

# Vastuuvelan sallima likviditeettipreemio

Vesa Piilola

## **Abstract**

IFRS 17 accounting standard states that the market consistent value of liabilities should take into account the liquidity of liabilities by introducing a liquidity premium when defining the present value of liabilities. Similar premium is also present in Solvency II standard formula. This paper studies how one can evaluate and analyze the liquidity premium of insurance liabilities and how it can affect the investment operations of an insurance company if it evaluates liability driven investment strategies. The main purpose of this paper is to present concepts and tools how to understand and calculate the liquidity premium and how it affects the market consistent valuation of liabilities. And lastly it is studied how replicating portfolio theory can be utilized to hedge this volatility of this market consistency.

This paper briefly introduces the concepts of liability driven investment strategies and how the liquidity premium in question is related to it. Then it is analyzed how one can estimate the liquidity of insurance liabilities when the insurance portfolio is known. After understanding the liquidity of liabilities one can form a portfolio of investment products that have the similar liquidity profile. Lastly when this investment portfolio is known this paper demonstrates three different methods to calculate liquidity premium to this investment portfolio which would ultimately correspond to the liquidity premium of insurance liability.

It is also briefly presented how similar liquidity premium is calculated within Solvency II standard formula and how it potentially differs from the methods shown in this paper and what kind of problems might arise from this difference.

# Sisällys

<b>1</b>	<b>Vastuuvelkalähtöinen sijoittaminen</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Vastuuvelan likviditeetti</b>	<b>3</b>
2.1	Mittaaminen . . . . .	4
2.1.1	Kassavirtojen vaihtelun mittaaminen . . . . .	4
2.1.2	Tuotekohtaiset ominaisuudet . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Vastuuvelan kassavirtojen stressitestausta</b>	<b>6</b>
3.1	Kassavirtaperusteiset analyysit . . . . .	6
<b>4</b>	<b>Vastuuvelan ja sijoitusten kassavirtojen yhteensovittaminen</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>Epälikvidisyyden huomioiminen korkokäyrässä</b>	<b>10</b>
5.1	Likviditeettipreemio Solvenssi II:ssa . . . . .	10
5.1.1	Volatiliteettikorjaus . . . . .	10
5.1.2	Vastaavuuskorjaus . . . . .	11
5.2	Likviditeettipreemio IFRS 17 -kehikossa . . . . .	12
5.3	Likviditeettipreemion vaihtoehtoiset laskentatavat . . . . .	12
5.3.1	Markkinapohjainen malli . . . . .	12
5.3.2	Strukturoidut mallit . . . . .	13
5.4	Sovellukset . . . . .	15
5.4.1	Käytännön valintoja . . . . .	15
5.4.2	Tulokset . . . . .	16
<b>6</b>	<b>Vastuuvelan ja sijoitusten arvonmuutoksen yhteensovittaminen</b>	<b>17</b>
6.1	Replikoivat portfoliot . . . . .	17
6.1.1	Sijoitusavaruuden määrittäminen . . . . .	18
6.2	Sovellukset . . . . .	18
6.3	Korkomarginaaliriskin pääomavaade . . . . .	20
<b>7</b>	<b>Yhteenveto</b>	<b>20</b>
<b>A</b>	<b>Luottoriskijohdannaiset</b>	<b>22</b>
<b>B</b>	<b>Osto- ja myyntioptiot</b>	<b>24</b>
<b>C</b>	<b>Pääoman kustannukseen perustuva malli luottoriskipreemioiden arvioinnissa</b>	<b>25</b>
<b>D</b>	<b>Aineisto</b>	<b>27</b>
D.1	Markkinapohjaisen mallin toteutus . . . . .	27
D.2	Replikoinnin toteutus . . . . .	28

# 1 Vastuuelkalähtöinen sijoittaminen

Vastuuelkalähtöisellä sijoittamisella (*engl. Liability Driven Investment*) tarkoitetaan yhtiön harjoittamaa sijoitusstrategiaa, jossa sijoitustoiminnan kassavirrat tai arvonmuutos pyritään yhteensovittamaan vastuuelan kassavirtojen tai arvonmuutoksen kanssa. Olemassa olevien kassavirtojen lisäksi yhteensovituksessa voidaan huomioida vastuuelan kassavirtojen herkkyys eri markkinaparametreille, kuten riskittömälle korolle tai inflaatiolle ja valita sijoitussalkkuun sopivia tuotteita, joilla on vastaavia herkkyyksiä. Tämän menetelmän avulla yhtiö pystyy tarkemmin määrittelemään mille vastuuelan synnyttämille riskeille se haluaa pitää taseensa alttiina ja mitkä riskeistä puolestaan pyritään sulkemaan tai aktiivisesti rajaamaan. Kassavirtojen yhteensovittaminen sekä herkkyyksien määrittäminen edellyttävät kuitenkin, että yhtiö pystyy riittävän hyvällä tarkkuudella ennustamaan vastuuelan aiheuttamat tulevat kassavirrat sekä kvantifioimaan keskeiset riskitekijät, joille vastuuelan muutokset ovat herkkiä.

Vastuuelkalähtöiseen sijoittamiseen perustuneet strategiat ovat olleet suosittuja erityisesti ulkomaalaisten suurten eläkerahastojen keskuudessa. Eläkemuotoinen vastuuelka on pääsääntöisesti hyvin ennustettavaa, jolloin vastuuelkalähtöiselle sijoittamiselle on ollut otollista kysyntää. Ennustettavuuden lisäksi se on hyvin pitkäaikaista, jolloin se on altis esimerkiksi inflaatiolle sekä riskittömän korkotason muutoksille. Nämä kaksi tekijää ovat johtaneet siihen, että eläkerahastojen vastuuelkalähtöiset sijoitusstrategiat ovat pääsääntöisesti keskittyneet korko- ja inflaatoriskin hallintaan, joita on toteutettu pitkillä yritys- tai valtionlainapapereilla sekä korko- että inflaatiojohdannaisilla.

Solvenssi II -asetuksen voimaantultua vakuutusyhtiöt ovat joutuneet entistä tarkemmin määrittämään ja analysoimaan vastuuelan synnyttämiä tulevia kassavirtoja. Kassavirtalähtöisen ajattelutavan lisäksi myös vastuuelan markkinaehtoinen hinnoittelu on ollut aikaisempaa systemaattisempaa, sillä Solvenssi II on selkeästi kuvannut, miten vastuuelan diskonttauksessa käytettävä korkokäyrä tulee muodostaa. Tätä ennen, esimerkiksi Suomen kansallisessa lainsäädännössä vastuuelka on voitu arvostaa laskemalla nykyarvo kiinteällä laskuperustekorolla, kunhan yhtiö on pystynyt perustelevaan laskuperustekorona olevan turvaava. Turvaavuutta on lisätty varaamalla vastuuelkaan korkotäydennyksiä, mikäli yhtiön markkinoilta katsomat verrokkikorot ovat olleet diskonttauksessa käytettyyn korkoon nähden liian matalia.

Solvenssi II:n myötä yhtiön vakavaraisuuslaskennassa esittämä vastuuelka on näin ollut aikaisempaa markkinaehtoisempi. Vuodesta 2023 lähtien, vakuutusyhtiöitä koskevan IFRS 17 tilinpäätösstandardin voimaantullessa, vakavaraisuusaseman lisäksi vakuutusyhtiöiden IFRS-tulokset reagoivat entistä herkemmin markkinaliikkeisiin vastuuelan arvonmuutoksen kautta, silloin kun vakuutusyhtiö laati IFRS-tilinpäätöksen. Tämä saattaa synnyttää yhtiöille uutta kysyntää tutkia vastuuelkalähtöiseen sijoittamiseen pohjautuvia strategioita, kun yhtiöt arvioivat sijoitusstrategiaansa.

Vastuuelkalähtöistä sijoittamista voidaan käytännössä lähestyä esimerkiksi kolmivaiheisena prosessina. Prosessin ensimmäisessä vaiheessa määritetään vastuuelkaa mahdollisimman tarkasti vastaava *replikoiva portfolio*. Tämä portfolio voi koostua joko teoreettisista tai oikeista sijoitustuotteista ja sen tavoitteena on kuvastaa vastuuelan luonnetta mahdollisimman tarkasti eri skenaarioissa. Kun replikoiva portfolio on saatu määritettyä, sen pohjalta määritellään *strateginen allokaatio*. Strategisessa allokaatioissa otetaan kantaa kuinka paljon eri riskitekijöitä ollaan valmiita pitämään avoimna lisätuoton hakemiseksi. Näihin valintoihin voivat vaikuttaa esimerkiksi vallitsevat markkinaolosuhteet sekä nykyinen että tavoiteltu vakavaraisuustaso, omistajan taloudellinen asema, yhtiön riskinottohalu ja sääntely [16]. Lopulta määritellään vielä sallitut poikkeamat, joiden avulla salkunhoito voi toteuttaa *taktista allokaatiota*. Tämän työn luvussa 6 kuvataan miten ensimmäisessä kohdassa käsitelty replikoiva portfolio voidaan määritellä, kun ollaan ensin tutustuttu vastuuelan epälikvidisyyteen ja tiedostetaan kuinka se vaikuttaa vastuuelan markkinaehtoiseen nykyarvoon.

## 2 Vastuuelan likviditeetti

Sijoitustuotteen omistajalle likviditeetillä tarkoitetaan kykyä myydä sijoitus milloin tahansa hinnalla, joka vastaa tuotteen nykyarvoa. Epälikvidisyyttä syntyy, kun sijoituksen myyntiin liittyy epävarmuutta joko toteutuvan hinnan tai ajankohdan suhteen. Vastaavaa määritelmää voidaan pyrkiä hahmottelemaan vastuuelan kohdalla tarkastelemalla miten ennustettavissa ovat ne vakuutusyhtiön vakuutetuille maksamat korvaukset, joiden perusteella vastuuelkaa vapautuu. Li-

säksi on perusteltua vaatia, että itse vakuutus sopimukset ovat pitkäikäisiä. Tämän johdosta tässä työssä keskitytään erityisesti tutkimaan ongelmaa henkivakuutusyhtiöiden näkökulmasta.

Sijoitustuotteiden kohdalla sijoittajat vaativat ylimääräistä riskipreemiota kaupankäynnin toteutukseen ja toteutumisen hintaan kohdistuvasta riskistä. Tämä ylimääräinen preemio johtaa implikoituun lisätuottoon luottoriskimarginaalina, joka lisätään likvidiin riskittömään korkoon. Likviditeettipreemio on kuitenkin vain yksi komponentti, joka vaikuttaa sijoitustuotteen ja riskittömän koron väliseen luottoriskimarginaaliin. Tämä luottoriskimarginaali sisältää lisäksi varauksen odotetusta luottoriskistä, luottoriskin epävarmuudesta sekä hallinnointikulujen riskistä. Jotta luottoriskimarginaalista saadaan erotettua pelkästään likviditeettiin kohdistuva riski, se tulee näin ollen pyrkiä jakamaan komponenteiksi mahdollisimman tarkasti [3].

Vastuuelan likviditeetin mittaaminen on kuitenkin esimerkiksi yritysainojen likviditeettiä monimutkaisempi kokonaisuus. Vastuuelka muodostuu useista eri vakuutus tuotteista, joihin voi sisältyä tuotekohtaisia ominaispiirteitä, lainsäädännöllisiä rajoitteita tai mahdollisesti erilaisia optioita. Edellä olevat ominaisuudet ovat usein vakuutuslajikohtaisia ja tarkempi analysointi on hyödyllistä toteuttaa vakuutuslajikohtaisesti tai muodostamalla useista vakuutuslajeista likviditeetti ominaisuuksiltaan homogeenisiä ryhmiä. Solvenssi II on jo mahdollistanut homogeenisten ryhmien käyttämisen Solvenssi II –vastuuelan laskennassa. On kuitenkin huomionarvoista todeta, että likviditeetinäkökulmat voivat poiketa vakavaraisuusmielessä eri tuotteiden välillä. Tämä tarkoittaa sitä, että tarkasteltavat homogeeniset ryhmät eivät välttämättä ole samat kuin vakavaraisuuslaskennassa.

Mikäli vastuuelka on luonteeltaan kovin pitkäaikaista ja lisäksi epälikvidiä, vakuutusyhtiön on mahdollista sijoittaa vastuuelkaa kattavia varoja sijoitustuotteisiin, jotka yhtiö voi odottaa pitävänsä pidempään, eikä todennäköisesti joudu pakkomyymään sijoituksia yllättävän korvausmenon takia. Näin ollen yhtiö pystyy haalimaan likviditeettipreemiota sijoitusmarkkinoilta. Tällöin on perusteltua, että yhtiö voi odottaa saavansa puhdasta riskitöntä korkoa enemmän tuottoa vastuuelkaa kattaville varoille. Täten on luontaista, että likviditeettipreemio otetaan huomioon vastuuelan kassavirtojen nykyarvon määrittämisessä lisäämällä vastuuelan kassavirtojen diskonttauksessa käytettävään riskittömään korkoon likviditeettipreemiota vastaava termi. Tätä lähestymistapaa tutkitaan tarkemmin luvussa 5.

## 2.1 Mittaaminen

Perinteisiä mittareita vastuuelan luonteen kuvaamiseen ovat olleet esimerkiksi duraatiopohjaiset mittarit. Näillä mittareilla on mahdollista saada ylätasoa kuva siitä kuinka pitkää olemassa oleva vastuuelka on ja eräs approksimaatio siitä, kuinka altis vastuuelan nykyarvo on riskittömän korkotason muutoksille. Duraatioon pohjautuvat mittarit kuvaavat kuitenkin heikosti vastuuelan muutosherkkyyteen liittyviä tilanteita, sillä ne eivät huomioi lainkaan mahdollisuutta, että vastuuelan kassavirrat voivat muuttua. Täten on perusteltua tutkia muita mittareita vastuuelan pysyvyyden mittaamiseen.

Vastuuelan pysyvyyden mittaamiseen ei ole yksiselitteistä menetelmää. Euroopan vakuutus- ja lisäeläkeviranomainen, EIOPA, on tunnistanut saman kehittäessään periaatteita vakuutusyhtiöiden likviditeetin mittaamiseen [6]. Vaikka EIOPA keskittyy artikkelissaan vakuutusyhtiön maksuvalmiuden tarkasteluun voimme siitä huolimatta tarkastella siinä esitettyjä vastuuelan likviditeetin mittaamiseen liittyviä vaihtoehtoja. Artikkelissa on esitetty, miten vastuuelkaa voidaan tutkia tuotekohtaisten ominaisuuksien perusteella tai vaihtoehtoisesti mittaamalla olemassa olevan vastuuelkaprofiilin vaihtelua. Molempien tarkastelutapojen tavoitteena on pyrkiä hahmottamaan tunnusluvun avulla vakuutusyhtiön olemassa olevan vakuutuskannan synnyttämiin kassavirtoihin liittyvää vaihtelua. Tutkitaan näitä molempia seuraavaksi hieman tarkemmin.

### 2.1.1 Kassavirtojen vaihtelun mittaaminen

Kassavirtojen vaihtelun mittaamiseen pohjautuvan menetelmän ajatuksena on tarkastella esimerkiksi Solvenssi II:n mukaisen vakuutus teknisen vastuuelan parhaan estimaatin kassavirtojen vaihteluväliä. Vaihtelua voidaan tutkia Solvenssi II:n vakuutus riskiosoiden kassavirroista tai erillisessä likviditeettimielessä vakavassa skenaariossa, joka yhtiön tulisi itse tunnistaa ja määrittää. Tämän menetelmän etuna on se, että se on helposti sovellettavissa sekä henki- että vahinkovakuutusyhtiön kassavirtaprofiilin analysointiin huomioiden vain, että sovellettavat vakuutus riskiosiot voivat poiketa toisistaan yhtiökohtaisesti. Tarkasteltavat kassavirrat ovat todennäköisesti jo olemassa osana Solvenssi II vakuutus riskien pääomavaateiden laskentaa pois lukien mahdollista nimenomaisesti

likviditeettiriskiin kohdistuvaa stressiskenaariota. Näiden tekijöiden johdosta, menetelmä on helposti otettavissa käyttöön. Tämän lisäksi menetelmä mahdollistaa riskin mitoittamisen standardimallista poikkeavalla luottamustasolla, mikäli sille on tarvetta.

### 2.1.2 Tuotekohtaiset ominaisuudet

EIOPA:n esittämä tuotekohtaisiin ominaisuuksiin perustuva menetelmä on keskittynyt henkivakuutusyhtiön vastuuvelan jaotteluun. Sen ajatuksena on jakaa vakuutuskanta eri vakuutustuotteiden likviditeettiominaisuuksien avulla osakokonaisuuksiksi. Näin saaduille ryhmille voidaan asettaa ryhmäkohtaisia shokkeja eri tarkasteluissa. Selkeää määritelmää sille, moneenko eri ryhmään vastuovelkaa voidaan jakaa ei ole, vaan jaottelussa voidaan soveltaa asiantuntijaharkintaa. Voimme esimerkiksi päättää lajitella vakuutukset neljään luokkaan erittäin epälikvidistä erittäin likvidiin. Tuotekohtaista tarkastelua voidaan toteuttaa esimerkiksi tutkimalla tuotteen vakuutusominaisuuksia tai vaihtoehtoisesti vakuutustuotteen takaisinnostoon asetettuja sanktioita. Menetelmä esitetään pääpiirteissään, mutta sitä ei tulla soveltamaan työssä, koska se ei tuota mitattavissa olevaa jakoa vastuuvelan mahdollisesta vaihtelusta ja se soveltuu vain henkivakuutusyhtiön vastuuvelan luokitteluun.

Menetelmä pyrkii määrittämään yhteyttä takaisinnostojen herkkyyksien sekä ennalta valikoitujen tuotetyyppien välillä. Yleisellä tasolla voi olla jälleen vaikea ennalta määrittää tarkkaa luokittelua, jonka perusteella vakuutuksia tulisi jaotella, vaan yhtiön tulisi itse arvioida omaan tuoteportfolioonsa sisältyviä ominaispiireitä. Yhtiöllä on oletettavasti kuitenkin jo hyvää tuotekohtaista informaatiota olemassa riippuvuuksien hahmottamiseksi sekä keskeisten ominaisuuksien tunnistamiseksi. Näitä vakuutustuotteiden ominaisuuksia, joita analyysissä voitaisiin huomioida, voisivat olla esimerkiksi biometrisen riskin suoja sekä vakuutussäästöjen yhteys sijoitusmarkkinoiden liikkeisiin. Biometrisen riskin suoja voi taata tasaisemman takaisinnostoasteen, erityisesti vakuutetun ikääntyessä, jolloin vakuutetun voi olla vaikeampi saada uutta vastaavaa tuotetta itselleen. Toisaalta, mikäli tuotteen säästöt ovat voimakkaasti linkittyneet sijoitusmarkkinoiden liikkeisiin, takaisinnostoaste voi vaihdella markkinaheilahtelujen mukana. Alla olevaan taulukkoon 1 on esimerkinomaisesti koottu joitain tekijöitä, joita yhtiö voi omissa analyysissään tarkastella.

Tuotetyyppi	Ominaisuus	Takaisinnoston herkkyys markkinaliikkeistä
Riskivakuutus	Ensisijainen turva biometristä riskiä vastaan	Ei herkkyyttä
Säästövakuutus	Suoja biometristä riskiä vastaan, lisäedut voivat riippua markkinasta	Jonkin verran herkkä
Eläkevakuutus	Suoja biometristä riskiä vastaan, lisäedut voivat riippua markkinasta, mutta takaisinnostot rajattuja	Ei herkkyyttä

Taulukko 1: Esimerkki luokittelusta tuotekohtaisten ominaisuuksien perusteella

Vaihtoehtoinen lähestymistapa ryhmitellä vakuutustuotteita on tutkia tuotteiden takaisinnostoon liittyviä rajoituksia tai kustannuksia. Olisi odotettavaa, että tuotteet, joihin kohdistuu suuria sanktioita takaisinnostettaessa, olisivat harvemmin takaisinnoston kohteena. Menetelmän soveltaminen käytännössä voi kuitenkin olla haastavaa, sillä homogeenisten sekä hyväksyttävien menetelmien määrittäminen takaisinnostojen sanktioille, samoin kuin raja-arvojen määrittäminen eri riskityypin tuotteiden kohorteille lienee haastavaa. Tämä on noussut ongelmaksi ainakin EIOPA:n eurooppatasoisissa tarkasteluissa, joissa eri vakuutustuotteita on varsin laajasti. Lisäksi monet vakuutus- tuotteet voivat vielä olla sidottuna paikalliseen lainsäädäntöön, esimerkiksi paikallisen verotuksen implikoimien sanktioiden kautta. Taulukossa 2 on esitetty esimerkinomainen luokittelu, jota analyysissä voitaisiin soveltaa.

Vastuuelkaluokka	Herkkyys takaisinnostolle
Takaisinnostoarvo vastaa vastuovelkaa	Hyvin herkkä
Takaisinnostoarvo 80 -100 % vastuuvasta	Melko herkkä
Takaisinnostoarvo alle 80 % vastuuvasta	Jonkin verran herkkä
Ei takaisinnostoarvoa	Ei herkkyyttä

Taulukko 2: Esimerkki luokittelusta takaisinnostokustannusten perusteella

### 3 Vastuuelan kassavirtojen stressitestausta

Tutkitaan seuraavaksi edellisessä luvussa esitettyä kvantitatiivista menetelmää kahden esimerkkiyhtiön tapauksessa. Tarkastellaan kahta kuvitteellista tuoteportfolioita toisistaan hieman poikkeavaa henkivakuutusyhtiötä. Koska tarkastelun kohteena on vastuuelkaa kattavan omaisuuden kautta haettava likviditeettipremio, keskitytään tarkastelussa vain vakuutus tuotteisiin, joissa yhtiö kantaa aktiivisesti sijoitusriskiä ja joista yhtiölle kertyy vastuuelkaa kattavia varoja sijoitettavaksi. Tämän vuoksi sijoitussidonnaiset tuotteet sekä puhtaat riskivakuutus tuotteet jätetään tämän analyysin ulkopuolelle. Oletetaan, että ensimmäisen yhtiön vakuutuskanta koostuu täysin laskuperustekorollisesta yksilöllisestä eläkevakuutuskannasta. Oletetaan, että asiakkaila ei ole tuotteiden takaisinosto-oikeutta. Oletetaan seuraavaksi, että jälkimmäisen yhtiön vakuutuskanta koostuu 50-prosenttisesti yksilöllisestä säästövakuutuskannasta, 20-prosenttisesti yksilöllisestä eläkevakuutuskannasta ja loput 30 prosenttia muodostuvat ryhmäeläkekannasta, joissa vakuutetuilla on optio siirtää vakuutuksensa sijoitussidonnaiseksi. Seuraavissa taulukoissa kuvataan yhtiöiden vastuuelkaprofiilit.

Vakuutuslaji	SII Vastuuelka EUR milj. (ilman VA:ta)	Vakuutuslaji	SII Vastuuelka EUR milj. (ilman VA:ta)
Eläkevakuutus	1000	Säästövakuutus	500
	(a) Yhtiö 1	Eläkevakuutus	200
		Ryhmäeläkevakuutus	300
			(b) Yhtiö 2

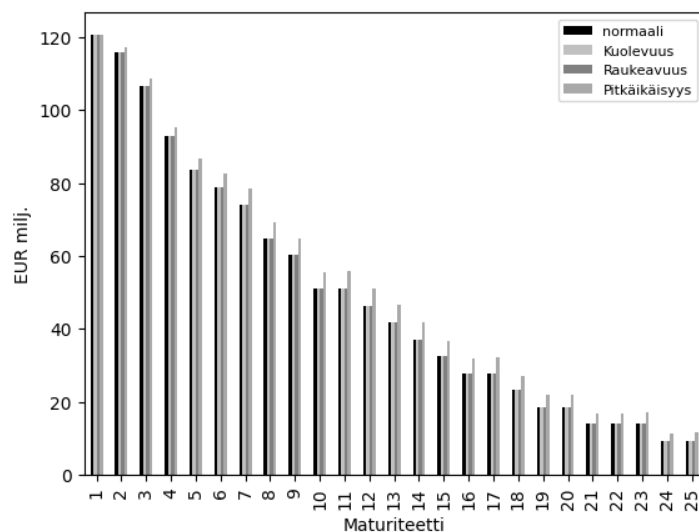
Taulukko 3: Vastuuelan nykyarvot

#### 3.1 Kassavirtaperusteiset analyysit

Oletetaan seuraavaksi, että yhtiöt ovat laskeneet parhaan estimaatin kassavirrat sekä kassavirrat eri Solvenssi II:n vakuutusriskikenaarioissa vakuutus tuotteittain. Valitaan näistä kassavirroista ne, joissa yhtiön vastuuelan kassavirrat lyhyellä tähtämellä kasvavat eniten. Henkivakuutusriskeistä näitä tapauksia ovat kuolevuus-, pitkäikäisyys- sekä takaisinostoriskit sekä mahdollisesti katastrofiriski. Näiden lisäksi oletetaan, että jälkimmäinen yhtiö on tunnistanut likviditeettimielessä riskiksi tilanteen, jossa ryhmäeläkevakuutuskannan vakuutetut siirtäisivät vakuutuksiaan sijoitussidonnaisiksi. Riskin tunnistamisen jälkeen yhtiön tulee vielä päättää, miten riskiä lähdetään mittaamaan. Koska kyseessä on raukeavuuden kaltainen ilmiö, mittaus voitaisiin toteuttaa tutkimalla sekä olemassa olevien siirtointensiteettien kasvua että massaraukeamisen kaltaista tapahtumaa, ja lopulta valita näistä se, jonka vaikutus lyhyellä aikavälillä on suurempi.

Massaraukeamisen kaltaisen skenaarion analysoinnin tekee haastavaksi se, että vakavaraiset yhtiöt eivät pysty omasta historia-aineistostaan havaitsemaan tapauksen kaltaista asiakaspakoa, vaan oletus tulisi perustaa jonkinmukaiseen asiantuntija-arvioon. Massaraukeamisen voineekin tulkita liittyvän tilanteisiin, joissa asiakkaiden luottamus yhtiöön on syystä tai toisesta vaarantunut, mikä aiheuttaa laumailmiön asiakaskunnassa. Kyseinen analyysi antaa yhtiölle kuitenkin informaatiota, millainen asiakaskäyttäytymisriski on olemassa vakuutus tuotteiden ehtojen mukaan. Tämän avulla yhtiö pystyy lopulta keskustelemaan, millaista riskinottohalua yhtiöstä löytyy likviditeettiriskiin liittyen.

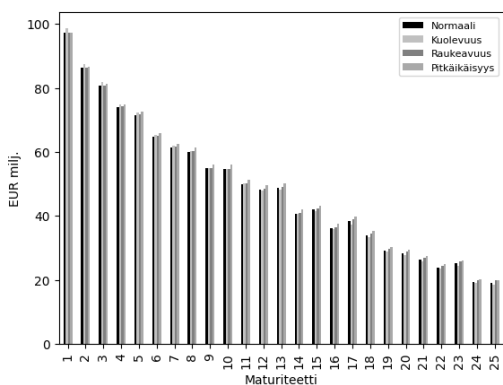
Alla esitetään graafisesti ensimmäisen yhtiön Solvenssi II vastuuelan kassavirrat edellä valituissa riskikenaarioissa. Tässä työssä otetaan tuotekohtaiset kassavirrat annettuina laskentaan sen tarkemmin syventymättä.



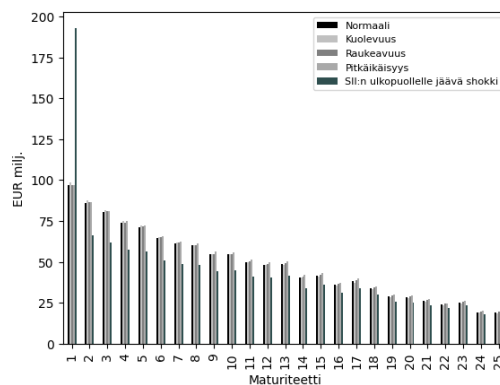
Kuva 1: Yhtiö 1, profiili

Havaitaan, että ensimmäisen yhtiön odottamat vastuuvelan kassavirrat muuttuvat vain pitkäikäisyysriskiä koskevassa skenaariossa maltillisesti. Näin ollen yhtiö pystyy korkealla luottamustasolla olettaamaan vastuuvelan kassavirtojen kehittymisen, ja täten halutessaan suunnittelemaan sijoitustoimintaansa niin, että yhtiölle ei synny maksettavaksi sellaisia yllättäviä vakuutustoiminnan korvauksia, joiden vuoksi yhtiö joutuisi nopeasti realisoimaan omaisuutta. Yhtiöllä on täten mahdollisuus sijoittaa epälikvideihin sijoituskohteisiin, joista kerätä likviditeettipremiä.

Tarkastellaan seuraavaksi jälkimmäisen yhtiön vastuuvelan kassavirtojen muutosta. Tehdään tarkastelu erikseen standardimallin mukaisissa riskiskenaarioissa sekä tapauksessa, jossa on myös huomioitu yhtiön itse määrittämä likviditeettiskenaario.



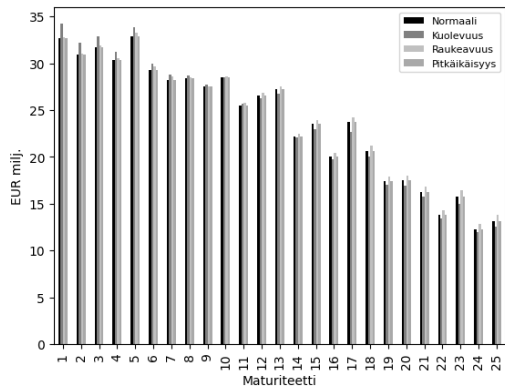
(a) Ilman likviditeettistressiä



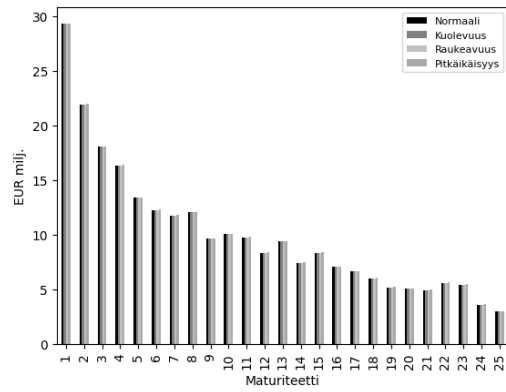
(b) Likviditeettistressi huomioiden

Kuva 2: Yhtiö 2, profiili

Yhtiötasoisessa tarkastelussa havaitaan, että mikäli yhtiön itse määrittämää likviditeettistressiä ei huomioida, kassavirrat eivät merkittävästi poikkea parhaan estimaatin ennusteesta. Kun tarkasteluun otetaan mukaan yhtiön määrittämä likviditeettiskenaario, havaitaan että kassavirrat voivat poiketa merkittävästi parhaan estimaatin ennusteesta lyhyellä aikavälillä. Alla esitetään vielä tuoteryhmittäin jälkimmäisen yhtiön kassavirtaprofiilit.



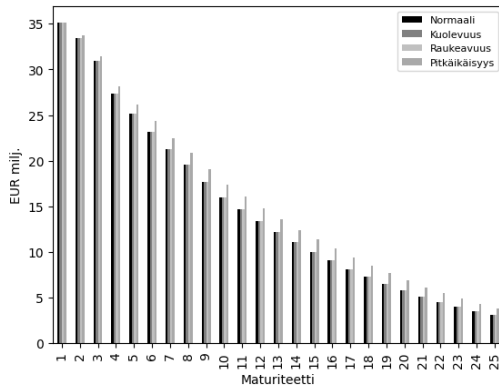
(a) Säästövakuutukset



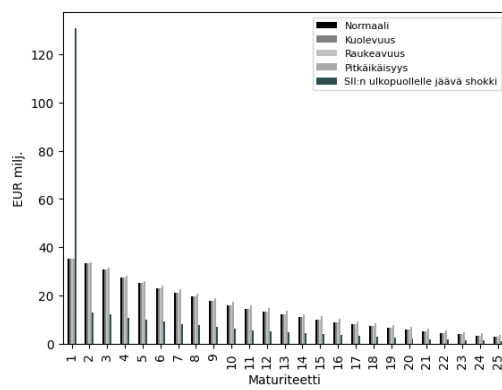
(b) Yksilölliset eläkevakuutukset

Kuva 3: Yhtiö 2, Tuotekohtaiset kassavirrat

Säästövakuutusten ja yksilöllisten eläkevakuutusten kohdalla kassavirtaprofiilit olivat jälleen hyvin lähellä parhaan estimaatin ennusteita. Lisäksi toisaalta näihin tuotteisiin ei liittynyt ominaisuuksia, joita tulisi huomioida erillisessä likviditeettiskenaariossa. Tarkastellaan lopuksi ryhmäeläkevakuutusten kassavirtoja, joissa erityisesti havaitaan oman likviditeettistressin vaikutus.



(a) Ilman likviditeettistressiä



(b) Likviditeettistressi huomioiden

Kuva 4: Yhtiö 2, Ryhmäeläkevakuutukset

Kuten jo aiemmin todettiin, Solvenssi II:n eri vakuutusriskiskenaarioiden kassavirrat eivät kerro koko totuutta vastuuvelan vaihtelusta. Esimerkiksi edellä kuvatut massaraukeamistilanteet koskettaisivat tilannetta, jossa vakuutetut siirtävät merkittäväällä volyymilla vakuutuksiaan laskuperustekorollisesta kannasta sijoitussidonnaiseen kantaan. Tällä toimenpiteellä, markkinatilanteesta sekä yhtiön asiakashyvitysten jakopolitiikasta riippuen, olisi todennäköisesti vakavaraisuutta kasvattava vaikutus, jolloin pääomavaatimuksen laskennassa tätä skenaariota ei huomioitaisi. Täten yhtiö saattaisi olla valmis kantamaan ainakin osittain tähän liittyvää likviditeettiriskiä. Likviditeettimiellessä tämä kuitenkin aiheuttaisi yhtiölle tilanteen, jossa varoja pitäisi siirtää laskuperustekorollisen vastuuvelan katteesta sijoitussidonnaisen vastuuvelan katteeksi.

Näin on saatu rakennettua likviditeettimiellessä stressatut kassavirrat tutkittaville yhtiöille. Ensimmäisen yhtiön tapauksessa havaitsimme, että yhtiön vastuuelka on lähes täysin epälikvidiä ja siten hyvin ennustettavaa. Jälkimmäisen yhtiön kassavirtoihin puolestaan liittyy edellä kuvattua tuotekohtaista vaihtelua.

## Johdon toimenpiteet

Yhtenä elementtinä yhtiön kyvystä hakea likviditeettipreemiota sijoitustoiminnassaan voidaan lisäksi tarkastella johdon tulevien toimenpiteiden mahdollisia vaikutuksia yhtiön sijoitusstrategiaan. Yhtiön strategiasta riippuen erityisiä tarkastelun kohteita voisivat olla tapaukset, joissa yhtiö pyrkii aktiivisesti luopumaan siitä osasta vakuutustoimintaa, joka mahdollistaa likviditeettipreemion hakemisen sijoitustoiminnassa. Tämän kaltaisia tilanteita voisivat olla esimerkiksi olemassa olevan laskuperustekorollisen vakuutuskannan konvertoiminen sijoitussidonnaiseksi tai vakuutusten



kertasuorittaminen. Kolmantena äärimmäisenä esimerkkinä voisi olla vakuutuskannan täysi tai osittainen luovuttaminen toiselle vakuutusyhtiölle.

Yllä esitetyt tapaukset voivat vaikuttaa merkittävästi siihen kuinka paljon yhtiöllä tulee olla likvidoitavissa olevia varoja, jolloin yhtiö ei välttämättä kykene riskittömästi saavuttamaan kaikkea sitä likviditeettipreemiota, jota vastuuelka muuten sallisi. Tämän kaltaiset tilanteet tulisi muutenkin käsitellä osana yhtiön omaa riski- ja vakavaraisuusarviota, joten samassa yhteydessä olisi luontevaa arvioida kyseisten toimenpiteiden vaikutukset pitkän aikavälin sijoitusstrategiaan.

## 4 Vastuuelan ja sijoitusten kassavirtojen yhteensovittaminen

Luvussa 3.1 määriteltiin tapa mitata vastuuelan kassavirtoihin liittyvää epävarmuutta. Tutkitaan seuraavaksi, miten yhtiö pystyisi tämän informaation avulla löytämään sellaisia sijoitustuotteita, jotka kassavirtaominaisuuksiltaan vastaavat vastuuelan epälikvidisyyttä. Tavoitteena on tämän avulla määrittää vastuuelan kassavirtoja likviditeettimielessä vastaava sijoitusportfolio. Tämän jälkeen pyritään laskemaan kyseiselle sijoitusportfoliolle likviditeettipremio, jonka voidaan arvioida kuvastavan myös vastuuelan sallimaa likviditeettipreemiota. Etsittävä sijoitusportfolio tulee koostumaan korkosijoituksista, sillä korkosijoitusten tapauksessa tulevat kassavirrat ovat helposti mallinnettavissa ja analysoitavissa. Tämä analyysi voitaisiin tehdä hyödyntämällä joko markkinoilta löytyviä indeksituotteita tai yksittäisten yritysten liikkeelle laskemia yrityslainoja.

Sijoitustuotteiden likviditeetin analysointiin voidaan hyödyntää tietoja esimerkiksi sijoitustuotteen myyntivolyymien kehityksestä, sijoitustuotteen hinnanmuutoksesta sekä myynti- ja ostolaitojen erotuksesta. Näistä ensimmäinen kuvastaa sitä, kuinka todennäköistä ylipäättään tuotetta on realisoida jälkimarkkinalla, toinen sitä, kuinka paljon sijoitustuotteen markkina-arvon voi olettaa muuttuvan, ja viimeinen, sitä kuinka paljon lunastuskustannukset voivat muuttua. Analyysit olisi syytä toteuttaa pitkästä historia-aineistosta, jotta voidaan varmistua, että saadut tulokset kuvastavat vaikutusta myös huonossa markkinatilanteessa. Analyysin saattaa tehdä haasteelliseksi se, että erityisesti joukkolainojen tapauksessa kaupat käydään ns. OTC-markkinalla, mikä tarkoittaa, että jälkimarkkinan kaupankäyntivolyymeista saattaa olla haastava saada informaatiota.

Esimerkkiyhtiöiden tapauksessa yksinkertaistetaan ajattelua hieman. Ensimmäisen yhtiön tapauksessa havaittiin, että vastuuelan kassavirrat eivät juuri muuttuneet parhaan estimaatin kassavirroista. Täten yhtiö pystyy ennustamaan tulevat kassavirtansa lähes täydellisesti, jolloin vastuuelan epälikvidisyys voidaan mitata hyödyntäen sijoitusportfoliota, jossa on täysimääräisesti mukana mahdollisimman epälikvidejä sijoitustuotetta, joista likviditeettipremio vielä pystytään laskemaan.

Jälkimmäisen yhtiön kohdalla oletetaan aluksi, että yhtiö ei halua ottaa merkittävästi likviditeettiriskiä, joten yhtiö päättää laskea vastuuelan salliman likviditeettipreemion huomioimalla edellisessä luvussa kuvatun massaraukeamista vastaavan likviditeettistressin. Tässä tilanteessa odotetut kassavirrat ensimmäisen vuoden aikana voivat poiketa noin 95,6 miljoonaa euroa parhaan estimaatin kassavirroista eli noin 9,5 prosenttia vastuuelan nettonykyarvosta. Täten vastuuelan sallima likviditeettipremio voidaan laskea korkoportfoliosta, josta 90,50 prosenttia on epälikvidiä luonteeltaan ja 9,50 prosenttia mahdollisimman likvidiä. Näin ollen, mikäli massaraukeamisen kaltainen asiakkaiden joukkopako, syystä tai toisesta toteutuisi, yhtiö voisi korkealla luottamustasolla olettaa, että sijoitussalkusta voitaisiin realisoida tarvittava määrä likvidiä omaisuutta ilman merkittävää arvonalennusta, jotka tässä tapauksessa saataisiin siirrettyä sijoitussidonnaisen vastuuelan katteeksi.

Tässä työssä oletetaan, että mahdollisimman likvidin olevan käteistä sekä korkeimman luottoluokituksen yritys- ja valtionlainsijoituksia. Mahdollisimman epälikvidin sijoitustuotetarjonnan osalta rajoitetaan huonoimpien luottoluokitusten BBB-CCC -omaavien joukkovelkakirjalainojen osuutta maksimissaan 10 prosenttiin salkusta, jolloin loput epälikvidistä voidaan tulkita olevan BBB-luottoluokituksen joukkovelkakirjalainoja.

Oletetaan tutkittavien yhtiöiden kohdalla, että ensimmäinen yhtiö, jonka vastuuelka oli täysin epälikvidiä, päättää valita mahdollisimman epälikvidiin salkkuun 90 prosenttia BBB-luottoluokituksen joukkovelkakirjalainoja sekä 10 prosenttia high yield-luottoluokituksen joukkovelkakirjoja. Jälkimmäisen yhtiön kohdalla oletetaan, että yhtiö on valinnut, että epälikvidiin osaan ei oteta lainkaan mukaan high yield-luottoluokituksen joukkovelkakirjalainoja, jolloin salkku muodostuu 9,50 prosentista käteistä sekä korkeimman luottoluokituksen yritys- ja valtionlainsijoituksia ja 90,50 prosentista BBB-luottoluokituksen yritysainasijoituksia.

## 5 Epälikvidisyyden huomioiminen korkokäyrässä

Edellisessä luvussa luotiin tapoja mitata ja analysoida yhtiön vastuuelkaan liittyvää epävarmuutta. Seuraavaksi tarkastellaan, miten yhtiö pystyisi hyödyntämään pitkäikäisen vastuuelan ennustettavuutta vastuuelan nykyarvon määrittämisessä. Kantavana ajatuksena on, että mikäli yhtiöllä on paljon epälikvidiä vastuuelkaa, yhtiö ei ole sidottu myymään kyseistä vastuuelkaa kattavia varoja tilanteessa, jossa kyseisten sijoitusten markkina-arvot olisivat laskeneet merkittävästi, vaan yhtiö pystyy pitämään kyseiset sijoitukset markkinaturbulenssin ylitse. Tätä lyhyen aikavälin taseen volatiliteettiä voidaan lieventää lisäämällä riskittömään korkokäyrään likviditeettipremio vastuuelan kassavirtojen diskonttauksessa. Tämä pienentää yhtiön vastuuelan nykyarvoa taseella, mutta luo vastuuelan arvostukseen komponentin, joka riippuu sijoitusmarkkinoiden riskipremioista.

Se, miten tämä käytännössä on mahdollista toteuttaa, riippuu kehikosta, jossa asiaa tarkastellaan. Kuten luvussa 2 todettiin, mikäli likviditeettipremion määrittämiseen haetaan referenssiä sijoitus tuotteiden hinnoittelusta, tavoitteena olisi pyrkiä määrittelemään, mikä on likviditeettipremion osuus koko riskipremiosta. Mikäli likviditeettipremiota lähdetään määrittämään yrityslainoista, yrityslainan arvomuodostuksesta tulee pyrkiä erottamaan riskit, jotka kohdistuvat maksukyvyttömyyden todennäköisyyteen sekä luottoluokituksen alentumiseen. Näiden mittaamiseen on olemassa useita eri lähestymistapoja [14]. Markkinapohjaiset mallit pohjautuvat tuotteisiin, jotka pyrkivä hinnoittelemaan tätä riskiä markkinoilla. Näitä tuotteita voisivat olla esimerkiksi luottoriskijohdannaiset (*credit default swaps*). Vaihtoehtoisesti voidaan rakentaa strukturoituja malleja, joissa taseen kehityksestä pyritään johtamaan ennusteita maksukyvyttömyyden todennäköisyydestä. Kolmas tapa on odotettuihin luottotappioihin pohjautuvat mallit. Kaikki edellä mainitut tavat voivat käytännössä johtaa hyvin monimutkaisiin toteutuksiin, minkä takia vakuutusyhtiöt ovat saattaneet luoda yksinkertaistettuja versioita edellä esitetyistä.

Solvenssi II:ssa tätä likviditeettipremiota kutsutaan volatiliteettikorjaukseksi (VA). Tämän lisäksi yhtiöillä on mahdollisuus vastuuelvojan suostumuksella soveltaa niin kutsuttua vastaavuuskorjausta (*engl. Matching Adjustment*). Näistä volatiliteettikorjaus on EIOPA:n määrittämä ja sellaisenaan sovellettavissa kaikille yhtiöille, jotka volatiliteettikorjausta käyttävät vakavaraisuuslaskennassa. Käytännössä, kuten kohta havaitaan, volatiliteettikorjauksen laskenta on yksinkertaistettu odotettuun luottotappioon pohjautuva laskenta, joka perustuu pitkän aikavälin historialliseen markkina-aineistoon.

Vuoden 2023 alusta voimaan tullessa IFRS 17 -kehikossa on puolestaan kuvattu, että vastuuelan diskonttauksessa käytettävään korkokäyrään voidaan lisätä likviditeettipremio, joka riippuu vastuuelan luonteesta sekä sen hetkisestä markkinatilanteesta. IFRS 17:ssä ei kuitenkaan ole tämän tarkemmin kerrottu, miten likviditeettipremio tulee johtaa. Likviditeettipremion johtaminen voi siis pohjautua mihin tahansa malliin ja voi siten poiketa esimerkiksi Solvenssi II:n periaatteista selkeästi.

### 5.1 Likviditeettipremio Solvenssi II:ssa

Solvenssi II delegoidun asetuksen [1] neljäs jakso käsittelee asiaankuuluvaa riskitöntä korkokäyrää sekä riskittömän korkokäyrän että likviditeettipremion osalta. Laskentaa on teknisiltä yksityiskohdiltaan kuvattu tarkemmin EIOPA:n julkaisemassa teknisessä dokumentaatiossa [7].

#### 5.1.1 Volatiliteettikorjaus

Volatiliteettikorjaus on Solvenssi II-asetuksessa määritetty premio, joka lisätään likvideihin swapnoteerauksiin ennen riskittömän korkokäyrän ekstrapolointia. Tämä tarkoittaa, että korkokäyrän alussa, alle 20 vuoden maturiteeteissa, korkokäyrä on tuon kiinteän arvon verran täysin riskitöntä korkokäyrää korkeammalla tasolla. Myöhemmissä maturiteeteissa volatiliteettikorjauksen vaikutus vähitellen häviää, kun korkokäyrä lähestyy päätekoron tasoa. Volatiliteettikorjaus lasketaan EIOPA:n julkaiseman viitesalkun perusteella. EIOPA määrittää ja julkaisee viitesalkun yhtiöiden vakavaraisuusraportoinnissa ilmoittamista sijoitusallokaatioista. Viitesalkut laaditaan sekä valuutta- että maakohtaisesti, mutta maakohtainen laskenta on voimassa vain erikseen määritetyissä tilanteissa.

Menetelmällisesti volatiliteettikorjauksen laskenta koostuu kahdesta osasta, luottoriskimarginaalista sekä riskikorjauksesta. Näiden laskenta eroaa hieman valtionlainojen sekä yrityslainojen kohdalla, mutta ne tavoittelevat samaa asiaa, eli pyrkivät erottamaan luottoriskimarginaalista luottoriskiin viittaavan komponentin. Valtionlainojen tapauksessa edellä esitetyt osat lasketaan jokaisen

valtion kohdalla erikseen. Yrityslainasalkulle luottoriskimarginaali sekä riskikorjaus lasketaan erikseen finanssi- ja ei-finanssiryhmittäin. EIOPA julkaisee yritys- ja valtionlainasalkkujen koostumukset kuukausittain samalla kun se julkaisee asiaankuuluvan riskittömän korkokäyrän.

Luottoriskimarginaaliosa lasketaan tutkittavan joukkovelkakirjalainan markkinatuoton ja EIOPA:n julkaiseman riskittömän korkokäyrän välisenä erona. Tämä kuvastaa joukkovelkakirjalainan luottoriskimarginaalia (spread). Riskikorjausosan laskenta pyrkii tämän jälkeen erottamaan tästä luottomarginaalista luottoriskin liittyvän komponentin. Valtionlainoille tämä korjaus on EIOPA:n määrittelemänä 30 prosenttia pitkäaikaisesta keskimääräisestä luottomarginaalista (LTA). Yrityslainoille riskikorjaus on puolestaan joko 35 prosenttia pitkäaikaisesta keskimääräisestä luottomarginaalista tai maksukyvyttömyyden todennäköisyyden ja luottoluokituksen alennuksen kustannuksen summa, riippuen siitä, kumpi tekijöistä on suurempi.

Volatiliteettikorjaus saadaan tämän jälkeen laskettua laskemalla sisäiset korkokannat markkinaehtoiselle tuotolle sekä riskikorjatulle tuotolle, kun otetaan huomioon eri indeksien painot ja duraattiot sisäisten korkojen laskennassa. Laskennat tehdään valtionlainasalkulle sekä muille kuin valtionlainasalkulle erikseen, jonka jälkeen yhteinen riskikorjaus voidaan määrittää huomioimalla kyseisten salkkujen painot referenssisalkun mukaisesti. Lopullinen volatiliteettikorjaus on 65 prosenttia yhteenlasketusta riskikorjatusta luottomarginaalista.

Edellä olevista kuvauksista havaitaan, että volatiliteettikorjauksen laskenta pohjautuu EIOPA:n historiallisesta tausta-aineistosta määrittämiin vakioihin, joiden arvioidaan kuvastavan likviditeettipreemion osuutta luottomarginaalista. Tätä voitaisiin kuvata eräänlaiseksi likviditeettipreemion määrittämiseen käytettäväksi 'proksi-menetelmäksi', jollaista on kuvattu esimerkiksi CEIOPS:n raportissa [3].

Se, että volatiliteettikorjausta käytettäisiin kuvastamaan yhtiön vastuuvelan likviditeettipreemiota tekee haastavaksi sen, että volatiliteettikorjaus on sama kaikille samassa valuutassa vastuuvelkansa arvostaville vakuutusyhtiöille, riippumatta yhtiön oman vastuuvelan likviditeetistä. Näin ollen esimerkiksi henki- ja vahinkovakuutusyhtiöt tulevat käsitellyiksi samanarvoisesti. Lisäksi EIOPA:n julkaisemat viitesalkut muodostetaan valuuttakohtaisesti, sekä maakohtaisesti silloin, kun maakohtainen laskenta on käytössä, kaikkien vakuutusyhtiöiden sijoitusten perusteella. Näin lasketun suurten eurooppalaisten yhtiöiden painoarvo on merkittävä, ottamatta kantaa siihen millaista sijoitusstrategiaa nämä suuret yhtiöt käyttävät – esimerkiksi toteuttavatko sijoitustoimintaansa vastuuvälälähtöisesti. Tämä tarkoittaa, että mikäli yhtiön vastuuvälkaprofiili on luonteeltaan referenssisalkkua vastaavaa vastuuvälkaprofiilia epälikvidimpää, pelkästään VA:n salliman likviditeettipreemion hakeminen omassa sijoitustoiminnassa voi johtaa siihen, että yhtiö ei saa kerättyä kaikkea sitä likviditeettipreemiota, jota sen vastuuvälka muuten sallisi.

### 5.1.2 Vastaavuuskorjaus

Siinä missä volatiliteettikorjaus pohjautuu Euroopan laajuiseen referenssisalkkuun, Solvenssi II tarjoaa yhtiöille vaihtoehdon vastaavuuskorjauksesta, joka sallii likviditeettipreemion määrittämisen pohjautuen yhtiön omaan sijoitusportfolioon. Tämän lisäksi, siinä missä volatiliteettikorjaus lisäti riskittömiin korkoihin ennen ekstrapolointia, vastaavuuskorjaus lisää riskittömiin korkoihin ekstrapoloinnin jälkeen, mikä tarkoittaa, että korkokäyrä on koko matkalta riskitöntä korkokäyrää korkeammalla, jolloin vastuuvelan nykyarvo on pienenee entisestään.

Vastaavuuskorjauksen käyttämiseen on kuitenkin asetettu erillisiä käyttöehtoja ja rajoituksia, jotka on Suomessa annettu erillisessä kansallisen lainsäädännön asetuksessa [17] ja vastaavuuskorjauksen käyttöön tulee hakea erillistä lupaa valvojalta. Käytännössä yhtiön tulee perustella ne vakuutuskannan osat, joihin se soveltaa vastaavuuskorjausta, ja pystyä osoittamaan niitä kattavat sijoitukset, jotka kassavirtaominaisuuksiltaan ovat hyvin ennustettavia ja vastaavat vakuutusvelvoitteiden maksamisesta johtuvia odotettuja menokassavirtoja. Lisäksi vakuutusvelvoitteisiin tulee liittyä ainoastaan pitkäikäisyys-, kulu-, muuttamis- ja kuolevuusriskiä, ja kuolevuusriskin sisältävien velvoitteiden paras estimaatti ei saa kasvaa enempää kuin viisi prosenttia kuolevuusriskin liittyvän stressin vaikutuksesta. Näiden lisäksi vakuutusvelvoitteita vastaavista sopimuksista ei saa jatkossa maksaa uusia vakuutusmaksuja, eikä sopimukseen tule sisältyä vakuutuksenottajan optioita.

Vastaavuuskorjauksen laskennasta EIOPA on määrittänyt, että se tulee laskea kahden efektiivisen vuosikoron erotuksena, mutta se ei saa sisältää perusmarginaalia, joka kuvaa vakuutusyrityksen jäljellä olevia riskejä. Lisäksi perusmarginaalista on määritetty, että sen tulee olla yhtä kuin maksukyvyttömyyden todennäköisyyttä ja luottoluokituksen alentamista vastaavien luottomarginaalien

summa. Näistä maksukyvyttömyyden todennäköisyyden tulee perustua pitkäaikaisiin maksukyvyttömyyttä kuvaaviin tilastoihin, jotka ovat omaisuuserän kannalta merkityksellisiä sen kestoajan, luottoluokan ja omaisuuseräluokan osalta. Vastaavuuskorjauksen laskenta voi siis olla käytännössä identtinen volatilititeettikorjauksen laskentaan liittyen mutta yhtiön määrittämällä sijoitussalkulla.

Vastaavuuskorjauksen käyttöönoton perustelut sisältävät monia elementtejä, joita on jo tässä työssä tutkittu, ja vastaavuuskorjaus vaikuttaa sopivan hyvin erityisesti sellaiselle henkivakuutusyhtiölle, joka pyrkii sijoitusstrategiassaan vastuuvälälähtöiseen sijoittamiseen. Kuitenkin edellä esitetyt rajoitukset vakuutuksenottajan optioista sekä tulevista vakuutusmaksuista voivat tehdä vastaavuuskorjauksen käyttöönotosta operatiivisesti vaikean Suomessa. Vastaavuuskorjaus on tosin ainakin toistaiseksi ollut hyvin harvoin käytetty Euroopassa. Jatkossa, koska yhtiöt joutuvat osana IFRS 17 –diskonttauskoron määrittämistä kuitenkin perustelemaan osan vastuuvälään kohdistuvasta epälikvidisyydestä, saattaa olla, että yhtiö pystyisi käyttämään vastaavia perusteluita vastaavuuskorjauksen käyttöönotossa.

## 5.2 Likviditeettipremio IFRS 17 -kehikossa

IFRS 17 –kehikossa on käytössä periaatepohjainen menetelmä diskonttauskoron määrittämisessä. Standardi ei siis itse aseta tiettyä korkokäyrää, jonka perusteella vastuuvälän nykyarvo tulisi määrittää, vaan asettaa yhtiölle vaatimuksia, joiden pohjalta heidän tulee itse määrittää vastuuvälän arvostuksessa käytettävä korkokäyrä. Valitun korkokäyrän tulee kuvastaa vastuuvälän likviditeetin luonnetta, olla konsistentti nykyisten markkinahintojen kanssa ja eliminoida ne tekijät markkinahinnasta, jotka eivät vaikuta vakuutustoiminnan kassavirtoihin (esim. luottoriski) [9]. Korkokäyrä voidaan määrittää joko ylhäältä–alas tai alhaalta–ylös –periaatteen mukaisesti. Ylhäältä–alas periaatteen idea on tutkia vakuutusyhtiön määrittämää referenssisalkun tuottoa, josta poistetaan ne riskitekijät, jotka eivät vaikuta vakuutustoiminnan kassavirtoihin. Alhaalta–ylös –periaatteessa puolestaan lähdetään liikkeelle riskittömästä korkokäyrästä, johon lisätään likviditeettipremio, joka kuvastaa valikoitujen sijoitustuotteiden likviditeettiominaisuuksia [4]. Vaikka lähtökohtaisesti nämä menetelmät pyrkivät löytämään samat tekijät sovellettavaksi korkokäyrään, menetelmät voivat kuitenkin johtaa eri lopputuloksiin lopullisen korkokäyrän osalta.

### Riskitön korko

Koska Solvenssi II:n korkokäyrän periaate on hyvin samankaltainen alhaalta–ylös –periaatteeseen verrattuna, keskitytään tämän tutkimiseen. Riskittömän koron johtamisessa käytettäviä menetelmiä sivutaan vain lyhyesti, jotta mahdolliset erot ovat tiedossa, kun siirrymme lukuun 6. Solvenssi II:ssa riskitön korkokäyrä johdetaan valuuttakohtaisesti joko swap–koroista tai valtionlainoista EIOPA:n toimesta. Euromääräinen korkokäyrä johdetaan swap–koroista, joista poistetaan Euriborin ja swapin välinen luottoriskitekijä. Tämän jälkeen swap–korot ekstrapoloidaan kohti, jälleen EIOPA:n määrittämää, UFR–korkotasoa ja ekstrapoloinnissa käytetään Smith–Wilson menetelmää, jonka laskenta on kuvattu EIOPA:n teknisessä dokumentaatiossa [7].

Jälleen kerran, koska IFRS 17 on laadittu periaatepohjaisesti, siinä ei ole kuvattu miten riskitön korkokäyrä tulee johtaa, vaan yhtiöllä on mahdollisuus päättää käyttämänsä menetelmät itse. Riskitöntä korkokäyrää voidaan lähteä muodostamaan joko swap–koroista tai valtionlainoista sekä mahdollisesti myös korkean luottoluokituksen yritysainoista. Vastaavalla tavalla yhtiöt voivat itse rakentaa perustelut korkokäyrän lopulliselle tasolle (vrt. UFR–taso) ja määrittää keinon, jolla lopullinen korkokäyrä sovitetaan saatuihin korkotasoihin. Yleisesti käytettävissä olevia sovitustapoja voivat olla esimerkiksi ei–parametriset menetelmät, kuten bootsrappaus tai splinien käyttö [18]. Parametrisiä sovitustapoja voivat olla esimerkiksi EIOPA:n soveltama Smith–Wilson ekstrapolointi tai esimerkiksi Nelson–Siegel tai Nelson–Siegel–Svenson –menetelmät [13]. Edellä esitetyt vaihtoehdot vaikuttavat käytännössä siihen, miten riskitön korkokäyrä käyttäytyy. Koska tässä työssä keskitymme tutkimaan erityisesti likviditeettipremion käyttäytymistä, tulemme soveltamaan Solvenssi II:n kaltaista Smith–Wilson ekstrapolointia korkokäyrän muodostamisessa.

## 5.3 Likviditeettipremion vaihtoehtoiset laskentatavat

### 5.3.1 Markkinapohjainen malli

Markkinapohjaisessa mallissa tavoitteena on mitata, mikä osa sijoitustuotteen luottoriskipremiosista syntyy mistäkin riskilajista tutkimalla markkinoilla olevia muita sijoitustuotteita. Näitä muita sijoitustuotteita yhdistelemällä pyritään lopulta eliminoimaan sijoitustuotteen luottoriskipremiosista kaikki muut riskin lähteet kuin se, joka milloinkin on erityisen kiinnostuksen kohteena. Tässä

tapauksessa tavoitteena on erottaa erityisesti luottoriskin ja riskittömän koron osuudet, jolloin jäljelle jäävä osuus tulisi olla pääpiirteissään likviditeettiriskiä. Luottoriskitapahtuman todennäköisyys tullaan erottamaan hyödyntäen luottoriskijohdannaisia.

Luottoriskijohdannaisten markkinaa pyörittävät pitkälti suuret finanssiyhtiöt ja markkinaa pidetään melko likvidinä. Luottoriskijohdannainen on kahden osapuolen välinen sopimus, josta toinen osapuoli toimii suojan myyjänä ja toinen suojan ostajana. Maksut liittyvät kohteena olevan yhtiön maksukyvyttömyyteen. Toisin sanoen, jos kohteena oleva yhtiö joutuu maksukyvyttömäksi ennen kuin johdannaissopimuksen eräpäivä tulee vastaan, suojan myyjä maksaa maksukyvyttömyysmaksun suojan ostaneelle osapuolelle. Tämä maksu jäljittelee sitä tappiota, joka syntyi kohteena olevan yhtiön liikkeelle laskeman joukkovelkakirjan aiheuttamasta tappiosta, kun kohteena oleva yhtiö joutui maksukyvyttömäksi. Tätä luottoriskijohdannaisten puolta kutsutaan suojamaksuksi (*protection leg*). Täten suojan ostanut on saanut taloudellista suojaa kohteena olevan yhtiön maksukyvyttömyyttä vastaan. Kompensaationa tästä suojasta suojan ostanut maksaa säännöllisiä maksuja, neljännes- tai puolivuositaisia, suojan myyjälle. Näitä maksuja kutsutaan palkkiomaksuiksi (*premium leg*), tai toisinaan myös CDS-spreadiksi. Kun maksukyvyttömyys on tapahtunut, maksut päättyvät. Alkumaksua sopimukseen ei liity, vaan palkkiomaksuja kuvataan tavallisesti vuosittaisena prosenttiosana kohteena olevan sijoituksen nimellisarvosta [11] [8].

Menetelmän etuna on se, että luottoriskijohdannaisten markkinainformaatiota on käytettävissä laajalti eri yhtiöistä, erityisesti jos yhtiöt ovat riittävän suuria. Täten voidaan siis muodostaa vastuuvelan referenssisalkkua (4) vastaavan joukko joukkovelkakirjalainoja ja tarkistaa, että vastaavalle joukolle löytyy markkinoilta informaatiota luottoriskijohdannaista. Likviditeettipreemio saadaan vähentämällä salkun kokonaiskorosta vastaavan maturiteetin riskitön korko sekä luottoriskijohdannaisten palkkiomaksu.

Toisaalta, vaikka markkina on laaja, esimerkiksi indeksituotteille voi olla haastavaa löytää indeksiä vastaavaa luottoriskijohdannaista. Vastaavasti, mikäli sijoitusportfolio muodostuu pienemmistä yhtiöistä, vastaavaa luottoriskijohdannaista ei välttämättä löydy. Näiden lisäksi menetelmä ei täysin huomioi itse luottoriskijohdannaiseen liittyvää likviditeettiriskiä, ja tuotteisiin voi liittyä hinnoitteluongelmia, erityisesti kun riskit markkinalla ovat merkittävästi kasvaneet.

On myös mahdollista hinnoitella luottoriskijohdannaista itse, jos markkinatoimittajien informaatiota ei ole käytettävissä. Yksinkertainen malli luottoriskijohdannaisten hinnoittelusta on esitetty liitteessä A.

### 5.3.2 Strukturoidut mallit

Strukturoiduissa, tai toisin sanoen yritysarvoon perustuvissa maksukyvyttömyysmalleissa, oletetaan yrityksen maksukyvyttömyydelle jokin mekanismi, joka riippuu yrityksen taseesta. Malleissa oletetaan, että maksukyvyttömyys tapahtuu, kun stokastinen muuttuja tai prosessi, joka esittää yrityksen varoja, alittaa jonkin tietyn raja-arvon, joka kuvastaa yrityksen velkoja. Tässä työssä tutkitaan Mertonin mallia [12], jonka tunnetuimpia kaupallisia sovelluksia on mm. Moody's Analyticsin käyttämä julkisten yhtiöiden EDF-malli. Seuraavaksi sovellamme tätä teoreettista mallia likviditeettipreemion määrittämiseen siten, että malli antaa teoreettisen riskipreemion, joka kattaa sekä odotetun että odottamattoman luottotappion. Markkinoilta havaitun riskipreemion sekä teoreettisen riskipreemion erotuksen ajatellaan tavallisesti olevan jäljelle jäävä likviditeettipreemio [3].

#### Mertonin malli ja odotettu luottotappio

Mertonin malli pohjautuu yksinkertaiseen ajatukseen, jossa yrityksen arvo  $V$  voidaan esittää sen varojen  $S$  ja velkojen  $B$  summana eli

$$V = S + B.$$

Mallissa ajatellaan, että yrityksen arvo noudattaa jotain stokastista prosessia  $V_t$ . Yritys rahoittaa toimintansa pääomalla, esimerkiksi liikkeellelaskelmalla osakkeita sekä velalla. Mertonin mallissa yksinkertaisesti oletetaan, että velka koostuu nollakuponkibondeista, joilla on sama maturiteetti  $T$  ja velan nominaali on vakio  $B$ . Lisäksi oletetaan, että yritys ei voi maksaa osinkoja tai kerätä uutta lainaa. Pääoman ja velan aika-arvoja hetkellä  $t$  kuvataan muuttujilla  $S_t$  ja  $B_t$ . Yritys ajautuu maksukyvyttömäksi, mikäli yritys ei pysty maksamaansa velkojaan velkojille ajassa  $T$ . Ajassa  $T$  voimme erottaa kaksi eri tapausta.

- (i)  $V_T > B$ : yhtiön omaisuuden arvo ylittää velkojen nimellisarvon. Tällöin velkojat saavat arvon  $B$  ja osakkeenomistajat saavat erotuksen  $S_T = V_T - B$ , ja maksukyvyttömyyttä ei tapahdu.
- (ii)  $V_T \leq B$ : yhtiön omaisuuden arvo on velkoja pienempi, joten yhtiö ei pysty täyttämään taloudellisia velvollisuuksiaan. Tässä tapauksessa osakkeenomistajilla ei ole kiinnostusta tarjota yhtiölle uutta pääomaa ja kaikki yhtiön varat päätyvät tällöin velkojille. He sallivat yhtiön mennä konkurssiin. Yhtiön pääoma siirtyy velkojien käsiin, jotka likvidoivat yrityksen ja jatkavat tuotot keskenään. Osakkeenomistajat eivät maksa, eivätkä saa mitään, joten  $B_T = V_T$  ja  $S_T = 0$ .

Tiivistetysti voidaan havaita seuraavat riippuvuudet

$$S_T = \max(V_T - B, 0) = (V_T - B)^+ \quad (1)$$

$$B_T = \min(V_T, B) = B - (B - V_T)^+. \quad (2)$$

Näistä ensimmäinen yhtälö (1) implikoi, että yhtiön pääoma hetkellä  $T$  vastaa eurooppalaisen ostooption takaisinmaksua, ja vastaavasti jälkimmäinen yhtälö (2) implikoi, että yhtiön velka hetkellä  $T$  vastaa velkojen nimellisarvoa vähennettynä eurooppalaisen myyntioption takaisinmaksulla, missä option toteutushinta on  $B$ . Edellä olevat havainnot nojautuvat yksinkertaisiin havaintoihin optioiden esitystavoista, jotka on esitetty liitteessä B.

Edellä on kuvattu, miten yhtiön pääomaa ja velkoja pystytään mallintamaan käyttäen optioita. Jatkamalla analyysia vielä hieman pidemmälle saamme johdettua mallin kuvaamaan maksukyvyttömyyden todennäköisyyttä. Mertonin mallissa oletetaan, että reaali maailman todennäköisyysmittan  $P$  vallitessa, prosessi  $(V_t)$  noudattaa Black–Scholesin mallia, jolla on muoto

$$dV_t = \mu_V V_t dt + \sigma_V V_t dW_t, \quad (3)$$

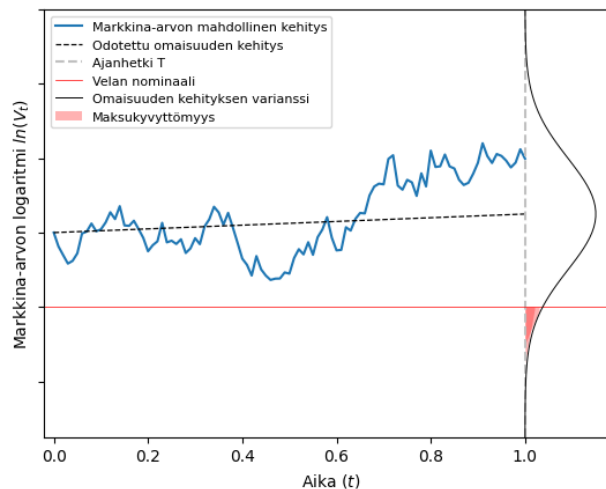
missä vakio  $\mu_V \in \mathbf{R}$  kuvaa omaisuuden arvon odotettua kehitystä, vakio  $\sigma_V > 0$  kuvaa omaisuuden arvon heilahtelua ja  $W_t$  on tavallinen Brownin liike. Yhtälö (3) voidaan ratkaista eksplisiittisesti, ja sen ratkaisu on

$$V_T = V_0 \exp\left(\left(\mu_V - \frac{1}{2}\sigma_V^2\right)T + \sigma_V W_t\right).$$

Koska  $W_t \sim N(0, T)$ , niin  $\ln V_T \sim N(\ln V_0 + (\mu_V - \frac{1}{2}\sigma_V^2)T, \sigma_V^2 T)$ . Yhtälöä (3) hyödyntämällä maksukyvyttömyystodennäköisyys pystytään ratkaisemaan suoralla laskulla.

$$P(V_T \leq B) = P(\ln V_T \leq \ln B) = \Phi\left(\frac{\ln(B/V_0) - (\mu_V - \frac{1}{2}\sigma_V^2)T}{\sigma_V \sqrt{T}}\right).$$

Kirjallisuudessa käytetään usein lukua  $d_2 = -\frac{\ln(B/V_0) - (\mu_V - \frac{1}{2}\sigma_V^2)T}{\sigma_V \sqrt{T}}$  kuvaamaan etäisyyttä maksukyvyttömyydestä, ja se mittaa, kuinka monen normaalijakauman keskihajonnan päässä olemme maksukyvyttömyydestä. Graafisesti Mertonin mallia on havainnollistettu kuvassa 5.



Kuva 5: Mertonin malli

Yrityksen maksukyvyttömyyden todennäköisyys on nyt laskettu aikahorisontin  $T$  aikana, kun olemme yrityksen varojen kehittyvän yrityskehittämisen historiallisen informaation valossa. Tätä vastaava sijoittajalle maksettava kompensatio odotetusta luottotappiosta voidaan laskea riskipremiona:

$$\text{Odotettu luottotappio} = -\frac{1}{T} \ln(1 - CPD \cdot LGD), \quad (4)$$

missä  $CPD$  on duraatiota vastaava kumulatiivinen maksukyvyttömyyden todennäköisyys ja  $LGD$  on tappio-olettama maksukyvyttömyyden toteutuessa.

### Odottamattomat luottotappiot

Edellä kuvatulla Mertonin mallilla on nyt saatu laskettua yhtiön maksukyvyttömyyden todennäköisyys, ja sen perusteella laskettu odotettu luottotappio. Lopuksi pyritään vielä hinnoittelemaan luottoriski, joka liittyy odottamattomiin luottotappioihin. Myös tämän riskin mallintamiseen voidaan hyödyntää Mertonin mallia.

Ajatuksena on tutkia mitä tapahtuu, kun omaisuuden arvonkehitystä kuvaavaa parametriä  $\mu$ , siirretään sopivasti, esimerkiksi korvataan Mertonin mallin odotettu omaisuuden kehitys  $\mu$  riskittömällä korolla. Tällöin todennäköisyysjakauma siirtyy ja maksukyvyttömyyden todennäköisyys kasvaa. Tarkoituksena ei ole siirtää täysin riskittömään korkoon, vaan jättää huomioimatta epälikvidisyyteen liittyvä siirtymä. Tämä siirto voidaan laskea esimerkiksi painotetun keskimääräisen pääomakustannukseen pohjautuvan mallin avulla [20]. Käytännössä mallin avulla pyritään yhtiön pääomarakennetta hyödyntäen hahmottamaan, mikä on yhtiön luoman pääoman erotus suhteessa riskittömään tuotteeseen, jota voidaan sitten hyödyntää riskipremion määrittämisessä.

Tällöin kaavan 4 mukainen luottotappioista johtuva riskipremio saadaan kirjoitettua muodossa

$$\text{Luottoriskikorjaus} = -\frac{1}{T} \ln \left( 1 - N \left( N^{-1}(CPD) + \frac{\mu^{CRP}}{\sigma_V} \cdot \sqrt{T} \right) \cdot LGD \right), \quad (5)$$

missä  $\mu^{CRP}$  on painotetun keskimääräisen pääomakustannuksen avulla laskettu riskipremio. Liitteessä C esitetään, miten tämä on laskettavissa sekä yhtiökohtaisesti että sektorikohtaisesti. Oleellista on se, että edellä esitetty riskipremio käsittää sekä odotetun että odottamattoman luottoriskin mutta jättää huomioimatta muut riskit, kuten epälikvidisyyden.

Kuten edellä voidaan havaita, Mertonin malli pohjautuu useaan parametriin, joista velkojen nominaali  $B$  sekä markkina-arvo alussa  $V_t$  ovat luettavissa yhtiön taseesta. Malli tarvitsee lisäksi tiedot omaisuuden odotetusta arvonkehityksestä  $\mu$  sekä omaisuuden varianssista  $\sigma$ , jotka ovat laskettavissa taseen historiallisesta kehityksestä. Lisäksi tarvitaan arvio tappio-olettamasta  $LGD$ . Tähän voidaan käyttää joko yhtiökohtaista arviota tai sektorikohtaisia keskiarvoja, sillä riskipremio tarvitaan vain portfoliotasolla.

## 5.4 Sovellukset

Tässä luvussa verrataan edellä esitettyjen menetelmien tuloksia kahden esimerkkiyhtiön kohdalla, joiden vastuuvelan epälikvidisyyttä vastaavat sijoitussalkut on jo määritelty luvussa 4. Sovellaan edellisessä luvussa esitettyjä menetelmiä näihin sijoitusportfolioihin, jonka voidaan tulkita kuvastavan myös vastuuvelan sallimaa likviditeettipremiota. Tässä luvussa esitetyt luvut ovat yksinkertaistettuja arvioita, joiden avulla on haluttu kuvastaa tutkittavaa ilmiötä.

### 5.4.1 Käytännön valintoja

Laskenta olisi mahdollista toteuttaa joko maturiteettikohtaisesti tai yhtenä aggregoituna premiona. Näistä maturiteettikohtainen laskenta vaatisi merkittävästi enemmän aineistoa, sillä sijoitus tuotteita tulisi valita riittävästi jokaiselle maturiteetille, jotta yhtiökohtaista volatilitteettia pääsisi syntymään mahdollisimman vähän. Tämän lisäksi tulee päättää, miten likviditeettipremio käyttäytyy korkokäyrää ekstrapoloitaessa. Mikäli likviditeettipremio lisättäisiin korkokäyrään ekstrapoloinnin jälkeen, se tarkoittaisi, että se vaikuttaisi täysimääräisesti myös pidemmän maturiteetin vastuuvelan kassavirtoihin. Tämä saattaisi synnyttää vastuuvelan arvostukseen liittyvää volatilitteettia, mikä voi olla vaikeasti suojattavissa, mutta toisaalta pienentää selkeästi vastuuvelan nykyarvoa. Tässä työssä on valittu, että molemmat yhtiöt laskevat likviditeettipremion yhtenä aggregoituna lukuna ja että se lisätään likvideihin korkonoteerauksiin ennen korkokäyrän ekstrapolointia.

Tässä luvussa esitetyt volatiliteettikorjauksen arvot on kerätty EIOPA:n julkaisemista virallisista tiedostoista, jotka ovat ladattavissa EIOPA:n verkkosivuilta [5].

#### 5.4.2 Tulokset

Havainnollisesta seuraavaksi tuloksia likviditeettipreemion vaikutuksista. Pitääksemme aineiston keräämisen maltillisena, toteutetaan yksinkertaistettulaskenta markkinapohjaiselle mallille. Laskennan toteutus on kuvattu liitteessä D. Taulukossa 4 on esitetty markkinapohjaisen mallin sekä vakavaraisuuslaskennan mukaisen likviditeettipreemion tulokset molemmille yhtiöille.

Menetelmä	Peruspistettä	Menetelmä	Peruspistettä
Volatiliteettikorjaus	21	Volatiliteettikorjaus	21
Markkinapohjainen malli	75	Markkinapohjainen malli	60

(a) Yhtiö 1

(b) Yhtiö 2

Taulukko 4: Likviditeettipreemiot yhdellä ajanhetkellä

Näin saatiin johdettua likviditeettipreemioiden määrät molemmille yhtiöille. Tarkastellaan seuraavaksi, mitä nämä arvot tarkoittavat vastuuvelan nykyarvon tasoon. Molempien yhtiöiden kohdalla eri menetelmien vaikutukset vastuuvelan nykyarvoon on koottu taulukkoon 5.

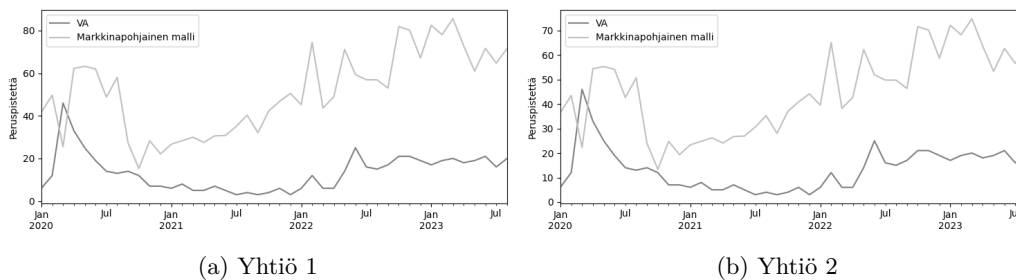
Menetelmä	Vastuuvelan nykyarvo	Menetelmä	Vastuuvelan nykyarvo
Alkuperäinen	1000	Alkuperäinen	1000
Volatiliteettikorjaus	985	Volatiliteettikorjaus	982
Markkinapohjainen malli	949	Markkinapohjainen malli	940

(a) Yhtiö 1

(b) Yhtiö 2

Taulukko 5: Vastuuvelan nykyarvot eri likviditeettipreemioilla

Kuten havaitaan, likviditeettipreemion valinnalla voi olla merkittävä vaikutus vastuuvelan nykyarvon määrään, ja voi olla, että vastuuvelan sallima likviditeettipremio poikkeaa selvästi vakavaraisuuslaskennan standardimallin määrittämästä likviditeettipreemiosta. Vaikka olemme toteuttaneet analyysin vain markkinapohjaiselle mallille, aikaisemmat tutkimukset ([3]) osoittavat menetelmien tuottavan vertailukelpoisia tuloksia. Jotta voidaan hahmottaa vielä pidemmän aikavälin vaikutuksia, tarkastellaan millaisia arvoja edelliset likviditeettipreemiot olisivat saaneet lähihistoriassa. Tulokset on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6: Historiallinen aikasarja likviditeettipreemioista

Edellä olevasta voidaan havaita, että sen lisäksi, että yksittäisellä hetkellä likviditeettipreemiot voivat poiketa selkeästi vakavaraisuuslaskennan likviditeettipreemiosta, myös sen volatiliteetti voi poiketa selvästi tästä. Tämä tarkoittaa sitä, että yhtiön vakavaraisuuslaskennan mukaisen vastuuvelan ja IFRS 17– mukaisen vastuuvelan nykyarvojen volatiliteetit voivat poiketa toisistaan



merkittävästi, mikäli yhtiö soveltaa standardimallia vakavaraisuuslaskennassa. Näin ollen, mikäli yhtiö haluaa hallita vastuuvelan aiheuttamaa volatilitteettia, yhtiön tulee päättää kummassa kehikossa se halutaan tehdä. Vaihtoehtoisesti voidaan pohtia, pystytäänkö toisen kehikon vastuuvelan nykyarvon määrittämistä muuttaa siten, että volatilitteetit vastaavat paremmin toisiaan.

Tutkitaan seuraavassa luvussa, miten tätä joko vakavaraisuuden tai IFRS –tuloksen volatilitteettia pystytään hallitsemaan.

## 6 Vastuuvelan ja sijoitusten arvonmuutoksen yhteensovittaminen

Aikaisemmissa luvuissa olemme saaneet määriteltä tavan tutkia vastuuvelan epälikvidisyyttä, jonka avulla voitiin löytää kassavirtaominaisuuksiltaan vastaavia sijoitustuotteita. Näiden sijoitustuotteiden avulla lopulta löydettiin keinoja laskea vastuuvelan nykyarvo huomioiden vastuuvelan epälikvidisyys. Voimme vielä kuitenkin tutkia, että mikäli arvostamme vastuuvelan edellä johdettulla tavalla käyvin arvoin, miten saisimme määritettyä sellaisen sijoitussalkun, jonka arvonmuutos vastaisi vastuuvelan arvonmuutosta. Mikäli pystymme määrittämään tämän kaltaisen sijoitusportfolion, syntyisi siitä yhtiön vastuuvelan arvostuksen aiheuttaman tulosvolatilitteetin minimoiva sijoitusportfolio. Mikäli tämän määrittely onnistuu, sillä voi olla käytännön merkitystä, kun yhtiö soveltaa, tai sijoitusstrategiaa valitessaan harkitsee, luvussa 1 esitetyn vastuuvälälähtöisen sijoitusstrategian toteuttamista.

Tutkitaan seuraavaksi, miten replikoivia portfolioita voitaisiin hyödyntää minimiriskiportfolioiden etsimisessä.

### 6.1 Replikoivat portfoliot

Matemaattisessa taloustieteessä replikoiva portfolio tietyille sijoituksille tai kassavirroille on sellainen sijoitusportfolio, jolla on alkuperäistä sijoitusta tai kassavirtoja vastaavia ominaisuuksia. Nämä ominaisuudet voivat olla joko kassavirtaominaisuuksia tai arvonmuutoksen herkkyyteen liittyviä ominaisuuksia. Monet vakuutusalan toimijat saattavat hyödyntää replikoivia portfolioita esimerkiksi vastuuvelan arvostuksessa niiden tuotteiden osalta, jotka sisältävät optionaalisuksia, raskaiden stokastisten laskentojen sijaan. Täten yhtiöt ovat pystyneet huomattavasti stokastisia laskentoja nopeammin arvostamaan monimutkaisia vakuutustuotteita replikoimalla niitä ominaisuuksiltaan vastaavilla sijoitustuotteilla. Tätä on sitten pystytty edelleen hyödyntämään esimerkiksi sisäisissä riskimalleissa [15]. Seuraavaksi sovelletaan replikoivia portfolioita vastuuvelan arvostukseen, kun tiedämme vastuuvelan kassavirrat sekä miten vastuuvelan arvostuksessa käytettävä korkokäyrä johdetaan.

Pääsääntöisesti on olemassa kahdenlaisia replikoivia portfolioita, staattisia ja dynaamisia replikaatioita. Staattisessa replikoinnissa lähdetään liikkeelle arbitraasivapaasta ajattelusta: jos kahdella instrumentilla on toisiaan vastaavat kassavirrat, näiden markkina-arvojen tulee olla samat. Erityisesti, jos nämä säilyvät samoina eri skenaarioissa, niin tuotteet vastaavat toisiaan. Tämän menetelmän etuna on se, että kun staattinen replikaatio on toteutettu, portfolioa ei enää tarvitse muuttaa esimerkiksi markkinatilanteen muuttuessa. Dynaamisen replikoinnin idea puolestaan on, että itse kassavirtojen ei tarvitse vastata toisiaan, mutta replikoivan portfolion 'kreikkalaisten' tulee vastata replikoitavaa kohdetta. Kreikkalaisia on kuvattu esimerkiksi Hullin luvussa 14 [8]. Matemaattisesti miellettyinä nämä ovat tutkittavan kohteen osittaisderivaattoja arvonmuutoksen (delta), ajan (theta), deltan muutoksen (gamma) ja volatilitteetin (vega) sekä riskittömän koron (rho) suhteen. Koska menetelmässä yhteensovitetaan kahden kohteen osittaisderivaattoja, joudutaan replikoivaa portfolioa muuttamaan markkinatilanteen muuttuessa. Tällä on omat käytännön haasteensa, mutta tällä hetkellä esimerkiksi erilaisten koneoppimismenetelmien kehittymisen johdosta dynaamiset suojausstrategiat ovat kiinnostava tutkimuksen ala [10].

Tässä työssä toteutetaan yksinkertainen replikointimenetelmä, joka pohjautuu pienimmän neliösumman hyödyntämiseen, ja sen esittämisessä mukaillaan Tegelsin [19] esitystapaa. Samassa Tegelsin tutkielmassa on lisäksi kuvattu muita menetelmiä, kuten rajoitetun pienimmän neliösumman menetelmä ja yleistettyihin additiivisiin malleihin pohjautuvia menetelmiä, joita ei tässä työssä tutkita.

Otetaan seuraavaksi käyttöön seuraavat notaatiot. Aluksi, olkoon  $n$  ennakkoon valittujen skenaarioiden lukumäärä, joilla portfolio kalibroidaan. Lisäksi olkoon  $m$  valittujen replikoivien sijoitus-

tuotteiden lukumäärä replikoivassa portfolioissa. Olkoon  $X$   $m \times n$  -matriisi, joka pitää sisällään valittujen sijoitustuotteiden nettohyödykkeiden jokaisessa skenaariossa, eli

$$X = \begin{bmatrix} R_{0,1} & \cdots & R_{0,n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ R_{m-1,1} & \cdots & R_{m-1,n} \end{bmatrix},$$

missä  $R_{i,j}$  on replikoivan sijoituskohteen  $i$  nettohyödyke skenaariossa  $j$ . Näiden lisäksi määritellämme kaksi vektoria: vektorin  $Y$ , joka on  $n \times 1$  -vektori, joka sisältää vastuuvelan arvonmuutokset kaikissa skenaariossa, sekä vektorin  $\beta$ , joka on  $m \times 1$  -vektori, joka sisältää eri sijoitustuotteiden painot replikoivassa salkussa.

Näiden määritelmien jälkeen tavoitteena on minimoida vastuuvelan nykyarvojen sekä replikoivien sijoitustuotteiden neliövirhe tutkimalla eri sijoitustuotteiden painoja.

### Pienin neliösumma

Pienimmän neliösumman menetelmän tavoitteena on minimoida neliövirheiden summa, mikä takaa sen, että meillä on tehokas portfolio. Replikoiva portfolio voidaan tällöin esittää matemaattisesti:

$$X\hat{\beta} + \varepsilon = Y.$$

Neliövirheiden summa on määritelty seuraavasti

$$SSE = \varepsilon' \varepsilon = (Y - \hat{\beta})'(Y - X\hat{\beta})$$

Optimaalinen paino  $\hat{\beta}$  voidaan tällöin johtaa seuraavasti

$$\frac{\delta SSE}{\delta \hat{\beta}} = 2(Y - X\hat{\beta})'X = 0,$$

josta saadaan edelleen

$$\begin{aligned} Y'X &= \hat{\beta}(X'X) \\ \iff \hat{\beta} &= (X'X)^{-1}(X'Y). \end{aligned}$$

#### 6.1.1 Sijoitusavaruuden määrittäminen

Nyt, kun replikoivan portfolion laskenta on tunnettu, on enää pohtimatta, miten voidaan määrittää ne sijoituskohteet, jotka huomioidaan replikoivassa portfolioissa. Tyypillisesti valinnassa nojaututaan tuotekohtaiseen analyysiin sekä asiantuntijaharkintaan, eli esimerkiksi yksittäisen vakuutuslajin tapauksessa siihen, mitkä sijoitustuotteet vastaavat kyseisen vakuutustuotteen synnyttämää kassavirtaa, kun jätetään ei-suojattavissa olevat riskit huomioimatta. Tyypillisiä valintoja voisivat olla esimerkiksi kiinteiden kassavirtatuotteiden replikoiminen kiinteäkorkoisilla yritys- ja valtionlainoilla, sillä näiden kassavirrat eivät muutu vaikka nykyarvo muuttuu korkotason muuttuessa. Toisaalta esimerkiksi optioita, kuten harkinnanvaraisia lisäetuja, sisältäviä vakuutustuotteita, voidaan pyrkiä replikoimaan yhdistelmällä yritys- tai valtionlainoja sekä optioita. Rajoitumme kuitenkin tutkimaan aiemmin esittämiämme vakuutustuotteita, joissa harkinnanvaraisia lisäetuja ei ole mukana.

Todettakoon kuitenkin, että on myös kehitetty automaattisempia prosesseja sopivien sijoitustuotteiden alajoukkojen tarkasteluun [2], mutta näitä menetelmiä tässä työssä ei käsitellä.

## 6.2 Sovellukset

Sovelletaan aikaisemmin tässä luvussa esitettyä replikointimenetelmää ensimmäisen kuvitteellisen yhtiön vastuuvelan arvonmuutoksen replikointiin. Muodostetaan aluksi skenaariomatriisi  $Z$ , joka sisältää 1500 satunnaisesti muodostettua skenaariota. Matriisin sarakkeina on riskittömän koron sekä luottoluokittain eri luottoriskimarginaalien muutokset. Skenaariomatriisin muodostamisessa on tehty yksinkertaistettuja oletuksia siten, että riskittömän koron sekä luottoriskimarginaalisen

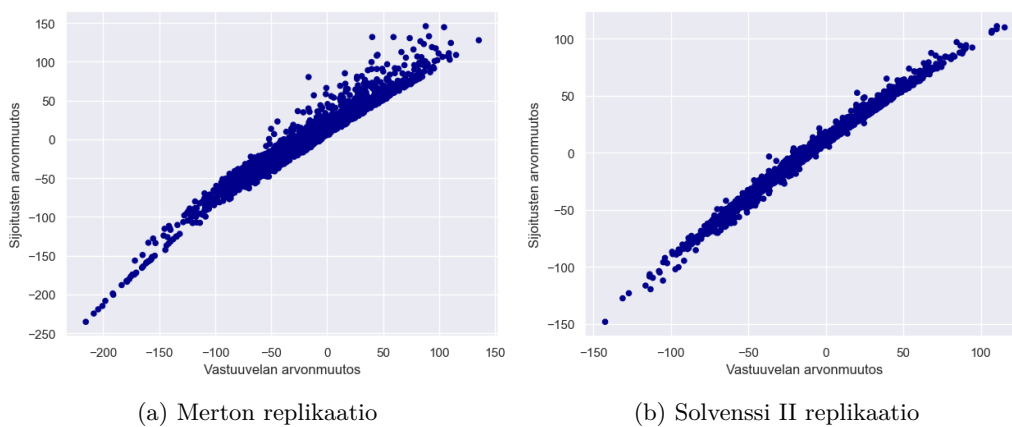
korrelaatio on normaalijakautunut ja eri luottoluokitusten luottoriskimarginaalien väliset korrelaatiot pysyvät vakioina. Kun skenaariomatriisi on saatu luotua, sijoitustuotteiden nettohyötyarvomatriisi  $X$  saadaan kertomalla skenaariomatriisi  $Z$  matriisilla, joka sisältää sijoitusavaruuteen välittävien sijoitustuotteiden herkkyyksiä. Sijoitusavaruuteen on valittu tavallisia korkojohdannaisia sekä eri luottoluokituksen korkosijoituksia. Sijoitustuotteiden skenaariokohtaiset arvonmuutokset on mallinnettu yksinkertaista duraatioaprosimaatiota hyödyntämällä.

Edellä esitettyjen matriisit on esitetty liitteessä D.

Vastuuvelan arvonmuutoksen laskemiseksi tulee pystyä approksimoimaan likviditeettipreemion käyttäytyminen annetuissa skenaarioissa. Volatiliteettikorjauksen osalta sopiva arvio löytyy soveltamalla luvussa 5.1.1 esitettyä laskentaa. Mallinnetaan vastuuvelan nykyarvo myös käyttäen vaihtoehtoja ja yhtiökohtaista Mertonin malliin pohjautuvaa likviditeettipreemiota. Esimerkiksi Moodys Analytics:n artikkelissa [21] on osoitettu, että lyhyellä aikavälillä Merton malliin pohjautuvan likviditeettipreemion muutos vastaa noin 92 prosenttia vastaavan luottoriskipreemion muutoksesta. Edellä esitettyjä arviota voidaan soveltaa ja testata historia-aineistoon nähden, jotta voidaan varmistua estimaatin soveltuvuudesta. Tässä työssä oletetaan, että kysein estimaatti antaa riittävän tarkkuuden likviditeettipreemion ennustamisesta.

Replikoinnin toteutuksessa käytetyllä estimaatilla likviditeettipreemiosta tulee olemaan selkeä vaikutus lopulliseen replikointiin. Esimerkiksi volatilitteetti- tai vastaavuuskorjauksen kaltaisen 'proksi'-menetelmän ennustaminen eri skenaarioissa on helpompaa kuin markkinapohjaisen tai strukturoidun mallin ennustaminen, erityisesti mikäli toteutettavissa skenaarioissa on mukana poikkeuksellisia markkinatilanteita.

Edellä esitettyillä oletuksilla replikointia voidaan lähteä toteuttamaan. Toteutetaan replikointi erikseen sekä Mertonin malliin pohjautuvalle vastuuvelan arvostukselle että Solvenssi II:n volatilitteettikorjaukseen pohjautuvalle mallille. Replikoivien portfolioiden tulokset on esitetty kuvassa 7. Kuvassa hahmotetaan, miten replikoivan sijoitusportfolion arvo muuttuu suhteessa vastuuvelan arvonmuutokseen. Näin ollen mitä lähempänä tulokset ovat suoraa  $y = x$ , sitä parempi replikaatio on saavutettu.



Kuva 7: Yhtiön 1 replikoivat portfoliot

Tuloksista havaitaan, että saavutettu replikaatio antaa kohtuullisen lopputuloksen molemmissa kehikoissa. Replikaatio ei ole aivan täydellinen, sillä esimerkiksi valituilla korrelaatio-oletuksilla on selkeä vaikutus replikoinnin lopputulokseen. Edellä olevista tuloksista voidaan havaita, että esimerkiksi yhtiömme Solvenssi II:n mukaisesti arvostetun vastuuvelan arvonmuutoksen herkkyys on selkeästi Merton malliin pohjautuvan arvonmuutosta vähäisempi. Tämän johdosta Solvenssi II -kehikossa muodostettu replikoiva portfolio on vähäriskisempi, jolloin yhtiön IFRS-tuloksen sekä vakavaraisuuden volatilitteetit käyttäytyvät eri tavoin. Mikäli tätä kahden eri kehikon synnyttämää arvostuseroa voitaisiin hallita, yhtiön olisi mahdollista tutkia vaihtoehtoja, joilla vastuuvelan arvostuksessa käytettävät korkokäyrät vastaisivat mahdollisimman hyvin toisiaan. Tämä voisi tarkoittaa joko Solvenssi II:n vastaavuuskorjauksen soveltamista tai vaihtoehtoisen likviditeettipreemion laskentatavan uudelleenarviointia. Vaihtoehtoisesti yhtiö voisi pohtia esimerkiksi edellä esitetyn replikointimallin edelleen kehittämistä siten, että minivoiva portfolio etsitään molemmille kehikoille samanaikaisesti. Tämä tarkoittaisi sitä, että edellä esitettyihin tuloksiin nähden muutos todennäköisesti pienentäisi volatilitteettia toisessa kehikossa, mutta kasvattaisi sitä toisessa .

### 6.3 Korkomarginaaliriskin pääomavaade

Tässä työssä emme ole käsitelleet Solvenssi II:n mukaista pääomavaateiden laskentaa, mutta sivutaan sitä lyhyesti. Tällä hetkellä yhtiön, joka noudattaa standardikaavaa pääomavaateiden laskennassa ja on päättänyt suojata, osittain tai kokonaan, volatilitteettikorjauksen synnyttämää vastuuvelan arvonmuutosta, luottomarginaaliriskin pääomavaade muodostuu liian suureksi. Tämä johtuu siitä, että volatilitteettikorjaus säilyy vakiona Solvenssi II:n mukaisessa korkomarginaaliriskin laskennassa, ja täten vastuuvelan arvonmuutos ei tule huomioiduksi pääomavaateen laskennassa. Solvenssi II kuitenkin mahdollistaa, että yhtiön on mahdollista soveltaa niin kutsuttua dynaamista volatilitteettikorjausta omassa sisäisessä mallissaan, mikä edellyttää kuitenkin sisäisen mallin käyttöönottoa sekä Finanssivalvonnan hyväksyntää. Toisaalta, mikäli yhtiö soveltaa vastaavuuskorjausta, tulee sen huomioida vastaavuuskorjauksen muutos pääomavaadetta laskettaessa, jolloin vastuuvelan arvonmuutoksen vaikutus luottomarginaaliriskin pääomavaadetta laskettaessa tulee huomioiduksi.

## 7 Yhteenveto

Likviditeettipremio kuvastaa sellaista riskimarginaalia, joka liittyy tuotteen myyntiin liittyvään epävarmuuteen, joko toteutuvan hinnan tai ajankohdan suhteen. Tässä SHV-työssä on tutkittu, mitä vastuuvelan ennustettavuutta voidaan mitata ja mitä tämän perusteella voidaan sanoa vastuuvelkaan liittyvästä likviditeettipremiosta. Lisäksi on kuvattu miten likviditeettipremio vaikuttaa vastuuvelan markkinaehtoisesta nykyarvon määrittämisessä, millaista vaihtelua siitä voi syntyä, sekä miten tuota vaihtelua on mahdollista suojautua.

Mikäli vakuutusyhtiön vastuuvelka on luonteeltaan pitkäaikaista sekä epälikvidiä, yhtiön on mahdollista sijoittaa vastuuvelkaa kattavia varoja sijoituskohteisiin, jotka yhtiö voi odottaa pitävänsä pidempää, eikä joudu pakkomyymään sijoituksia yllättävän korvausmenon takia. Tässä työssä on kuvattu kaksi menetelmää, joilla vastuuvelan epälikvidisyyttä voidaan mallintaa. Tämän jälkeen on pohdittu, miten voidaan tunnistaa sellaisia sijoitustuotteita, jotka vastaisivat likviditeettitään vastuuvelan luonnetta.

Kun vastuuvelan luonnetta vastaava sijoitusportfolio on saatu määritettyä, työssä on kuvattu joitain menetelmiä, joilla kyseiseen sijoitusportfolioon kohdistuva likviditeettipremio voidaan laskea. Tämän voidaan tulkita vastaavan myös vastuuvelan likviditeettipremiota. Tämän jälkeen on esitetty vaihtoehtoja, joiden perusteella likviditeettipremio voidaan huomioida vastuuvelan nykyarvon laskennassa käytettävän korkokäyrän määrittämisessä. Likviditeettipremion huomioiminen korkokäyrässä luo vastuuvelan nykyarvoon komponentin, joka on herkkä markkinoilta havaittavista riskipremioista. Tämä synnyttää vastuuvelan arvostukseen tekijän, jota yhtiön tulisi seurata ja mahdollisesti hallita.

Periaatepohjainen IFRS 17 Vakuutus sopimukset –standardi mahdollistaa, että yhtiö voi itse määrittää menetelmän, jolla se laskee vastuuvelan likviditeettipremion, kun taas Solvenssi II –standardissa likviditeettipremio on ennalta annettu ja perusmuodossaan sama kaikille yhtiöille, ellei yhtiö ole hakenut tähän poikkeusmenettelyä. Tämän tarkoittaa sitä, että yhtiön IFRS-tuloksen sekä vakavaraisuuslaskennan mukaiset vastuuvelan nykyarvot voivat käyttäytyä eri tavoin, riippuen siitä missä määrin likviditeettipremioiden laskentatavat eroavat toisistaan. Tämä saattaa synnyttää yhtiöille uutta tarvetta tutkia vastuuvälähtöiseen sijoittamiseen pohjautuvia sijoitusstrategioita. Työn viimeisessä luvussa tutustutaan, miten replikoivia portfolioita voidaan hyödyntää vastuuvelan nykyarvon muutoksen suojaamisessa, mikäli yhtiö soveltaa vastuuvälähtöistä sijoitustoimintaa. Lisäksi luvussa pohditaan, miten kahden eri kehikon välistä nykyarvon määrittäystä voidaan hallita ja millaisia vaihtoehtoja tähän hallintaan on tarjolla.

## Viitteet

- [1] Asetus (EU) 2015/35. Euroopan komission asetus vakuutus- ja jälleenvakuutustoiminnan aloittamisesta ja harjoittamisesta annetun Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2009/138/EU täydentämisestä. Euroopan unionin virallinen lehti. 17.1.2015.
- [2] E. Candes and T. Tao. The dantzig selector: statistical estimation when  $p$  is much larger than  $n$ . *The Annals of Statistics*, 35, No. 6:2313–2351, 2007.
- [3] CEIOPS. Task force report on the liquidity premium, 2010.
- [4] D. Clay and J. Latto. IFRS 17 Discount Rate considerations.
- [5] EIOPA. Risk-free interest rate term structures.
- [6] EIOPA. Methodological principles of insurance stress testing liquidity component, 2021.
- [7] EIOPA. Technical documentation of the methodology to derive EIOPA’s risk-free interest rate term structures, 2022.
- [8] J. C. Hull. *Options, Futures and Other Derivatives*. Pearson Education, 2003.
- [9] IFRS Foundation. IFRS 17 –standardi, kappaleet 36 ja b72 – b85, 2020.
- [10] P. N. Kolm and G. Ritter. Dynamic replication and hedging: A reinforcement learning approach. *The Journal of Financial Data Science*, Winter 2019:159–171, 2019.
- [11] A. J. McNeil, F. Rudinger, and P. Embrechts. *Quantitative Risk Management, Concepts, Techniques and Tools*. Princeton University Press, 2015.
- [12] R. C. Merton. On the pricing of corporate debt: The risk structure of interest rates. *Journal of Finance*, 29:449–470, 1974.
- [13] C. Nelson and A. F. Siegel. Parsimonious Modeling of Yield Curves. *Journal of Business*, 60:473–489, 1987.
- [14] A. Papachristos. Case study on the ‘top-down’ approach, 2020.
- [15] D. Schrage. Replicating portfolios for insurance liabilities. *Aenorm*, 59:57–61, 2008.
- [16] K. Shang and Z. Hossen. Liability-Driven Investment, Benchmark model. *Society of Actuaries*, 2019.
- [17] Sosiaali- ja terveysministeriö. Asetus vakuutusyhtiölain 10 luvun mukaisessa vakavaraisuuslaskennassa käytettävästä vastaavuuskorjauksesta, 2015.
- [18] P. Sweeting. *Financial Enterprise Risk Management*. Cambridge University Press, 2017.
- [19] L. Tegels. Projections Using Replicating Portfolios for Insurance Liabilities. Master’s thesis, Maastricht University, 2015.
- [20] A. Thompson and N. Jessop. A Cost of Capital Approach to Estimating Credit Risk Premia. *Moody’s Analytics White Paper*, 2018.
- [21] A. Thompson and N. Jessop. IFRS 17 Credit and Illiquidity Premia Sensitivity and Backtesting. *Moody’s Analytics White Paper*, 2019.

## A Luottoriskijohdannaiset

Esitetään seuraavaksi yksinkertainen tapa hinnoitella luottoriskijohdannaisia yksinkertaistetuilla oletuksilla mukaillen Hullin [8] luvussa 27 esitettyä tapaa. Oletetaan yksinkertaistuksen vuoksi, että sijoituksen nimellisarvo on 1. Oletetaan lisäksi, että maksukyvyttömyys, korkotaso sekä palautumisaste ovat toisistaan riippumattomia. Oletetaan, että korvaus maksukyvyttömyyden toteutuessa on nimellisarvo sekä edellisen maksusuorituksen jälkeen kertynyt korko. Lähdetään liikkeelle tapauksesta, jossa maksukyvyttömyyden sallitaan tapahtuvan vain hetkinä  $t_1, t_2, \dots, t_n$ . Määritellään

$T$  : Luottoriskijohdannaissopimuksen pituus vuosina

$p_i$  : Maksukyvyttömyyden riskineutraali todennäköisyys hetkellä  $t_i$

$\hat{R}$  : Kohteen sijoituksen odotettu palautumisaste

$u(t)$  : Maksujen nykyarvo, kun maksu on 1 vuodessa ja maksu hetket ovat välillä 0 ja  $t$  vuotta

$e(t)$  : Maksun nykyarvo euroina hetkellä  $t$ , joka on sama kuin  $t - t^*$ , missä  $t^*$  on hetkeä  $t$  edeltänyt viimeisin maksupäivä, kun molemmat mitataan vuosina

$v(t)$  : Nimellisarvon 1 nykyarvo, joka saadaan hetkellä  $t$

$w$  : Maksujen lukumäärä vuodessa, jonka suojan ostanut maksaa

$s$  : Se  $w$ :n arvo, jolla luottoriskijohdannaisten arvo on 0

$\pi$  : Riskineutraali todennäköisyys sille, että maksukyvyttömyystapahtumaa ei tapahdu sopimuksen voimassaoloaikana

$A(t)$  : Kohteena olevan sijoituksesta kertynyt korko hetkellä  $t$ , prosenttia nimellisarvosta

Lähdetään hinnoittelemaan suoja- ja palkkiomaksua erikseen. Ensin havaitaan kuitenkin, että

$$\pi = 1 - \sum_{i=1}^n p_i.$$

Lisäksi, koska maksut jatkuvat siihen saakka, kunnes maksukyvyttömyystapahtuma toteutuu tai aika  $T$  on kulunut, niin maksujen nykyarvo on

$$w \sum_{i=1}^n [u(t_i) + e(t_i)] p_i + w\pi u(T).$$

Mikäli luottotapahtuma toteutuu hetkellä  $t_i$ , riskineutraali odotettu nykyarvo kohteena olevasta sijoituksesta on  $[1 + A(t_i)] \hat{R}$ , mikä on ilmaistuna prosenttiosuutena nimellisarvosta. Tällöin luottoriskijohdannaisten odotettu maksu on

$$1 - [1 + A(t_i)] \hat{R} = 1 - \hat{R} - A(t_i) \hat{R}.$$

Odotetun maksun nykyarvo on tällöin

$$\sum_{i=1}^n [1 - \hat{R} - A(t_i) \hat{R}] p_i v(t_i).$$

Suojan ostajalle luottoriskijohdannaisten hinta on odotetun maksun nykyarvon sekä tulevien maksujen nykyarvon erotus

$$\sum_{i=1}^n [1 - \hat{R} - A(t_i) \hat{R}] p_i v(t_i) - w \sum_{i=1}^n [u(t_i) + e(t_i)] p_i + w\pi u(T).$$

Luottoriskijohdannaisten riskimarginaali  $s$ , on siis se  $w$ :n arvo, jolla edellinen saa arvon nolla, eli

$$s = \frac{\sum_{i=1}^n [1 - \hat{R} - A(t_i) \hat{R}] p_i v(t_i)}{\sum_{i=1}^n [u(t_i) + e(t_i)] p_i + w\pi u(T)}. \quad (6)$$

Mikäli tarkastelua laajennetaan siten, että maksukyvyttömyyden sallitaan tapahtuvan koska tahansa, yhtälö 6 voidaan kirjoittaa jatkuvaan muotoon. Muutetaan merkintää hieman. Olkoon  $q(t)$  maksukyvyttömyyden riskineutraali tiheysfunktio hetkellä  $t$ . Tällöin yhtälö (6) saa muodon

$$s = \frac{\int_{i=1}^n [1 - \hat{R} - A(t_i)\hat{R}]q(t)v(t)dt}{\int_{i=1}^n [u(t_i) + e(t_i)]q(t)dt + w\pi u(T)}.$$

Edellä esitetty malli luottoriskijohdannaisten hinnoitteluun riittää toistaiseksi, jotta ymmärretään ylätasolla, miten nämä tuotteet toimivat. Riskienhallinnallisesti on kuitenkin tärkeää havaita, että edellinen pohjautuu oletukseen, että maksukyvyttömyys, korkotaso sekä palautumisaste eivät korreloi keskenään ja että maksukyvyttömyystodennäköisyys noudattaa riskineutraalia  $p_i$  maksukyvyttömyystodennäköisyyttä hetkellä  $t_i$ . Kirjan [11] luvussa 10.5 on esitetty, miten hinnoittelu muuttuu, kun sallitaan maksukyvyttömyystodennäköisyyden, korkojen sekä palautumisasteen olevan stokastisia.

## B Osto- ja myyntioptiot

Sijoitusmarkkinoilla optiot ovat arvopapereina johdannaisopimuksia, joissa option myyjä antaa sitovan lupauksen kaupan toteuttamisesta jollakin kohde-etuudella sovittuna hetkenä tulevaisuudessa ja tiettyyn hintaan. Option ostaja voi puolestaan päättää toteutetaanko option ehtojen mukainen kauppa. Mikäli optio voidaan toteuttaa vain sovittu ajanjakson lopussa, puhutaan eurooppalaisista optioista. Mikäli puolestaan option haltijalla on mahdollisuus toteuttaa optio koska tahansa ennen option eräpäivää, puhutaan amerikkalaisista optioista. Yksinkertaisuuden vuoksi käsittelemme alla vain eurooppalaisia optioita.

Osto-optio antaa sen haltijalle oikeuden, mutta ei velvollisuutta, ostaa ennalta sovittu kohde-etuus sovittuna toteutuspäivänä optiossa sovittuun hintaan. Näin ollen, mikäli kohde-etuuden arvo on tarkastelujakson lopussa korkeampi kuin optiossa mainittu hinta, option haltija lunastaa option ja option arvo on suurempi kuin sen toteutushinta. Jos taas kohde-etuuden arvo on jakson lopussa sovittua hintaa alhaisempi, niin optio erääntyy arvottomana ja option haltija ei saa mitään ja menettää vain optiosta maksamansa hinnan. Täten option omistajan tappio on rajoitettu ja tuoton yläraja on kohde-etuuden arvo. Vaistomaisesti voidaan ajatella, että option arvo  $P$  toteutushetkellä on

$$P_{osto} = \begin{cases} A - L & \text{jos } A > L, \\ 0 & \text{jos } A \leq L, \end{cases}$$

missä  $A$  on kohde-etuuden arvo ja  $L$  on optiossa sovittu toteutushinta. Yllä oleva yhtälöpari voidaan vielä kirjoittaa tiiviimmässä muodossa

$$P_{osto} = \max(A - L, 0).$$

Vastaava päättely voidaan tehdä myyntioptiolla, jossa haltijalla on oikeus, mutta ei velvollisuutta, myydä ennalta sovittu kohde-etuus kuten yllä. Näissä ainoa ero on, että mikäli kohde-etuuden arvo on tarkastelujakson lopussa toteutushintaa alhaisempi, optio lunastetaan ja sen arvo on kasvanut. Muussa tapauksessa myyntioptio erääntyy arvottomana. Edellisen päättelyn mukaisesti myyntioption arvo lopussa voidaan esittää muodossa

$$P_{myynti} = \max(L - A, 0).$$

Yllä on käsitelty option arvoa ostajan näkökulmasta. Myyjän näkökulmasta ajateltuna positio on vastakkainen.



## C Pääoman kustannukseen perustuva malli luottoriskipremioiden arvioinnissa

Luvussa 5 johdettiin se, miten maksukyvyttömyyden todennäköisyys voidaan määrittää Mertinin mallia hyödyntämällä reaalisen todennäköisyysmitan vallitessa. Odottamattomien luottoriskien määrittämistä varten on kuitenkin vielä pohdittava, kuinka paljon edellä mainitun mallin antamia maksukyvyttömyyden todennäköisyyksiä tulee muokata, jotta saisimme arvioitua sopivan riskipremion kuvastamaan odottamattomia luottoriskejä. Eräs tapa arvioida tätä on tutkia, mikä on tutkittavan yrityksen pääomarakenne [20]. Lähdetään liikkeelle tavallisesta pääomakustannuksesta (CoC):

$$\text{CoC} = K_d \cdot P_i + (1 - P_i) \cdot K_e,$$

missä  $P_i$  on yhtiön leveraatio,  $K_d$  on vieraan pääoman kustannus ja  $K_e$  oman pääoman kustannus.

### Yrityskohtainen laskentatapa

Koska tavoitteena on löytää riskipremio tai ylituotto suhteessa riskittömään korkoon, voidaan määrittellä painotetun pääomakustannuksen (WACC) pohjautuvan estimaatin luottoriskipremiolle muodossa  $\mu_A^{WACC} = \text{CoC} - r_f$ , missä  $r_f$  on riskitön korko. Tätä notaatiota tarkastelemalla havaitaan, että vieraan pääoman kustannus on käytännössä yrityslainan luottoriskimarginaali ja oman pääoman kustannus on sopiva osakeriskipremio. Mikäli edellisessä vielä huomioidaan marginaalinen verohelpotus veloille, mikä tavallisesti tehdään, tutkittava riskipremio yksittäisen joukkovelkakirjalainan kohdalla saa muodon

$$\mu_{A,i}^{WACC} = P_i \cdot \text{OAS}_i \cdot \text{Tax} + (1 - P_i) \cdot (r_{E,i} - r_f). \quad (7)$$

Edellä OAS kuvastaa optiokorjattua luottoriskimarginaalia eli luottoriskimarginaalia, josta on korjattu mahdollisen call-option hinta pois, ja  $r_E$  on oman pääoman odotettu tuotto.

Yksittäisen yhtiön kohdalla laskettu painotetun pääomakustannuksen estimaatti luottoriskipremiolle, joka kattaa sekä odotetun että odottamattoman luottoriskin, voidaan kirjoittaa muodossa

$$\text{Luottoriskimarginaali}_{WACC} = -\frac{1}{T} \ln \left( 1 - N \left( N^{-1}(\text{CPD}_i) + \frac{\mu_{A,i}^{WACC}}{\sigma_{A_i}} \sqrt{T_i} \right) \cdot \text{LGD}_i \right).$$

Yhtiökohtaisesti laskettuna arviot voivat sisältää paljon kohinaa, sillä epävarmuutta liittyy lähes jokaiseen termiin, joka edellä esiintyy. Koska luottoriskipremiota tarvitaan vain portfoliotasolla, tätä kohinaa on mahdollista vähentää käyttämällä portfoliotasoisia estimaatteja edellä esitetyistä parametreistä. Esitetään seuraavaksi vielä lyhyesti, miten laskenta muuttuu, jos siirrytään käyttämään portfoliotasoisia oletuksia.

### Portfoliotasoinen laskentatapa

Portfoliotasoisessa laskentatavassa lähdetään aluksi liikkeelle markkinoiden implikoimasta ylituotosta. Tavoitteena on skaalata tätä ylituottoa markkinainformaatiosta kerätyillä portfoliotasoisilla muuttujilla. Kirjoitetaan alkuperäinen luottomarginaali odotetuille luottotappioille (4) uudella tavalla reaalisen maksukyvyttömyyden todennäköisyyden vallitessa:

$$\text{Odotettu luottotappio spread} = \frac{1}{T} \ln(1 - N(N^{-1}(\text{CPD}) + \beta\gamma\sqrt{T}) \cdot \text{LGD}), \quad (8)$$

missä  $\gamma$  on määritely olemaan riskin markkinahinta,  $\beta$  on yrityksen arvon beta ja  $\mu_A$  on yrityksen riski premio ja joilla on seuraava relaatio

$$\beta\lambda = \frac{\mu_A}{\sigma_A}.$$

Järjestelemällä yhtälön (8) termit uudelleen, ottaen huomioon, että markkinoilta havaituissa luottoriskimarginaaleissa saattaa olla optiota, termi  $\mu_A$  voidaan ratkaista

$$\mu_{A,i}^{MI} = \frac{\sigma_{A_i}}{\sqrt{T}} \left( N^{-1} \left( \frac{1 - \exp(-\text{OAS} \cdot T)}{\text{LGD}} \right) - N^{-1}(\text{CPD}_i) \right).$$

Yllä johdettu luottoriskimarginaali kuvastaa siis markkinoiden hinnoittelemaa teoreettista luottoriskipreemiota, joka pitää sisällään kaiken riskin, myös likviditeetistä johtuvat riskit. Tavoitteena on ottaa jokin portfoliotasoisesti johdettu suhteellinen osuus tästä luottoriskimarginaalista. Suhdelukuna sovelletaan riskin hintaa, joko mallin implikoimana tai sitten portfoliotasolla määritettynä arviona. Portfoliotasoinen riskin hinta voidaan laskea jakamalla yhtälössä (7) esitetty riskipremio volatilitteetilla. Tällöin portfoliotasolla laskettu riskin hinta saa muodon

$$\lambda_{Port}^{WACC} = \frac{P \cdot OAS_{port} \cdot \text{Tax} + (1 - P) \cdot (\mu_{port} - r)}{\sigma_{port}},$$

missä OAS on portfolion keskimääräinen optiokorjattu luottoriskimarginaali,  $P$  on keskimääräinen leveraatio,  $\mu_{port}$  on keskimääräinen osakepremio sekä  $\sigma_{port}$  on keskimääräinen volatilitteetti.

Markkinadatan implikoima riskin hinta voidaan määrittää, kun minimoidaan markkinoilta havaittujen jokaisen joukkovelkakirjan luottoriskimarginaalin,  $S$ , erotus mallin implikoimaan luottoriskimarginaaliin, eli

$$\lambda_{port}^{MI} = \arg \min_{\lambda} \left( \text{abs} \left( \sum_i S_i + \frac{1}{T_i} \ln(1 - N(N^{-1}(CEDF_i) + \lambda \sqrt{T_i}) \cdot \text{LGD}_i) \right) \right).$$

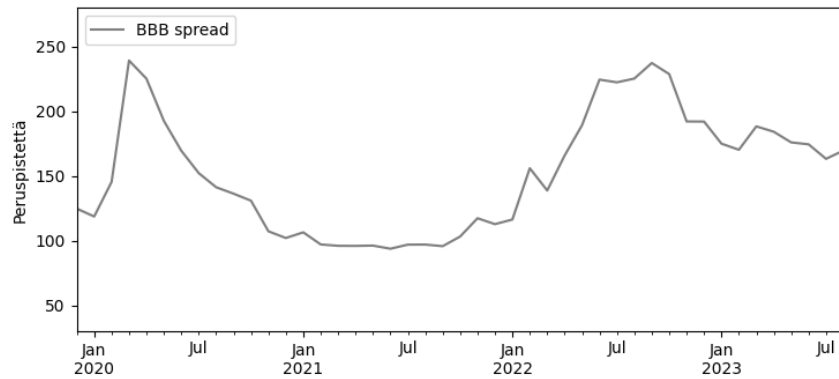
Lopulta etsitty luottoriskipremio on muotoa

$$\mu_{A_i}^{CRP} = \mu_{A_i}^{MI} \cdot \frac{\lambda_{port}^{WACC}}{\lambda_{port}^{MI}}.$$

## D Aineisto

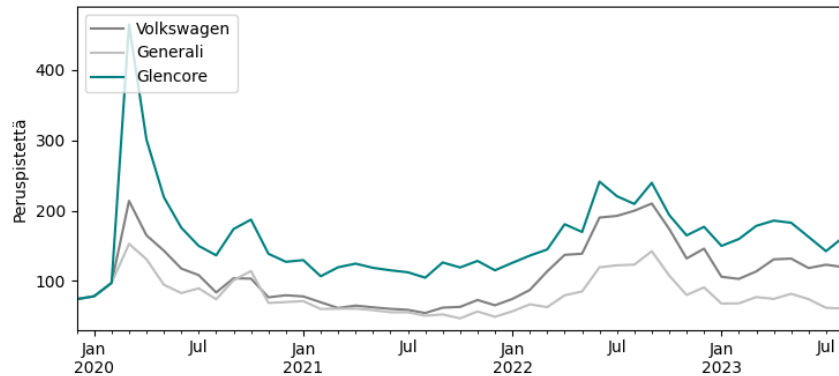
### D.1 Markkinapohjaisen mallin toteutus

Markkinapohjainen malli toteutettiin tutkimalla BBB-luottoluokituksen omaavia yrityksiä. Lopulliseen toteutukseen valittiin kolme yritystä, joille poimittiin niiden luottoriskijohdannaisten palkkiomaksut eli CDS-spreadit. Näistä kolmesta CDS-spreadista muodostettiin painotettu keskiarvo, joka kuvastaa portfolion keskimääräistä CDS-spreadia. Tutkittavat luottoriskijohdannaiset olivat maturiteetiltaan 5-vuotisia, joten markkinoilta etsittiin laaja BBB-luottoluokitusta kuvaava indeksi, jonka luottoriskipreemioon portfolion CDS-spreadia verrattiin. Kuvassa 8 on esitetty laajan BBB-indeksin luottoriskipreemio aikavälillä 1.1.2020–31.8.2023.



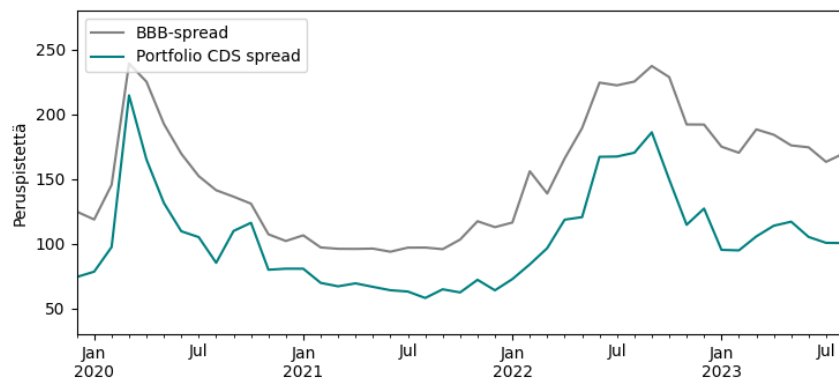
Kuva 8: Laaja BBB-spread, lähde Markit

Kuvassa 9 on esitetty tutkitun kolmen yhtiön CDS-spreadit aikaväliltä 1.1.2020–31.8.2023.



Kuva 9: CDS-spreadi, lähde Bloomberg

Kuvaan 10 on yhdistetty laajan BBB-spreadin lisäksi painotettu CDS-spread. Täten BBB-luottoluokitusta vastaava likviditeettipreemio saadaan näiden kahden erotuksena.



Kuva 10: BBB-spread ja portfolio CDS

Yllä oleva BBB-luottoluokitusta vastaava likviditeettipremio on sama molemmille yhtiöille. Tämän jälkeen huomioitiin yhtiöiden vastuuvelan likvidisyyttä vastaavat portfoliot, jotka on johdettu luvussa 4.

Yhtiön 1 referenssiportfoliossa on mukana myös 10 prosenttia high yield-luottoluokituksen omaavia sijoituksia. Näiden kohdalla tehtiin oletus, että likviditeettipremio on 35 prosenttia suurempi kuin BBB-luottoluokituksen omaavien yritysten. Yhtiön 2 referenssiportfoliossa on puolestaan 10 prosenttia käteistä sekä korkeimman luottoluokituksen yritys- ja valtionlainsijoituksia. Näiden kohdalta oletettiin, että likviditeettipremiota ei ole.

## D.2 Replikoinnin toteutus

Taulukossa 6 on kuvattu osa satunnaisesti muodostetusta skenaariomatriisista  $Z$ , jonka avulla luvussa 6.2 esitetty replikointi on toteutettu. Skenaariomatriisissa on kuvattuna riskittömän koron muutos sekä luottoluokakohtaisesti määritellyt luottoriskimarginaalien muutokset. Luottoriskimarginaalien muutosten avulla on laskettu sekä volatilitteettikorjauksen että sovellettavan likviditeettipremion ennusteet.

Scenario	InterestRate	AAA	AA	A	BBB	HY	IP_estimate	VA_estimate
0	0.070	2.772	3.818	6.675	10.651	30.459	69.799	24.323
1	-0.841	6.610	9.106	15.917	25.401	72.637	83.369	28.924
2	-0.327	-20.332	-28.008	-48.959	-78.127	-223.417	-11.877	-3.372
3	0.036	4.621	6.365	11.127	17.756	50.775	76.335	26.539
4	-0.680	-2.933	-4.040	-7.063	-11.270	-32.229	49.631	17.484
5	-0.342	8.174	11.259	19.682	31.408	89.816	88.895	30.798
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1497	0.078	-6.795	-9.360	-16.363	-26.111	-74.668	35.978	12.855
1498	0.345	-24.331	-33.517	-58.590	-93.497	-267.369	-26.017	-8.167
1499	0.135	-4.474	-6.163	-10.774	-17.193	-49.165	44.183	15.637

Taulukko 6: Skenaariomatriisi

Taulukossa 7 on esitettyä osa käytetyn sijoitusvarauuden sijoitustuotteista. Jokainen sarake kuvastaa yhtä sijoitustuotetta ja sen herkkyyttä korkotason muutokselle tai tietyn luottoluokituksen luottoriskipremion muutokselle. Työssä käytetyssä sijoitusvarauudessa oli yhteensä 24 eri sijoitustuotetta.

	swap20	AAA12_fixed	AA9_fixed	A8_float	A4_fixed	BBB7_float	HY5_float
Duration	17.5	11	8	0.25	3.5	0.25	0.25
AAA	0.0	11	0	0.00	0.0	0.00	0.00
AA	0.0	0	8	0.00	0.0	0.00	0.00
A	0.0	0	0	7.00	3.5	0.00	0.00
BBB	0.0	0	0	0.00	0.0	6.00	0.00
HY	0.0	0	0	0.00	0.0	0.00	4.50

Taulukko 7: Sijoitusvaraus

Edellä esitettyjen matriisien avulla saadaan määritettyä sijoitustuotteiden skenaariokohtaiset arvonmuutokset ja tallennettua ne omaan matriisiin, joka on esitetty taulukossa 8.

Scenario	swap20	AAA12_fixed	AA9_fixed	A8_float	A4_fixed	BBB7_float	HY5_float
0	-1.23	-31.26	-31.11	-46.74	-23.61	-63.93	-137.08
1	14.71	-63.46	-66.12	-111.21	-52.77	-152.19	-326.66
2	5.72	227.24	226.68	342.79	172.50	468.84	1005.46
3	-0.64	-51.23	-51.21	-77.90	-39.07	-106.54	-228.50
4	11.89	39.74	37.76	49.61	27.10	67.79	145.20
5	5.98	-86.15	-87.34	-137.69	-67.69	-188.36	-404.09
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1497	-1.36	73.89	74.26	114.52	57.00	156.65	335.99
1498	-6.04	263.85	265.38	410.05	203.86	560.90	1203.08
1499	-2.36	47.73	48.23	75.38	37.24	103.12	221.21

Taulukko 8: Skenaarioiden tulokset