävät aikasarjat korkokäyrän taso, L_t , jyrkkyys, S_t , ja kaarevuus C_t . Kuviossa 8 on aineisto lyhyille ja pitkille koroille, sekä niitä vastaavat Nelson-Siegel-estimaatit, jotka on laskettu käyttämällä kyseisiä estimoituja faktoreita. Voidaan sanoa, että valittu malli korkokäyrälle sopii aineistoon erittäin hyvin. Korkofaktoreista käytetään niiden differenssejä ja tasolle suoritetaan myös logaritminen muunnos sen positiivisuuden varmistamiseksi. Jatkossa käytetään merkintöjä $\Delta \log L_t$, ΔS_t ja ΔC_t .



KUVIO 8 Saksan valtion joukkovelkakirjojen korot ja niitä vastaavat Nelson-Siegel-estimaatit (NS) maturiteeteille 6 kuukautta ja 15 vuotta

Mallin kalibrointivaiheessa osiossa 5.3 luottomarginaalien analysoimiseen käytetään eurooppalaisten yrityslainojen korkokäyriä, käsittäen 13 eri korkokäyräaineistoa eri luottoluokituksille ja toimialoille. Maturiteetit ulottuvat 6 kuukaudesta 15 vuoteen ja päivittäiset aikasarjat ulottuvat aineistosta riippuen vuodesta 2001 vuoden 2010 lopulle. Aineisto on vastaava, jota CEIOPS (2010b) ja Puranen (2011) ovat käyttäneet Solvenssi II:n kalibroinnissa. Luottomarginaalit lasketaan vähentämällä aineistosta vastaava riskiton korko. Tämä suoritetaan kaikille korkokäyräaineistoille.

Aikasarjamallinnukseen käytetään teollisuuden BBB-luokituksen omaavien bondien viiden vuoden luottomarginaalia. Tämä maturiteetti vastaa sijoitusten duraatiota. Myös luottomarginaalille suoritetaan logaritminen muunnos ja otetaan differenssi. Näin varmistutaan, että marginaali on aina positiivinen. Korkeaineston kuvaus on koottu taulukkoon 13.

TAULUKKO 13 Bondi- ja rahamarkkinasijoituksia kuvaava aineisto

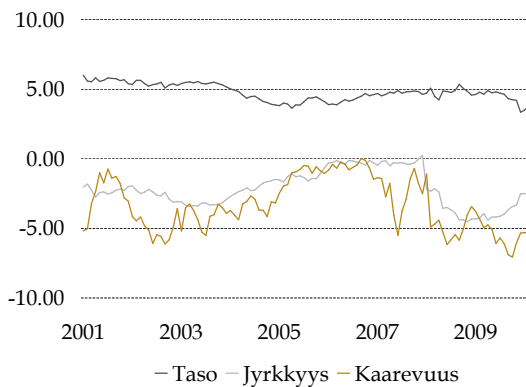
Korkokäyrä/luottomarginaali	Maturiteetit	Periodi
Saksan valtion joukkovelkakirjat	6 kk ja 1–15 v	01/1986–07/2010
Eurooppalaisten teollisuusyritysten bondit, luokitus BBB	5 v	09/2001–10/2010

Eläkeyhtiön tavanomaisia osakesijoituksia kuvaamaan on valittu OLV-indeksiä ennakoivan indeksin mukaiset osakemarkkinaindeksit (liitteen 3 taulukko 25).

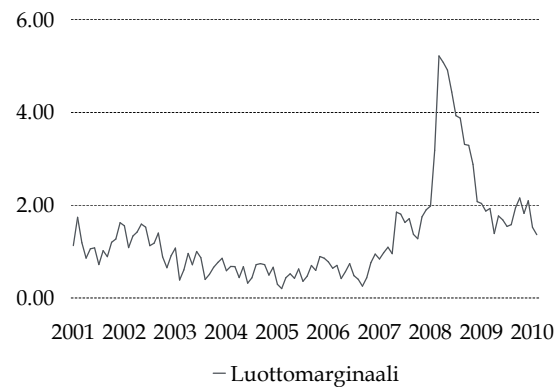
Osinkotuottoja ei mallineta erikseen, vaan OMXH Cap:sta käytetään kokonaistuottoindeksiä, jossa osinkotuotot on huomioitu. Kuukausittaisista aikasarjoista Topix-aineisto on lyhyin alkaen kesäkuusta 2001. Käytettävä osakeaineisto on koottu taulukkoon 14.

TAULUKKO 14 Osake-, vaihtoehtois- ja kiinteistösijoituksia kuvaava aineisto

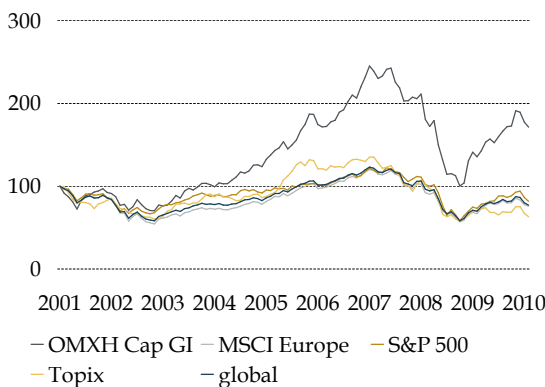
	Indeksi	Tyyppi	Periodi
Yhdysvallat	S&P 500	hintaindeksi	01/1986–07/2010
Eurooppa	MSCI Europe	hintaindeksi	12/1969–10/2010
Suomi	OMXH Cap GI	kokonaistuottoindeksi	01/1999–11/2010
Japani	Topix	hintaindeksi	05/2001–11/2010
Pääomasijoitukset	LPX50 TR	kokonaistuottoindeksi	12/1993–07/2010
Hedge-rahastot	HFRX GL	kokonaistuottoindeksi	01/1998–07/2010
Kiinteistöt	Asuntohintaindeksi	hintaindeksi	Q1/1988–Q4/2010



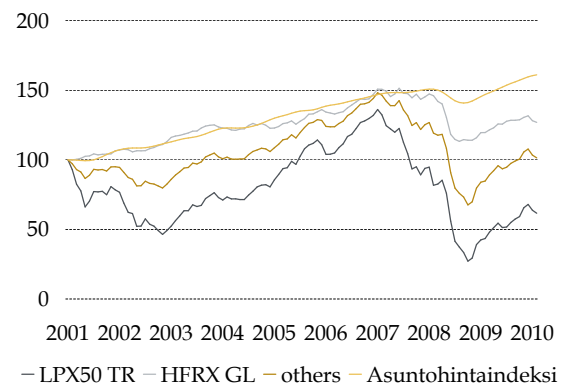
(a) Korkokäyrän taso (L_t), jyrkkyys (S_t) ja kaarevuus (C_t)



(b) Luottomarginaali (s_t^{BBB})



(c) Osakeindeksit



(d) Vaihtoehtoiset sijoitukset ja asuntojen hinnat

KUVIO 9 Historialliset aikasarjat

Kirjallisuuskatsauksen perusteella kansainvälisillä osakemarkkinoilla ei ole merkittävää hajautusetua. Suomen ulkopuolisia osakesijoituksia varten muodostetaan

MSCI Europe, S&P500 ja Topix indekseistä uusi indeksi, jossa Euroopan paino on 66 %, Yhdysvaltojen 24 % ja Japanin 10 %. Painot ovat taulukon 25 mukaiset. Indeksi lasketaan tasapainottavaksi ja sitä kutsutaan jatkossa Solvenssi II:n hengessä nimellä *global_t*. Tämä menettely on yhdenmukainen mm. Koivu et al. (2007) kanssa ja sen tarkoituksena on vähentää mallinnettavien muuttujien ja parametrien määrää. Valinta saa tukea myös pääkomponenttianalyysistä, joka suoritetaan kolmen alkuperäisen osakeindeksin tuotoille. Pääkomponenteista vain yhden ominaisarvo on yli 1 (2,37), joka tukee hypoteesia, että näiden kolmen indeksin tuotot voidaan mallintaa yhdellä yhteisellä tekijällä. Indeksien yhteisintegroituvuus nähdään myös kuviosta 9, jonka perusteella suomalaiset osaketuotot on kuitenkin syytä mallintaa erikseen.

Vaihtoehtoisista sijoituksista olennaisimmat ovat pääomasijoitukset ja hedge-rahastot. Ensimmäisen osalta käytetään LPX50 Total Return -kokonaistuottoindeksiä, joka käsittää 50 suurinta listautunutta pääomasijoitusyhtiötä maailmanlaajuisesti. Hedge-rahastojen osalta käytetään HFRX Global Hedge Fund -indeksiä (taulukko 14). Molemmat indeksit ovat oman omaisuusluokkansa kategoriassa ehkä eniten käytettyjä ja niitä on hyödynnetty myös Solvenssi II:n kalibroinnissa (CEIOPS, 2010b; Puranen, 2011). Aineiston valintaperusteena toimii tässä tutkimuksessa myös aineiston saatavuus, sillä kummastakaan omaisuusluokasta ei julkaista juurikaan aikasarjoja. Molempiin indekseihin liittyy valikoitumisongelmia eli ns. selviytymisharha (survivorship bias) (Liang, 2000). Hedge-rahasto-indeksissä on myös muita hyvin tunnettuja harhoja (esim. backfill bias), jotka aiheuttavat merkittävää tuottojen yliarviointia ja volatiilisuuden aliarviointia (Malkiel & Saha, 2005; Tolonen, 2011)¹.

Myös vaihtoehtoisia sijoituksia kuvataan yhdellä indeksillä, *others_t*, jossa hedge-rahastot saavat 60 %:in painon ja pääomasijoitukset 40 %:in painon. Myös vaihtoehtoisten sijoitusten tuotoille suoritetaan pääkomponenttianalyysi ja saaduista pääkomponenteista vain ensimmäisen ominaisarvo on yli 1 (1,55), antaen tukea hypoteesille, että hedge-rahastosijoitukset ja pääomasijoitukset voidaan mallintaa yhdellä yhteisellä tekijällä. Kaikki kolme indeksiä ovat kuviossa 9.

TAULUKKO 15 Mallinnettavat muuttujat

Muuttuja	Symboli	Indeksi
Korkokäyrän tason muutokset	$\Delta \log L_t$	
Korkokäyrän jyrkkyyden muutokset	ΔS_t	
Korkokäyrän kaarevuuden muutokset	ΔC_t	
BBB-luottomarginaalin muutokset	$\Delta \log s_t^{\text{BBB}}$	
Osaketuotot, Suomi	r_t^{FIN}	<i>Omx_t</i>
Osaketuotot, Eurooppa	r_t^{global}	<i>global_t</i>
Vaihtoehtoisten sijoitusten tuotot	r_t^{others}	<i>others_t</i>
Kiinteistötuotot	r_t^{Prop}	<i>K_t</i>

Kiinteistömarkkinoiden kuvaamiseen käytetään Tilastokeskuksen julkaise-

¹ Aineistoon liittyvän kritiikin osalta katso myös Puranen (2011) ja sen lähteet.

maa asuntohintaindeksiä maaliskuusta 1988 joulukuuhun 2010. Aineisto on neljännesvuosittaista, joten se muutetaan kuukausittaiseksi käyttämällä interpolointia. Indeksistä käytetään merkintää K_t . Kiinteistötuotot voidaan mallintaa vastaavalla tavalla, kuin osaketuotot ja sekä asuntohintaindeksistä, että kaikista kolmesta osakeindeksistä käytetään logaritmisia tuottoja (Koivu et al., 2007).

Varsinaiseen mallinnukseen tarvittavia muuttujia on siis yhteensä 8, jotka on koottu taulukkoon 15. Logaritmisia tuottoja vastaavista indekseistä käytetään jatkossa taulukon symboleita. Esimerkiksi OMXH Cap -indeksin tapauksessa tämä tarkoittaa, että $r_t^{\text{FIN}} = \log \text{Omxh}_t - \log \text{Omxh}_{t-1}$. Aineiston tunnusluvut on koottu liitteen 4 taulukkoon 28.

5.2 Mallin valinta ja estimointi

Tässä osiossa suoritetaan mallin valinta ja estimointi. Aikaisemmissa sijoitus-tuottomalleissa Hilli (2007) ja Koivu et al. (2007) asettavat mallin asteeksi 1 ja virheenkorjaustermien parametrit asetetaan ilman estimointia (Hilli kutsuu näitä käyttäjäsyötteiksi). Tämän menettelyn perusteluna voidaan käyttää sitä, että ekonometrikolla saattaa olla parempaa tietoa tai estimaatteja mallin parametreista ja menettely sopii usein myös talousennustamiseen (Anderson et al., 2002; Bewley & Haddock, 2004; Hendry & Clements, 2001). Tämä toimii hyvänä lähtökohtana, mutta näistä tutkimuksista poiketaan siten, että mallin valinta ja estimointi suoritetaan hyödyntämällä myös virheenkorjaustermille kehitettyjä tilastollisia testejä. Tämän tarkoituksena on selvittää soveltuuko vastaava malli käytettävälle aineistolle.

Tavanomainen tapa estimoida kyseisiä malleja on ensin määrittää mallin aste ja tämän jälkeen selvittää kuinka monta tasapainorelaatiota muuttujien välillä on, eli kuinka monta riippumatonta saraketta virheenkorjaustermien tulee olla². Kun nämä vektorit on identifioitu ja valittu, estimointitarkkuutta voidaan parantaa asettamalla parametreille rajoitteita. Tämän jälkeen estimoidaan uudelleen rajoitettu malli. Näin päästään eroon parametreista, jotka eivät ole tilastollisesti merkitseviä, asettamalla niiden rajoitteeksi nolla. Tätä menettelyä voidaan toistaa kunnes jäljellä on enää merkitseviä parametreja. Menettely on tarpeen esimerkiksi ennustamisessa, sillä rajoittamattomien mallien suorituskyky sovelluksissa on verrattain huono (Brüggemann & Lütkepohl, 2001; Diebold & Li, 2006). Lisäksi se soveltuu myös skenaariosimulointiin ja on idealtaan yhdenmukainen myös käyttäjäsyötteinä toimivien parametrien suhteen, sillä myös nämä voidaan asettaa estimoinnin rajoitteiksi.

Mallin merkitsemättömien parametrien poistamiseen käytetään jatkossa SER-strategiaa (Sequential Elimination of Regressors) (Brüggemann & Lütkepohl, 2001)³. Menettelyssä poistetaan yksitellen ne regressorit, jotka johtavat suurimpaan SBC-kriteerin pudotukseen, kunnes mallia ei ole mahdollista redusoida enempää. Jokaisella askeleella poistetaan siis yksittäinen regressori, jonka jälkeen mallin t-suhdeluvut lasketaan uudelleen.

² Näin selviää myös onko termi tarpeellinen.

³ Katso myös laajempi kuvaus eri strategioista teoksesta Lütkepohl (2005).

Edellisessä osiossa kaikista muuttujista päätettiin ottaa mallinnettavaksi ensimmäiset differenssit ja tarkoituksena on mallintaa vektoria

$$\Delta x_t = \begin{pmatrix} \Delta C_t \\ \Delta \log s_t^{\text{BBB}} \\ \Delta \log L_t \\ \Delta S_t \\ r_t^{\text{FIN}} \\ r_t^{\text{global}} \\ r_t^{\text{others}} \\ r_t^{\text{Prop}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_t - C_{t-1} \\ \log s_t^{\text{BBB}} - \log s_{t-1}^{\text{BBB}} \\ \log L_t - \log L_{t-1} \\ S_t - S_{t-1} \\ \log \text{Omxh}_t - \log \text{Omxh}_{t-1} \\ \log \text{global}_t - \log \text{global}_{t-1} \\ \log \text{others}_t - \log \text{others}_{t-1} \\ \log K_t - \log K_{t-1} \end{pmatrix}. \quad (5.1)$$

Mallinnettavat aikasarjat on esitetty kuviossa 21 liitteessä 5. Vektorin x_t muuttujia, joista ei ole otettu differenssiä, voidaan kutsua tasomuuttujiksi⁴.

Ennen moniulotteisen aikasarjamallin analysointia, on hyvä tarkastella yksittäisiä aikasarjoja erikseen käyttäen tavanomaisia menetelmiä. Monimuuttujamallien vahvuus on keskinäisissä vuorovaikutuksissa, mutta ne saattavat kuvata yksittäisten muuttujien dynamiikkaa melko huonosti. Tarkastelemalla yksittäisten muuttujien autokorrelaatiofunktioita (kuviokuva 20 liitteessä 5), havaitaan, että erityisesti korkokäyrän faktoreiden ja luottomarginaalin viiveet eivät ole tilastollisesti merkitseviä. Osaketuottojen ensimmäiset viiveet ovat juuri ja juuri merkitseviä 95 %:in tasolla. Vaihtoehtoisilla sijoituksilla autokorrelaatio on hieman merkittävämpää, joka on hyvin tunnettu hedge-rahasto-indeksiaineiston piirre. Sitä vastoin kiinteistötuotoissa myös kolmannet viiveet ylittävät ylärajan ja tämä viittaa siihen, että saattaa olla aiheellista käyttää useampia viiveitä. Sekä kiinteistö-, että vaihtoehtoisijoiutusten autokorrelaatiot johtuvat siitä, että kumpikaan omaisuusluokka ei ole likvidi. Autokorrelaatioita tarkastellaan 12 viiveeseen asti, sillä näin voidaan havaita onko aineistossa kausittaista vaihtelua. Koska pitkän aikavälin autokorrelaatiot eivät ole merkitseviä, ei muuttujilla vaikuttaisi olevan syklejä.

Mikäli tasomuuttujat ovat stationaarisia, ei virheenkoraustermiä tarvita, vaan voidaan käyttää VAR-spesifiointia vektorille Δx_t ⁵. Ennen yhteisintegroituveden testaamista on kuitenkin erittäin tärkeää tutkia yksittäisten tasomuuttujien yksikköjuuria (Gonzalo & Lee, 1998). Käytetyimmät testit ovat Dickeyn ja Fullerin (1981) testistä kehitetty ADF-testi (Engle & Granger, 1987) ja Phillipsin ja Perronin (1988) PP-testi. Testit suoritetaan jokaiselle yksittäiselle tasomuuttujalle sekä niiden differenssille erikseen. Saadut tulokset ovat taulukossa 29 liitteessä 4.

Nollahypoteesia yksikköjuuresta ei voida selvästi hylätä minkään muuttujan kohdalla, mikä tukee virheenkoraustermien käyttöä. Myös korkokäyrän jyrkkyys ja kaarevuus ovat yksikköjuuriprosesseja, mikä on yhdenpitävää Dieboldin ja Lin (2006) tulosten kanssa. Testit toistetaan myös differensoiduille aikasarjoille, joiden voidaan todeta olevan kiistatta stationaarisia, poikkeuksena r_t^{Prop} . Logaritminen asuntohintaindeksi vaikuttaisi olevan mahdollisesti trendistationaarinen⁶, joka on yhdenpitävä havainto tutkimuksen Koivu et al. (2007) kanssa. Sekä Koivu et al.

⁴ Nämä ovat siis korkokäyrän faktorit, logaritminen luottomarginaali ja logaritmiset indeksit.

⁵ Tarkalleen ottaen, jos vektori x_t on stationaarinen.

⁶ Trendistationaarisuudella (trend stationarity) tarkoitetaan, että muuttuja on stationaarinen, kun siitä poistetaan trendi.

(2007), että Barot & Takala (1998) kohtelevat muuttujaa $\log K_t$ differenssistationaarisena, eli $I(1)$ -prosessina⁷, koska tutkimuksen Barot & Takala (1998) perusteella on luultavaa, että testit epäonnistuvat hylkäämään trendistationaarisuuden⁸.

Vaikka parametrien pitäminen vähäisenä puoltaa astetta 1, Steehouwer (2005) ehdottaa kuitenkin käytettäväksi enemmän viiveitä ja astetta 4. Asteen valinnassa voidaan hyödyntää tavanomaisia informaatiokriteerejä Akaike (AIC), korjattu AIC (AICC), Hannan-Quinn (HQ) ja Schwarz-Bayes-kriteeri (SBC, usein myös Bayes-kriteeri, BIC), joita ovat esittäneet Akaike (1973, 1974), Hannan & Quinn (1979), Schwartz (1978) ja Hurvich & Tsai (1993). Näistä kriteereistä AIC yliarvioi astetta positiivisella todennäköisyydellä, kun taas HQ ja SBC ovat konsistentteja.

Aineistoon estimoidaan astetta 1–4 olevat VAR-mallit, joiden informaatiokriteerit on koottu taulukkoon 16. Tulokset puoltavat vahvasti pienemmän asteen malleja. Kaikki kriteerit, SBC:tä lukuunottamatta, puoltavat astetta 2 ja SBC:n perusteella oikea aste olisi 1, vaikkakaan ero ei ole suuri asteeseen 2. Mallin asteeksi valitaan 2.

TAULUKKO 16 Mallin asteen estimointi

Aste	AICC	HQC	AIC	SBC
1	-47,04	-46,43	-47,16	-45,34*
2	-48,21*	-47,32*	-48,72*	-45,26
3	-47,26	-46,43	-48,50	-43,39
4	-45,91	-45,63	-48,38	-41,59

*kriteerin minimi

Mallin estimoinnissa tulee seuraavaksi määrittää virheenkorjaustermi ja sen rajoitteet. Kun termi tunnetaan, se voidaan ottaa annettuna ja estimoida lyhyen aikavälin parametrit sen avulla. Joissain sovelluksissa käytettävissä on jonkin muun menetelmän tai lähteen antamat paremmat estimaatit. Virheenkorjaustermi on tärkeää spesifioida oikein ja tämän saavuttamiseksi on suositeltavaa käyttää useampia eri kriteereitä (Gonzalo, 1994; Gonzalo & Lee, 1998).

Tavanomaisin tapa määrittää tarvittavien tasapainosuhteiden lukumäärä on Johansenin (1988; 1991) suurimman uskottavuuden proseduuri, jossa tutkitaan virheenkorjaustermien ominaisarvoja. Ominaisarvoista testataan mitkä ovat nollassa poikkeavia ja tasapainosuhteiden lukumäärän määrittämiseen voidaan käyttää virheenkorjaustermien jälkeen (trace) perustuvaa testisuureta $\hat{\lambda}_{\text{trace}}$ ja maksimiominaisarvosuureta $\hat{\lambda}_{\text{max}}$ (katso yksityiskohdat Johansen, 1995). Molempien testien nollahypoteesina on, että muuttujien välillä on r -kappaletta tasapainosuhteita. Ensimmäisen testin vastahypoteesina on, että suhteita on enemmän kuin r ja toisen testin että niitä on $r + 1$. Proseduurissa testit suoritetaan eri r :n arvoille ($r = 0, 1, \dots$), kunnes testisuure alittaa kriittisen arvonsa, eli nollahypoteesia ei hylätä.

⁷ Ks. liite 1.

⁸ Näiden kahden epästationaarisuustyypin erottaminen tilastollisilla testeillä on yksi talousennustamisen suurimmista vaikeuksista (Eitrheim et al., 1999; Hendry & Clements, 2001).

Testien asymptoottiset kriittiset arvot raportoi Osterwald-Lenum (1992), mutta testejä voidaan pitää vain suuntaa antavana, mikäli estimoitavia parametrejä on paljon suhteessa otoskokoon. Myös Reimers (1992) raportoi ongelmasta, että Johansenin testisuureet hylkäävät nollassa olevan nollahypoteesin tällaisessa tilanteessa liian usein, jolloin testeillä on tapana yliarvioida tasapainosuhteiden määrää. Reimers ehdottaakin testisuureiden modifiointia siten, että niiden laskemiseen käytetään otoskoon T sijasta lukua $T - np$, missä n on mallin dimensio (muuttujien lukumäärä) ja p viiveiden lukumäärä, eli VAR-aste. Kun otoskoko on 107, niin tästä saadaan $T - np = 107 - 8 \cdot 2 = 91$.

Taulukossa 17 on esitetty saadut testisuureet, modifioidut testisuureet ja niitä vastaavat 5 %:in kriittiset arvot, sekä ominaisarvot. Kaikkien testisuureiden perusteella aineisto on selvästi yhteisintegroitunutta. Johansenin suureiden perusteella virheenkorjaustermiin tulisi valita 3 tai 2 saraketta. Myös modifioidun suureen perusteella virheenkorjaustermi on tarpeellinen, mutta tasapainosuhteita on 2 tai 1. Kaikki ominaisarvot ovat nollassa poikkeavia ylittäen yleisesti peukalosääntönä käytettävän arvon 0,2. Lisäevidenssiä saadaan suorittamalla vielä Saikkosen ja Lütkepohlin (2000a; 2000b; 2000c) testi, joka puoltaa kahta virheenkorjausvektoria. Nollahypoteesin $r = 1$ testisuure 132,27 ylittää 5 %:in kriittisen arvonsa 119,77. Tämän evidenssin nojalla virheenkorjaustermiin tulisi valita kaksi tai kolme tasapainosuhdetta.

TAULUKKO 17 Johansenin testien tulokset

H_0	Ominaisarvo	$\hat{\lambda}_{\text{trace}}$	$\hat{\lambda}_{\text{trace}}^{\text{mod}}$	Kriit. (trace)	$\hat{\lambda}_{\text{max}}$	$\hat{\lambda}_{\text{max}}^{\text{mod}}$	Kriit. (max)
$r = 0$	0,61	244,52*	207,96*	155,75	98,42*	83,70*	51,42
$r = 1$	0,35	146,10*	124,25*	123,04	45,41*	38,62	45,28
$r = 2$	0,30	100,69*	85,63	93,92	37,11	31,56	39,37
$r = 3$	0,22	63,57	54,07	68,68	26,70	22,71	33,46

* H_0 hylätään 5 %:in kriittisen arvon perusteella

Jotta tasapainosuhteita voidaan etsiä aineistosta, estimoidaan jokaiselle muuttujaparille malli erikseen. Mikäli jonkin muuttujaparin kohdalla Johansenin testit hylkäävät nollassa olevan nollahypoteesin $r = 0$, eli muuttujat voivat olla yhteisintegroituneet, voi niiden välillä olla tasapainosuhte. Nollahypoteesia ei voida hylätä suurimmassa osassa tapauksista. Aineistosta löydetään kuitenkin kolme mahdollista ehdokasta, joissa molemmat testit hylkäävät nollassa olevan nollahypoteesin. Nämä ovat muuttujaparien (S_t, C_t) , $(S_t, \log s_t^{\text{BBB}})$ ja $(S_t, \log \text{others}_t)$ välillä. Kyseiset tarkastelut eivät vielä tarkoita, että muuttujien välillä välttämättä olisi tasapainosuhte, mutta kaikki muut muuttujaparit hylätään tarkastelusta tässä vaiheessa.

Korkokäyrän tason ja kaarevuuden välinen tasapainosuhte on kirjallisuuskatsauksen perusteella odotettavissa. Korkomarginaali kahden eri maturiteetin omaavan koron välillä on Nelson-Siegel-mallissa

$$y_t(\tau_1) - y_t(\tau_0) = \left(B^S(\tau_1) - B^S(\tau_0) \right) S_t + \left(B^C(\tau_1) - B^C(\tau_0) \right) C_t. \quad (5.2)$$

Esimerkiksi 15 vuoden ja 6 kuukauden korkojen erotus on $y_t(180) - y_t(6) = -0,7464S_t - 0,0525C_t$. Kirjallisuuskatsauksen perusteella korkomarginaalin on havaittu useissa tutkimuksissa olevan stationaarinen, eli kahden koron välinen erotus pyrkii hakeutumaan tasapainoonsa. Myös jotkin aiemmat mallit ovat huomioineet tämän (Anderson et al., 2002; Koivu et al., 2007; Risku & Kaliva, 2009). Nelson-Siegel-ympäristössä tämä tarkoittaa, että korkokäyrän jyrkkyyden ja kaarevuuden välillä on tasapainosuhte. Koska Hall et al. (1992) ja Zhang (1993) havaitsivat korkokäyrällä useita tasapainoja, eivät yhtälön 5.2 kertoimet ole välttämättä yksikäsitteiset⁹. Siispä se estimoidaan ensin aineistosta, jolloin yhtälö saa muodon $C_t - 1,416S_t$. Tämä tarkoittaa, että jyrkkyyden suhde kaarevuuteen on keskimäärin 1,416. Tämän voi havaita myös kuviosta 21, sillä muuttujien historialliset keskiarvot ovat -2,13 ja -3,25.

Muilla tasapainoehdokkailla ei ole yhtä vahvaa taloudellista tulkintaa eikä kirjallisuuden tukea. Korkokäyrän jyrkkyyden ja luottomarginaalien välillä voi mahdollisesti olla tasapainosuhte (Morris et al., 1998), mutta koska tässä käytetään logaritmista luottomarginaalia, ei suhteen tulkinta ole enää selvä. Malliin valitaan kirjallisuuskatsauksen nojalla vielä kaksi muuta tasapainorelaatiota. Koska korkojen hakeutuminen keskiarvoon saa niin vahvaa tukea kirjallisuuskatsauksesta ja aiemmista malleista, huomioidaan se korkokäyrän tason kautta. Muuttujan $\log L_t$ historiallinen keskiarvo on ollut 1,566. Myös luottomarginaalin piirre hakeutua keskiarvoonsa saa vahvaa tukea kirjallisuuskatsauksesta, sekä pinnallisen tarkastelun nojalla myös aineistosta, kun tarkastellaan kuviota 21. Riskittömän koron keskiarvoonhakeutuvuus edellyttää tätä myös luottomarginaalilta, joten taloudellinen intuitio tämän piirteen takana on sama kuin riskittömän koron kohdalla. Muuttujan $\log s_t^{\text{BBB}}$ keskiarvo tarkasteluperiodilla on ollut 0,021. Virheenkorjaustermiksi saadaan siis $\alpha(\beta'x_{t-1} - \mu)$, missä

$$\beta = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -1,416 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \text{ ja } \mu = \begin{pmatrix} 0 \\ 0,021 \\ 1,566 \end{pmatrix}. \quad (5.3)$$

Kun pitkän aikavälin termit on valittu, estimoidaan seuraavaksi lyhyen aikavälin kertoimet. Jotta osakemarkkinoiden tehokkuus varmistetaan, rajoitetaan osaketuottojen r_t^{FIN} , r_t^{global} ja r_t^{others} yhtälöistä kaikki kertoimet nolllaksi, kuten Boender (1997) ja Kouwenberg (2001). Sen lisäksi, että menettely on yhdenpitävä talousteorian ja laajan empiirisen kirjallisuuden perusteella, on sen etuna myös, että malliin ei jää kertoimia, joiden tilastollinen merkitsevyys on aineistossa vain vähäinen, mutta joilla on suuri vaikutus mallin piirteisiin. Näiden rajoitteiden lisäämisen jälkeen suoritetaan SER-menettely, jonka seurauksena kerroinmatriisien

⁹ Tasapainosuhteita voi olla myös sellaisten korkojen välillä, joita ei ole aineistossa ja tässä esitetty tasapainosuhte ottaa myös sen huomioon. Tasapainosuhteesta saa luultavasti linkkejä korkojen volatiilisuuteen ja korkojohdannaisten hinnoitteluun, jotka jätetään jatkotutkimusten selvittäviksi.

estimaatit ovat

$$A_1 = \begin{pmatrix} 0 & -0,536 & 6,802 & 1,084 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,172 & 0 & 2,259 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1,719 \end{pmatrix}, \quad (5.4)$$

$$A_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -0,274 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,032 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0,791 \end{pmatrix}, \quad (5.5)$$

$$\alpha = \begin{pmatrix} -0,156 & 0 & 0 \\ 0 & -0,083 & 0 \\ 0 & 0 & -0,038 \\ 0,074 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (5.6)$$

Residuaalien kovarianssimatriisi on liitteessä 4 yhtälössä 7.24. Kertoimia voidaan myös tulkita lyhyesti. Lyhyen aikavälin vuorovaikutusta on lähinnä korkomarkkinamuuttujien välillä. Kiinteistötuotoilla on kaksi merkitsevää viivettä, joka tarkoittaa että kiinteistömarkkinat reagoivat shokkeihin paljon hitaammin kuin osakemarkkinat. Tämä ei ole yllättävää huomioitaessa, että kiinteistömarkkiat eivät ole yhtä likvidit. Piirre on yhdenmukainen myös kirjallisuuskatsauksen kanssa.

Myös matriisista α voidaan tehdä päätelmiä. Matriisiin jää jäljelle vain ennakko-odotusten mukaiset kertoimet, joka vahvistaa, että valitut tasapainosuhteet ovat tilastollisesti merkitseviä. Ensimmäisen tasapainovektorin kaarevuutta vastaava kerroin on negatiivinen $-0,156$ ja jyrkkyyttä vastaava kerroin positiivinen $0,074$, joka tarkoittaa että muuttujien välisen etäisyyden ollessa suurempi kuin $C_t - 1,416S_t$, on kaarevuudella tapana laskea ja jyrkkyydellä nousta. Koska kaarevuuden kerroin on itseisarvoltaan suurempi, sopeutuu se jyrkkyyttä nopeammin. Tämä on myös kirjallisuuden nojalla odotettua.

5.3 Mallin kalibrointi

Aikasarja-analyysin suurimpia vaikeuksia on vakiotermin estimointi, joka on ennustamisen kannalta kriittinen tekijä (Anderson et al., 2002; Bewley & Haddock, 2004). Tämän vuoksi seurataan tässä työssä tutkimusten Hilli (2007) ja Koivu et al. (2007) lähestymistapaa, jossa vakiotermejä ei estimoida. Valitsemalla termiksi

$$v = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0,00667 \\ 0,0054 \\ 0,00667 \\ 0,0003 \end{pmatrix}, \quad (5.7)$$

saadaan suomalaisten osakkeiden ja vaihtoehtoissijoitusten keskimääräiseksi vuosituotoksi noin 8 %. Kansainvälisten osakkeiden tuotto on hieman matalampi, vuositasolla noin 6,5 %, sillä niissä ei huomioida osinkoja. Kiinteistöjen keskimääräinen tuotto on noin 4 %. Tässä tulee kuitenkin huomioida, että näistä keskimääräisistä tuotoista voidaan poiketa huomattavastikin pitkiksikin ajoiksi, eli malli on siinä suhteessa realistinen. Vakiotermin valintaa puoltaa myös se, että osake-tuotot ovat aineiston käsittämällä periodilla olleet poikkeuksellisen matalat, jopa negatiiviset (taulukko 28).

Seuraavaksi estimoidaan regressiokertoimet luottomarginaaleille (yhtälö 4.5). Selittävänä muuttujana on valittu s_t^{BBB} ja selitettävänä muuttujana jokaista 12 korkoaineistoa vastaava viiden vuoden luottomarginaali. Saadut kertoimet ja regressioiden selitysasteet ovat taulukossa 18. On hyvä huomata, että selitysasteet ovat erittäin korkeat. Lisäksi kerroin kasvaa odotetusti luokituksen heikentyessä. Kertoimet voidaan tulkita siten, että esimerkiksi AAA-luokitettujen pankkien luottomarginaali on keskimäärin alle kolmanneksen BBB-luokitettujen teollisuusyritysten marginaalista. BB-luokitettujen teollisuusyritysten marginaalit ovat puolestaan huomattavasti korkeammat, eli 1,639-kertaiset. Luokituksen putoaminen BBB:stä tasolle BB nostaa marginaaleja huomattavasti.

Oletus, että luottomarginaali on maturiteetin suhteen vakio saa lisätukea aineistosta, sillä aineistosta saadaan vinoutuneita luottomarginaalikäyriä. Tämä on hyvin tunnettu erikoisuus, kun käytetään riskittömänä korkona Saksan korkokäyrää (Düllmann & Windfuhr, 2000; Geyer et al., 2004; Jankowitsch & Pichler, 2004). BB-luokitusta alemmista luokista ei ole käytettävissä aineistoa. Näiden merkitys on onneksi erittäin vähäinen ja kertoimiksi valitaan 2 ja 3. Lopulliset kertoimet kullekin luottoluokalle on taulukossa 19.

Luottomigraatiomatriisina käytetään Standard & Poor's:in (2009) laskemia keskimääräisiä vuotuisia luottoluokitusten muutoksia vuosilta 1981–2008. Tavanomainen neutraali tapa kohdella bondien putoaminen luokittelemattomaksi on siten, kuin niistä ei olisi tietoa. Tällöin luokittelemattomien sarake luottomigraatiomatriisissa jaetaan muihin kategorioihin suhteessa niiden painoihin (Bangia et al., 2002; Grundke, 2009).

TAULUKKO 18 Luottomarginaalien regressiot

Aineisto	ψ^c	R^2
BankAAA	0,316	0,918
IndusAAp	0,321	0,915
BankAA	0,383	0,921
UtilAA	0,407	0,945
BankA	0,594	0,958
UtilA	0,520	0,978
IndusA	0,560	0,982
TelefA	0,581	0,943
BankBBB	0,799	0,941
IndusBBBm	1,292	0,973
TelefBBBp	1,204	0,811
IndusBB	1,639	0,959

TAULUKKO 19 Luottomarginaalien kertoimet

luokitus	ψ^c
AAA	0,316
AA	0,395
A	0,558
BB	1,639
B	2,000
CCC	3,000

Luottomigraation ja palautumisasteen kertoimet valitaan perustuen kirjallisuuteen ja ne ovat taulukossa 20. Grundken (2009) mukaan keskimääräinen palautumisaste on 53,8 % ja Moody'sin (2009) mukaan 63,6 %. Solvenssi II:ssa palautumisaste saa arvoja väliltä 10–50 % (CEIOPS, 2010a). Myös Altman & Kishore (1996) raportoivat, että palautumisaste voi vaihdella huomattavasti. Taulukkoon 20 valitut parametrit ovat linjassa tutkimuksen Bruche & González-Aguado (2010) kanssa ja antavat keskimääräisiksi palautumisasteiksi 28,3 % ja 80,3 % luottosyklin eri vaiheissa. Parametrin ρ valinta tarkoittaa luottomigraatiomallissa korrelaatiota 0,3.

TAULUKKO 20 Luottomigraation ja palautumisasteen parametrit

ρ	0,9
δ_0	0,47
δ_1	0,48
ζ_0	1,4
ζ_1	-0,46

Taulukossa 21 esitellään simulointien tunnuslukuja. Omaisuusluokkien keskimääräiset vuosituotot ja volatilitetit ovat hyvin linjassa empirian kanssa. Esimerkiksi bondien keskimääräinen tuotto paranee luokituksen heiketessä, mutta myös volatiilisuus nousee. Ainoana heikkoutena on luokitus CCC, jonka keski-tuotto jää liian matalaksi johtuen suuresta määrästä maksuhäiriöitä suhteessa luottomarginaaliin. Kyseisen luottomarginaalin kerroin 3 on siis liian matala. Kiinteistöjen tuotto on ehkä hieman korkea, mutta kuitenkin selvästi matalampi kuin osakkeiden. Vähäriskisin ja -tuottoisin omaisuusluokka on rahamarkkinat.

TAULUKKO 21 Simuloidut vuosituotot (30000 havaintoa)

	keskiarvo	keskihajonta
osakkeet	7,20 %	18,36 %
OMXH Cap	8,07 %	20,91 %
global	6,53 %	16,11 %
others	8,05 %	13,13 %
kiinteistöt	4,98 %	5,76 %
rahamarkkinat	3,19 %	3,35 %
bondit	4,63 %	3,70 %
AAA	4,18 %	3,42 %
AA	4,29 %	3,48 %
A	4,50 %	3,63 %
BBB	5,21 %	5,10 %
BB	6,23 %	7,45 %
B	6,74 %	8,38 %
CCC	3,67 %	10,62 %

Taulukossa 31 (liite 4) esitellään puolestaan korkomarkkinoihin liittyviä tunnuslukuja. Empirian mukaisesti, tasofaktori on korkofaktoreista vähiten ja kaarevuus eniten volatiili. Luottomarginaalin ja palautumisasteen tunnusluvut ovat myös erittäin realistiset vastaten kirjallisuutta ja käytettyä aineistoa. Luottomarginaalin historiallinen keskiarvo on 1,31 ja keskihajonta 1,02. Keskimääräinen palautumisaste simuloinneissa on 42,93 %. Korkokäyrän tunnusluvut vastaavat kirjallisuuskatsauksen tuloksia, sillä se saa keskimäärin nousevan muodon ja lyhyet korot ovat volatiilimmat kuin pitkät.

6 SIJOITUSTEN ALLOKAATION JA PERFORMANS- SIN VERTAILU JÄRJESTELMIEN VÄLILLÄ

6.1 Sijoitustoiminnan analysointiin käytettävät menetelmät

Vakavaraisuussäännökset asettavat suoria rajoitteita eläkelaitosten sijoitustoiminnalle ja niiden kyvyille ottaa riskiä. Tässä osiossa esitellään nämä rajoitteet, sekä esitetään sijoitusstrategioiden analysoinnissa käytettävät performanssia mittaavat tunnusluvut.

Määrä, jolla eläkelaitoksen varat (W_t) ylittävät vastuuelan (V_t), on toimintapääomaa

$$W_t - V_t, \quad (6.1)$$

jonka avulla laitokset varautuvat sijoitusriskeihin.

Vakavaraisuusraja saadaan nykyjärjestelmässä kertomalla vastuuelka yhtälön 2.1 mukaisella vakavaraisuusparametrilla p . Solvenssi II:n mukaisilla säännöksillä vastaava raja saataisiin korvaamalla vakavaraisuusparametri osion 2.3 mukaisen SCR:n suhteella sijoitusvarallisuuteen. Molemmat näistä vakavaraisuusparametreista ovat sijoitusriskejä kuvaavia riskimittareita ja voidaan tulkita Value-at-Risk -tunnusluvuksi. Jatkossa käytetään merkintää VaR_t , jolla tarkoitetaan kumpaa tahansa lukua p_t tai SCR_t/W_t . Näiden kahden vertaaminen on siis tutkimuksen päätavoitteena. Vakavaraisuusraja on $\text{VaR}_t \cdot V_t$, eli:

$$\text{Nykyjärjestelmä: } p_t \cdot V_t \quad (6.2)$$

$$\text{Solvenssi II: } \frac{\text{SCR}_t}{W_t} \cdot V_t.$$

Yhtiön vakavaraisuutta voidaan mitata toimintapääoman suhteella vastuuelkaan, tai toimintapääoman suhteella vakavaraisuusrajaan. Näitä suhdelukuja kutsutaan toimintapääoma-asteeksi $(W_t - V_t)/V_t$, ja solvenssisuhteeksi $(W_t - V_t)/(\text{VaR}_t \cdot V_t)$. Eläkeyhtiön vararikko voidaan määritellä kahdella tavalla. Ensimmäisessä määritelmässä yhtiö on vararikossa, mikäli sen toimintapääoma on alle kolmanneksen sen vakavaraisuusraja. Toisessa määritelmässä yhtiö on va-

rarikossa, mikäli sen varat eivät riitä kattamaan vastuovelkaa, eli toimintapääoma on negatiivinen. Tähän työhön omaksutaan jälkimmäinen määritelmä.

Finanssialalla salkunhoidossa käytetään paljon niin sanottua riskibudjettia (risk budget) (katso esim. [Chow & Kritzman, 2001](#)). Riskibudjetti on jokin yläraja, jota portfolion riskimittari, kuten VaR tai CVaR (Conditional VaR), ei saa ylittää. Mikäli salkunhoitaja ottaa liikaa riskiä ja riskibudjetti ylittyy, tulee hänen vähentää riskiä ja siirtyä ennalta suunniteltuun konservatiiviseen sijoitusstrategiaan, riippuen kyseisen rahaston ja rahastoyhtiön säännöistä. Koska vakavaraisuusparametri on eläkelaitoksen riskimittari ($p_t = \text{VaR}_t$ tai $\text{SCR}_t / W_t = \text{VaR}_t$), niin tällöin eläkelaitoksen riskibudjetti on sen toimintapääoma-aste. Toimintapääoma ei saa alittaa vakavaraisuusrajaa, eli rajoitteena on siis

$$\text{VaR}_t < \frac{W_t - V_t}{V_t}. \quad (6.3)$$

Riskibudjetti asettaa myös rajoitteen osakepainolle, jolloin korkein mahdollinen osakepaino on sellainen, että portfolio käyttää koko budjetin.

Eri sijoitusstrategioiden performanssia mitataan tyypillisimmin [Sharpen \(1966; 1994\)](#) ja [Sortinon](#) tunnusluvulla. Sharpen luku on muotoa

$$\frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (r_i - r_f)}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (r_i - \bar{r})^2}}, \quad (6.4)$$

eli paras sijoitusstrategia on se, jonka keskimääräinen riskisopeutettu tuotto on korkein suhteessa volatiilisuuteen. Sijoitusstrategia, jonka Sharpen suhdeluku on korkein, on performanssiltaan paras eli optimaalinen. Sharpen luku on yhdenmukainen [Markowitzin \(1952\)](#) portfolioteorian kanssa.

Simulointikehikossa jokaiselle sijoitusstrategialle saadaan n kappaletta vuosituoja r_i . Tällöin n on simulointien lukumäärä (1000) kertaa aikahorisontti (30 vuotta). Perinteisesti tavoitetuotto r_f on riskitön tuotto. [ETK \(2011\)](#) käyttää kuitenkin laskelmissaan 4 %:in reaalista tavoitetuottoa, joten tässä työssä on aiheellista verrata sijoitusstrategioita myös eläkejärjestelmän tavoitteeseen. Työhön omaksutaan [Kahran \(2011\)](#) käyttämä 6 %:in nimellistuottoa olettaen inflaation olevan 2 %.

[Markowitzin](#) portfolioteoriassa oletetaan sijoitustuottojen olevan normaali-jakautuneet, joten riskimittarina käytetään volatilitteettia. Sharpen luvussa tämä rankaisee symmetrisesti sekä positiivisia että negatiivisia poikkeamia keskimääräisestä tuotosta. Todellisuudessa tuottojakauma saattaa olla kuitenkin erittäin vino, joten on mielekkäämpää käyttää alasuuntaista riskiä kuvaavaa mittaria. [Sortinon](#) tunnusluvussa

$$\frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (r_i - r_f)}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mathbf{1}_{\{r_i < r_f\}} (r_i - r_f)^2}} \quad (6.5)$$

rankaistaan ainoastaan negatiivisia poikkeamia tavoitetuotosta, sillä jakajassa indikaattorifunktio $\mathbf{1}_{\{r_i < r_f\}}$ saa arvon 0, mikäli tuotto r_i on tavoitetuottoa suurempi ja arvon 1 muulloin.

Myös Value-at-Risk on alasuuntaista riskiä kuvaava mittari. Alexander & Baptista (2003) ehdottavatkin performanssia mittaavaksi tunnusluvuksi Reward-to-VaR -suhdelukua (jatkossa RtoVaR). Luku mittaa keskimääräistä lisätuottoa, joka voidaan saada mikäli salkun riskiä (VaR) kasvatetaan 1 prosenttiyksikön verran. RtoVaR lasketaan kaavalla

$$\frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (r_i - r_f)}{\text{VaR} + r_f}. \quad (6.6)$$

Koska vakavaraisuusparametrit voidaan myös tulkita VaR-luvuiksi, voidaan tätä performanssimittaria käyttää myös vakavaraisuusjärjestelmien vertaamiseen sijoittamalla vakavaraisuusparametrit VaR:n paikalle.

6.2 Omaisuusluokkien riskiattribuutiot ja vakavaraisuuskäyrät

Ensimmäisenä tutkimusmenetelmänä käytetään salkunhoidossa paljon käytettyä riskiattribuution (risk attribution) käsitettä, jonka kuvauksen tarjoaa Chow & Kritzman (2001). Riskiattribuutiolla tarkoitetaan riskimittarin muutosta, kun yksittäisen instrumentin tai omaisuusluokan i painoa w_i muutetaan salkussa. Riskiattribuution tarkoitus on auttaa salkunhoitajaa monitoroimaan portfolion riskiä sijoitus päätöksiä tehdessään. Formaalisti omaisuusluokan i riskiattribuutio on

$$\frac{\partial \text{VaR}(w_i)}{\partial w_i}. \quad (6.7)$$

Riskiattribuutio voidaan laskea siten, että lasketaan kuinka vakavaraisuusparametri muuttuu, kun omaisuusluokan painoa lisätään 1 prosenttiyksikkö ja muiden omaisuusluokkien keskinäiset painot pysyvät samoina. Painojen keskinäiset suhteet noudattavat liitteen 3 mukaista sijoitusten jakaumaa ja kaikkien sijoitusten oletetaan kohdistuvan euroalueelle, jotta valuuttariskit eivät vääristä tuloksia. Valuuttapainoa tarkastellaan erikseen.

Taulukossa 22 on eri omaisuusluokkien riskiattribuutio käytettäessä kahta eri vakavaraisuusjärjestelmää eläkelaitosten nykyisellä sijoitusjakaumalla. Osakkeiden, bondien ja rahamarkkinasijoitusten attribuutiot eivät poikkea toisistaan merkittävästi ja molemmissa järjestelmissä osakepainon lisääminen nostaa vakavaraisuusrajaa, kun taas rahamarkkina- ja bondisijoitusten lisääminen laskee. Nykyjärjestelmä kuitenkin rankaisee vaihtoehtoisten sijoitusten lisäämisestä Solvenssi II:ta huomattavasti enemmän.

Merkittävin havainto on kiinteistö sijoitusten erilainen kohtelu. Nykyjärjestelmässä eläkelaitokset voisivat alentaa vakavaraisuusrajaa lisäämällä kiinteistöjen painoja, mutta Solvenssi II:ssa niiden attribuutio onkin positiivinen, eli kiinteistö painon kasvattaminen lisäisi pääomavaatimuksia. Valuuttariskin lisäämisellä

TAULUKKO 22 Omaisuusluokkien riskiattribuutiot

	p	SCR/W
osakkeet	0,173	0,171
vaihtoehtoiset	0,346	0,191
kiinteistöt	-0,135	0,010
bondit	-0,185	-0,179
rahamarkkinat	-0,196	-0,190
valuuttariski	-0,005	0,137

ei nykyjärjestelmässä ole juurikaan vaikutusta, joten on selvää, että Solvenssi II -tyyppinen kehikko kannustaisi siirtämään sijoituksia euroalueelle ja käyttämään valuuttasuojauksia.

Koska riskiattribuutiot kuvaavat omaisuuslajien painon lisäämisen vaikutuksia vain nykyisellä portfolion koostumuksella, voidaan eri omaisuusluokkien kohtelua kahdessa eri vakavaraisuuskehikossa verrata muodostamalla salkkuja, joissa tutkittavan omaisuusluokan paino vaihtelee välillä 0–100 %. Määrittämällä näille salkuille vakavaraisuusparametrit, voidaan parametrit esittää funktioina omaisuusluokan painon suhteen. Tästä käytetään nimitystä vakavaraisuuskäyrä tai -pinta. Riskiattribuutio on tällöin käyrän derivaatta kussakin pisteessä. Käyrien avulla voidaan tarkastella miten salkun riski muuttuu, mikäli tarkasteltavan omaisuusluokan painoa kasvatetaan ja muiden omaisuusluokkien keskinäiset painot pidetään vakiona suhteessa toisiinsa. Metodologialla vältetään rajoittavilta oletuksilta yksittäisten omaisuusluokkien painojen suhteen, eli voidaan tarkastella vakavaraisuusparametrien käyttäytymistä kokonaisuutena.

Kuviossa 10 on esitetty osakkeiden ja vaihtoehtoisten sijoitusten vakavaraisuuskäyrät molemmissa järjestelmissä. Vaaka-akselilla on kyseisen omaisuusluokan osuus sijoituksista, eli esimerkiksi Solvenssi II:ssa vakavaraisuusparametri on 30 % mikäli eläkelaitos sijoittaa vain osakkeisiin. Osakkeiden osalta tulokset indikoivat, että niitä kohdellaan yhdenmukaisesti molemmissa säännöksissä. Erona on vain tasovaikutus, eli Solvenssi II:ssa pääomavaatimus on tasaisesti hieman korkeampi, kuin nykyjärjestelmässä riippumatta osakkeiden painosta. Ero on keskimäärin 1,7 prosenttipistettä. Tasovaikutus ei kuitenkaan käytännössä ole vakio, vaan nykyjärjestelmässä käyrien taso riippuu eläkelaitosten keskimääräisestä vakavaraisuudesta¹. Tämän vuoksi on mielekkäämpää tarkastella riskiattribuutioita, eli käyrien kulmakertoimia ja muotoja.

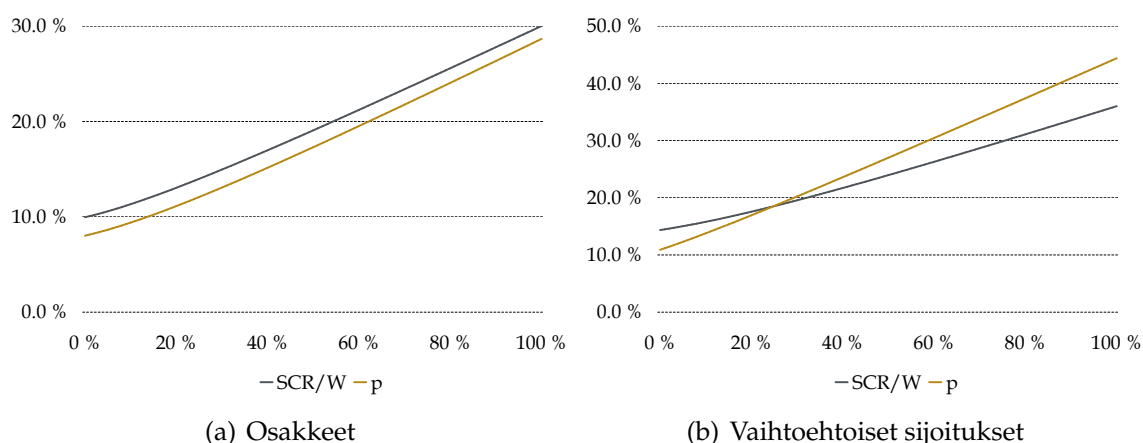
Vaihtoehtoisten sijoitusten kohtelu on puolestaan erittäin poikkeavaa. Tuloksiin tulee suhtautua varauksella sen suhteen, että vaihtoehtoisten sijoitusten oletetaan kohdistuvan hedge-rahastojen ja pääomasijoitusten osalta nykyjärjestelmän luokkaan muut osakkeet (IV.3)². Oletus ei ole täysin realistinen, vaan eläkelaitokset saattavat luokitella hedge-rahastosijoituksiaan myös muihin omaisuusluokkiin³. Siispä tulokset koskevat erityisesti pääomasijoituksia ja noteeraa-

¹ Tämän aiheuttaa parametri " t " kaavassa 2.1.

² Noteeraamattomat osakkeet luokitellaan luokkaan IV.2.

³ Tämä on myös järjestelmän suurimpia heikkouksia ja kehittämistarpeita.

mattomia osakkeita. Näiden tulosten perusteella Solvenssi II:ssa vaihtoehtoisten sijoitusten pääomavaatimus on nykyjärjestelmää kevyempi, mikäli niiden osuus on yli 25 % (käyrien leikkauspiste). Eläkelaitosten nykyisellä allokaatiolla (11 %) nykyjärjestelmän pääomavaatimus on noin 1,8 prosenttiyksikköä alhaisempi. Koska vakavaraisuuskäyrä on nykyjärjestelmässä suora, saattaa se viitata siihen, ettei näistä omaisuusluokista saa merkittävää hajautusetua. Tämä on kuitenkin toisin Solvenssi II:ssa ja se paljastuu myös osakeriskimoduulin pääomavaatimuksesta, jossa kategoriat "global" ja "others" eivät ole täysin korreloituneet, eli niiden välillä on hajautusetua⁴.



KUVIO 10 Vakavaraisuuskäyrät eri osake- ja vaihtoehtoisten sijoitusten painoilla

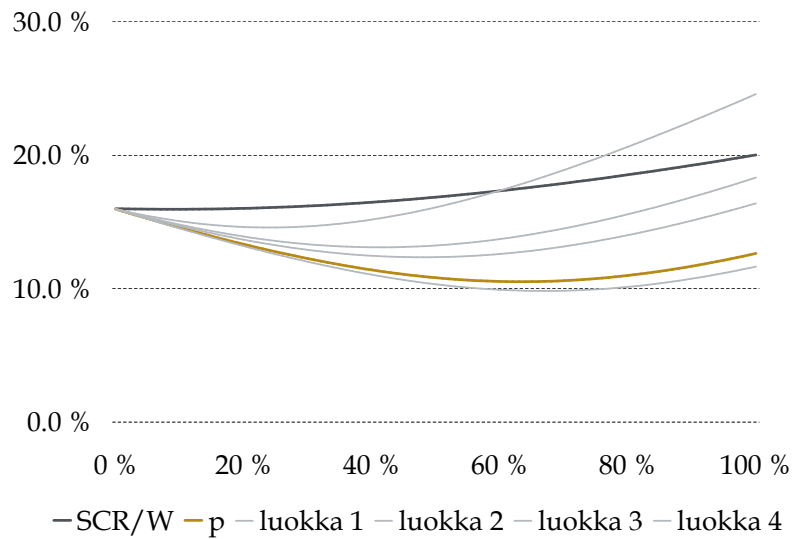
Kiinteistösijoitusten kohdalla erot järjestelmien välillä ovat vieläkin suuremmat. Kuviossa 11 on esitetty myös nykyjärjestelmän mukaiset käyrät oletettaessa, että kaikki kiinteistösijoitukset kohdistuvat johonkin alaluokista 1–4. Näiden tarkoituksena on havainnollistaa tulosten herkkyyttä tehtyjen oletusten suhteen. Valtaosa eläkelaitosten kiinteistösijoituksista kohdistuu kotimaahan ja käyrän p oletuksena on, että 67 % kiinteistösijoituksista kohdistuu alaluokkaan 1.

Solvenssi II:ssa kiinteistöjen pääomavaatimus on selvästi korkeampi riippumatta mihin alaluokkaan sijoitukset kohdistuvat. Vain OECD- ja ETA-maiden ulkopuolelle sijoittaminen (alaluokka 4) ylittää Solvenssi II:n mukaisen rajan, kun kiinteistöt ylittävät 60 % sijoituksista. Tämä viittaa siihen, että Solvenssi II saattaisi ohjata eläkelaitoksia vähentämään kiinteistösijoitusten painoa ja lisäksi niiden hajautushyöty on vähäisempi. Säännösten suurin ero on, että Solvenssi II:ssa kiinteistösijoituksia ei luokitella alaluokkiin, vaan niille asetetaan sama pääomavaatimus. Saatujen tulosten valossa tämä saattaa yliarvioida riskejä ja alaluokittelu on mahdollisesti tarpeen⁵. Nykyjärjestelmä puolestaan saattaa aliarvioida erityisesti Suomen ulkopuolelle kohdistuvien kiinteistösijoitusten riskejä.

Rahamarkkinasijoitusten kohdalla järjestelmissä ei ole käytännössä eroa. Oletukset sijoitusten jakautumisesta alaluokkiin eivät vaikuta tuloksiin, vaan vakavaraisuuskäyrä saa täsmälleen saman muodon riippumatta mihin alaluokkaan sijoitetaan. Tämä viittaa siihen, että nykyjärjestelmää voitaisiin yksinkertaistaa

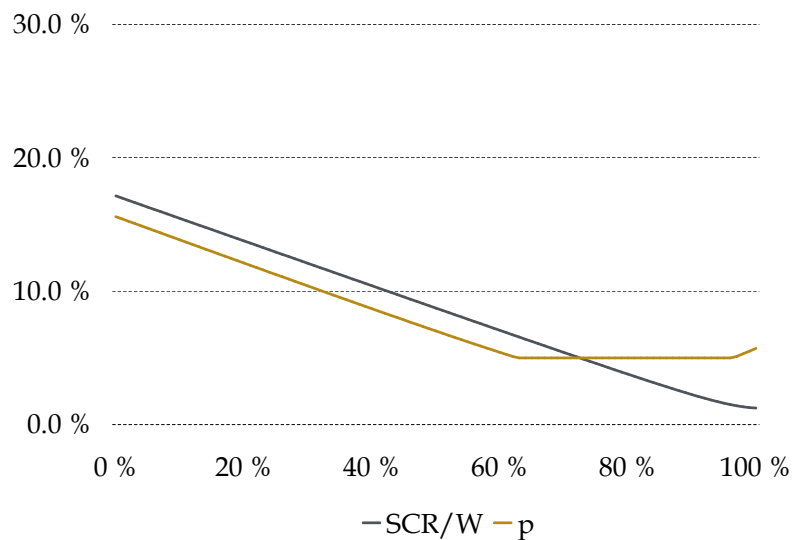
⁴ Korrelaatiokerroin on 0,75 kaavassa 2.5.

⁵ QIS5 selvityksessä on saatu samanlaisia tuloksia (EIOPA, 2011).



KUVIO 11 Vakavaraisuuskäyrät eri kiinteistöpainoilla

poistamalla pääluokasta I erilliset alaluokat. Kuvion 12 perusteella Solvenssi II:n pääomavaatimus on hieman korkeampi, mutta kyse on jälleen tasovaikutuksesta, eli käyrä on keskimäärin 1,7 prosenttipistettä ylempänä. Nykyjärjestelmässä p ei voi saada arvoja, jotka ovat alle 5 %, joten vakavaraisuuskäyrä saa tasaisen muodon rahamarkkinoiden painon ylittäessä 65 %. Tämä piirre puuttuu Solvenssi II:sta ja käytännössä se voitaisiin myös poistaa nykyjärjestelmästä.



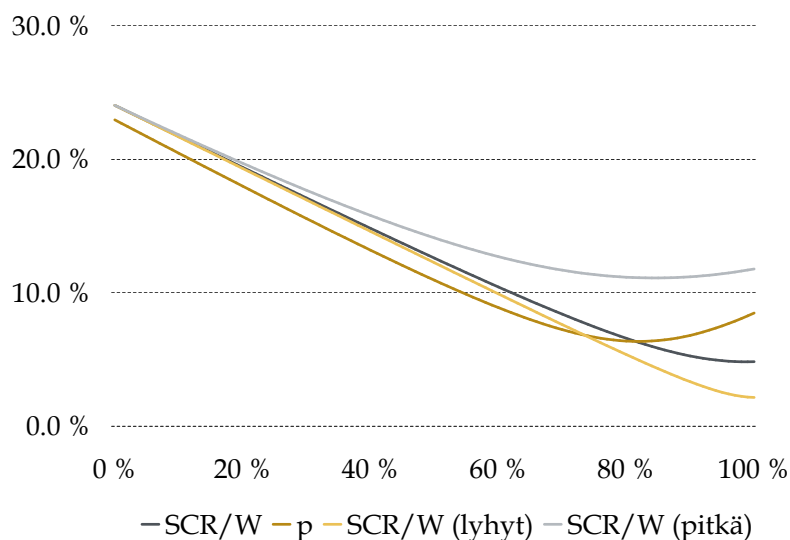
KUVIO 12 Vakavaraisuuskäyrät eri rahamarkkinoiden painoilla

Bondisijoituksia voidaan pitää osakkeiden ohella eläkelaitosten tärkeimpänä omaisuusluokkana. Kuviossa 13 esitetään nykyisen säännösten ja Solvenssi II:n mukaiset vakavaraisuuskäyrät, jotka perustuvat liitteessä 3 tehtyihin oletuksiin sijoitusten duraatiosta. Kyseisillä oletuksilla ei ole vaikutusta nykyjärjestelmässä, mutta Solvenssi II:ssa korkokäyrän pitkään ja lyhyeen päähän sijoittaminen vaikuttaa vakavaraisuusparametriin sekä markkinariski-, että luottomarginaaliriskimoduulin

välityksellä. Jälkimmäisessä moduulissa luottoriskit nousevat portfolion duraation suhteen, eli pidemmän maturiteetin instrumentteihin sijoittaminen lisää luottoriskejä. Solvenssi II:n suhteen herkkyyksianalyysiä voidaan suorittaa vaihtoehtoisilla oletuksilla, että kaikkien bondisijoitusten maturiteetti on 2 vuotta (lyhyt) tai 10 vuotta (pitkä).

Perusoletuksen mukaisilla bondisalkuilla havaitaan jälleen tasovaikutus, kun paino on alle 60 %. Tämän jälkeen p alkaa konvergoimaan kohti Solvenssi II:n parametria ja käyrät leikkaavat 82 %:in kohdalla. Tämän merkitys on lähinnä teoreettinen, sillä eläkelaitosten bondisijoitukset ovat tyypillisesti paljon vähäisemmät. Kuvio 13 viittaa kuitenkin siihen, että nykyjärjestelmässä ei ole järkevää sijoittaa vain bondeihin, vaan esimerkiksi osakkeiden ja bondien välillä on hajautushyötyä. Solvenssi II:ssa puolestaan vakavaraisuusraja on sitä alhaisempi, mitä suurempi paino bondeilla on.

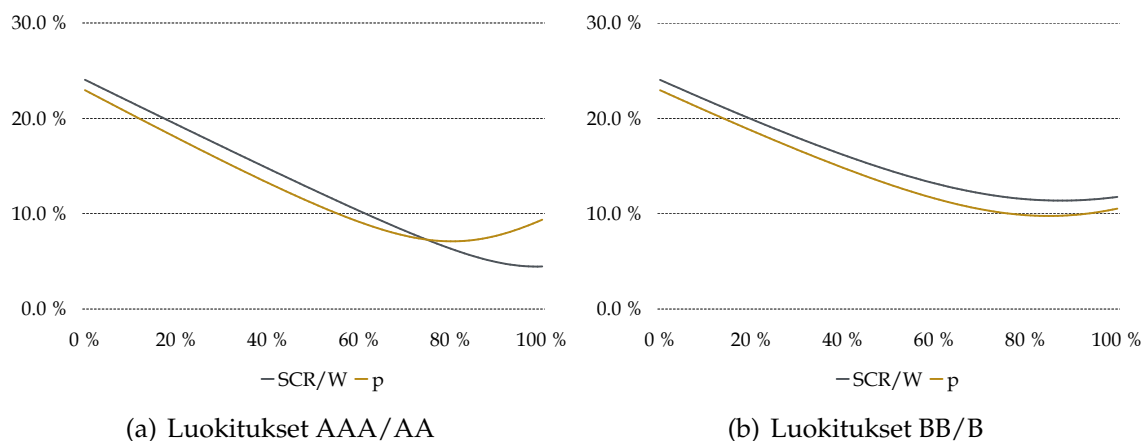
Duraation vaikutus luottomarginaaliriskeihin on Solvenssi II:ssa huomattava. Kuviossa 13 pitkien korkojen salkulla on selvästi korkeampi vakavaraisuusvaatimus, kuin lyhyiden korkojen salkulla. Erot muodostuvat huomattavaksi kuitenkin vasta, kun bondien paino on yli 35–40 %. Tulokset paljastavat kuitenkin nyky säännöksissä puutteen, jota ei aiemmissa selvityksissä ole havaittu. Nykyjärjestelmä jättää huomiotta tärkeän piirteen, eli maturiteetin vaikutuksen, luotto- ja korkoriskien hallinnassa. Tämä tarkoittaa, että uuteen järjestelmään siirryttäessä eläkelaitokset voisivat vähentää vakavaraisuusrajaa bondisijoitusten allokaatiomuutoksilla ja duraatiota pienentävillä johdannaispimuksilla.



KUVIO 13 Vakavaraisuuskäyrät eri bondien painoilla

Toinen aspekti bondisijoituksiin on niiden kohdistuminen luottoluokittain. Eläkelaitosten joukkovelkakirjasijoituksista noin puolet kohdistuu euroalueen julkisen sektorin, kuten Suomen valtion, liikkeellelaskemiin joukkovelkakirjoihin. Solvenssi II:ssa näitä ei lueta luottomarginaaliriski-, eikä keskittymäriskimoduulin piiriin. Nykyjärjestelmässä ne puolestaan allokoidaan omaan alaluokkaansa, mutta vain parhaiden luokitusten osalta. Tämä on mielenkiintoinen piirre, kun sitä peilataan euroalueen velkakriisiin, sillä esimerkiksi Saksan ja Kreikan joukkovelkakirjat

saavat Solvenssi II:ssa saman pääomavaatimuksen. Nykyjärjestelmässä tätä epäkohtaa ei ole. Jotta luottoriskien vaikutusta voidaan tarkastella enemmän, voidaan muodostaa kaksi eri oletusta. Ensimmäisessä oletuksessa kaikki bondisijoitukset kohdistuvat AAA tai AA-luokituksen bondeihin. Toisessa oletuksessa puolestaan sijoitukset kohdistuvat BB tai sitä huonomman luokituksen instrumentteihin. Julkisyhteisöjen velkakirjoja ei kuitenkaan huomioida⁶.



KUVIO 14 Vakavaraisuuskäyrät eri bondien painoilla, kun sijoitetaan hyvän ja huonon luokituksen bondeihin

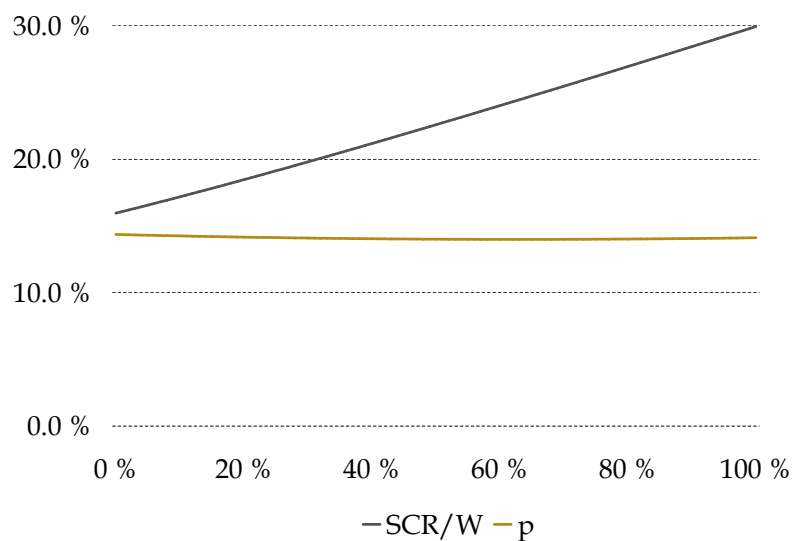
Kuvion 14 perusteella ensimmäinen oletus ei muuta saatuja tuloksia. Tämä on luonnollista, sillä liitteen 3 perusteella sijoitukset kohdistuvat pääosin vähäriskisiin velkakirjoihin. Kuvioista paljastuu kuitenkin, että ns. roskalainojen suhteen vertailtavat vakavaraisuusparametrit ovat yhdenmukaisia. Julkisyhteisöjen velkakirjojen osalta nykyjärjestelmä kohtelisi alhaisesti luokiteltuja bondeja kuitenkin tiukemmin.

Viimeisenä tarkastellaan valuuttariskien kohtelua kahdessa eri järjestelmässä. Nykyjärjestelmässä valuuttariski puuttuu lähes täysin ja eri omaisuusluokkia kohdellaan eri tavoin. Solvenssi II:ssa puolestaan kaikille omaisuusluokille on yhdenmukainen kohtelu. Kuvio 15 paljastaa, että tämä aiemmista selvityksistä STM (2010a; 2010b) hyvin tunnettu puute voidaan havaita myös käytetyllä tutkimusmenetelmällä. Vakavaraisuuskäyrien laskennassa omaisuusluokkien painot on oletettu vakioiksi, mutta osake-, vaihtoehtois- ja bondisijoitusten paino euroalueen ulkopuolisessa valuutassa liikkuu välillä 0–100 %. Tämä tarkoittaa, että kun valuuttapaino on 100 %, kaikki osake-, vaihtoehtois- ja bondisijoitukset noteerataan toisessa valuutassa, mutta rahamarkkina- ja kiinteistösijoitukset kohdistuvat edelleen euroalueelle⁷.

Kuviossa 15 parametrin p muutokset aiheutuvat vain siitä luokitellaanko bondit pääluokkaan II, vai alaluokkaan V.2. Osakkeiden ja vaihtoehtoisten valuuttapaino ei vaikuta vakavaraisuusrajaan. Kuvio paljastaa, että alaluokalla V.2 (valuuttamääräiset jvk-sijoitukset) ei vaikuttaisi olevan käytännön merkitystä vakavaraisuuskehikossa, sillä p on käytännössä vakio valuuttapainon suhteen. Tämä

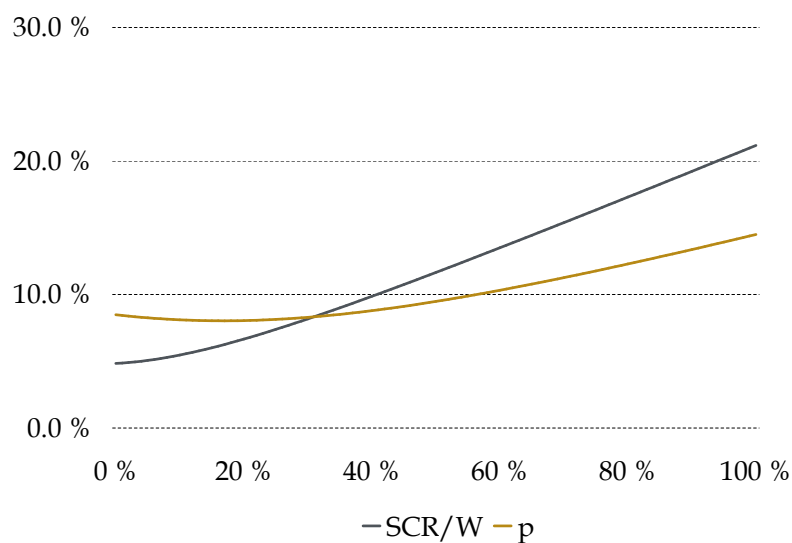
⁶ Julkisyhteisöjen osuuden oletetaan olevan puolet bondisijoituksista, ks. liite 3.

⁷ Eläkelaitosten sijoitukset kahteen viimeksi mainittuun omaisuusluokkaan kohdistuvat liitteen 3 perusteella käytännössä täysin euroalueelle.



KUVIO 15 Vakavaraisuuskäyrät eri valuuttapainoilla

johtuu pääosin siitä, että nykyjärjestelmässä käytettävät parametrit eivät poikkea merkittävästi luokkien välillä ja toisaalta bondien paino on alle 35 %.



KUVIO 16 Vakavaraisuuskäyrät eri valuuttapainoilla, kun sijoitetaan vain bondeihin

Koska valuuttariskit puuttuvat nykyjärjestelmästä lähes täysin, on syytä vertailla vielä valuuttamääräisten bondisijoitusten kohtelua. Näin voidaan tutkia miten järjestelmissä olemassa olevat osat suhtautuvat toisiinsa. Kuviossa 16 on oletettu kaikkien sijoitusten kohdistuvan joukkovelkakirjamarkkinoille, eli tarkastellaan bondisalkun valuuttariskejä. Kuvio paljastaa, että alaluokalla V.2 on merkitystä velkakirjasijoituksiin ja Solvenssi II:ssä vakavaraisuusvaatimus on alhaisempi, kun valuuttapaino on alle 31 %. Toisin sanoen, nykyjärjestelmä kohtelee eläkelaitosten nykyisellä sijoitusallokaatiolla bondien valuuttariskiä tiukemmin kuin Solvenssi II.

Silmiin pistävää on myös, että käyrä p laskee aina 17 %:in valuuttapainoon asti. Tämä on vähintäänkin kyseenalainen piirre nykyjärjestelmässä ja johtuu siitä, että alaluokassa V.2 ei huomioida luottoriskejä, kuten pääluokassa II. Siispä sijoitusten siirtäminen pääluokasta II ulkomaiseen valuuttaan lisää valuuttariskiä, mutta vähentää luottoriskiä sitäkin enemmän (ainakin tiettyyn pisteeseen saakka). Tämä on selkeä hajautushyöty ja antaa lisäevidenssiä siihen, että hyvässä vakavaraisuuskehikossa valuuttariskin on oltava kaikille sijoituksille yhdenmukainen riippumatta vaikkapa luottoriskeistä.

6.3 Optimaalinen sijoittaminen järjestelmissä

Tässä osiossa analysoidaan optimaalista salkkuallokaatiota eläkelaitoksille. Optimaalisella portfoliolla tarkoitetaan sellaista sijoitusstrategiaa, joka saavuttaa tavoitetuoton mahdollisimman alhaisella pääomavaatimuksella. Kun etsitään pääomavaatimuksen minimoiva sijoitusstrategia käyttämällä riskimittarina molempien järjestelmien vakavaraisuusparametria, voidaan selvittää minkä tyyppiin sijoitustoimintaan nämä kaksi vakavaraisuuskehikkoa kannustavat ja onko niissä mahdollisia eroja. Lisäksi optimaalisten strategioiden performanssilukuja voidaan verrata keskenään, jolloin havaitaan onko tavoitetuoton saavuttaminen mahdollisesti helpompaa jommassakummassa kehikossa.

VaR-optimaalinen sijoitusstrategia on sellainen, joka saavuttaa tavoitetuoton mahdollisimman pienellä VaR-tasolla (Campbell et al., 2001; Giamouridis & Vrontos, 2007; Huang, 2005). Optimointiongelman on tällöin

$$\min_w \text{VaR}(w), \quad (6.8)$$

jonka rajoitteina on, että salkun painot summautuvat yhteen $\sum_i w_i = 1$ ja keskimääräinen tuotto saavuttaa tavoitetuoton $\bar{r} = r_f$ ⁸. Lisäksi on luonnollista rajoittaa salkun painot positiivisiksi, eli missään omaisuusluokassa ei voi olla lyhyttä positiota.

Optimointi suoritetaan numeerisilla optimointimenetelmillä (katso liite 2) ja tavoitefunktiona on luvun 2 mukaiset vakavaraisuusparametrit. Optimointiin käytetään 1000 simuloitua skenaariota vuosille 2011–2031, jolloin jokaiselle portfoliolle saadaan 30000 havaintoa vuosituotoista. Eläkelaitosten tavoitetuottona on 6 %:in vuosituotto. Koska eläkelaitoksilla on käytännössä aina oltava likvidejä rahamarkkinainstrumentteja, optimoinnin rajoitteena rahamarkkinasijoitusten osuuden ei sallita alittaa 5 %. Näin saadaan kaksi eri sijoitusstrategiaa, joista toinen minimoi pääomavaatimuksen nykyjärjestelmässä ja toinen Solvenssi II -tyyppisessä järjestelmässä. Perinteisesti paras sijoitusallokaatio etsitään osakkeiden ja bondien välillä, sillä muut omaisuusluokat eivät ole likvidejä. Kolmas optimointi suoritetaankin etsimällä pääomavaatimuksen minivoiva salkku, kun vaihtoehtois-, kiinteistö- ja rahamarkkinasijoitukset pidetään nykyisen kaltaisena.

Taulukossa 23 on esitetty salkku, joka saavuttaa tavoitetuoton mahdollisimman alhaisella vakavaraisuusrajalalla nykyjärjestelmässä (sarake p) ja Solvenssi

⁸ Omaisuusluokkien keskituotot ovat taulukossa 21.

II:ssa (sarake SCR/W). Kolmannessa sarakkeessa on portfolio, jonka pääomavaatimus on alhaisin, kun valinta tehdään osakkeiden ja bondien välillä. Lisäksi portfolioista esitetään performanssia kuvaavat tunnusluvut ja RtoVaR on laskettu molempien järjestelmien mukaisella riskimittarilla. Mikäli performanssilukujen laskemisessa käytettäisiin 6 %:in tavoitetuottoa, olisivat ne jokaiselle portfoliolle määritelmällisesti nolla eivätkä antaisi lisäinformaatiota portfolioiden suorituskyvystä. Niiden laskemiseen onkin käytetty perinteistä riskitöntä tuottoa, eli rahamarkkinoiden keskimääräistä tuottoa 3,2 %.

TAULUKKO 23 VaR-optimaaliset portfoliot

	p	SCR/W	osakkeet vs. bondit
osakkeet	54,3 %	17,9 %	40,9 %
vaihtoehtoiset	0,0 %	28,7 %	11,0 %
kiinteistöt	12,5 %	0,0 %	12,0 %
bondit	28,2 %	48,4 %	29,1 %
rahamarkkinat	5,0 %	5,0 %	7,0 %
Sharpe	0,283 %	0,394 %	0,318 %
Sortino	0,506 %	0,776 %	0,586 %
RtoVaR (p)	0,152 %	0,141 %	0,147 %
RtoVaR (SCR/W)	0,129 %	0,151 %	0,135 %
p	15,2 %	16,7 %	15,8 %
SCR/W	18,5 %	15,3 %	17,6 %

Kolmannen sarakkeen salkkua kuvaa parhaiten sitä kuinka eläkelaitokset haajuttavat sijoituksensa nykyisin. Nykyjärjestelmä kannustaa vahvasti siirtämään sijoituksia vaihtoehtoisista osakkeisiin. Tämä johtuu siitä, että pääomavaatimukset erityisesti pääomasijoituksille ja noteeraamattomille osakkeille ovat erittäin korkeat noteerattuihin osakkeisiin verrattuna (luokat IV.2 ja IV.3). Tämä selittää myös sitä, että eläkelaitoksilla on tapana luokitella hedge-rahastosijoituksia muihin vakavaraisuusluokkiin. Tämän vuoksi ensimmäisen sarakkeen tulokset viittaavatkin erityisesti siihen, että eläkelaitokset voisivat vähentää pääomavaatimuksiaan vähentämällä piemminkin pääomasijoitusten kuin hedge-rahastojen osuutta portfolioissaan.

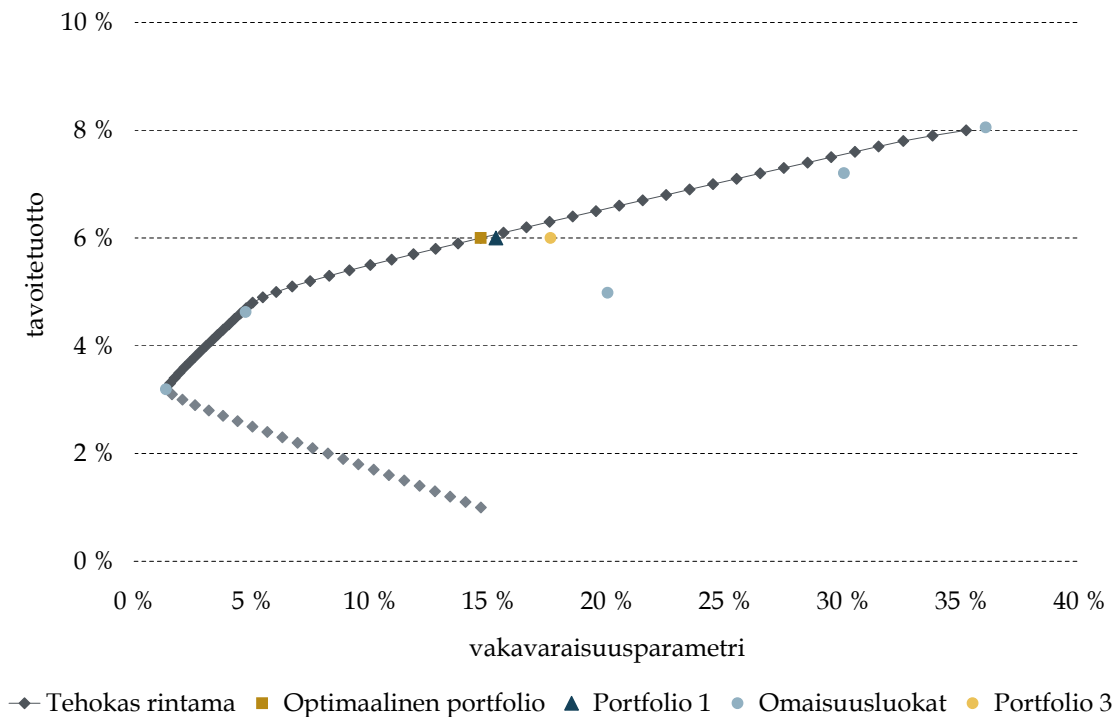
Kahran (2011) mukaan eläkelaitokset voisivat saavuttaa paremman tuotto-riski-suhteen siirtämällä sijoitusten painon osakkeista hedge-rahastoihin. Solvenssi II -tyyppisessä sääntelyssä tämä olisi optimaalista myös vakavaraisuusvaatimusten pienentämiseksi ja toisen sarakkeen portfolioissa paino on siirtynyt osakkeista vaihtoehtoiseen sijoitukseen. Kuten Kahran tutkimuksessa, myös tässä vaihtoehtoisien sijoitusten paino on jopa osakkeita suurempi. Merkittävää on, että toisen sarakkeen portfolio on myös lähes kaikkien performanssimittareiden nojalla paras, joka viittaa siihen, että se on optimaalinen myös tuotto-riski-suhteella mitattuna. Uusissa säännöksissä eläkelaitosten saattaisi siis olla helpompaa saavuttaa tavoitetuottoja.

Tähän viimeiseen päätelmään tulee suhtautua kuitenkin kriittillä, sillä sekä

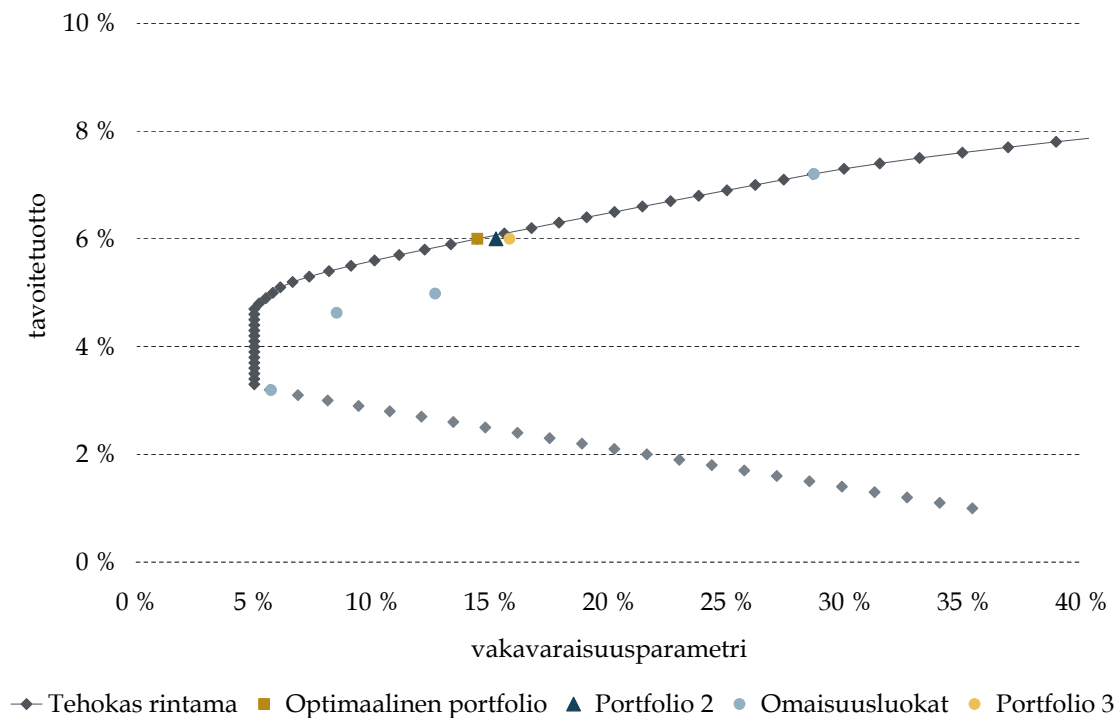
tässä että Kahran tutkimuksessa käytetään aineistona hedge-rahastoindeksejä, joilla on osiossa 5.1 esitetyn kritiikin perusteella tapana aliarvioida riskejä. Tulos on validi vain, jos eläkelaitokset pystyvät poimimaan menestyksekkäitä hedge-rahastoja (katso hyvät katsaukset Tolonen, 2011 ja Joenväärä, 2011 lähteinen).

Solvensi II kannustaa hyvin erilaiseen sijoitusallokaatioon myös defensiivisten omaisuusluokkien osalta. Koska kiinteistöjä kohdellaan Solvenssi II:ssa hyvin samalla tavalla kuin osakkeita ("equity-like investments"), on niiden pääoma-vaatimus verrattain korkea. Solvenssi II:n tyyppisessä säännöstössä kiinteistöjen optimaalinen paino onkin nolla. Nykyjärjestelmässä kiinteistöjä puolestaan kohdellaan riskiä vähentävänä omaisuusluokkana, joka paljastui myös kuviosta 11. Mikäli uusia säännöksiä sovellettaisiin eläkealaan, johtaisi se kiinteistösijoitusten vaihtamista bondeihin.

Tehokkaat rintamat (Efficient Frontier) on esitetty kuvioissa 17 ja 18, joissa ovat lisäksi taulukon 23 portfoliot 1, 2 ja 3, optimaalinen portfolio, kun rahamarkkinasijoituksia ei ole rajoitettu ja jokainen omaisuusluokka. Molemmissa järjestelmissä muoto poikkeaa rahoitusteorian sileästä käyrästä.



KUVIO 17 Tehokas rintama, SCR/W

KUVIO 18 Tehokas rintama, p

6.4 Dynaaminen tarkastelu

Edellisessä osiossa tarkasteltu optimaalinen portfolio antaa hyvää viitettä siitä, minkä tyyppiseen sijoitustoimintaan vertailtavat vakavaraisuussäännöt ohjaavat. Tarkastelu ei kuitenkaan ole vielä riittävä, sillä eläkelaitokset joutuvat sopeuttamaan portfolion riskiä, kun niiden toimintapääoma uhkaa laskea. Tämän vuoksi järjestelmä, jossa vakavaraisuusraja on keskimäärin korkeampi, pakottaa eläkelaitokset matalampaan osakepainoon ja saattaa vaikeuttaa tavoitetuoton saavuttamista. Tässä osiossa tutkitaan sijoitustoimintaa dynaamisella sijoitusstrategialla, jolla pyritään selvittämään miten paljon eläkelaitokset joutuisivat mahdollisesti poikkeamaan optimaalisesta allokaatiosta eri markkinatilanteissa.

Kirjallisuudessa on esitetty useita erilaisia dynaamisia sijoitusstrategioita, jotka ovat eräänlaisia kaupankäyntisääntöjä, joita sijoittaja käyttää päätöksenteossa (Cesari & Cremonini, 2003; Perold & Sharpe, 1988). Tähän työhön valitaan ehkä yleisimmin käytetty vakiopainojen portfoliovakuutus (Constant Proportion Portfolio Insurance, CPPI) (Black & Jones, 1987, 1988; Black & Perold, 1992). CPPI-strategiassa valinta korkean riskin ja matalan riskin sijoitusten välillä perustuu vakavaraisuuteen, joten se kuvaa eläkelaitosten päätöksentekotilannetta melko realistisesti. Erityisesti se sopii tämän tutkimuksen metodologiaan, kun tarkoituksena on tutkia vakavaraisuusjärjestelmien vaikutuksia sijoitustoimintaan.

CPPI on yksinkertainen strategia, jossa valinta osakkeiden ja bondien suhde salkussa määräytyy solvenssisuhteen perusteella. Strategia noudattaa ”osta

korkealla ja myy matalalla” -sääntöä: jos markkinat ovat laskeneet, on sijoittajan laskettava osakkeiden painoa ja päin vastoin (Cesari & Cremonini, 2003). Strategia on siis myötäsyklinen ja yhdenmukainen myös empiiristen havaintojen kanssa, sillä juuri markkinoiden voimakas lasku aiheutti finanssikriisin aikaan osakkeiden pakkomyyntiä. Tämä johtuu siitä, että kun markkinat laskevat, eläkeyhtiön varat pienenevät, jolloin sen on myös alennettava vakavaraisuusrajaa, jotta rajoite 6.3 pysyy voimassa.

Käytännössä vakuutusyhtiöt eivät käytä niiden koko riskibudjettia, vaan haluavat pitää solvenssisuhteensa jollain tavoitetasolla. Tämän tarkoituksena voi olla esimerkiksi luottoluokituksen säilyttäminen. Myös eläkelaitoksilla on tämän tyyppisiä tavoitteita, sillä niiden kilpailukyky riippuu omasta ja kaikkien laitosten keskimääräisestä vakavaraisuudesta. Tämä asettaa myös ristiriitaisia tavoitteita, sillä hyvä vakavaraisuus vaatii alhaista riskitasoa, mutta mahdollisimman korkean sijoitustuoton saavuttaminen riskien ottoa. Tämän huomioimiseksi, esitetään tässä työssä uudenlainen versio CPPI-strategiasta, jossa eläkelaitos tavoittelee solvenssisuhteen pysymistä 200 %:ssa, jolloin vakavaraisuusraja on puolet toimintapäätöksestä. Eläkelaitos pyrkii tämän rajoitteen huomioiden ottamaan mahdollisimman suuren painon osakkeissa.

Tutkimus suoritetaan hyödyntämällä edellisen osion tavoiteportfolioita ja 1000:tta eri talousskenaariota, jolloin tarkasteltavaksi tulee neljä eri tilannetta. Tilanteessa 1 eläkelaitokseen sovelletaan nykyistä vakavaraisuusrajaa ja sen tavoiteportfolio on taulukon 23 sarake 1 (portfolio 1). Tilanteessa 2 eläkelaitokseen sovelletaan Solvenssi II -tyyppistä vakavaraisuusrajaa ja sen tavoiteportfolio on sarake 2 (portfolio 2). Tilanteessa 3 eläkelaitokseen sovelletaan edelleen nykykehikkoa ja sen tavoitteena on nykyisen tyyppinen allokaatio sarakkeessa 3 (portfolio 3). Neljännessä tilanteessa puolestaan tavoiteportfolio on edelleen portfolio 3, mutta laitokseen sovelletaan uusia säännöksiä. Tarkastelussa ei huomioida valuuttariskejä.

Tarkastelussa noudatetaan tavanomaista lähestymistapaa, jossa valinta tehdään osakkeiden ja bondien välillä, jolloin epälikvidien omaisuusluokkien painot pysyvät samoina. Mielenkiintoisinta on vertailla tilanteita 3 ja 4. Käytännössä eläkelaitosten sijoitukset eivät luultavasti muuttuisi nykyisestä kovinkaan nopeasti, sillä kiinteistösijoituksista ei käytännön syistä voida välttämättä luopua. Toisaalta myös hedge-rahastojen paino ei nousisi portfolion 2 tasolle, sillä niihin sijoittamista rajoittaa esimerkiksi niiden likvidiys ja hankaluus löytää menestyksekkäimmät rahastot. Tilanteita 1 ja 2 voidaankin pitää melko ideaaleina tilanteina. Ennakkoon voidaan odottaa, että tilanteessa 2 saavutetaan korkeampia sijoitustuottoja, koska vaihtoehtoisten sijoitusten performanssi on paras ja eläkelaitos ei voi laskea niiden painoa. Toisaalta tämä vaikeuttaa laitoksen mahdollisuutta rajoittaa riskiä, joten voidaan tilanteessa 2 myös odottaa vararikkoja tapahtuvan muita tilanteita enemmän.

Taulukossa 24 on esitetty kaikkien neljän tilanteen tunnuslukuja. Keskituottojen ja volatiilisisuuden lisäksi taulukossa on Sharpen ja Sortinon tunnusluvut, jotka on laskettu 6 %:in tavoitetuotolla. Vakavaraisuusparametrilla esitetään keskiarvo ja keskihajonta. Alimmat rivit kertovat kuinka monta kertaa eläkelaitos on joutunut alittamaan vakavaraisuusrajan sekä vararikkojen lukumäärän kaikissa 1000 skenaariossa. Näitä viimeisiä lukuja tulee tulkita varauksella, sillä simuloinneissa

ei ole huomioitu vakuutusmaksuista ja maksettavista eläkkeistä aiheutuvia kassavirtoja. Myöskään sijoitustuottojen vaikutusta vastuovelkaan ei huomioida, vaan vastuvelka kasvaa deterministisesti 3 %:in vuosivauhtia. Tämä aiheuttaa sen, että laitoksen varat kasvavat keskimäärin vastuita nopeammin ja vakavaraisuus paranee simuloinnin loppua kohden. Vararikkoja ja vakavaraisuusrajan alituksia sattuuakin alkuvuosina enemmän. Vararikot on laskettu siten, että konkurssi voi tulla vain kerran skenaariossa ("kuollaan vain kerran").

TAULUKKO 24 Tilanteiden tunnuslukuja

	Tilanne 1	Tilanne 2	Tilanne 3	Tilanne 4
keskituotto	6,1 %	6,5 %	6,2 %	6,1 %
volatiilisuus	11,6 %	11,6 %	11,0 %	10,6 %
Sharpe	0,6 %	4,2 %	1,4 %	0,8 %
Sortino	0,8 %	6,2 %	2,0 %	1,1 %
keskiarvo (p tai SCR / W)	17,3 %	21,8 %	18,5 %	19,6 %
keskihajonta	4,8 %	4,0 %	4,5 %	4,3 %
vakavaraisuusrajan alituksia	1291	996	421	535
vararikkoja	89	44	41	32

Tilanteiden 3 ja 4 perusteella voidaan sanoa, että nykyinen vakavaraisuusjärjestelmä sopii hieman paremmin nykyisen kaltaiselle sijoitustoiminnalle. Tilanteiden sijoitusstrategia on sama, mutta nykyjärjestelmässä kyseisellä strategialla saa paremmat performanssiluvut. Solvenssi II:ssa vakavaraisuusparametri on keskimäärin korkeampi ja tästä johtuen vakavaraisuusrajan alituksia on enemmän. Erot tilanteiden 3 ja 4 välillä selittyvät erityisesti Solvenssi II:n tavasta kohdella kiinteistösijoituksia. Tilanteessa 4 eläkelaitos ei luovu kiinteistöistä, joka aiheuttaa korkeamman vakavaraisuusrajan ja huonon sijoitusperformanssin, kun osakkeiden painoa joudutaan rajoittamaan.

Tilanteesta 2 voidaan puolestaan päätellä, että Solvenssi II mahdollistaa selvästi korkeammat sijoitustuotot ja paremman performanssin, mikäli eläkelaitokset sopeuttavat sijoitustoimintaansa. Ennakko-odotusten vastaisesti, eniten vararikkoja sattuu tilanteessa 1. Tämän syynä on vaihtoehtoisten sijoitusten puuttuminen salkusta. Tilanteessa 2 riskiä on hajautettu osakkeiden ja vaihtoehtoisten välillä, joka vähentää vararikkojen ja alituksien määrää, koska omaisuusluokat eivät ole täysin korreloituneet. Tästä huolimatta tilanteen 2 sijoitustuotot ovat tilannetta 1 paremmat vaikka vakavaraisuusraja on keskimäärin korkeampi.

Kaikissa tilanteissa suurin osa vararikoista ja vakavaraisuusrajan alituksista tapahtuu tietyissä heikoissa talousskenaarioissa. Taulukon 24 lukujen valossa Solvenssi II -tyyppinen kehikko ei ainakaan heikentäisi laitosten kykyä selvitä vaikeista markkinaolosuhteista. Koska vakavaraisuusjärjestelmien syklejä vaimentavilla elementeillä on tässä niin suuri merkitys, ei luvuista kuitenkaan tule tehdä pitkälle meneviä päätelmiä, vaan tarkempi kuva vaati vaimentavien elementtien ja vastuvelan realistisemmän huomioinnin.

7 YHTEENVETO

Tässä työssä on esitelty uusi sijoitustuottomalli eläkelaitoksille ja vakuutusyhtiöille. Malli huomioi aiemmin esitetyistä malleista Koivu et al. (2007) ja Hilli (2007) täysin puuttuvat vaihtoehtoiset sijoitukset, luottomarginaalit ja luottoluokitusten muutokset. Lisäksi malli kuvaa korkokäyrän kokonaisuutena yksittäisten korkojen sijasta. Malli vastaa näin myös Solvenssi II:n moduuleita huomioiden valtaosan niiden kuvaamisesta riskeistä. Suoritettujen tilastollisten testien perusteella malliin valittiin aiempaa enemmän viiveitä. Koivu et al. (2007) ja Hilli (2007) käyttävät vain astetta 1, mutta testien nojalla aste 2 osoittautui aiheelliseksi.

Luotto- ja korkomarkkinoiden kuvaamisessa ollaan hyödynnetty valtavirtatutkimuksen kanssa linjassa olevia faktorimalleja. Korkokäyrän osalta käytetään dynaamista Nelson-Siegel-lähestymistapaa (Christensen et al., 2009, 2011; Diebold & Li, 2006). Luottoluokitusten muutokset huomioidaan puolestaan CreditMetrics-tyyppisellä havaitsemattomien muuttujien mallilla (Bangia et al., 2002; Bonfim, 2009; Nickell et al., 2000) ja palautumisasteessa hyödynnetään tuoretta tutkimusta Bruche & González-Aguado (2010). Myös luottomarginaalit voidaan kuvata yksinkertaisesti, mutta koska empiirisissä tutkimuksissa erilaisten finanssimarkkina- ja makrotalousmuuttujien on havaittu selittävän marginaaleja vain vähän, käytettiin selittävänä muuttujana yhtä avainluottomarginaalia. Saadut simulaatiot ovat erittäin realistisia ja mallin ominaisuudet käsittävät laajan kirjon erilaisia empiirisen taloustieteen havaitsemia piirteitä. Käytetyt lähestymistavat ovat linjassa myös Solvenssi II:n korko-, vastapuoli- ja luottomarginaaliriskimoduulien kanssa, joihin on myös omaksuttu piirteitä moderneista riskienhallinnan malleista (CEIOPS, 2010a,b).

Faktorimallien hyödyntämistä ehdotetaan myös mallien tulevaksi tutkimussuunnaksi, sillä niiden avulla pystytään kuvaamaan monimutkaisempia vuoro-vaikutuksia pitäen malli edelleen yksinkertaisena. Tässä tutkimuksessa käytetty sijoitustuottomalli pystyy faktorimallien avulla kuvaamaan bondisijoituksia aiempaa huomattavasti monipuolisemmin ja bondiportfolion koostumusta voidaan muuttaa esimerkiksi duraatioiden ja luottoluokitusten suhteen, toisin kuin aiemmissa malleissa. Kaikkia käytettyjä faktorimalleja voidaan helposti laajentaa huomioimaan myös muita selittäviä tekijöitä. Esimerkiksi makrotalousmuuttujien huomiointia ovat selvittäneet Nelson-Siegel-mallin osalta ainakin Diebold et al.

(2008, 2006), luottoluokitusten osalta Grundke (2009) ja palautumisasteen osalta Bruche & González-Aguado (2010).

Jatkotutkimuksissa voidaan myös selvittää tämän mallin heikkouksia ja voitaisiinko joistakin yksinkertaistuksista luopua. Matalimmat luottomarginaalit tulee regressoida, sillä tässä työssä ei ollut käytettävissä tarvittavaa aineistoa. Lisäksi selittäviä tekijöitä voidaan lisätä ja residuaaleista tulisi jatkossa pyrkiä myös löytämään systemaattisia riskitekijöitä pääkomponenttianalyysin avulla, kuten Collin-Dufresne et al. (2001) ja Avramov et al. (2007). Lisäselvitystä kaipaa myös virheenkorjaustermien tasapainosuhteet muuttujien välillä¹.

Tutkimuksen päätavoitteena on ollut selvittää Solvenssi II -tyyppisen ja nykyisen kaltaisen vakavaraisuusjärjestelmän eroja ja vaikutuksia eläkelaitosten sijoitustoimintaan. Tutkimukselle asetettiin kolme tavoitetta. Ensimmäinen tavoite oli selvittää miten eri omaisuusluokat vaikuttavat vakavaraisuusrajaan kummassakin järjestelmässä ja verrata poikkeako eri sijoitusluokkien kohtelu järjestelmien välillä. Tämän avulla voidaan päätellä ohjaisiko Solvenssi II:n mukainen kehikko erilaiseen sijoitusallokaatioon kuin nykyinen. Toinen tavoite oli verrata millaisia sijoitustuottoja kahdessa järjestelmässä pystytään saavuttamaan. Kolmas tutkimustavoite oli puolestaan tarkastella olisiko uudella järjestelmällä mahdollisia vaikutuksia eläkelaitosten vakavaraisuuteen.

Kahta ensimmäistä tavoitetta selvitettiin tarkastelemalla omaisuusluokkien riskiattribuutioita ja vakavaraisuuskäyriä, sekä portfolio-optimoinnilla, jolla etsittiin tavoitetuottoon pääsevä vakavaraisuusparametrit minivoiva salkku. Tuloksien perusteella erityisesti kiinteistö- ja vaihtoehtoissijoituksia kohdellaan järjestelmässä poikkeavilla tavoilla. Solvenssi II:ssa kiinteistöt ovat osakkeiden tyyppinen sijoituskohde ja painon lisääminen sijoituksissa korottaa myös vakavaraisuusrajaa. Nykyjärjestelmässä kiinteistöt ovat puolestaan defensiivinen vakavaraisuusraja alentava omaisuusluokka, jolla on myös merkittäviä hajautusetuja. Näiden tulosten valossa Solvenssi II kannustaisikin kiinteistösijoitusten vähentämiseen. Vaihtoehtoiset sijoitukset puolestaan antavat Solvenssi II:ssa selvää hajautusetua osakkeisiin ja niitä kohdellaan nykyjärjestelmässä tiukemmin. Tämä vittaa siihen, että eläkelaitokset voisivat alentaa pääomavaatimuksiaan pienentämällä erityisesti pääomasijoitusten osuutta sijoituksissa.

Vakavaraisuuskäyrien graafinen tarkastelu osoittautui myös hyväksi menetelmäksi havaita vakavaraisuussäännösten puutteita. Solvenssi II:n tapa kohdella kaikkia kiinteistösijoituksia samalla tavalla vaikuttaisi tämän tutkimuksen ja QIS5-selvityksen (EIOPA, 2011) perusteella liian yksinkertaiselta ja yliarvioi Suomen maakohtaista riskiä. Nykyjärjestelmä puolestaan aliarvioi kiinteistöriskejä, mikäli luotetaan CEIOPS:n (2010b) tekemään kalibrointiin. Suomen osalta kyseisen moduulin kalibrointi on haastavaa, sillä kiinteistömarkkinoista ei ole saatavilla riittävästi luotettavaa riskejä kuvaavaa aineistoa (Puranen, 2011).

Luotto- ja valuuttariskien on jo aiemmissa selvityksissä havaittu olevan nykyjärjestelmän vakavia puutteita (STM 2010a; 2010b). Nämä heikkoudet pystyttiin

¹ Jatkossa voitaisiin käyttää myös arbitraasivapaata dynaamista Nelson-Siegel-mallia (Christensen et al., 2009, 2011). Tässä työssä löydetyn jyrkkyys- ja kaarevuusfaktorien välisen tasapainosuhteen linkkiä kyseisten mallien teoriaan voitaisiin selvittää myös lisää. Tämä pätee myös liitteen 2 positiivisuusehtoihin. Lisäksi voitaisiin selvittää parantaako tasapainosuhteen huomioiminen mallin tuottamia ennusteita verrattuna tutkimuksiin Diebold & Li (2006), Yu & Salyards (2009) ja Yu & Zivot (2011).

havaitsemaan myös käytetyillä tutkimusmenetelmillä. Uusi havainto oli, että nykyjärjestelmässä bondien duraatio ei vaikuta niiden pääomavaatimukseen, mutta Solvenssi II:ssa suurempi duraatio lisää luottomarginaaliriskejä. Näillä Solvenssi II:n realistisemmilla piirteillä on suorat vaikutukset sijoitustoimintaan, sillä Solvenssi II kannustaa vähentämään euroalueen ulkopuolelle kohdistuvia sijoituksia ja mahdollistaa sen, että vakavaraisuusrajaan voidaan vaikuttaa bondiportfolion allokaatiomuutoksilla ja duraatiota alentavilla johdannaisinstrumenteilla.

Solvenssi II mahdollistaa myös sen, että riskejä vähentävillä johdannaissovimuksilla voidaan alentaa pääomavaatimuksia. Tämä saattaisi lisätä erityisesti valuuttasuojauksen ja luottojohdannaisten käyttöä. Toinen laadullinen piirre Solvenssi II:ssa on, että välilliset sijoitukset tulee käydä yksityiskohtaisesti läpi, jotta niihin liittyvät riskit saadaan selvitettyä. Tähän liittyvät käytännön vaikeudet tulevat luultavasti vähentämään vakuutusyhtiöiden rahastosijoituksia. Mikäli kehikkoa sovellettaisiin eläkejärjestelmään, kannustaisi se täten rahasto-osuuksien sijasta suoriin sijoituksiin.

Kahran (2011) mukaan eläkelaitokset voisivat päästä tavoitetuottoon helpommin sijoittamalla enemmän hedge-rahastoihin. Solvenssi II -tyyppisessä sääntelyssä tämä olisi nykyistä helpompaa ja kyseisessä kehikossa eläkelaitosten optimaalisessa salkussa on huomattavasti enemmän vaihtoehtoisia sijoituksia. Kiinteistösijoitusten paino on puolestaan nolla ja niiden sijasta on kannattavampaa sijoittaa bondeihin. Sekä portfolio-optimoinnin, että dynaamisen tarkastelun nojalla eläkelaitoksien olisi helpompi päästä tavoitetuottoon mikäli niihin sovellettaisiin Solvenssi II:ta. Tämä toteutuisi kuitenkin vain jos ne sopeuttaisivat sijoitustaan optimaaliseen portfolioon. Mikäli sopeutusta ei tehtäisi, nykyisenkaltaisella sijoitustoiminnalla Solvenssi II -tyyppinen kehikko lisäisi vakavaraisuusvaatimuksia hieman, muttei johtaisi parempiin sijoitustuottoihin.

Dynaamisen tarkastelun perusteella eläkelaitosten vakavaraisuus ja mahdollisuus joutua vararikkoon ei ainakaan heikkenisi uudenaikaisessa kehikossa ja laitosten kyky selvitä vaikeista markkinatilanteista saattaisi jopa parantua. Tässä työssä pääpaino on kuitenkin ollut sijoitusallokaatioissa ja performanssissa, joten vakavaraisuuden tarkastelu vaatii jatkotutkimuksia. Jatkotutkimuksissa voitaisiin huomioida vastuuvelan kehitys realistisemmin hyödyntämällä laajempia laskentamalleja, kuten Hilli (2007), Risku & Kaliva (2009) ja Elo et al. (2009). Erittäin olennaista dynaamisessa vakavaraisuustarkastelussa on myös vakavaraisuuskehikoiden syklejä vaimentavat elementit, joita on jo verrannut D'Ambrogi-Ola (2011). Syklejä vaimentavien mekanismien vaikutusta sijoitustoimintaan tulisi myös vertailla lisää. D'Ambrogi-Ola ehdottaakin, että näiden mekanismien vaikutusta allokaatioihin ja tuottovaatimuksen saavuttamiseen tulisi selvittää sijoitustuottomallin avulla. Tässä työssä kehitettyä mallia voidaan hyödyntää kyseiseen tarkasteluun.

Kaikkiin tämän tutkimuksen tuloksiin tulee suhtautua tarvittavalla kriittisyydellä. Solvenssi II:een tulee luultavasti vielä muutoksia (EIOPA, 2011). Lisäksi kalibroinnilla on ratkaisevia vaikutuksia optimaalisiin sijoitusallokaatioihin ja Purasen (2011) kalibrointi ei ole lopullinen vaan viranomaisen lopulliset valinnat vakavaraisuuskehikon parametreiksi ovat lopulta myös poliittisia päätöksiä. Jatkossa järjestelmien vertailussa olisi pyrittävä hyödyntämään myös pitkiä historiallisia aikasarjoja, joita ei tämän työn tarpeisiin ollut etenkään vaihtoehtoisten sijoitusten osalta saatavilla. Vaikka simulointimallit tuottavat laajan kirjon erilaisia

taloudellisia skenaarioita, tarvitaan historiallista aineistoa erityisesti äärimmäisten tilanteiden tutkimiseen, sillä sijoitustuottomallilla ei voida huomioida paksuhäntäisiä jakaumia ja aikasarjojen heteroskedastista luonnetta (Herold et al., 2007). Näiden kahden tutkimustavan onkin tarkoitus täydentää toisiaan.

Tässä tutkimuksessa käytetyt menetelmät sopivat hyvin vakavaraisuusjärjestelmien tarkasteluun. Menetelmillä pystyttiin löytämään järjestelmien heikkouksia ja lisäksi tutkimaan minkälaiseen sijoitustoimintaan ne ohjaavat. Uusia vakavaraisuussäännöstöjä suunnitellessa onkin tärkeää, että selvitetään minkälaiseen toimintaan ne antavat intensiivejä. Finanssikriisi ja sitä seurannut euroalueen velkakriisi ovat olleet varoittavia esimerkkejä siitä, kuinka väärin suunnitellut järjestelmät ovat ohjanneet vääränlaiseen riskinottoon. Tässä raportissa halutaankin korostaa, että uudet järjestelmät tulisi testata huolellisesti ennen niiden käyttöönottoa. Tämä on välttämätöntä systemaattisen riskin vähentämiseksi kansainvälisessä finanssijärjestelmässä.

LÄHTEET

- Aaltonen, J. & Östermark, R. 1999. Comparison of univariate and multivariate Granger causality in international asset pricing. Evidence from Finnish and Japanese financial economies. *Applied Financial Economics* 5 (4), 229–234.
- Akaike, H. 1973. Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. Teoksessa B. Petrov & F. Csáki (Toim.) 2nd International Symposium on Information Theory Budapest: Académiai Kiadó. 267–281.
- Akaike, H. 1974. A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control* AC-19, 716–723.
- Alexander, G. & Baptista, A. 2003. Portfolio Performance Evaluation Using Value at Risk. *Journal of Portfolio Management* 29 (4), 93–102.
- Altman, E. 1998. The importance and subtlety of credit rating migration. *Journal of Banking and Finance* 22 (10–11), 1231–1247.
- Altman, E., Brady, B., Resti, A. & Sironi, A. 2005. The Link between Default and Recovery Rates: Empirical Evidence and Implications. *Journal of Business* 78 (6), 2203–2228.
- Altman, E. & Kishore, V. 1996. Almost Everything You Wanted to Know About Recoveries on Defaulted Bonds. *Financial Analysts Journal* 52 (6), 57–64.
- Alvarez, L. & Koskinen, L. 2007. Rahoituksen teoriaa ja sovelluksia aktuaareille. *Vakuutusvalvontaviraston julkaisusarja monisteet* 2007:3.
- Andersen, T. & Lund, J. 1998. Stochastic volatility and mean drift in the short term interest rate diffusion: Sources of steepness, level and curvature in the yield curve. Northwestern University. Working paper 214.
- Anderson, R., Hoffman, D. & Rasche, R. 2002. A vector error correction model of the US economy. *Journal of Macroeconomics* 24 (4), 569–598.
- Avramov, D., Jostova, G. & Philipov, A. 2007. Understanding Changes in Corporate Credit Spreads. *Financial Analysts Journal* 63 (2), 90–105.
- Balduzzi, P., Sanjiv, R., Das, S. & Sundaram, B. 1996. A simple approach to three factor affine term structure models. *Journal of Fixed Income* 6, 43–53.
- Bangia, A., Diebold, F., Kronimus, A., Schagen, C. & Schuermann, T. 2002. Ratings migration and the business cycle, with application to credit portfolio stress testing. *Journal of Banking and Finance* 26 (2–3), 445–474.
- Barot, B. & Takala, K. 1998. House Prices and Inflation: A Cointegration Analysis for Finland and Sweden. Bank of Finland. *Studies in Economics and Finance*, 12/98.

- Bauwens, L., Laurent, S. & Rombouts, J. 2006. Multivariate GARCH models: a survey. *Journal of Applied Econometrics* 21 (1), 79–109.
- Bessler, D. & Yang, J. 2003. The structure of interdependence in international stock markets. *Journal of International Money and Finance* 22 (2), 261–287.
- Bewley, R. & Haddock, J. 2004. Controlling spurious drift. *Economics Letters* 84 (1), 81–85.
- Björk, T. & Christensen, B. 1999. Interest Rate Dynamics and Consistent Forward Rate Curves. *Mathematical Finance* 9 (4), 323–348.
- Björk, T. & Svensson, L. 2001. On the Existence of Finite-Dimensional Realizations for Nonlinear Forward Rate Models. *Mathematical Finance* 11 (2), 205–243.
- Black, F. & Jones, R. 1987. Simplifying portfolio insurance. *Journal of Portfolio Management* 13 (1), 48–51.
- Black, F. & Jones, R. 1988. Simplifying portfolio insurance for corporate pension plans. *Journal of Portfolio Management* 14 (4), 33–37.
- Black, F. & Karasinski, P. 1991. Bond and Option Pricing when Short Rates are Lognormal. *Financial Analysts Journal* 47 (4), 52–59.
- Black, F. & Perold, A. 1992. Theory of constant portfolio insurance. *Journal of Economic Dynamics and Control* 16 (3–4), 403–426.
- Bliss, R. 1997a. Movements in the Term Structure of Interest Rates. *Federal Reserve Bank of Atlanta, Economic Review* 82 (4), 16–33.
- Bliss, R. 1997b. Testing term structure estimation methods. *Advances in Futures and Options Research* 9, 97–231.
- Boender, G. 1997. A hybrid simulation/optimisation scenario model for asset/liability management. *European Journal of Operational Research* 99 (1), 126–135.
- Bonfim, D. 2009. Credit risk drivers: Evaluating the contribution of firm level information and of macroeconomic dynamics. *Journal of Banking and Finance* 33 (2), 281–299.
- Bos, T., Fetherston, T., Martikainen, T. & Perttunen, J. 1995. The international co-movements of Finnish stocks. *European Journal of Finance* 1 (1), 95–111.
- Bradley, M. & Lumpkin, S. 1992. The Treasury Yield Curve as a Cointegrated System. *Journal of Financial and Quantitative Analysis* 27 (3), 449–463.
- Brennan, M., Schwartz, E. & Lagnado, R. 1997. Strategic asset allocation. *Journal of Economic Dynamics and Control* 21 (8), 1377–1403.
- Brüggemann, R. & Lütkepohl, H. 2001. Lag selection in subset VAR models with an application to a U.S. monetary system. *Teoksessa R. Friedmann, L. Knüppel & H. Lütkepohl (Toim.) Econometric Studies: A Festschrift in Honour of Joachim Frohn Münster: LIT Verlag.* 107–128.

- Brooks, C., Burke, S. & Persaud, G. 2003. Multivariate GARCH models: software choice and estimation issues. *Journal of Applied Econometrics* 18 (6), 725–734.
- Bruche, M. & González-Aguado, C. 2010. Recovery rates, default probabilities, and the credit cycle. *Journal of Banking and Finance* 34 (4), 754–764.
- Campbell, J. 1995. Some Lessons from the Yield Curve. *Journal of Economic Perspectives* 9 (3), 129–152.
- Campbell, J., Chacko, G., Rodriguez, J. & Viceira, L. 2004. Strategic Asset Allocation in a Continuous-Time VAR Model. *Journal of Economic Dynamics and Control* 28 (11), 2195–2214.
- Campbell, J., Chan, Y. & Viceira, L. 2003. A multivariate model of strategic asset allocation. *Journal of Financial Economics* 67 (1), 41–80.
- Campbell, J., Lo, A. & MacKinlay, A. 1997. *The Econometrics of Financial Markets*. Princeton: Princeton University Press.
- Campbell, J. & Shiller, R. 1987. Cointegration and Tests of Present Value Models. *Journal of Political Economy* 95 (5), 1062–1088.
- Campbell, J. & Viceira, L. 2005. The Term Structure of the Risk–Return Trade-Off. *Financial Analysts Journal* 61 (1), 34–44.
- Campbell, R., Huisman, R. & Koedijk, K. 2001. Optimal portfolio selection in a Value-at-Risk framework. *Journal of Banking and Finance* 25 (9), 1789–1804.
- CEIOPS 2010a. QIS5 Technical Specifications. Annex to Call for Advice from CEIOPS on QIS5 , 90–146.[[www-lähde](http://www.lähde)]. <www.ceiops.eu> . (Luettu 21.11.2010).
- CEIOPS 2010b. Solvency II Calibration Paper. CEIOPS-SEC-40-10 , 26–372.[[www-lähde](http://www.lähde)]. <www.ceiops.eu> . (Luettu 21.11.2010).
- Cesari, R. & Cremonini, D. 2003. Benchmarking, portfolio insurance and technical analysis: a Monte Carlo comparison of dynamic strategies of asset allocation. *Journal of Economic Dynamics and Control* 27 (6), 987–1011.
- Chan, K., Gup, B. & Pan, M.S. 1997. International stock market efficiency and integration: a study of eighteen nations. *Journal of Business Finance and Accounting* 24 (6), 803–813.
- Chan, K., Karolyi, G., Longstaff, F. & Sanders, A. 1992. An Empirical Comparison of Alternative Models of the Short-Term Interest Rate. *Journal of Finance* 47 (3), 1209–1227.
- Chaudhuri, K. 1997a. Cointegration, error correction and Granger causality: An application with Latin American stock markets. *Applied Economics Letters* 4 (8), 469–471.
- Chaudhuri, K. 1997b. Stock returns in emerging markets: a common trend analysis. *Applied Economics Letters* 4 (2), 105–108.

- Cheung, Y.W. & Lai, K. 1995. A search for long memory in international stock market returns. *Journal of International Money and Finance* 14 (4), 597–615.
- Chow, G. & Kritzman, M. 2001. Risk Budgets. *Journal of Portfolio Management* 27 (2), 56–60.
- Christensen, J., Diebold, F. & Rudebusch, G. 2009. An Arbitrage-Free Generalized Nelson-Siegel Term Structure Model. *Econometrics Journal* 12 (3), 33–64.
- Christensen, J., Diebold, F. & Rudebusch, G. 2011. The affine arbitrage-free class of Nelson–Siegel term structure models. *Journal of Econometrics* In Press, Corrected Proof.
- Christiansen, C. 2002. Credit spreads and the term structure of interest rates. *International Review of Financial Analysis* 11, 279–295.
- Coleman, T. & Li, Y. 1994. On the Convergence of Reflective Newton Methods for Large-Scale Nonlinear Minimization Subject to Bounds. *Mathematical Programming* 67 (2), 189–224.
- Collin-Dufresne, P., Goldstein, R. & Martin, J. 2001. The Determinants of Credit Spread Changes. *Journal of Finance* 56 (6), 2177–2207.
- Coroneo, L., Nyholm, K. & Vidova-Koleva, R. 2008. How Arbitrage-Free is the Nelson-Siegel Model? European Central Bank, Working Paper Series No. 874.
- Cox, J., Ingersoll, J. & Ross, S. 1985. A Theory of the Term Structure of Interest Rates. *Econometrica* 53 (2), 385–407.
- CreditMetrics 2007. CreditMetrics – Technical Document. RiskMetrics Group.
- Dahlquist, M. & Svensson, L. 1996. Estimating the Term Structure of Interest Rates for Monetary Policy Analysis. *Scandinavian Journal of Economics* 98 (2), 163–183.
- Dai, Q. & Singleton, K. 2000. Specification Analysis of Affine Term Structure Models. *Journal of Finance* 55 (5), 1943–1978.
- D’Ambrogi-Ola, B. 2011. Kontrasyklisyyden vahvistaminen työeläkevakuutusyhdistön vakavaraisuusrajaan. Suomen aktuaariyhdistys. SHV-työ.
- Davies, A. 2008. Credit spread determinants: An 85 year perspective. *Journal of Financial Markets* 11 (2), 180–197.
- de Jong, F. 2000. Time Series and Cross-Section Information in Affine Term-Structure Models. *Journal of Business and Economic Statistics* 18 (3), 300–314.
- Denzler, S., Dacorogna, M., Müller, U. & McNeil, A. 2006. From default probabilities to credit spreads: Credit risk models do explain market prices. *Finance Research Letters* 3 (2), 79–95.
- Dickey, D. & Fuller, W. 1981. Likelihood Ratio Statistics for Autoregressive Time Series with a Unit Root. *Econometrica* 49 (4), 1057–1072.

- Diebold, F. 1998. The Past, Present and Future of Macroeconomic Forecasting. *The Journal of Economic Perspectives* 12 (2), 175–192.
- Diebold, F. 2004. *Elements of Forecasting*. Cincinnati: South-Western.
- Diebold, F. & Li, C. 2006. Forecasting the term structure of government bond yields. *Journal of Econometrics* 130 (2), 337–364.
- Diebold, F., Li, C. & Yue, V. 2008. Global yield curve dynamics and interactions: A dynamic Nelson-Siegel approach. *Journal of Econometrics* 146 (2), 351–363.
- Diebold, F., Rudebusch, G. & Arouba, S. 2006. The macroeconomy and the yield curve: a dynamic latent factor approach. *Journal of Econometrics* 131 (1–2), 309–338.
- Düllmann, K. & Windfuhr, M. 2000. Credit Spreads Between German and Italian Sovereign Bonds - Do Affine Models Work? *Canadian Journal of Administrative Sciences* 17 (2), 166–181.
- Driessen, J. 2005. Is Default Event Risk Priced in Corporate Bonds? *Review of Financial Studies* 18 (1), 165–195.
- Duffee, G. 2002. Term Premia and Interest Rate Forecasts in Affine Models. *Journal of Finance* 57 (1), 405–443.
- Duffee, G. 1998. The Relation between Treasury Yields and Corporate Bond Yield Spreads. *Journal of Finance* 53 (6), 2225–2241.
- Duffie, D. & Kan, R. 1996. A yield-factor model of interest rates. *Mathematical Finance* 6 (4), 379–406.
- Einstein, A. 1934. On the Method of Theoretical Physics. *Philosophy of Science* 1 (2), 163–169.
- EIOPA 2011. EIOPA Report on the fifth Quantitative Impact Study (QIS5) for Solvency II. EIOPA-TFQIS5-11/001, 1–153. [www.lähde]. <www.ceiops.eu>. (Luettu 21.11.2010).
- Eitrheim, O., Husebø, T. & Nymoen, R. 1999. Equilibrium-correction vs. differencing in macroeconomic forecasting. *Economic Modelling* 16 (4), 515–544.
- Elo, K., Klaavo, T., Risku, I. & Sihvonen, H. 2009. Lakisääteiset eläkkeet - Pitkän aikavälin laskelmat 2009. ETK. Eläketurvakeskuksen raportteja 2009:4.
- Elton, E., Gruber, M., Agrawal, D. & Mann, C. 2001. Explaining the Rate Spread on Corporate Bonds. *Journal of Finance* 56 (1), 247–277.
- Engle, R. & Granger, C. 1987. Co-Integration and Error Correction: Representation, Estimation, and Testing. *Econometrica* 55 (2), 251–276.
- Engsted, T. & Lund, J. 1997. Common stochastic trends in international stock prices and dividends: An example of testing overidentifying restrictions on multiple cointegration vectors. *Applied Financial Economics* 7 (6), 659–665.

- ETK 2011. Eläketurvakeskus. [www-lähde]. <www.etk.fi>. (Luettu 19.2.2011).
- Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi vakuutus- ja jälleenvakuutustoiminnan aloittamisesta ja harjoittamisesta 2009. 2009/138/EY.
- Fama, E. & Bliss, R. 1987. The information in long-maturity forward rates. *The American Economic Review* 77 (4), 680–692.
- Fama, E. & French, K. 1988. Permanent and Temporary Components of Stock Prices. *Journal of Political Economy* 96 (2), 246–273.
- Fama, E. & French, K. 1989. Business conditions and expected returns on stocks and bonds. *Journal of Financial Economics* 25 (1), 23–49.
- Fama, E. & French, K. 1993. Common risk factors in the returns on stocks and bonds. *Journal of Financial Economics* 33 (1), 3–56.
- Filipovic, D. 1999. A Note on the Nelson–Siegel Family. *Mathematical Finance* 9 (4), 349–359.
- Filipovic, D. 2000. Exponential-polynomial families and the term structure of interest rates. *Bernoulli* 6 (6), 1081–1107.
- Fiva 2011. Finanssisäilyntä. [www-lähde]. <www.fiva.fi>. (Luettu 19.2.2011).
- Fletcher, R. 1981. *Practical Methods of Optimization*. Somerset: Wiley.
- Francis, B. & Leachman, L. 1998. Superexogeneity and the dynamic linkages among international equity markets. *Journal of International Money and Finance* 17 (3), 475–492.
- Frye, J. 2000. Collateral damage. *Risk* 13 (4), 91–94.
- Garcia-Ferrer, A., Highfield, R., Palm, F. & Zellner, A. 1987. Macroeconomic forecasting using pooled international data. *Journal of Business and Economic Statistics* 5 (1), 53–67.
- Geyer, A., Kossmeier, S. & Pichler, S. 2004. Measuring Systematic Risk in EMU Government Yield Spreads. *European Finance Review* 8 (2), 171–197.
- Geyer, A. & Ziemba, W. 2008. The Innovest Austrian Pension Fund Financial Planning Model InnoALM. *Operations Research* 56 (4), 797–810.
- Giamouridis, D. & Vrontos, I. 2007. Hedge fund portfolio construction: A comparison of static and dynamic approaches. *Journal of Banking and Finance* 31 (1), 199–217.
- Giese, J. 2008. Level, Slope, Curvature: Characterising the Yield Curve in a Cointegrated VAR Model. *Economics - The Open-Access, Open-Assessment E-Journal* 2 (28), 1–20.
- Glasserman, P. & Li, J. 2005. Importance Sampling for Portfolio Credit Risk. *Management Science* 51 (11), 1643–1656.

- Gonzalo, J. 1994. Five alternative methods of estimating long-run equilibrium relationships. *Journal of Econometrics* 60 (1–2), 203–233.
- Gonzalo, J. & Lee, T.H. 1998. Pitfalls in testing for long run relationships. *Journal of Econometrics* 86 (1), 129–154.
- Granger, C. 2010. Some thoughts on the development of cointegration. *Journal of Econometrics* 158 (1), 3–6.
- Grundke, P. 2009. Importance sampling for integrated market and credit portfolio models. *European Journal of Operational Research* 194 (1), 206–226.
- Hall, A., Anderson, H. & Granger, C. 1992. A Cointegration Analysis of Treasury Bill Yields. *Review of Economics and Statistics* 74 (1), 116–122.
- Hamilton, J. 1994. *Time Series Analysis*. Princeton: Princeton University Press.
- Hannan, E. & Quinn, B. 1979. The determination of the order of an autoregression. *Journal of the Royal Statistical Society* B41, 190–195.
- He, J., Hu, W. & Lang, L. 2000. Credit Spread Curves and Credit Ratings. *Julkaisematon tutkimus*.
- Heath, D., Jarrow, R. & Morton, A. 1992. Bond Pricing and the Term Structure of Interest Rates: A New Methodology for Contingent Claims Valuation. *Econometrica* 60 (1), 77–105.
- Heikkilä, M. 2004. Tel-järjestelmän yhteinen tuottovelvoite ja yksittäisen yhtiön sijoitustuottojen jäännösvarianssi. Suomen aktuaariyhdistys. SHV-työ.
- Helwege, J. & Turner, C. 1999. The Slope of the Credit Yield Curve for Speculative Grade Issuers. *Journal of Finance* 54 (5), 1869–1884.
- Hendry, D. & Clements, M. 2001. Economic forecasting: some lessons from recent research. *European Central Bank, Working Paper Series No. 82*.
- Herold, U., Maurer, R., Stamos, M. & Vo, H. 2007. Total Return Strategies for Multi-Asset Portfolios. *Journal of Portfolio Management* 33 (2), 60–76.
- Hilli, P. 2007. Riskienhallinta yksityisen sektorin työeläkkeiden rahoituksessa. Helsingin kauppakorkeakoulu. Liikkeenjohdon systeemien väitöskirja.
- Hilli, P., Koivu, M. & Pennanen, T. 2010. Optimal construction of a fund of funds. *European Actuarial Journal*. Forthcoming.
- Houweling, P., Hoek, J. & Kleibergen, F. 2001. The joint estimation of term structures and credit spreads. *Journal of Empirical Finance* 8 (3), 297–323.
- Huang, H.H. 2005. Comment on "Optimal portfolio selection in a value-at-risk framework". *Journal of Banking and Finance* 29 (12), 3181–3185.
- Huang, J. & Zhang, X. 2008. The Slope of Credit Spread Curves. *Journal of Fixed Income* 18 (1), 56–71.

- Hull, J. & White, A. 1990. Pricing Interest-Rate-Derivative Securities. *Review of Financial Studies* 3 (4), 573–592.
- Hurvich, C. & Tsai, C. 1993. A Corrected Akaike Information Criterion for Vector Autoregressive Model Selection. *Journal of Time Series Analysis* 14, 271–279.
- Jamshidian, F. & Zhu, Y. 1997. Scenario Simulation: Theory and methodology. *Finance and Stochastics* 1 (1), 43–67.
- Jankowitsch, R. & Pichler, S. 2004. Parsimonious Estimation of Credit Spreads. *Journal of Fixed Income* 14 (3), 49–63.
- Joenväärä, J. 2011. Hedge-rahastojen valinta. Teoksessa H. Kahra (Toim.) Hedge-rahastot työeläkesijoittajien salkuissa ETK: Eläketurvakeskuksen raportteja 2011:2. 79–110.
- Johansen, S. 1988. Statistical analysis of cointegration vectors. *Journal of Economic Dynamics and Control* 12 (2–3), 199–607.
- Johansen, S. 1991. Cointegration and Hypothesis Testing of Cointegration Vectors in Gaussian Vector Autoregressive Models. *Econometrica* 59 (6), 1551–1580.
- Johansen, S. 1995. Likelihood-Based Inference in Cointegrated Vector Autoregressive Models. New York: Oxford University Press.
- Jones, S. 2009. The formula that felled Wall St. *Financial Times*. 24.4.2009. [www-lähde]. <www.ft.com/cms/s/2/912s85e8-2d7511de-9>. (Luettu 19.1.2011).
- Kahra, H. 2011. Hedge-rahastot sijoitussalkun täydentäjinä. Teoksessa H. Kahra (Toim.) Hedge-rahastot työeläkesijoittajien salkuissa ETK: Eläketurvakeskuksen raportteja 2011:2. 47–78.
- Kasa, A. 1992. Common stochastic trends in international stock markets. *Journal of Monetary Economics* 29 (1), 95–124.
- Kingsland, L. 1982. Projecting the Financial Condition of a Pension Plan Using Simulation Analysis. *Journal of Finance* 37 (2), 577–584.
- Kiviniemi, M. 2009. Työeläkkeiden rahoitus vuonna 2009. ETK. Eläketurvakeskuksen tilastoraportteja 9/2009.
- Knez, P., Litterman, R. & Scheinkman, J. 1994. Explorations Into Factors Explaining Money Market Returns. *Journal of Finance* 49 (5), 1861–1882.
- Koivu, M., Pennanen, T. & Ranne, A. 2007. Modeling assets and liabilities of a finnish pension insurance company: a VEqC approach. *Scandinavian Actuarial Journal* 2005 (1), 46–76.
- Koivu, M., Pennanen, T. & Ziemba, W. 2005. Cointegration analysis of the Fed model. *Finance Research Letters* 2 (4), 248–259.

- Kouwenberg, R. 2001. Scenario generation and stochastic programming models for asset liability management. *European Journal of Operational Research* 134 (2), 279–292.
- Kuosmanen, P. & Vataja, J. 2002. Shokkien välittyminen asunto- ja osakemarkkinoilla. Vaasan yliopisto. Working Papers 1.
- Laakso, S. 2009. Soveltuuko Solvenssi II suomalaiseen työeläkejärjestelmään? Suomen aktuaariyhdistys. SHV-työ.
- Laki eläkelaitoksen vakavaraisuusrajan laskemisesta ja vastuuvelan kattamisesta 2006. 1114/8.12.2006.
- Laki eläkelaitoksen vakavaraisuusrajan laskemisesta ja vastuuvelan kattamisesta annetun lain muuttamisesta 2011. 219/11.3.2011.
- Laki työeläkevakuutusyhtiöistä 1997. 354/25.4.1997.
- Li, D. 2000. On Default Correlation: A copula function approach. *Journal of Fixed Income* 9 (4), 43–54.
- Liang, B. 2000. Hedge funds: The living and the dead. *Journal of Financial and Quantitative Analysis* 35 (3), 309–326.
- Litterman, R. & Scheinkman, J. 1991. Common factors affecting the bond returns. *Journal of Fixed Income* 1, 54–61.
- Lo, A. 1991. Long-Term Memory in Stock Market Prices. *Econometrica* 59 (5), 1279–1313.
- Lütkepohl, H. 2005. *New Introduction to Multiple Time Series Analysis*. Berliini: Springer-Verlag.
- Lucas, R. 1976. *Econometric Policy Evaluation: A Critique*. Teoksessa K. Brunner & A. Meltzer (Toim.) *The Phillips Curve and Labor Markets*. Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy. 1. New York: American Elsevier. 19–46.
- Lux, T. 1996. Long-term stochastic dependence in financial prices: Evidence from the German stock market. *Applied Economics Letters* 3 (11), 701–706.
- Malkiel, B. & Saha, A. 2005. Hedge Funds: Risk and Return. *Financial Analysts Journal* 61 (6), 80–88.
- Markowitz, H. 1952. Portfolio Selection. *Journal of Finance* 7 (1), 77–91.
- Markowitz, H. & Perold, A. 1981. Portfolio Analysis with Factors and Scenarios. *Journal of Finance* 36 (4), 871–877.
- Mathur, I. & Subrahmanyam, V. 1990. Interdependencies among the Nordic and U.S. Stock Markets. *Scandinavian Journal of Economics* 92 (4), 587–597.
- McCarthy, J., Pantalone, C. & Li, H. 2009. Investigating Long Memory in Yield Spreads. *Journal of Fixed Income* 19 (1), 73–81.

- Merton, R. 1974. On the Pricing of Corporate Debt: The Risk Structure of Interest Rates. *Journal of Finance* 29 (2), 449–470.
- Moody's Investors Service 2009. Corporate Default and Recovery Rates, 1920–2008. [www-lähde]. <www.moodys.com>. (Luettu 19.12.2010).
- Morris, C., Neal, R. & Rolph, D. 1998. Credit Spreads and Interest Rates: A Cointegration Approach. Federal Reserve Bank of Kansas City. Research Working Paper 98-08.
- MSCI Barra 2010. MSCI Europe Index. [www-lähde]. <www.msclubarra.com>. (Luettu 15.11.2010).
- Murphy, A. 2003. An empirical analysis of the structure of credit risk premiums in the Eurobond market. *Journal of International Money and Finance* 22 (7), 865–885.
- Nelson, C. & Siegel, A. 1987. Parsimonious modeling of yield curves. *Journal of Business* 60 (4), 473–489.
- Nelson, C. & Siegel, A. 1988. Long-term behavior of yield curves. *Journal of Financial and Quantitative Analysis* 23 (1), 105–110.
- Nickell, P., Perraudin, W. & Varotto, S. 2000. Stability of rating transitions. *Journal of Banking and Finance* 24 (1–2), 203–227.
- Osterwald-Lenum, M. 1992. A Note with Quantiles of the Asymptotic Distribution of the Maximum Likelihood Cointegration Rank Test Statistics. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics* 54 (3), 461–472.
- Pentikäinen, T., Bonsdorff, H., Pesonen, M., Rantala, J. & Ruhonen, M. 1989. Insurance solvency and financial strength. Helsinki: FINVA.
- Perold, A. & Sharpe, W. 1988. Dynamic Strategies for Asset Allocation. *Financial Analysts Journal* 44 (1), 16–27.
- Phillips, P. & Perron, P. 1988. Testing for a Unit Root in Time Series Regression. *Biometrika* 75 (2), 335–346.
- Puranen, I. 2011. Solvenssi II:n markkina- ja vastapuoliriskimoduuleiden uudelleen kalibrointi. Julkaisematon tutkimus.
- Ranne, A. 1995. Sijoitustuottojen simulointimallin käyttö TEL-yhtiön toimintapääomavaatimusten tutkimisessa. Suomen aktuaariyhdistys. SHV-työ.
- Ranne, A. 1999. The Investment Models of a Finnish Pension Company. *Risks and Rewards Newsletter* 33, 19–24.
- Reimers, H.E. 1992. Comparisons of tests for multivariate cointegration. *Statistical Papers* 33 (1), 335–359.
- Risku, I. & Kaliva, K. 2009. Sijoitusriskien ja rahoitustekniikan vaikutus TyEL-maksun kehitykseen. ETK. Eläketurvakeskuksen keskustelualoitteita 2009:6.

- Saikkonen, P. & Lütkepohl, H. 2000a. Testing for the cointegrating rank of a VAR process with an intercept. *Econometric Theory* 16 (3), 373–406.
- Saikkonen, P. & Lütkepohl, H. 2000b. Testing for the cointegrating rank of a VAR process with structural shifts. *Journal of Business and Economic Statistics* 18 (4), 451–464.
- Saikkonen, P. & Lütkepohl, H. 2000c. Trend adjustment prior to testing for the cointegrating rank of a vector autoregressive process. *Journal of Time Series Analysis* 21 (4), 435–456.
- Schwartz, G. 1978. Estimating the dimension of a model. *Annals of Statistics* 6, 461–464.
- Sharpe, W. 1966. Mutual Fund Performance. *Journal of Business* 39 (1), 119–138.
- Sharpe, W. 1982. Plasm: Pension Liability and Asset Simulation Model: Discussion. *Journal of Finance* 37 (2), 604–606.
- Sharpe, W. 1994. The Sharpe Ratio. *Journal of Portfolio Management* 21 (1), 49–58.
- Sims, A. 1980. Macroeconomics and Reality. *Econometrica* 48 (1), 1–48.
- Soderlind, P. & Svensson, L. 1997. New techniques to extract market expectations from financial instruments. *Journal of Monetary Economics* 40 (2), 383–430.
- Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö. 2010a. Yksityisten alojen työeläkejärjestelmän vakavaraisuussäätelyn uudistamista selvittäneen asiantuntijatyöryhmän selvitys. Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön selvityksiä 2010:14.
- Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö. 2010b. Yksityisten alojen työeläkejärjestelmän vakavaraisuussäätelyn uudistamista selvittäneen laaja-alaisen työryhmän selvitys. Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön selvityksiä 2010:12.
- Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön asetus luottoluokista eläkelaitoksen vakavaraisuusraja laskettaessa 2011. 249/17.3.2011.
- Standard & Poor's 2009. Default, Transition, and Recovery: 2008 Annual Global Corporate Default Study And Rating Transitions. [www-lähde]. <www.standardandpoors.com/ratingsdirect>. (Luettu 19.12.2010).
- Steehouwer, H. 2005. Macroeconomic scenarios and reality. Rotterdam: Optima Grafische Communicatie.
- Svensson, L. 1994. Estimating and interpreting forward interest rates: Sweden 1992–94. IMF Working paper No. 94/114.
- Svensson, L. 1995. Estimating forward interest rates with the extended Nelson & Siegel method. *Sveriges Riksbank Quarterly Review* 1995:3.
- Takala, K. & Pere, P. 1991. Testing the cointegration of house and stock prices in Finland. *Finnish Economic Papers* 4 (1), 33–51.

- TELA 2011. Työeläkevakuuttajat. [www-lähde]. <www.tela.fi>. (Luettu 22.3.2011).
- Tepper, I. 1982. Plasm: Pension Liability and Asset Simulation Model: Discussion. *Journal of Finance* 37 (2), 606–607.
- Tolonen, P. 2011. Hedge-rahastot sijoituskohteena. Teoksessa H. Kahra (Toim.) Hedge-rahastot työeläkesijoittajien salkuissa ETK: Eläketurvakeskuksen raportteja 2011:2. 19–46.
- Tsaig, Y., Levy, A. & Wang, Y. 2010. Analyzing the impact of credit migration in a portfolio setting. *Journal of Banking and Finance* In Press, Corrected Proof.
- Tsuji, C. 2005. The credit-spread puzzle. *Journal of International Money and Finance* 24 (7), 1073–1089.
- Vakuutusvalvontavirasto. 2008. Työeläkelaitoksia koskevan sijoitussäntelyn uudistuksen vaikutuksista sijoitustoimintaan. Vakuutusvalvontavirasto. dnro 2/001/2008.
- Valtioneuvoston asetus eläkelaitoksen vakavaraisuusrajan kaavassa käytettävien muuttujien arvoista 2011. 248/17.3.2011.
- Van Landschoot, A. 2004. Determinants of Euro Term Structure of Credit Spreads. European Central Bank, Working Paper Series No. 397.
- Vasicek, O. 1977. An equilibrium characterization of the term structure. *Journal of Financial Economics* 5 (2), 177–188.
- Whitehouse, M. 2005. Slices of Risk. *The Wall Street Journal*. 12.9.2005. [www-lähde]. <<http://math.bu.edu/people/murad/>>. (Luettu 19.1.2011).
- Wilkie, A. 1986. A stochastic investment model for actuarial use. *Transactions of the Faculty of Actuaries* 39, 341–403.
- Wilkie, A. 1995. More on a stochastic investment model for actuarial use. *British Actuarial Journal* 1 (5), 774–964.
- Winklevoss, H. 1982. Plasm: Pension Liability and Asset Simulation Model. *Journal of Finance* 37 (2), 585–594.
- Wu, Y. & Zhang, H. 1996. Mean reversion in interest rates: New evidence from a panel of OECD countries. *Journal of Money, Credit and Banking* 28 (4), 604–621.
- Yu, F. 2005. Accounting transparency and the term structure of credit spreads. *Journal of Financial Economics* 75 (1), 53–84.
- Yu, W. & Salyards, D. 2009. Parsimonious Modeling and Forecasting of Corporate Yield Curve. *Journal of Forecasting* 28 (1), 73–88.
- Yu, W. & Zivot, E. 2011. Forecasting the term structures of Treasury and corporate yields using dynamic Nelson-Siegel models. *International Journal of Forecasting* 27 (2), 579–591.

- Zellner, A. 1992. Statistics Science and Public Policy (ASA Presidential Address). *Journal of the American Statistical Association* 87 (417), 1–6.
- Zellner, A. & Hong, C. 1989. Forecasting international growth rates using Bayesian shrinkage and other procedures. *Journal of Econometrics* 40 (1), 183–202.
- Zhang, H. 1993. Treasury yield curves and cointegration. *Applied Economics* 25 (3), 361–367.

LIITE 1: Kertaus VAR- ja VECM-malleihin

Tässä luvussa on tarkoituksena kerrata VAR- ja VECM-mallien perusspesifikointi. Laajempi ja tarkempi käsittely jätetään hyvälle oppikirjoille. Erityisesti teosta Hamilton (1994) suositellaan johdannoksi aikasarja-analyysiin, ja moniulotteisten mallien osalta erinomainen teos on Lütkepohl (2005), joka huomioi metodologian tuoreempaa kehitystä.

Moniulotteisilla aikasarjamalleilla pyritään kuvaamaan usean muuttujan vuorovaikutuksia ajassa. Mallinnettavia muuttujia merkataan pystyvektorilla $x_t = [x_{1t} \cdots x_{nt}]'$, missä n on muuttujien lukumäärä. Yleisin taloustieteessä käytetty aikasarjamalli on $AR(p)$, missä muuttujia on vain yksi ($n = 1$) ja sen arvo ajankohtana t riippuu lineaarisesti sen omista viipymistä ja virhetermistä ϵ_t , eli

$$x_t = v + a_1 x_{t-1} + \cdots + a_p x_{t-p} + \epsilon_t, \quad (7.1)$$

missä virhetermit ovat keskenään riippumattomia ja samoin jakautuneita odotusarvolla 0 ja keskihajonnalla σ , eli $\epsilon_t \sim \text{iid}(0, \sigma^2)$. Lukua p sanotaan mallin asteeksi.

Kun muuttujia on useampia, yleistyy yhtälö 7.1 niin sanotuksi $VAR(p)$ -prosessiksi (Vector AutoRegressive), jolloin

$$x_t = v + A_1 x_{t-1} + \cdots + A_p x_{t-p} + \epsilon_t, \quad \epsilon_t \sim \text{iid}(0, \Sigma), \quad (7.2)$$

missä A_1, \dots, A_p ovat $n \times n$ kerroinmatriiseja ja Σ on virhetermien $\epsilon_t (= [\epsilon_{1t} \cdots \epsilon_{nt}]')$ kovarianssimatriisi. Mallien estimointi suurimman uskottavuuden menetelmillä vaatii oletuksen virhetermien normaalijakautuneisuudesta.

Ideana on siis selittää jokaista muuttujaa sen omilla viipymillä ja myös muiden muuttujien viipymillä. Näin voidaan tarkastella myös muuttujien välisiä viivästettyjä riippuvuuksia kuten sitä, miten muuttuja x_{2t} vaikuttaa muuttujan x_{1t} tulevaan kehitykseen ja miten x_{1t} vaikuttaa muuttujan x_{2t} tulevaan kehitykseen. Yhtälön oikealla puolella on myös vakiovektori v ($n \times 1$).

Joissakin tutkimuksissa käytetään VAR- ja VECM-mallien sijasta tavanomaisia yksiulotteisia aikasarjamalleja jokaiselle tutkittavalle muuttujalle. Tällainen tilanne voidaan kuitenkin esittää moniulotteisten mallien erikoistapauksena, missä kerroinmatriisien alkiot saavat arvon 0 diagonaalia lukuunottamatta. Oletetaan esimerkiksi, että mallinnetaan kahta muuttujaa $AR(1)$ prosesseina, eli

$$\begin{aligned} x_{1t} &= v_1 + a_{1,1} x_{1t-1} + \epsilon_{1t}, \\ x_{2t} &= v_2 + a_{2,1} x_{2t-1} + \epsilon_{2t}. \end{aligned} \quad (7.3)$$

Tilanne vastaa $VAR(1)$ -mallia muotoa

$$\begin{pmatrix} x_{1t} \\ x_{2t} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} a_{1,1} & 0 \\ 0 & a_{2,1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{1t-1} \\ x_{2t-1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \epsilon_{1t} \\ \epsilon_{2t} \end{pmatrix}.$$

Usein taloudellisten muuttujien välillä on pitkän aikavälin tasapainosuhteita. Mikäli ne liikkuvat kauas tasapainostaan, markkinavoimat pyrkivät puskemaan ne takaisin. Tämä toimii motivaationa aikasarjojen integroituvuus- ja yhteisintegroituvuus käsitteille. Muuttujien sanotaan olevan stationaarisia mikäli niiden

todennäköisyysrakenne on ajassa muuttumaton. VAR-prosessin osalta tämä tarkoittaa sitä, että muuttujien odotusarvot ja kovarianssit pysyvät vakiona. Muuttujan x_t sanotaan puolestaan olevan integroituva astetta 1 (merkitään $x_t \sim I(1)$), mikäli sen differenssi on stationaarinen.

Differenssillä tarkoitetaan muutosta ajassa, $\Delta x_t = x_t - x_{t-1}$. Yleisemmin muuttuja on integroitunut astetta d ($x_t \sim I(d)$), mikäli siitä voidaan tehdä stationaarinen ottamalla differenssi d -kertaa, eli $\Delta^d x_t$ on stationaarinen. Stationaarisesta muuttujasta käytetään merkintää $x_t \sim I(0)$. Muuttujien x_{it} ja x_{jt} sanotaan olevan yhteisintegroituvia, mikäli niiden välillä on stationaarinen lineaarikombinaatio muotoa $x_{it} - \beta x_{jt}$. Yhteisintegroituvuus tarkoittaa siis pitkän aikavälin tasapainosuhdetta kahden tai useamman muuttujan välillä.

Tarkastellaan seuraavaksi VAR(p)-mallia muuttujien differensseille Δx_t , muotoa

$$\Delta x_t = \boldsymbol{\nu} + \sum_{i=1}^p \mathbf{A}_i \Delta x_{t-i} + \boldsymbol{\epsilon}_t, \quad \boldsymbol{\epsilon}_t \sim \mathcal{N}(0, \boldsymbol{\Sigma}). \quad (7.4)$$

Parametrivektorilla $\boldsymbol{\nu}$ on tulkinta keskimääräisenä kasvuna. Jos muuttujilla ei ole yksikköjuuria, tarkoittaa tämä, että $E[\Delta x_t] = \boldsymbol{\nu}$.

Oletetaan esimerkiksi, että $\Delta x_t = \Delta \log S_t$ kuvaa kahden osakeindeksin S_{1t} ja S_{2t} logaritmisia tuottoja. Mikäli historiallisilla tuotoilla ei ole vaikutusta tuleviin tuottoihin (markkinatehokkuus), kerroinmatriisit \mathbf{A}_i saavat arvon 0 ja

$$\Delta \log S_{it} = v_i + \epsilon_{it}, \quad \epsilon_{it} \sim \mathcal{N}(0, \sigma) \quad (7.5)$$

molemmille indekseille S_{it} . Tätä stokastista prosessia kutsutaan satunnaiskävelyksi ja se on rahoitusteoriassa yleisesti käytetyimpiä malleja osaketuotoille². Huomaa, että mallin aste on 0.

Mikäli mallinnettavat muuttujat eivät ole stationaarisia, voidaan käyttää virheenkorjausta. Kuuluisa VECM(p)-malli (Vector Error Correction Model) saadaan lisäämällä yhtälöön 7.4 virheenkorjaustermi, jolloin se saa muodon

$$\Delta x_t = \boldsymbol{\nu} + \boldsymbol{\alpha} (\boldsymbol{\beta}' x_{t-1} - \boldsymbol{\mu}) + \sum_{i=1}^p \mathbf{A}_i \Delta x_{t-i} + \boldsymbol{\epsilon}_t, \quad \boldsymbol{\epsilon}_t \sim \mathcal{N}(0, \boldsymbol{\Sigma}). \quad (7.6)$$

Virheenkorjaustermi huomioi muuttujien pitkän aikavälin käyttäytymisen niiden tasapainon ympärillä, jota kuvaa lineaarinen yhtälöryhmä $\boldsymbol{\beta}' x = \boldsymbol{\mu}$. Mallissa oletetaan, että pitkällä aikavälillä $E[\boldsymbol{\beta}' x_t] = \boldsymbol{\mu}$. Kun muuttujat poikkeavat tasapainosta taloudellisten shokkien takia, on niillä taipumus liikkua takaisin tasapainoon. Matriisi $\boldsymbol{\alpha}$ määrää tämän sopeutumisen nopeuden. Tasapainosuhteiden lukumäärä (eli virheenkorjaustermin riippumattomien sarakkeiden lukumäärä), r , ilmenee parametrimatriisien $\boldsymbol{\alpha}$ ($n \times r$) ja $\boldsymbol{\beta}$ ($n \times r$), sekä vektorin $\boldsymbol{\mu}$ ($r \times 1$) kokona.

Yhtälön 7.6 kerroinmatriiseista \mathbf{A}_i voidaan käyttää nimitystä VAR(i)-termi tai -kerroin. Termistä $\boldsymbol{\alpha} (\boldsymbol{\beta}' x_{t-1} - \boldsymbol{\mu})$ käytetään nimitystä virheenkorjaustermi. VAR-termit ovat lyhyen aikavälin termejä, kun taas virheenkorjaustermi määrää mallin käyttäytymistä pitkällä aikavälillä. Matriisia $\boldsymbol{\beta}$ sanotaankin pitkän aikavälin parametreiksi. Matriisia $\boldsymbol{\alpha}$ kutsutaan latausmatriisiksi. Virheenkorjaustermillä

² Jatkuva-aikaisesta vastineesta käytetään nimitystä Brownin liike.

voidaan mallintaa sekä muuttujien välisiä tasapainoja, että yksittäisen muuttujan tasapainotasoa, kuten keskiarvoon hakeutuvuutta.

Esimerkin vuoksi VECM-mallista voidaan esittää erikoistapaus, jossa ainoana muuttujana on lyhyt korko $\log y_t$. Asettamalla $\nu = 0$ ja $A_i = 0$, saadaan Blackin ja Karasinskin (1991) keskiarvoon hakeutuva korkomalli

$$\Delta \log y_t = \alpha(\log y_{t-1} - \mu) + \epsilon_t, \quad (7.7)$$

kun $\alpha < 0$. Tässä keskiarvoon hakeutuvuuden hoitaa siis virheenkorjaustermi. (Koivu et al., 2007)

Aikasarja-analyysissä eräs tärkeä käsite on yksikköjuuri. Yksikköjuurella tarkoitetaan prosessia, jossa viivetermin kerroin ei poikkea (tilastollisesti merkitsevästi) yhdestä. Tarkastellaan yksikköjuuriprosessia, jossa ainoana muuttujana on logaritminen osakeindeksi

$$\log x_t = \log x_{t-1} + \epsilon_t. \quad (7.8)$$

Tällöin $\log x_t - \log x_{t-1} = \epsilon_t$, missä yhtälön vasen puoli on indeksin logaritminen tuotto. Logaritmiset tuotot ovat tässä mallissa riippumattomia ja samoin jakautuneita satunnaismuuttujia, eli satunnaiskävelyä. Mallin erottaa yhtälöstä 7.5 vakiotermi, joka on nyt 0 (huomaa, että $\log S_t = \log x_t - \log x_{t-1}$). Tässä prosessissa tuottojen odotusarvo on siis 0.

Moniulotteisten mallien suurin heikkous on parametrien suuri määrä. Tätä havainnoillistaa seuraava: olkoon tutkittavana n -kappaletta muuttujia, joista kustakin on T havaintoa. Yhteensä havaintoja on siis käytössä Tn -kappaletta. Mikäli muuttujien mallintamiseen käytetään VAR(1)-mallia, estimoitavana on $n^2 + n + n \cdot (n + 1)/2$ parametria. Kuvitellaan, että malliin lisätään uusi muuttuja, eli havaintoja on käytössä $T(n + 1)$. Estimoitavien parametrien määrä kasvaa kuitenkin $(n + 1)^2 + (n + 1) + (n + 1) \cdot (n + 2)/2$:een. Toisin sanoen, estimoitavien parametrien määrä suhteessa havaintoihin on kasvanut. On selvää, että tämä heikentää estimaattien tarkkuutta ja ongelma korostuu tässä tutkimuksessa, kun muuttujia on suuri määrä ja aikasarjat ovat suhteellisen lyhyitä.

LIITE 2: Matemaattinen liite

Osiossa 4.1 esiteltiin Nelson-Siegel-korkokäyrä muotoa

$$y_t(\tau) = L_t + S_t \left(\frac{1 - e^{-\Lambda_t \tau}}{\Lambda_t \tau} \right) + C_t \left(\frac{1 - e^{-\Lambda_t \tau}}{\Lambda_t \tau} - e^{-\Lambda_t \tau} \right). \quad (7.9)$$

Käyrällä on se tärkeä ominaisuus, että maturiteetin ollessa äärimmäisen pieni, lähestyy myös diskonttaustekijä 1:tä. Parametri Λ_t tekee käyrästä epälineaarisen ja se hallitsee käyrän muotoa. Kun Λ_t on pieni, käyrä sopii paremmin korkojen pitkään päähän ja toisaalta sen ollessa suuri, käyrä sopii paremmin lyhyiden korkojen estimointiin. Erityisesti Λ_t määrää faktorilatauksen maksimikohdan faktorille C_t .

Epälineaarisen mallin estimointiin liittyy ongelmia. Ratkaisut saattavat olla epästabiileja ja erityisesti estimaatit eri parametreille saattavat olla epätarkkoja.

Tavanomainen menettely on asettaa Λ_t vakioksi, jolloin mallin estimoitaviksi parametreiksi jäävät enää $\{L_t, S_t, C_t\}$ (Diebold & Li, 2006; Diebold et al., 2006; Nelson & Siegel, 1987; Yu & Zivot, 2011). Tällöin se voidaan estimoida tavanomaisella PNS-menetelmällä välttämällä epälineaariset optimointiongelmat ja yksinkertaisten myös aikasarjamallia, kun korkokäyrän simulointiin ei tarvita Λ_t :tä, vaan riittää vain kolme aikasarjaa. Koska Yu & Zivot (2011) havaitsivat, että faktorilataukset eivät ole herkkiä Λ_t :n arvon suhteen, omaksutaan menettely myös tähän työhön. Parametrin Λ_t arvo, joka maksimoifaktorin C_t faktorilatauksen 30 kuukauden kohdalla, on 0,0609. Tämä vastaa sitä, että korkokäyrän ”kyytärä” esiintyy 2,5 vuoden kohdalla.

Käyrälle voidaan johtaa simulointeja varten myös positiivisuusehto, joka varmistaa ettei skenaarioissa ilmene negatiivisia korkoja. Oletetaan, että ollaan saatu faktoreiden arvot \bar{L}_t , \bar{S}_t ja \bar{C}_t , joilla maturiteettia $\bar{\tau}$ vastaava korko saisi negatiivisen arvon. Lisäämällä korkoihin ylimääräinen termi $C_t(\tau)$ saadaan uudeksi korkokäyräksi

$$y_t(\tau) = \bar{L}_t + \bar{S}_t B^S(\tau) + \bar{C}_t B^C(\tau) + C_t(\tau), \quad (7.10)$$

missä faktorilataukset ovat yhtälön 4.2 mukaiset. Tässä termin $C_t(\tau)$ arvo valitaan siten, että negatiiviselta korolta vältytään, eli $y_t(\bar{\tau}) = 0$. Termillä ei tässä työssä ole tarkempaa teoreettista tulkintaa, mutta myös mallin arbitraasittomassa versiossa esiintyy vastaavanlainen ylimääräinen termi, josta Christensen et al. (2009, 2011) käyttävät nimeä korkojen sopeutumistermi (yield-adjustment term).

Kun sopeutumistermi jaetaan kullekin faktorille, jakautuu se kolmeen osaan ja uudeksi korkokäyräksi tulee

$$y_t(\tau) = \left(\bar{L}_t + \mathcal{M}^L C_t^L(\tau)\right) + \left(\bar{S}_t + \mathcal{M}^S C_t^S(\tau)\right) B^S(\tau) + \left(\bar{C}_t + \mathcal{M}^C C_t^C(\tau)\right) B^C(\tau), \quad (7.11)$$

missä vakiokertoimet $\mathcal{M}^L, \mathcal{M}^S, \mathcal{M}^C$ määräävät painon, jonka kukin faktori saa korjauksessa, ja ne määräytyvät faktorilatausten keskinäisten suhteiden perusteella. Korjaustermit voidaan johtaa muotoon

$$C_t^L(\tau) = C_t(\tau), \quad (7.12)$$

$$C_t^S(\tau) = \frac{-\bar{L}_t - \bar{C}_t B^C(\tau)}{B^S(\tau)} - \bar{S}_t, \quad (7.13)$$

$$C_t^C(\tau) = \frac{-\bar{L}_t - \bar{S}_t B^S(\tau)}{B^C(\tau)} - \bar{C}_t, \quad (7.14)$$

jollon niiden painotettu summa vastaa korkojen sopeutumistermiä $\mathcal{M}^L C_t^L(\tau) + \mathcal{M}^S C_t^S(\tau) B^S(\tau) + \mathcal{M}^C C_t^C(\tau) B^C(\tau) = C_t(\tau)$.

Johdetut korjaukset voidaan tulkita virheenkorjaustermeiksi³ ja lisäksi kyse on tilanvaihtomallista (regime switching), sillä virheenkorjaus astuu voimaan vain korkojen mennessä negatiiviseksi. Normaalityössä korjaukset saavat arvon 0. Virheenkorjauksen sopeutuminen on välitöntä, eli niitä vastaavat latausmatriisin kertoimet saivat arvon 1. Osiossa 4.2 selvitettiin kuinka VECM-metodologiassa ei voida huomioida erilaisia rajoitteita, kuten korkojen positiivisuus. Johdettuja korjaustermejä ei näin ollen voida ottaa huomioon aikasarjamallin estimoinnissa.

³ Logaritmisesta tasofaktorin $\ln L_t$ korjaustermi on tarkalleen ottaen muotoa $\ln(1 + C_t(\tau)/\bar{L}_t)$.

Simuloitaessa tämä korjaus siis muuttaa faktorien aikasarjojen ominaisuuksia hieman, mutta vaikka tilastotieteellisillä aikasarja-analyysin menetelmillä korjauksia ei saadakaan huomioon, on kyseinen mekanismi todellisuudessa olemassa, sillä negatiivisia korkoja ei juurikaan empiriassa havaita.

Käsitellään portfoliota, jossa on m -kappaletta instrumentteja. Vastapuolen k luottokelpoisuuden määrää siis havaitsematon muuttuja ΔA_k , joka määräytyy faktorimallin

$$\Delta A_k = \sqrt{\rho}\Delta M_t + \sqrt{(1-\rho)}\chi_k \quad (7.15)$$

perusteella. Yhtiökohtaiset tekijät χ_k ovat keskenään korreloimattomia ja lisäksi korreloimattomia faktorista ΔM_t . Lisäksi tehdään oletus, että $\Delta M_t, \chi_k \sim \mathcal{N}(0,1)$. Myös muita jakaumia voitaisiin hyväksyä, mutta markkinaindikaattorin normaalisuus oletetaan jo VAR-metodologiassa.

Muuttujien $\Delta A_1, \Delta A_2, \dots, \Delta A_m$ kertymäfunktioit ovat $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_m$. Kertymäfunktioiden avulla voidaan määrittellä muuttujat $u_k = \Phi_k(\Delta A_k)$, jotka noudattavat standardia tasajakaumaa, $u_k \sim \text{Tas}(0,1)$. Niiden m -ulotteinen yhteisjakauma voidaan kirjoittaa gaussisena kopulafunktiona

$$G(\Phi_1(\Delta A_1), \Phi_2(\Delta A_2), \dots, \Phi_m(\Delta A_m), \Sigma) = \Phi_{\Sigma}(u_1, u_2, \dots, u_m), \quad (7.16)$$

missä $\Phi_{\Sigma}(\cdot)$ on m -ulotteisen multinormaalijakauman tiheysfunktio kovarianssimatriisilla Σ .

Yhtälöiden 4.7 ratkaisut saadaan ratkaisemalla ensin $Z_{i,AA} = \Phi^{-1}(1 - q_{i,AAA})$, josta tämän jälkeen

$$Z_{i,A} = \Phi^{-1}(\Phi(Z_{i,AA}) - q_{i,AA}) = \Phi^{-1}(1 - q_{i,AAA} - q_{i,AA}). \quad (7.17)$$

Tätä jatketaan, kunnes kaikki rajat ollaan saatu ratkaistua. Yleinen muoto on näin ollen

$$Z_{i,j} = \Phi^{-1}(1 - q_{i,AAA} - q_{i,AA} - \dots - q_{i,j}). \quad (7.18)$$

Koska kunkin luottoluokan sisällä yhtiöt ovat homogeenisia, siirtymätodennäköisyydet ovat muotoa

$$\begin{aligned} p_{i,j}(\Delta M) &= \mathbf{P}(Z_{i,j} \geq \Delta A_i > Z_{i,j-1}) \\ &= \mathbf{P}\left(Z_{i,j} \geq \sqrt{\rho}\Delta M_t + \sqrt{1-\rho}\chi_i > Z_{i,j-1}\right) \\ &= \mathbf{P}\left(\frac{Z_{i,j} - \sqrt{\rho}\Delta M_t}{\sqrt{1-\rho}} \geq \chi_i > \frac{Z_{i,j-1} - \sqrt{\rho}\Delta M_t}{\sqrt{1-\rho}}\right) \\ &= \Phi\left(\frac{Z_{i,j} - \sqrt{\rho}\Delta M_t}{\sqrt{1-\rho}}\right) - \Phi\left(\frac{Z_{i,j-1} - \sqrt{\rho}\Delta M_t}{\sqrt{1-\rho}}\right), \quad j \neq \text{AAA}, \text{D}. \end{aligned} \quad (7.19)$$

Palautumisaste, X , noudattaa beta-jakaumaa, $X \sim \text{Beta}(\alpha, \beta)$, jonka tiheysfunktio on

$$f(x; \alpha, \beta) = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1}, \quad 0 < x < 1, \quad (7.20)$$

missä $\Gamma(\cdot)$ on gamma-funktio. Jakauma sopii palautumisasteen mallintamiseen, sillä X voi saada arvoja väliltä 0 ja 1. Jakauman odotusarvo on $\alpha/(\alpha + \beta)$. Beta-jakauman simulointiin tarvitaan myös gamma-jakaumaa, $\text{Gamma}(k, \theta)$, jonka

tiheysfunktio on

$$f(x; k, \theta) = x^{k-1} \frac{e^{-x/\theta}}{\theta^k \Gamma(k)}, \quad x \geq 0, \text{ ja } k, \theta > 0. \quad (7.21)$$

Jos X ja Y noudattavat gamma-jakaumaa, $X \sim \text{Gamma}(\alpha, \theta)$, $Y \sim \text{Gamma}(\beta, \theta)$, niin tällöin

$$\frac{X}{X+Y} \sim \text{Beta}(\alpha, \beta). \quad (7.22)$$

Portfolion optimointiongelma on formaalisti muotoa

$$\begin{aligned} \min_w \text{VaR}(w) \\ Aw \leq b, \\ Cw = d, \end{aligned} \quad (7.23)$$

missä kohdefunktio $\text{VaR}(w)$ on vakavaraisuusparametri ja sen 5×1 argumentti-vektorin w alkioit ovat omaisuusluokkien painot. Rajoitteissa kertoimet ovat

$$\begin{aligned} A &= \begin{pmatrix} -I_5 \\ I_5 \end{pmatrix}, \quad b = \begin{pmatrix} -b_1 \\ b_2 \end{pmatrix}, \\ C &= \begin{pmatrix} \bar{r}_1 & \dots & \bar{r}_5 \\ 1 & \dots & 1 \end{pmatrix}, \quad d = \begin{pmatrix} r_f \\ 1 \end{pmatrix}, \end{aligned}$$

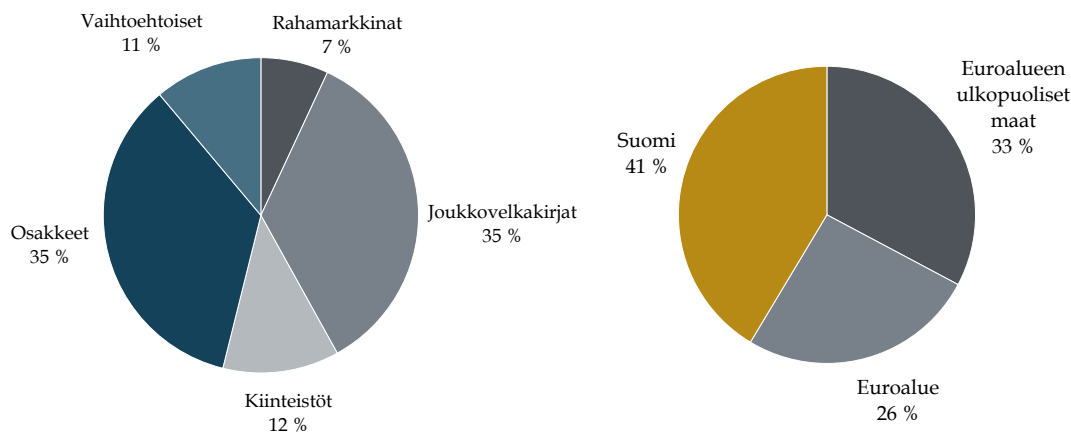
missä 5×1 vektorien b_1 ja b_2 alkioit ovat painojen ala- ja ylärajat, I_5 on 5×5 identiteettimatriisi, \bar{r}_i on omaisuusluokan i keskituotto (taulukko 21) ja r_f on tavoitetuotto. Optimointi suoritetaan SQP-menetelmällä (Sequential Quadratic Programming), katso Fletcher (1981) ja Coleman & Li (1994).

LIITE 3: Yksityisen sektorin eläkelaitosten sijoitukset

Yksityisen sektorin työeläkelaitosten sijoitusvarallisuus vuoden 2010 lopussa oli 93,7 miljardia euroa. Tästä eläkevakuutusyhtiöiden osuus on valtaosa (86,7 miljardia) ja lopuista vastaavat eläkesäätiöt- ja kassat (6 miljardia) (TELA, 2011). Koska eläkejärjestelmää on jatkuvasti uudistettu, on se myös muuttanut sijoitusten kohdentumista alueittain ja omaisuusluokittain. Edellinen uudistus tuli voimaan vuonna 2007, jonka seurauksena eläkelaitoksilla on ollut mahdollisuus lisätä osakkeiden painoa ja tavoitella korkeampaa riskiä. Historiallisten sijoitusallokatioiden käyttöä vaikeuttaa myös vuosien 2007–2009 finanssikriisi, joka pakotti laitokset vähentämään osakepainoja vakavaraisuuden säilymiseksi. Tästä käytetään usein termiä pakkomyynti.

Yksityisen sektorin eläkelaitosten sijoitusallokaatio vuoden 2010 lopussa on esitelty kuviossa 19⁴. Vaihtoehtoiset sijoitukset käsittävät hedge-rahasto- ja pääomasijoitukset sekä noteeraamattomat osakkeet. Vaihtoehtoisten sijoitusten, kuten hyödykkeiden, merkitys on ollut tyypillisesti vähäinen, mutta viime vuosina erityisesti hedge-rahastojen osuus on ollut kasvussa. Niiden osuus osakesijoituksista on noin 13 % ja noteeraamattomien osakkeiden ja pääomasijoitusten osuus noin 11 %. (TELA, 2011)

⁴ Sijoituslainat (3,2 %) ja TyEL-takaisinlainat (5,5 %) on yhdistetty bondisijoituksiin.



KUVIO 19 Sijoitusjakauma

Tavanomaisten osakesijoitusten kannalta mielenkiintoinen on myös TELA:n ylläpitämä OLV-indeksiä ennakoiva indeksi. OLV-indeksi on mittari, jolla kuvataan eläkeyhtiöiden osaketuottoja. Sitä pyritään ennakoimaan käyttämällä ennakoivaa indeksiä, joka muodostetaan painottamalla neljää aluekohtaista osakeindeksiä. Nämä ovat S&P 500, MSCI Europe, OMXH Cap ja Japanin Topix-indeksi. Alueiden keskimääräiset painot 3.12.2006–30.6.2009 väliseltä ajalta ovat taulukossa 25. Tämän indeksin perusteella eläkelaitosten (tavanomaisista) osakesijoituksista noin 38 %:iin kohdistuu valuuttariskiä⁵. Pääomasijoitusten osalta osuus on hieman korkeampi 69 % (TELA, 2011). Hedge-rahastojen osalta ei ole saatavilla julkaistua tietoa, mutta osuus on luultavasti vielä suurempi, sillä suurin osa hedge-rahastoista operoi euroalueen ulkopuolella.

TAULUKKO 25 OLV-indeksiä ennakoivan indeksin keskimääräiset painot 3.12.2006–30.6.2009 (TELA, 2011)

Alue	Indeksi	Keskimääräinen paino
Yhdysvallat	S&P 500	13,4 %
Eurooppa	MSCI Europe	37,3 %
Suomi	OMXH Cap GI	43,6 %
Japani	Topix	5,7 %

Kiinteistö- ja rahamarkkinasijoitukset kohdistuvat lähes täysin kotimaahan ja Eurooppaan. Sitä vastoin myös joukkovelkakirjasijoitukset ovat alueellisesti hajautetut ja euroalueen ulkopuolelle kohdistuu noin 34 % bondisijoituksista. Erityisesti julkisyhteisöjen ja rahoituslaitosten liikkeelle laskema velka on suuressa roolissa (taulukko 26). Mikäli rahastosijoitusten jakauma vastaa suoria sijoituksia, on julkisyhteisöjen osuus noin puolet kaikista bondisijoituksista. Rahastojen osuus on ollut viime vuosina kasvussa ja niiden paino allokaatiossa on noin 22 %. (TELA, 2011)

⁵ MSCI Europe -indeksissä euroalueen ulkopuolisten maiden paino on noin 51 %. Indeksien painoja julkaisee MSCI Barra (2010).

TAULUKKO 26 Bondisijoitusten allokaatio (TELA, 2011)

Suomalaiset julkisyhteisöt	6 %
Euroalueen ulkopuoliset yritykset	7,3 %
Suomalaiset yritykset	3,2 %
Rahoituslaitokset ja muut	21,8 %
Euroalueen julkisyhteisöt	33,6 %
Euroalueen yritykset	6,2 %
Rahastot	21,9 %

Riskien kannalta olennaisia ovat myös sijoitusten luottoluokitukset ja juoksuajat. Näistä ei ole saatavilla julkista tietoa, mutta vakuutusyhtiöillä on yleisesti tapana sijoittaa enemmän hyvän luokituksen investment grade -instrumentteihin. Lisäksi riskillisten sijoitusten duraatio on yleensä pienempi johtuen osittain markkinoiden likviditeetistä. Tämä on luultavasti melko realistinen oletus myös suomalaisten eläkelaitosten kohdalla ja lähtökohdaksi voidaan ottaa CEIOPS:in (2010b) selvittämät sijoitusten piirteet (taulukko 27). Taulukosta saatava portfolion duraatio on 4,2, joka on yhdenpitävää myös aiempien sijoitustuottomallien kanssa, joissa Heikkilä (2004) käyttää duraatiota 3,5–4 ja Koivu et al. (2007) sekä Hilli (2007) duraatiota 5.

TAULUKKO 27 Eurooppalaisten vakuutusyhtiöiden bondisijoitusten allokaatio (CEIOPS, 2010b)

luokitus	osuus	duraatio
AAA	37,8 %	4,4
AA	27,4 %	4,3
A	22,2 %	4
BBB	6,7 %	4
BB	0,8 %	3,7
B	0,5 %	3,3
CCC tai alle	0,1 %	3,8
Luokittelematon	4,6 %	3

LIITE 4: Taulukot

TAULUKKO 28 Aineiston tunnusluvut

	ΔL_t	ΔS_t	ΔC_t	$\Delta \log s_t^{\text{BBB}}$	r_t^{FIN}	r_t^{global}	r_t^{others}	r_t^{Prop}
keskiarvo	0,04	-0,05	-0,06	0,17 %	0,64 %	0,49 %	0,54 %	-0,43 %
mediaani	0,24	-0,27	-0,38	-0,37 %	1,09 %	1,27 %	1,10 %	0,04 %
minimi	-19,14	-12,03	-14,74	-102,14 %	-17,81 %	-26,86 %	-26,24 %	-23,97 %
maksimi	12,24	17,55	29,56	77,53 %	22,90 %	19,01 %	12,38 %	10,04 %
keskihajonta	3,70	3,67	5,32	32,58 %	6,44 %	4,54 %	4,68 %	5,26 %
vinous	-0,69	0,55	0,84	-0,39	-0,04	-0,97	-1,21	-0,81
huipukkuus	2,78	2,11	3,10	0,39	1,31	3,74	4,44	2,45
havaintoja	292	292	292	109	141	489	294	113

TAULUKKO 29 Stationaarisuustestien t-testisuureet

Muuttuja		Viiveitä	ADF	PP
L_t	Trendi	0	-2,15	-2,15
	Vakio		-2,05	-2,05
	Ei		-1,03	-1,03
S_t	Trendi	0	-1,16	-1,16
	Vakio		-1,15	-1,15
	Ei		-0,29	-0,29
C_t	Trendi	0	-2,29	-2,29
	Vakio		-2,21	-2,21
	Ei		-1,02	-1,02
$\log s_t^{\text{BBB}}$	Trendi	0	-2,46*	-2,46*
	Vakio		-2,45	-2,45
	Ei		-2,85	-2,85
$\log \text{Omxh}_t$	Trendi	1	-1,15	-1,29
	Vakio		-1,66	-1,28
	Ei		1,00	0,97
$\log \text{global}_t$	Trendi	1	-1,17	-1,33
	Vakio		-1,54	-1,34
	Ei		-0,09	-0,31
$\log \text{others}_t$	Trendi	1	-1,89	-1,26
	Vakio		-2,03	-1,38
	Ei		0,20	0,16
$\log K_t$	Trendi	4	-1,93	-1,69
	Vakio		-1,05	-1,54
	Ei		1,97	4,57

*nollahypoteesi yksikköjuuresta hylätään 5 %:in merkitsevyystasolla

**nollahypoteesi yksikköjuuresta hylätään 1 %:in merkitsevyystasolla

TAULUKKO 30 Sijoitusluokkien väliset uudistetut korrelaatiot (Valtioneuvoston asetus 248/17.3.2011)

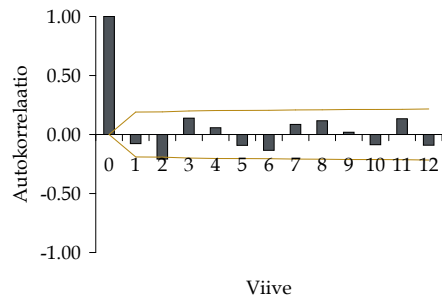
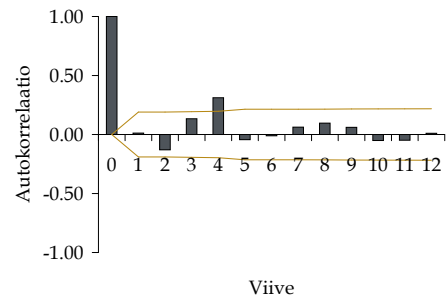
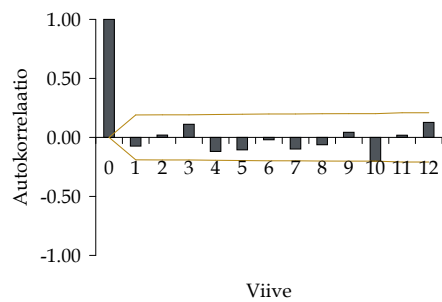
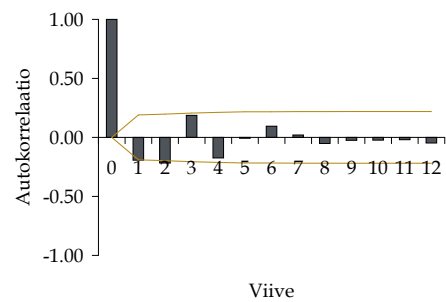
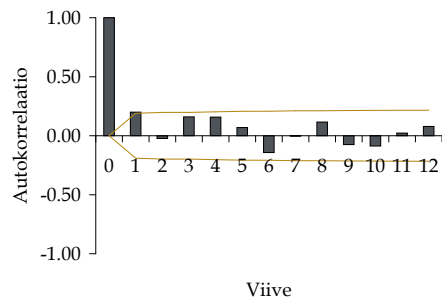
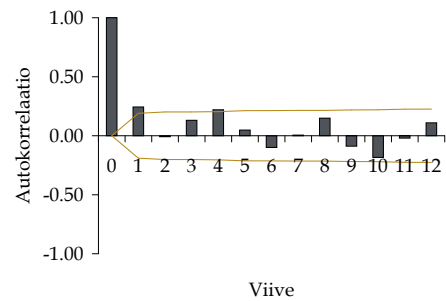
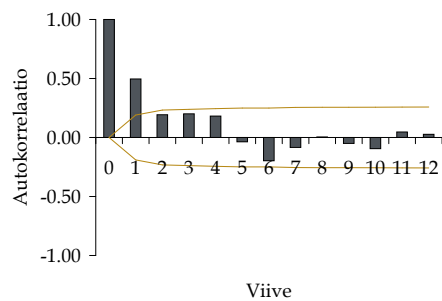
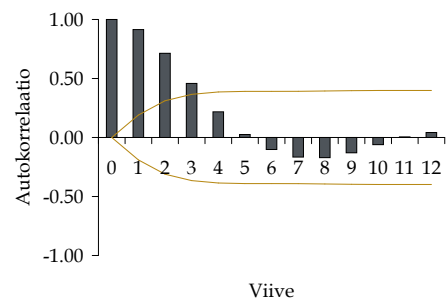
	I.1	I.2	I.3	I.4	II.1	II.2	II.3	II.4	II.5	III.1	III.2	III.3	III.4	IV.1	IV.2	IV.3	V.1	V.2	V.3	V.4
I.1	1,0	0,9	0,9	0,9	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0
I.2	0,9	1,0	0,9	0,9	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0
I.3	0,9	0,9	1,0	0,9	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0
I.4	0,9	0,9	0,9	1,0	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0
II.1	0,3	0,3	0,3	0,3	1,0	0,9	0,7	0,5	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0
II.2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,9	1,0	0,7	0,5	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0
II.3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,7	0,7	1,0	0,7	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,0	0,0
II.4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,5	0,7	1,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,0	0,0
II.5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,5	0,5	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,5	0,5	0,2	0,2	0,0	0,0
III.1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,4	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
III.2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	1,0	0,9	0,9	0,4	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
III.3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,9	1,0	0,9	0,4	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
III.4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,9	0,9	1,0	0,4	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
IV.1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	1,0	0,9	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0
IV.2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,9	1,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0
IV.3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,9	0,9	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V.1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,7	0,0	0,0
V.2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	1,0	0,0	0,0
V.3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0
V.4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0

$$\Sigma = 10^{-6} \begin{pmatrix} 526152,9 & -108834,6 & -2939,881 & -50133,93 & 3640,595 & 6197,608 & 3599,823 & 54,35137 \\ -108834,6 & 82383,33 & -3229,931 & 12940,63 & -4738,632 & -3505,240 & -3401,984 & -46,99181 \\ -2939,881 & -3229,931 & 1365,287 & -7111,389 & 147,3768 & -19,78914 & 6,457032 & 3,158768 \\ -501,3393 & 129,4063 & -7111,389 & 102213,9 & -2816,437 & -1915,042 & -750,2222 & 2,997701 \\ 3640,595 & -4738,632 & 147,3768 & -2816,437 & 3640,360 & 2419,500 & 1893,447 & 18,34268 \\ 6197,608 & -3505,240 & -19,78914 & -1915,042 & 2419,500 & 2157,258 & 1483,943 & 15,12707 \\ 3599,823 & -3401,984 & 6,457032 & -750,2222 & 1893,447 & 1483,943 & 1434,346 & 4,525872 \\ 54,35137 & -46,99181 & 3,158768 & 2,997701 & 18,34268 & 15,12707 & 4,525872 & 1,244412 \end{pmatrix} \quad (7.24)$$

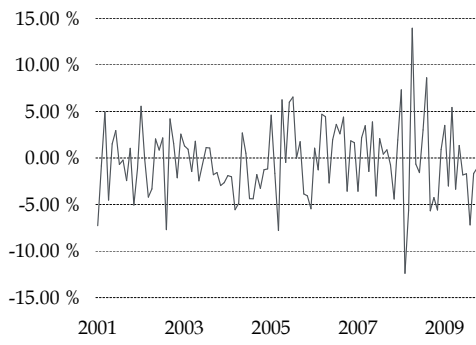
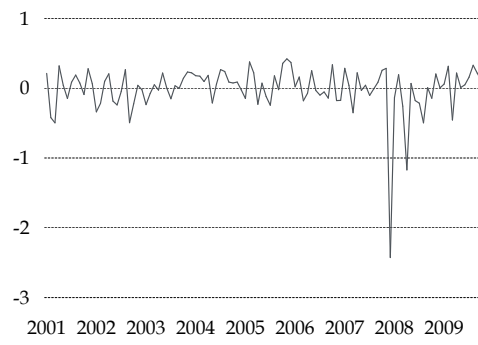
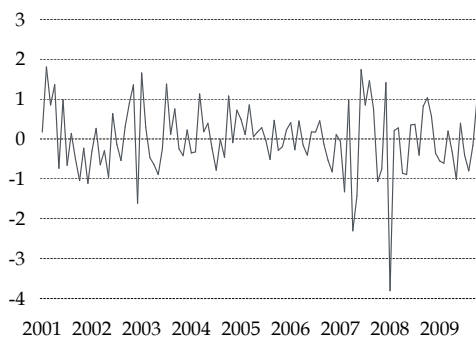
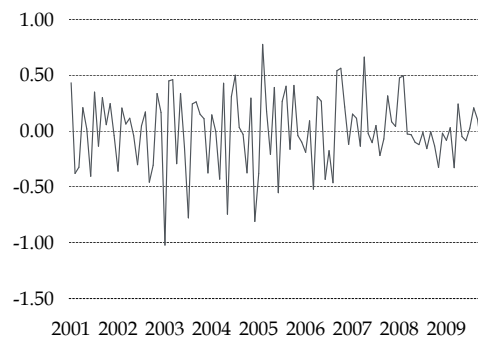
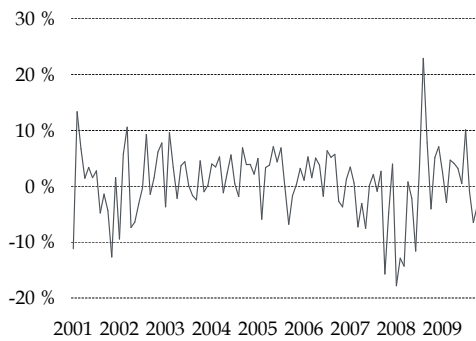
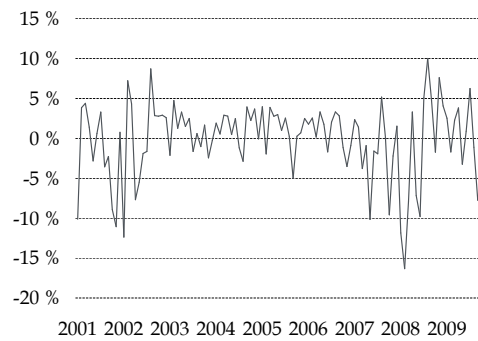
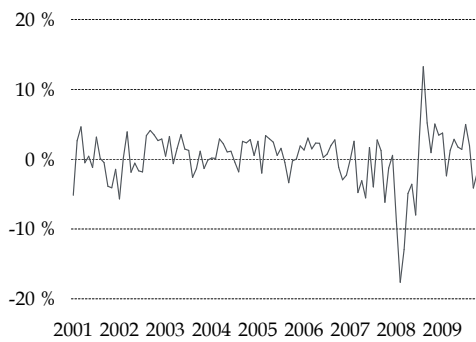
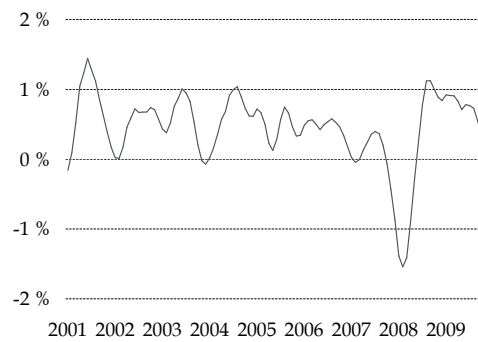
TAULUKKO 31 Simuloidut korkomarkkinamuuttujat (30000 havaintoa)

	keskiarvo	keskihajonta
L_t	5,11	0,78
S_t	-1,84	3,40
C_t	-2,56	4,97
s_t^{BBB}	1,33	1,09
palautumisaste	42,93 %	22,04 %
korko 6kk	3,19	3,27
korko 12kk	3,22	3,25
korko 24kk	3,39	2,96
korko 36kk	3,61	2,57
korko 48kk	3,82	2,20
korko 60kk	4,00	1,88
korko 72kk	4,15	1,63
korko 84kk	4,27	1,43
korko 96kk	4,36	1,27
korko 108kk	4,44	1,15
korko 120kk	4,51	1,06
korko 132kk	4,56	0,99
korko 144kk	4,60	0,93
korko 156kk	4,64	0,88
korko 168kk	4,68	0,85
korko 180kk	4,70	0,82

LIITE 5: Kuviot

(a) $\Delta \log L_t$ (b) ΔS_t (c) ΔC_t (d) $\Delta \log s_t^{\text{BBB}}$ (e) r_t^{FIN} (f) r_t^{global} (g) r_t^{others} (h) r_t^{Prop}

KUVIO 20 Autokorrelaatiofunktiot ja niiden 95 %:in merkitsevyysrajat

(a) $\Delta \log L_t$ (b) ΔS_t (c) ΔC_t (d) $\Delta \log s_t^{\text{BBB}}$ (e) r_t^{FIN} (f) r_t^{global} (g) r_t^{others} (h) r_t^{Prop}

KUVIO 21 Mallinnettavat aikasarjat