

Riskien havainnollistamisohjelmisto RiskDemo

Arto Luoma

RiskDemo on vapaasti käytettävä ohjelmistotyökalu, joka on tarkoitettu havainnollistamaan riskejä todennäköisyyslaskennan ja tilastotieteen näkökulmasta. Ohjelmalla voidaan havainnollistaa riskejä monenlaisten graafisten esitysten, taulukoiden ja riskilukujen avulla. Tällä hetkellä sillä voidaan havainnollistaa demografiaa, korko- ja osakesijoittamista sekä klassista vararikkoteoriaa. Tässä artikkelissa esitellään RiskDemo-ohjelmiston ominaisuudet ja opastetaan sen käyttämiseen riskien havainnollistamisessa. Lukija voi RiskDemon avulla tutustua moniin riskienhallinnan avainkäsitteisiin havainnollisessa ja konkreettisessa muodossa.

Johdanto

Riskien visualisoinnilla on tärkeä tehtävä riskienhallintaprosessissa. Se auttaa sekä hallitsemaan riskejä että kommunikoimaan niistä. Eppler ja Aeschmann (2009) esittävät yleisen viitekehyksen, miten visualisointia voidaan soveltaa eri tilanteissa ja eri kohderyhmille. Visualisointimenetelmät voivat olla luonteeltaan sekä laadullisia että määrällisiä. RiskDemon tavoite on kuitenkin rajatumpi: se on ensisijaisesti opetuksellinen ja keskittyy nimenomaan määrälliseen riskienhallintaan. Se auttaa näkemään, miten erilaiset luvut ja kuviot palautuvat todellisiin tilastoaineistoihin.

RiskDemon avulla voidaan havainnollistaa riskienhallintaan liittyvää todennäköisyyslaskentaa. Sovelluskohteita ovat osake- ja korkosijoittaminen, vararikkoteoria ja demografia. Riskiä voidaan havainnollistaa monenlaisten graafisten esitysten, taulukoiden ja riskilukujen avulla.

RiskDemo toimii R-ympäristössä, joka on erityisesti tilastolliseen mallintamiseen ja grafiikkaan suunniteltu avoimen lähdekoodin ohjelmisto (R Core Team 2017). R-ohjelmistoa sovelletaan nykyään hyvin laajasti sekä opetuk-

sessä että tieteellisessä tutkimuksessa. Sen etuna on sen ilmaisuuden lisäksi helppo laajennettavuus: käyttäjät voivat itse ohjelmoida omiin sovelluksiinsa räätälöityjä lisäpaketteja ja saattaa ne halutessaan muiden saataville. R itse lähdekoodineen, binääritiedostoineen ja dokumentaatioineen sekä laaja kokoelma lisäpaketteja on saatavilla CRAN-verkostosta (Comprehensive R Archive Network).

R itsessään ei liene helppokäyttöisin aloittelijalle soveltuva tilastollinen ohjelmisto, sillä sen käyttö perustuu komentoriville kirjoitettaviin käskyihin. Tämän vuoksi on kehitetty useita graafisia käyttöliittymiä käytön helpottamiseksi. Näistä yksi kehittyneimpiä on R Commander, jonka valikkojen avulla voidaan tehdä erilaisia perusanalyysyjä (Fox & Bouchet-Valat 2017; Fox 2017; 2005). R Commander itsessään sisältää vain rajallisen määrän toimintoja mutta sitä on helppo laajentaa ohjelmoimalla siihen liitännäisiä (Fox 2007). Sen avulla on helppo tehdä esimerkiksi graafisia käyttöliittymiä R:n lisäpaketeille. Myös RiskDemo on toteutettu R Commanderin liitännäisenä.

Toinen esimerkki siitä, miten R-kielellä ohjelmoidut tilastolliset analyysimenetelmät on tuotu soveltajien ulottuville, on meta-analyysiin soveltuva OpenMeta-Analyst (Wallace ym. 2012). Tämä ohjelmisto yhdistää Python-kielellä koodatun käyttöliittymän R-kielellä toteutettuun laskentaan. Vaikka käyttöliittymä onkin laadittu ensisijaisesti meta-analyysiä varten, se voidaan myös helposti liittää muunlaisiin analyysihin.

Ohjelmiston kehittäjät ovat kiinnittäneet huomion siihen, että edistyneimmät menetelmät koodataan usein ensin tilastolliseen analyysiin suunnitelluilla ohjelmointikielillä, kuten R, SAS tai Stata, joita ei-tekniset tutkijat eivät ole tottuneet käyttämään. Tästä aiheutuu usein huomattava viive, ennen kuin uudet menetelmät tulevat laajempaan käyttöön.

Yksi RiskDemon esikuvista on R-paketti TeachingDemos, jonka avulla voidaan havainnollistaa tilastotieteen ja todennäköisyyslaskennan peruskäsitteitä (Snow 2016). Se soveltuu sekä itseopiskeluun että luokkahuoneessa käytettäväksi. Osa paketin ominaisuuksista, kuten keskeisen raja-arvolauseen havainnollistaminen ja erilaisten jakaumien visualisointi, ovat hyödyllisiä myös riskienhallinnan kannalta, joten pakettia on hyödyllistä käyttää RiskDemon rinnalla. Myös tämä paketti on saatavilla R Commander -liitännäisenä.

RiskDemon demografia-osuus perustuu oleellisin osin Rob Hyndmanin (2017) ohjelmoimaan R-pakettiin demography. Paketti sisältää huomattavan määrän työkaluja hedelmällisyys- ja kuolleisuusaineistojen havainnollistamiseen ja analysointiin. RiskDemo tarjoaa helppokäyttöisen käyttöliittymän grafitkan tuottamiseen ja perusanalyysien tekemiseen sekä auttaa samalla demography-paketin käyttömahdollisuuksiin tutustumisessa.

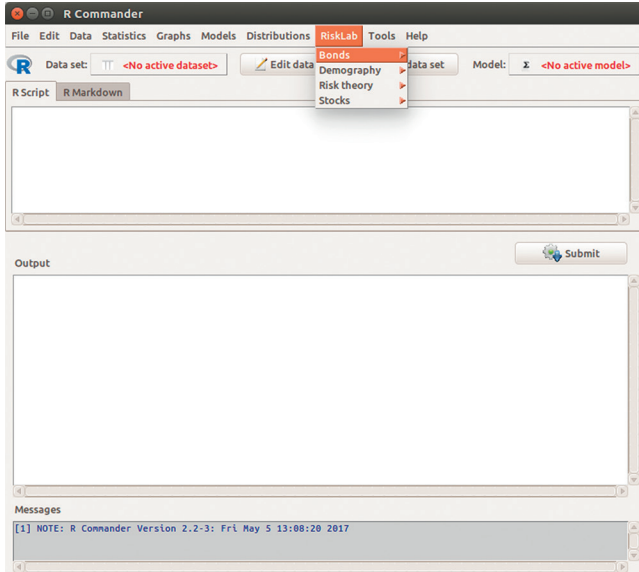
Toinen laajempi kokonaisuus on osakesalkun optimointi ja siihen liittyvä grafiikka. Vaikka salkun optimointi sisältyy ainakin kolmeen R-pakettiin (PortfolioAnalytics, Rmetrics ja tseries), RiskDemo ei riipu niistä, ja vastaavaa graafista toteutusta R-ympäristössä ei ole kirjoittajan tiedossa.

RiskDemon asentaminen ja käynnistäminen

Sen jälkeen, kun itse R on asennettu, voidaan RiskDemo asentaa kuten mikä tahansa R:n lisäpaketti. Kun R on käynnistetty, paketti voidaan asentaa kirjoittamalla R:n komento-rivillä ”install.packages(”RcmdrPlugin.RiskDemo”, dependencies=TRUE)”. Tämän jälkeen avautuu valikko, josta voidaan valita, miltä CRAN-peilisivustolta paketti ladataan. RiskDemon tarvitsemat apupaketit asentuvat automaattisesti, mutta tämä voi viedä jonkin verran aikaa ellei paketteja ole jo valmiiksi asennettuna. Toinen mahdollisuus asennukseen on valita Windowsin RGui:n valikosta ”Packages” kohta ”Install package(s)...”.

Ohjelma käynnistetään joko kirjoittamalla R-istunnossa ”load.packages(RcmdrPlugin.RiskDemo)” tai valitsemalla Windowsin RGui:n valikosta ”Packages” kohta ”Load package ...” ja valitsemalla avautuvasta valikosta ”RcmdrPlugin.RiskDemo”. Tämän jälkeen avautuu R Commander -ikkuna, jonka valikosta ”RiskDemo” valitaan yksi sovelluksista Bonds, Demography, Risk Theory tai Stocks (kuva 1). Valinnan jälkeen avautuu dialogi-ikkuna, jossa voidaan määritellä erilaisia laskelmia tai tuloskuvioita. Painamalla ”Apply” tai ”OK” nämä tehtävät voidaan toteuttaa; ”Apply” jättää valinta-ikkunan auki ja ”OK” sulkee sen.

Tulokset ilmaantuvat R Commanderin tulosikkunaan. Lisäksi sinne ilmaantuvat R-koodit, joilla tulokset on tuotettu. Nämä tulokset olisi mahdollista tuottaa myös kirjoittamalla koodi suoraan R Commanderin syöteikkunaan (R Script) ja painamalla tulosikkunan nappulasta ”Submit”. Koodi on



Kuva 1.
R Commanderin
valintaikkuna

myös mahdollista suorittaa kirjoittamalla se R:n komentoriville (ikkunaan, josta RiskDemo käynnistettiin,) ja painamalla ”Enter”. Lisäksi voi avautua ikkunoita, joissa on havainnollistavia kuvioita. Jotkut näistä kuvioista tuotetaan automaattisesti ja jotkut voidaan valita valikoista. R-koodi koostuu erilaisista funktiokutsuista, joista voi saada lisätietoa kirjoittamalla R:n komentorivillä kysymysmerkki ja funktion nimi ilman argumentteja, esimerkiksi ?bondPrice bondin hintalaskurin tapauksessa.

Bonds-valikko

Bonds-valikossa on kaksi vaihtoehtoa: ”Determine bond price” ja ”Draw yield curves”. Ensimmäistä vaihtoehtoa voidaan käyttää bondien hintojen laskemiseen ja jälkimmäistä termiini- ja tuottokäyrien piirtämiseen. Hintojen laskemisen periaatteet on kuvattu esim. Bodien, Kanen ja Marcusin oppikirjassa Investments, luvussa 14, Bond Prices and Yields (2014). Korkojen aikarakenne on esitetty luvussa 15, The Term Structure of Interest Rates.

Bondin binnan laskeminen

Avautuvan ikkunan (kuva 2) yläosassa on kaksi liukuvalikkoa, joista voidaan valita bondin ostoajankohta (Settlement date) ja eräpäivä (Maturity date). Alempana oleviin laatikkoihin voidaan täydentää vuosikorko (Annual coupon rate) ja koron maksukertojen lukumäärä vuodessa (Coupon payments per year). Tämän jälkeen täydennetään jompaan kumpaan alimmista laatikoista joko tuottokorko (Yield to maturity), jos halutaan määrittää bondin hinta, tai bondin hinta prosentteina nimellisarvosta (Flat price), jos halutaan laskea tuottokorko. On huomattava, että tässä bondin hinta on ns. flat price eli se vastaa bondin arvoa edellisen koronmaksun tapahduttua, jolloin se ei sisällä tämän jälkeen kertynyttä korkotuottoa. Lopuksi painetaan joko ”Apply” tai ”OK”.

Tämän jälkeen R Commanderin tulosikkunaan ilmestyvät seuraavat tiedot: tuottokorko desimaalilukuna (yieldToMaturity), bondin hinta edellisestä koronmaksupäivänä (flatPrice), päivien lukumäärä edellisestä koronmaksupäivästä (daysSinceLastCoupon), edellisen koronmaksupäivän jälkeen kertynyt korko (accruedInterest) ja bondin hinta ostohetkellä (invoicePrice). Hinnat ja kertynyt korko on annettu prosentteina bondin nimellisarvosta.

Calculating bond yield or price

Settlement date

Year	Month	Day
2000	Jan	1
2001	Feb	2
2002	Mar	3
2003	Apr	4
2004	May	5
2005	Jun	6

Maturity date

Year	Month	Day
2000	Jan	26
2001	Feb	27
2002	Mar	28
2003	Apr	29
2004	May	30
2005	Jun	31

Annual coupon rate (%)

Coupon payments per year

Fill either yield to maturity or flat price

Yield to maturity (%)

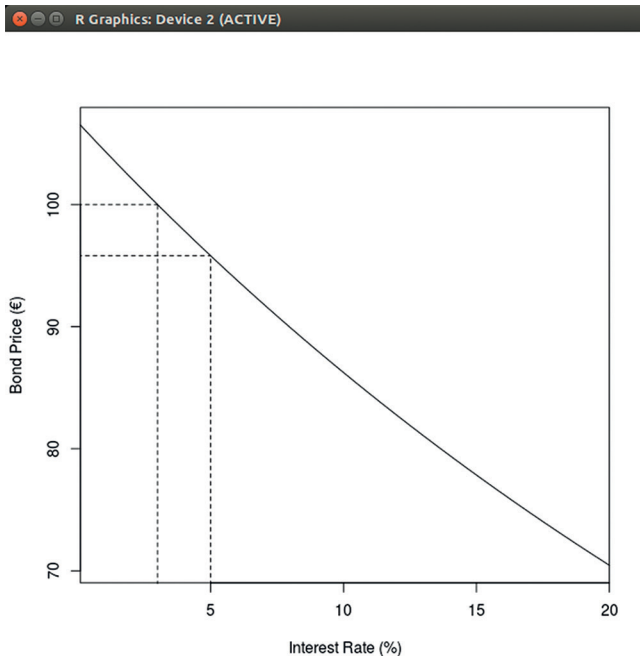
Flat price (% of par)

Kuva 2.
Bondilaskurin
valintaikkuna

Lisäksi tulostetaan kuvio (kuva 3), jossa esitetään bondin hinta korkotason funktiona. Perustiedot vastaavat dialogissa annettuja. Katkoviivojen avulla kuvataan kahta tilannetta: 1) Bondin markkinahinta on yhtä suuri kuin nimellisarvo, jolloin tuottokorko voi olla suurempi tai pienempi kuin kuponkikorko, 2) Tuottokorko on yhtä suuri kuin kuponkikorko, jolloin bondin arvo voi olla suurempi tai pienempi kuin nimellisarvo.

Tuotto- ja termiinikäyrien piirtäminen

Ikkunasta ”Drawing a yield curve” on mahdollista piirtää termiini- ja tuottokäyriä, jotka vastaavat Euro-alueen valtioiden liikkeelle laskemien bondien tuottoja (kuva 4). Käyrien parametrit on ladattu Euroopan keskuspankin (ECB) verkkosivuilta ja ne kattavat aikavälin 6.9.2004–28.4.2017 (RiskDemo-versio 1.7). Jos käyttäjä yrittää piirtää käyriä tämän aikavälin ul-



*Kuva 3.
Bondin hinnan ja
korkotason yhteys.
Katkoviivat kuvaavat
kahta tilannetta:
ensimmäisessä
bondin hinta on
sama kuin sen
nimellisarvo ja
toisessa korkotaso
on yhtä suuri
kuponkikorko*

Drawing a yield curve

First date

Year	Month	Day
None	Jul	1
2004	Aug	2
2005	Sep	3
2006	Oct	4
2007	Nov	5
2008	Dec	6

Second date (optional)

Year	Month	Day
2012	Jan	26
2013	Feb	27
2014	Mar	28
2015	Apr	29
2016	May	30
2017	Jun	31

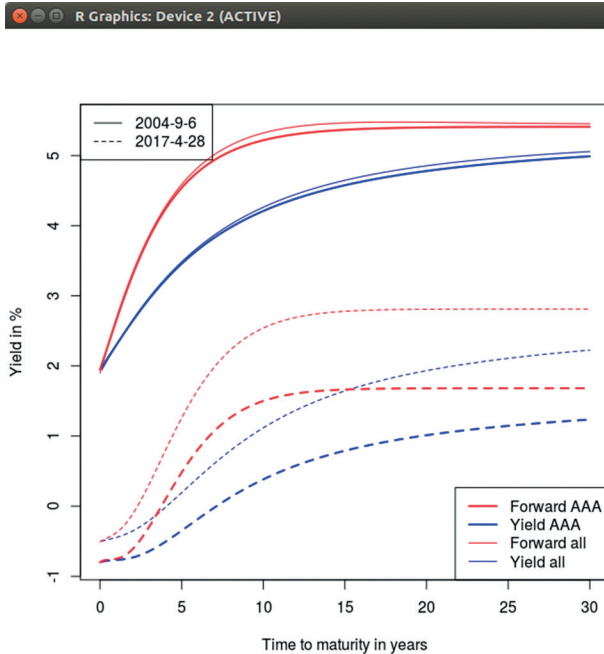
Yield curve ?
 Forward curve ?
 AAA bonds ?
 All bonds ?

Kuva 4.
Tuottokäyrien
piirtämisen
valintaikkuna

kopuolelta tai päivinä, jolloin bondien hintoja ei ole noteerattu, RiskDemo antaa tulosikkunaan varoituksen: ”Data for this date are unavailable”.

Valintaikkunan yläosan liukuvalikoista valitaan päivämäärä, jolle käyrät piirretään. Vertailua varten on myös mahdollista määritellä alemmista valikoista toinen päivämäärä. Vasemmalla alhaalla olevista valintaruuduista voidaan valita, piirretäänkö tuottokäyrä vai termiinikäyrä vai molemmat. Oikealla puolella olevista ruuduista voidaan valita, piirretäänkö käyrä AAA-luokitelluille bondeille vai kaikille bondeille. Kuvassa 5 on esimerkki tilanteesta, jossa käyrät on piirretty kahdelle päivämäärälle. Yhtenäiset käyrät vastaavat ensimmäistä päivämäärää ja katkoviivat toista. Termiinikäyrät ovat punaisella ja tuottokäyrät ovat sinisellä. Paksummat viivat vastaavat AAA-luokiteltuja bondeja ja ohuemmat kaikkia bondeja.

Valintaikkunan yläosan liukuvalikoista valitaan päivämäärä, jolle käyrät piirretään. Vertailua varten on myös mahdollista määritellä alemmista valikoista toinen päivämäärä. Vasemmalla alhaalla olevista valintaruuduista voidaan valita, piirretäänkö tuottokäyrä vai termiinikäyrä vai molemmat. Oikealla puolella olevista ruuduista voidaan valita, piirretäänkö käyrä AAA-luokitelluille bondeille vai kaikille bondeille. Kuvassa 5 on esimerkki tilanteesta, jossa käyrät on piirretty kahdelle päivämäärälle. Yhtenäiset käyrät vastaavat ensimmäistä päivämäärää ja katkoviivat toista. Termiinikäyrät ovat punaisella



Kuva 5.
Tuotto- ja
termiinkäyrät Euro-
alueen valtioiden
liikkeelle laskemille
AAA-luokitelluille
ja kaikille bondeille
kahtena ajankohtana

ja tuottokäyrät ovat sinisellä. Paksummat viivat vastaavat AAA-luokiteltuja bondeja ja ohuimmat kaikkia bondeja.

Demography-valikko

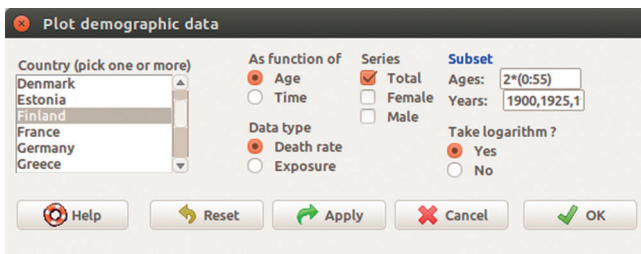
Demography-osion avulla on mahdollista piirtää demografisia kuvioita ja tehdä demografisia ennusteita. Valikot tarjoavat eräänlaisen graafisen käyttöliittymän Rob Hyndmanin (2017) laatimalle R:n demography -kirjastolle. Menetelmät on kuvattu tarkemmin kirjaston dokumentaation kirjallisuusviitteissä. Lisäksi RiskDemo sisältää Human Mortality Database (HMD) -tietokannasta ladattuja kuolleisuusaineistoja 38 eri maalle (viimeisin lataus 3.5.2017, RiskDemo 1.7). Vaikka nämä esimerkkiaineistot rajoittuvat kuolleisuuteen, demography-paketin avulla on myös mahdollista analysoida hedelmällisyysaineistoja. Sovelluksen päävalikko sisältää valinnat ”Plot demographic data”, ”Choose demographic data”, ”Compute lifetable”, ”Estimate demographic

model”, ”Forecast demographic data”, ”Forecast population data”. Nämä valinnat kannattaa käydä läpi järjestyksessä.

Ensimmäinen valinta havainnollistaa käytettävissä olevia aineistoja, ja sen avulla voi piirtää eri maita koskevia kuolevuus- ja populaatiokäyriä. Toisen valinnan avulla voidaan tarkastella kuolleisuus- ja altistusaineistoja suoraan lukuarvoina sekä määritellä tarkemmin mielenkiinnon kohteena oleva osa-aineisto jatkotarkasteluja varten. Kolmannen valinnan avulla voidaan muodostaa elinaikataulukkoja. Neljännen valinnan avulla voidaan sovittaa erityyppisiä kuolevuusmalleja. Viidennen valinnan avulla voidaan laatia ennusteita sovitettuna kuolevuusmallin perusteella. Kuudennen valinnan avulla voidaan ennustaa ikäjakauman muuttumista kuolevuusennusteen perusteella.

Demografisten kuvioiden tuottaminen

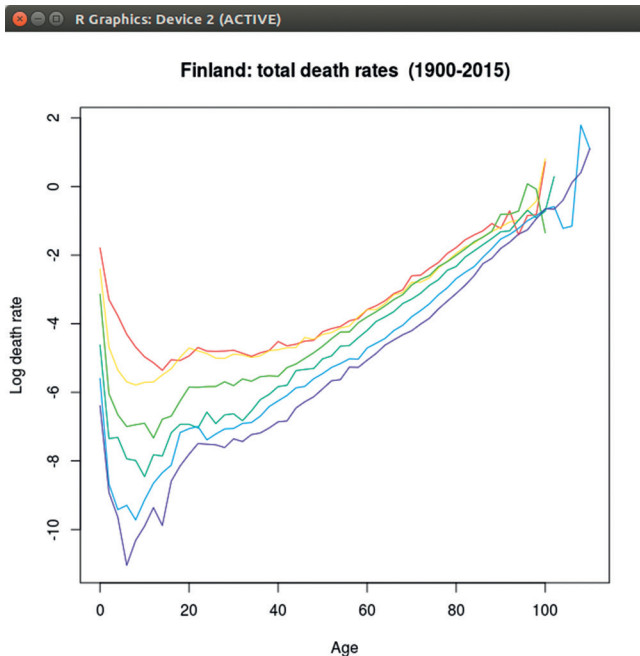
Valintaikkunasta ”Plot demographic data” (kuva 6) voidaan määritellä kuvioita, joiden avulla voidaan tehdä vertailuja monien dimensioiden suhteen. Voidaan esimerkiksi vertailla kuolevuutta ja sen kehitystä eri maiden, ikäryhmien ja sukupuolten välillä. Vasemmasta liukuvalikosta voidaan valita yksi tai useampia maita, joita koskevat kuviot piirretään. Kuvioita voidaan piirtää joko iän tai ajan funktiona. Aineiston tyyppiä voidaan valita joko kuolleisuus tai kuolleisuuden altistusluku, joka tarkoittaa populaation kokoa eri ikäluokissa. Lisäksi voidaan valita yksi tai useampia käyriä seuraavista vaihtoehdoista: moollemmat sukupuoli, naiset, miehet. Oletusarvoisesti aineiston luvut logaritimoidaan mutta kuviot voidaan piirtää myös ilman tätä muunnosta. Oikean yläkulman laatikoissa voidaan määritellä tarkemmin, mitä iäkiä ja vuosia halutaan tarkastella. Nämä määrittelyt tehdään käyttämällä R:n merkinäpäätä,



Kuva 6.
Demografisten
kuvioiden
valintaikkuna

jossa yksittäiset arvot erotellaan pilkuilla ja lukuvälit ilmaistaan kaksoispisteellä. Esim. merkintä 0,5,20,50:53 ylemmässä laatikossa tarkoittaisi ikävuosia 0, 5, 20, 50, 51, 52 ja 53. Merkintä 2*(0:55) tarkoittaa vuosia 0, 2, 4, ..., 110.

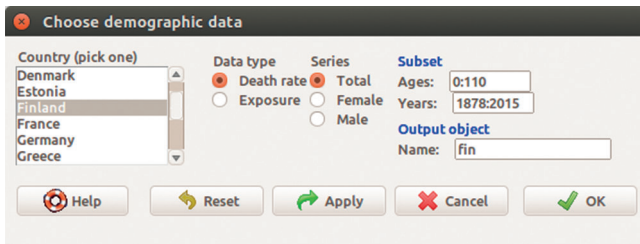
Kuva 7 esittää kuvan 6 valintojen perusteella piirretyn kuvion, jossa kuolleisuuskäyrät on piirretty neljännesvuosisadan välein vuodesta 1900, kuitenkin viimeinen vuodelta 2015. Kuvioista nähdään kuolleisuuden väheneminen. Käyrien järjestys osoitetaan sateenkaaren värein: Vanhinta vuosilukua 1900 edustaa punainen väri ja uusinta 2015 edustaa violetti. Kuvio käyttää hyväkseen ”demography”-paketin funktiota ”plot.demogdata”, jonka käytöstä saa lisätietoja paketin dokumentaatiosta esim. kirjoittamalla komentorivillä ?plot.demogdata.



Kuva 7.
Kuolleisuuden
kehitys 1900–2015

Demografisen aineiston tarkempi määrittely

Ikkunassa ”Choose demographic data” voidaan valita osa-aineisto jatkotarkasteluja varten. Vasemmanpuoleisesta liukuvalikosta valitaan maa. Oikeanpuoleisiin laatikoihin voidaan määrittellä tarkasteltavat iät ja vuodet. Määrittelyn tuloksena syntyy osa-aineisto, joka on luokkaan ”demogdata” kuuluva olio ja jonka nimi annetaan oikean alakulman laatikossa (kuva 8). Valinta hyödyntää demography-paketin funktioita `extract.years` ja `extract.ages`.



Kuva 8.
Demografisen
aineiston
valintaikkuna

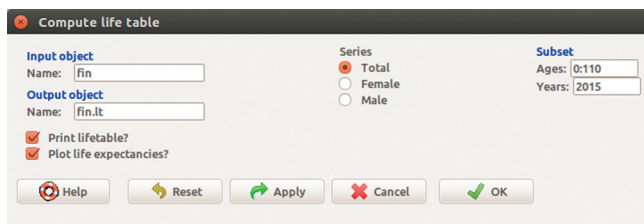
Lisäksi avautuu ikkuna, jossa näkyvät kuolleisuudet tai altistukset iän ja vuosiluvun mukaan taulukoituna (kuva 9). Valintanapista ”Data type” voidaan valita, tarkastellaanko kuolleisuuksia vai altistuksia, ja valintanapista ”Series” valitaan, tarkastellaanko miehiä vai naisia vai molempia yhdessä. Nämä kaksi valintaa eivät kuitenkaan vaikuta oikeassa alakulmassa ilmoitettavaan tuloso-lio-oon (Output object).

	row.names	1878	1879	1880	1881	1882	1883
1	0	0,201289	0,154785	0,184604	0,206265	0,191259	0,171650
2	1	0,082972	0,052944	0,068387	0,079438	0,073939	0,053752
3	2	0,045015	0,032662	0,042385	0,045003	0,042757	0,036228
4	3	0,028611	0,022491	0,028371	0,033389	0,029953	0,028299
5	4	0,020423	0,016773	0,021245	0,026800	0,023473	0,021520
6	5	0,015087	0,010805	0,016259	0,021063	0,017891	0,017545
7	6	0,012510	0,007491	0,011225	0,016632	0,014518	0,013727
8	7	0,009705	0,007178	0,009738	0,011719	0,012259	0,010582
9	8	0,008268	0,005691	0,008374	0,009062	0,008752	0,008571
10	9	0,005923	0,005296	0,007552	0,008580	0,006410	0,006059
11	10	0,006561	0,004066	0,007742	0,007458	0,006133	0,004510
12	11	0,005391	0,004151	0,005497	0,007978	0,005087	0,004763

Kuva 9.
Osa kuolleisuus-
aineistosta

Elinaikataulukon laskeminen

Valintaikkunasta ”Compute life table” (kuva 10) valitaan kuolleisuusaineisto, jonka perusteella elinaikataulukko lasketaan (Input object), sekä tulostulion nimi (Output object). Valintaruuduista voidaan valita, tulostetaanko taulukko tulosikkunaan ja piirretäänkö kuvio elinaikaodotteista. Valintanapista ”Series” valitaan, lasketaanko taulukko miehille vai naisille vai molemmille yhdessä. Lisäksi määritellään, mille ikävuosille vuosiluvuille taulukko lasketaan. Tässä on huomattava, että kullekin vuosiluvulle muodostetaan oma taulukko. Laskennan suorittaa demography-paketin funktio ”lifetable”. Kuvassa 11 on esitetty osa vuoden 2015 aineiston perusteella lasketusta elinaikataulukosta. Kuva 12 havainnollistaa eri ikäisten elinaikaodotteita. Kuvion piirtää demography-paketin funktio ”plot.lifetable”.



Kuva 10.
Elinaikataulukon
valintaikkuna

Period lifetable for Finland : total

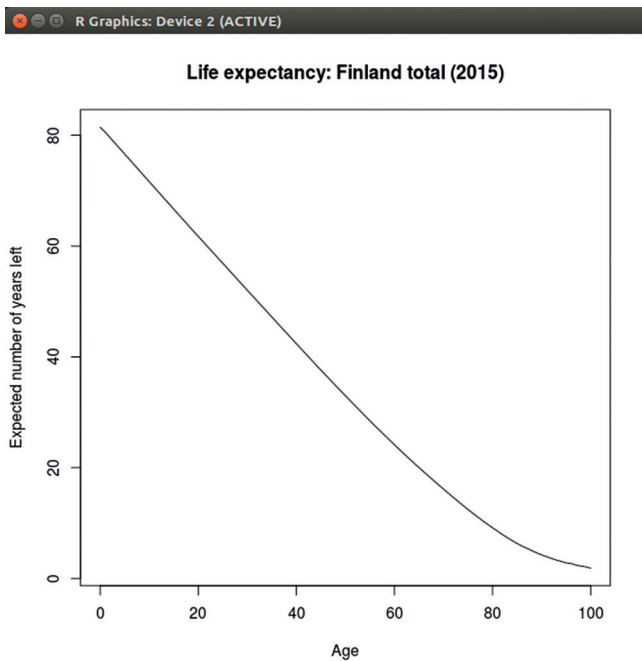
Year: 2015

	mx	qx	lx	dx	Lx	Tx	ex
0	0.0017	0.0017	1.0000	0.0017	0.9984	81.4369	81.4369
1	0.0001	0.0001	0.9983	0.0001	0.9983	80.4385	80.5735
2	0.0001	0.0001	0.9982	0.0001	0.9982	79.4402	79.5803
3	0.0001	0.0001	0.9981	0.0001	0.9981	78.4420	78.5909
4	0.0001	0.0001	0.9980	0.0001	0.9980	77.4439	77.5973
5	0.0001	0.0001	0.9980	0.0001	0.9979	76.4460	76.6024
6	0.0000	0.0000	0.9979	0.0000	0.9979	75.4480	75.6084
7	0.0000	0.0000	0.9979	0.0000	0.9978	74.4502	74.6096
8	0.0000	0.0000	0.9978	0.0000	0.9978	73.4523	73.6133
9	0.0001	0.0001	0.9978	0.0001	0.9977	72.4545	72.6157
10	0.0000	0.0000	0.9977	0.0000	0.9977	71.4568	71.6217
11	0.0002	0.0002	0.9976	0.0002	0.9976	70.4591	70.6252

Kuva 11.
Osa elinaika-
taulukosta

Demografisen mallin sovittaminen

Valintaikkunasta ”Estimating demographic model” (kuva 13) voidaan valita, mikä malli sovitetaan demografiseen (kuolevuus tai hedelmällisyys) aineistoon. Vaihtoehtoja ovat tavallinen Lee–Carter-malli, Lee–Carter-malli BMS-menetelmällä sekä funktionaalinen malli. Näitä vaihtoehtoja vastaavat demography-paketin funktiot ”lca”, ”bms” ja ”fdm”. Vaihtoehto ”bms” hyödyntää Booth–Maindonald–Smith-menetelmää optimaalisen estimointivä-



Kuva 12.
Elinäkaodote
iän funktiona
vuonna 2015

The dialog box titled "Estimating a demographic model" contains the following settings:

- Input object:** Name: fin
- Output object:** Name: fin.lca
- Method:**
 - Lee Carter (standard)
 - Lee Carter (BMS methodology)
 - Functional model
- Series:**
 - Total
 - Female
 - Male
- Subset:**
 - Ages: 0:100
 - Years: 1950:2015
- Plot residuals?
- Plot model (Lee Carter)?
- Print summary (functional model)?

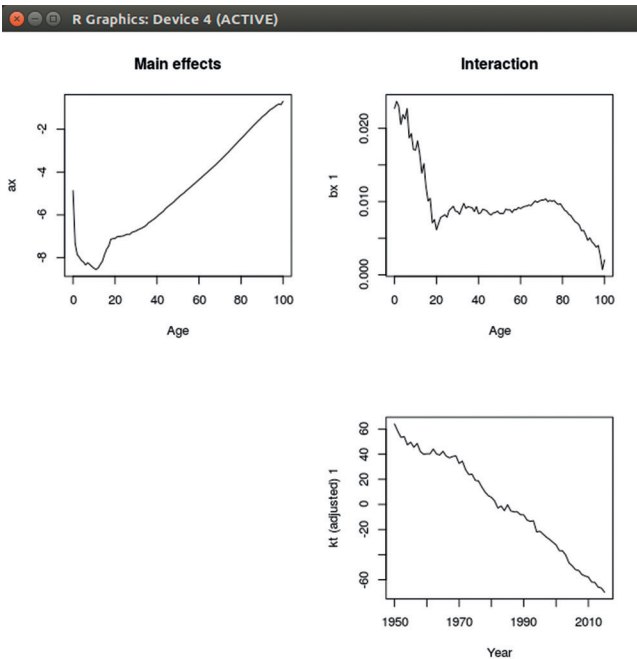
Buttons at the bottom: Help, Reset, Apply, Cancel, OK.

Kuva 13.
Demografisen mallin
valintaikkuna

lin määrittämiseksi. Vaihtoehto ”fdm” sovittaa kantafunktioimallin käyttäen pääkomponenttihajotelmaa.

Valintaikkunan vasemmassa yläkulmassa annetaan syöteolio (Input object), joka kuuluu luokkaan ”demogdata”, sekä nimi tulosolille (Output object), joka kuuluu luokkaan ”lca” tai ”fdm” valittavan menetelmän mukaan. Vasemman alareunan valintaruuduista voidaan valita tulostettavaksi kaksiulotteinen residuaalikuviot, jonka avulla voidaan tutkia mallin sopivuutta ikä- ja aikaulottuvuuksien suhteen, sovitettua mallia havainnollistava kuvio Lee–Carter-mallin tapauksessa sekä yhteenvedon tulostaminen funktionaalisen mallin tapauksessa. Valintaruudun oikeassa yläkulmassa määritellään tarkemmin käytettävän aineiston osajoukko.

Kuvassa 14 havainnollistetaan sovitettua Lee–Carter-mallia. Käyrä vasemmassa yläkulmassa (a_x) kuvaa keskimääräistä logaritmoitua kuolevuutta (tai hedelmällisyyttä) eri ikäluokissa. Käyrä oikeassa alakulmassa (k_x) havainnollistaa yleistä kuolevuuden kehitystä. Käyrä oikeassa ylänurkassa (b_x) kuvaa



Kuva 14.
Sovitettua
Lee–Carter-
kuolleisuusmallia
havainnollistava kuvio

sitä, miten paljon yleinen kuolevuuden kehitys on vaikuttanut eri ikäluokissa. Käyrä antaa siis ikäkohtaiset painokertoimet yleiselle kuolevuuden kehitykselle (k_x).

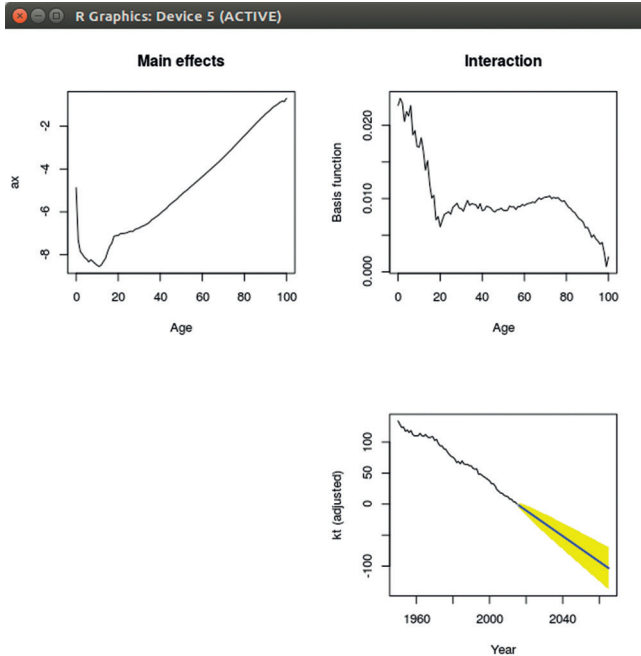
Demografisen aineiston ennustaminen

Valintaikkunasta ”Forecast demographic data” (kuva 15) voidaan määrittellä kuolevuusennuste (tai hedelmällisyysennuste). Syöte ”Input object” on kuolevuusmallin sovittamisesta saatu tulosolio, joka kuuluu luokkaan ”lca” tai ”fdm”. Näitä vastaavat ennustemetodit ovat ”forecast.lca” ja ”forecast.fdm”. Tulosolion, joka on luokkaan ”fmforecast” kuuluva olio, nimi annetaan kohdassa ”Output object”. Kohdassa ”Jump method” voidaan määrittellä, käytetäänkö ennusteen alkuarvona sovitettua arvoa vai viimeistä havaittua arvoa kuolevuuden aikakehitystä kuvaaville faktoriprosesseille (prosessi k_t Lee–Carter-mallin tapauksessa).

Kohdasta ”Options” voidaan valita, miten monen vuoden päähän ennuste ulottuu (Forecast horizon) sekä ennustevälin kattavuus (Forecast interval level). Lisäksi on mahdollisuus tulostaa kuolevuusennustetta havainnollistava kuvio sekä käytetyn demografia-mallin komponentteihin liittyvä ennustekuvio. Kuva 16 havainnollistaa Lee–Carter-malliin perustuvaa ennustetta 50 vuoden päähän. Komponentit a_x ja b_x ovat samat kuin sovitetussa mallissa (kuva 14), mutta prosessille k_t on tehty aikasarjaennuste. Ennusteväli, jota kuvaa keltainen väri, on sitä laajempi, mitä kauemmalle ulottuvasta ennusteesta on kysymys.



Kuva 15.
Demografisen
ennusteen
valintaikkuna



Kuva 16.
Demografinen
ennuste, joka
perustuu sovitettuun
Lee-Carter-malliin

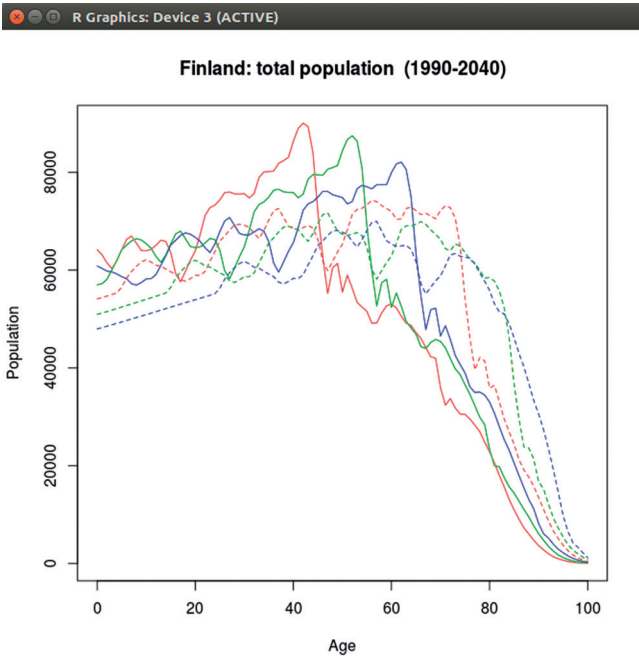
Populaatioennusteen laatiminen

Ikäjakauman (väestöpyramidin) ennuste voidaan määritellä valintaikkunasta ”Making population forecast” (kuva 17). Aiemmistä valinnoista poiketen tämä ennuste ei perustu demography-paketin funktioihin vaan RiskDemoin omaan funktioon ”pop.pred”. Funktio tekee yksinkertaisen aikasarjaennusteen (arima(0,2,2)) alle 1-vuotiaiden lasten populaatiolle sekä yhdistää tämän nykyiseen ikäjakaumaan ja kuolevuusennusteeseen. Syötteenä (Input object) on luokkaan ”demogdata” kuuluva aineisto sekä luokkaan ”fmforecast” kuuluva kuolevuusennuste. Myös tulosolio kuuluu luokkaan ”demogdata”.

Loput valinnat eivät liity itse populaatioennusteeseen vaan piirrettävään kuvioon. Niistä voidaan määritellä, piirretäänkö kuvio iän vai ajan funktiona, logaritmoidaanko käyrät sekä mille i’lle ja vuosille ne piirretään. Kuvioon voidaan sisällyttää sekä toteutuneita jakaumia että ennusteita. Kuva 18 esittää tällaista populaatioennustetta. Siinä toteutuneet jakaumat ovat kiinteällä vii-



Kuva 17.
Ikäjakauman
ennusteen
valintaikkuna



Kuva 18.
Ikäjakauma vuosille
1990–2040
kymmenen
vuoden välein.
Ennustetut jakaumat
katkoviivoilla

valla ja ennusteet katkoviivalla. Kuvassa esiintyvä harjanne edustaa suuria ikäluokkia, ja se siirtyy kuviossa eteenpäin ajan kuluessa kunnes se lopulta häviää.

Klassisen vararikkoteorian havainnollistaminen

Klassista vararikkoteoriaa voidaan havainnollistaa valitsemalla RiskDemo-valikosta ”Risk Theory” ja ”Illustrate ruin theory”. Vararikkoteorian perusteita on kuvattu esim. Kaasin, Goovaertsin, Dhaenen ja Denuitin (2008) oppikirjassa.

Illustrating classical ruin theory

Model parameters for compound Poisson distribution

Claim intensity (lambda)

Time horizon (years)

Initial capital (€)

Safety loading (%)

Ruin probability (%)

Claim sizes are assumed to be gamma-distributed

Shape (alpha) Rate (beta)

Figure parameters

Number of simulation paths

Time horizon (years)

Help Reset Apply Cancel OK

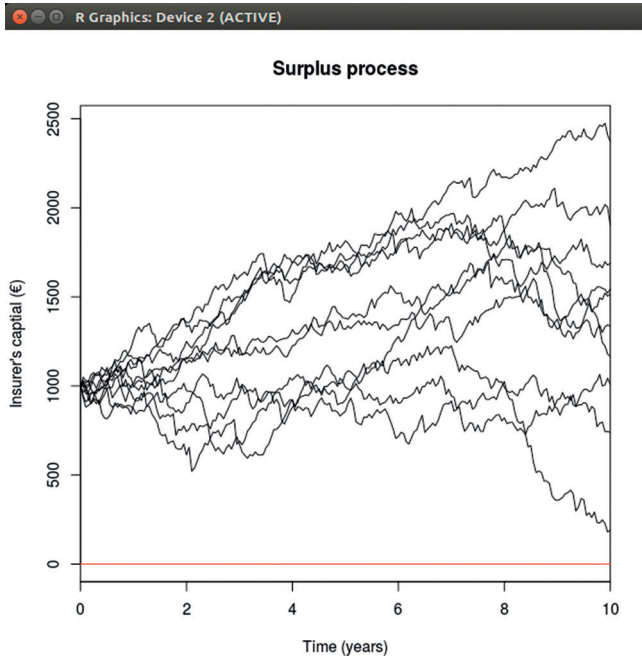
Kuva 19.
Klassisen
vararikkoteorian
parametrien valinta

Oletetaan, että vahinkotapahtumat sattuvat Poisson-prosessin mukaisesti. Valintaikkunan (kuva 19) kohdassa ”Claim intensity” voidaan antaa intensiteettiparametri, joka on keskimääräinen vahinkojen lukumäärä vuodessa. Lisäksi tässä sovelluksessa oletetaan yksinkertaisuuden vuoksi, että yksittäisten vahinkojen suuruudet ovat gamma-jakautuneita. Jakauman parametrit α ja β (shape ja rate) annetaan oikeassa yläkulmassa. Pitämällä jakauman odotusarvo ($= \alpha/\beta$) vakiona ja muuttamalla muotoa, voidaan tutkia vahinkojakauman muodon vaikutusta vararikkotodennäköisyyksiin.

Kohdasta ”Time horizon” määritellään, millaisella aikajänteellä vararikkoa tarkastellaan. Jos kohta jätetään tyhjäksi, tarkastellaan ääretöntä aikajännettä. Tällöin voidaan esimerkiksi laskea todennäköisyys sille, että vakuutusyhtiö ei joudu koskaan vararikkoon. Tätä ratkaisuun päästään myös raja-arvotarkasteluna, kun käytetään äärellistä aikajännettä mutta kasvatetaan sitä kohti ääretöntä.

Vasemman alakulman täytettävät kohdat ovat alkupääoma, varmuuslisä ja vararikkotodennäköisyys. Näistä kohdista täytetään kaksi, jolloin RiskDemo osaa laskea kolmannen. Varmuuslisä annetaan prosentteina ja se kertoo, miten paljon vakuutusmaksua on kerättävä yli vuotuisen vahinkomenon odotusarvon. Näiden kohtien avulla on mahdollista tutkia esimerkiksi, miten alkupääoma ja varmuuslisä vaikuttavat vararikkotodennäköisyyteen. Laskennan tulos, joka näkyy R Commanderin tulosikkunassa, koostuu seuraavista komponenteista: Lundbergin eksponentti (LundbergExp), alkupääoma (initialCapital), varmuuslisä (safetyLoading) ja vararikkotodennäköisyys (ruinProb). Lundbergin eksponentti on vararikkolaskennoissa hyödyllinen parametri. Varmuuslisä ja vararikkotodennäköisyys ovat tässä tulosteessa desimaalilukuina.

Oikeassa alakulmassa määritellään vararikkoteoriaa havainnollistava simulointikoe, jossa simuloidaan vakuutusyhtiön pääoman kehitystä. Asetuksista valitaan generoitavien satunnaispolkujen lukumäärä ja aikajänne. Kuvassa 20 on esimerkki tällaisista simuloinneista.



Kuva 20.
Vakuutusyhtiön
riskiprosessin
simulointikuvio

Stocks-valikko

Stocks-osion avulla on mahdollista havainnollistaa osakesijoittamiseen liittyviä laskelmia ja riskejä. Valikko sisältää kohdat "Load stock data", "Optimize portfolio" ja "Determine stock price". Ensimmäinen vaihtoehto mahdollistaa osakeinformaation lataamisen Kauppalehden verkkosivulta, toinen optimaalisen sijoitussalkun muodostamisen ja kolmas osakkeen todellisen arvon määrittämisen DDM-mallin avulla.

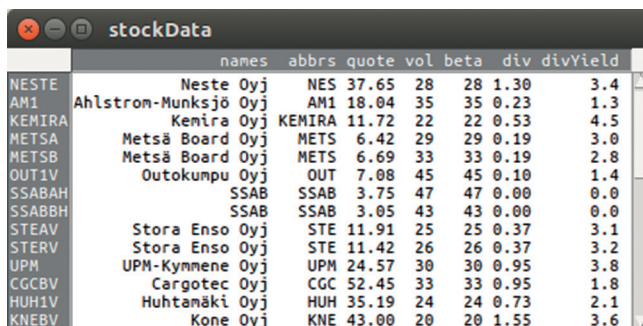
Sijoitussalkun optimointi -valinnalla voidaan havainnollistaa mm. seuraavia asioita, jotka on esitetty Bodien ym. kirjassa *Investments* (2014). 1) Pää-

oman kohdentaminen riskillisen ja riskittömän sijoituksen välillä (Luku 6: Capital Allocation to Risky Assets) 2) Optimaalisen riskillisen salkun valinta (Luku 7: Optimal Risky Portfolios). 3) Yhden indeksin malli (Luku 8: Index Models). Osakkeen todellisen arvon määrittäminen DDM-mallin avulla on kuvattu luvussa 18: Equity Valuation Models.

Osakeaineiston lataaminen

Valintaikkunasta ”Loading stock data” on mahdollista määritellä osakeaineiston lataaminen Kauppalehden sivulta. Aineisto koskee Helsingin pörssissä noteerattuja yhtiöitä. Ladattu aineisto tallennetaan muodossa ”data frame” ja se sisältää osakkeista seuraavat tiedot: yhtiön nimi, nimen lyhenne, päätöskurssi, volatiliteetti, beta-kerroin, osinko ja osinkotuotto (%). Valintaikkunasta voidaan määritellä aineiston nimi sekä minkä kokoluokan yritykset aineistoon halutaan sisällyttää.

Aineiston lataaminen vie jonkin verran aikaa, varsinkin, jos ladataan kaikkien yhtiöiden tiedot. Lataamisen jälkeen R Commanderin ikkunasta voidaan aktivoida ladattu aineisto ja sitä voidaan tarkastella (kuva 21). RiskDemo sisältää valmiina isot yhtiöt kattavan aineiston ”stockData”, joten havainnollistarkoitusta varten ei ole välttämätöntä ladata ensin aineistoa. Valmiin aineiston saa käyttöön poimimalla R Commanderin valikoista ”Data → Data in packages → Read data set from attached package” ja valitsemalla avautuvasta ikkunasta paketin ”RcmdrPlugin.RiskDemo” ja aineiston ”stockData”.



	names	abbrs	quote	vol	beta	div	divYield
NESTE	Neste Oyj	NES	37.65	28	28	1.30	3.4
AMI	Ahlstron-Munksjö Oyj	AMI	18.04	35	35	0.23	1.3
KEMIRA	Kemira Oyj	KEMIRA	11.72	22	22	0.53	4.5
METSA	Metsä Board Oyj	METS	6.42	29	29	0.19	3.0
METSB	Metsä Board Oyj	METS	6.69	33	33	0.19	2.8
OUT1V	Outokumpu Oyj	OUT	7.08	45	45	0.10	1.4
SSABAH	SSAB	SSAB	3.75	47	47	0.00	0.0
SSABBH	SSAB	SSAB	3.05	43	43	0.00	0.0
STEAV	Stora Enso Oyj	STE	11.91	25	25	0.37	3.1
STERV	Stora Enso Oyj	STE	11.42	26	26	0.37	3.2
UPM	UPM-Kymmene Oyj	UPM	24.57	30	30	0.95	3.8
CGCBV	Cargotec Oyj	CGC	52.45	33	33	0.95	1.8
HUHV1V	Huhtamäki Oyj	HUH	35.19	24	24	0.73	2.1
KNEBV	Kone Oyj	KNE	43.00	20	20	1.55	3.6

Kuva 21.
Osa osakkeiden
esimerkkiaineistosta

Salkun optimointi

Sen jälkeen kun jokin osakeaineisto on aktivoitu, voidaan avata valintaikkuna ”Determining optimal portfolio” (kuva 22). Tässä on mahdollista muodostaa optimaalinen sijoitussalkku ja havainnollistaa siihen liittyviä riskejä. Käytettävissä aineistossa kustakin sijoituskohteesta on oltava seuraavat muuttujat: tuotto-odotus (Expected yield variable), volatilitteetti (Volatility variable) ja beta-kerroin (Beta variable). Nämä muuttujat voidaan valita kolmesta valintaikkunan yläosan valikosta. Lukujen on oltava aineistossa prosentteina. Esimerkkiaineisto koskee yksittäisten yhtiöiden osakkeita, mutta aineistossa voisi olla mitä tahansa sijoituskohteita, joista nämä luvut ovat saatavilla, esim. osake- tai korkorahastoja.

Esimerkkiaineistosta voidaan valita havainnollistamismielessä odotetuksi tuotoksi osinkotuottomuuttuja. Tämä vastaa oletusta, että osakkeen hinta ja osinko pysyvät muuttumattomina. Osinkotuotto on osingon ja osakkeen hinnan suhde prosentteina. Volatilitteettimuuttuja on logarimoidun hinnan muutosten hajonta suhteutettuna vuositasolle. Beta-muuttuja mittaa osakkeen hinnan muutosten herkkyyttä suhteessa markkinaindeksiin. Se kertoo, montako prosenttia markkinaindeksin muutoksesta heijastuu osakkeen hintamuutokseen.

Laatikoihin annetaan tietoina portfolioindeksin volatilitteetti (Portfolio index volatility), salkun tasapainottamisväli (Rebalancing interval), riskillisten sijoituskohteiden lukumäärä (Number of risky investments) ja kokonais-sijoituksen arvo (Total investment). Portfolioindeksi on osakeindeksi, joka

Kuva 22.
Salkun optimoinnin
valintaikkuna

kuvaa kaikkien osakkeiden kurssikehitystä ja jonka suhteen aineiston beta-luvut on laskettu. Salkun tasapainottamisväli viittaa aikaväliin, jona salkun koostumus pidetään vakiona ja jonka aikana syntyvää tuottoa pyritään maksimoimaan. Muuttamalla tätä arvoa voidaan havainnollistaa lyhyen ja pitkän aikavälin sijoittamisen eroja. Oletuksena on, että tuotot ovat log-normaalisesti jakautuneita, mutta jakauma on lähes normaalin lyhyen aikavälin sijoituksissa. Riskillisten sijoituskohteiden määrä on vähintään yksi ja enintään aineistossa olevien sijoituskohteiden määrä. Muuttamalla tätä lukumäärää voidaan havainnollistaa hajauttamisen vaikutuksia. Jos kokonaissijoitukseksi merkitään 100 (€), niin saatavat tulokset voidaan tulkita prosentteina kokonaissijoituksesta.

Oikealla alhaalla olevasta valintaruutusta voidaan valita, sisällytetäänkö salkkuun riskitön sijoituskohde. Tämä on teoreettinen rahoitusväline, joka ei sisälly aineistoon. Oletuksena on, että sen tuotto on sama kuin riskitön korko (Risk-free interest rate), joka kirjoitetaan alempana olevaan laatikkoon. Toisesta valintaruudusta (Allow borrowing) voidaan valita, sallitaanko velaksi sijoittaminen. Jos tämä sallitaan, RiskDemo olettaa, että lainan korko on sama kuin riskitön korko. Viimeisessä valintaruudussa voidaan antaa riskinkaihtamiskerroin (Risk aversion coefficient), jota tarvitaan sijoitettavan summan kohdentamiseen riskittömän sijoituksen ja riskillisen salkun välillä.

Riskinkaihtamiskerroin A liittyy RiskDemoin käyttämään hyötyfunktion, joka on muotoa

$$U = E(r) - \frac{1}{2} A \sigma^2,$$

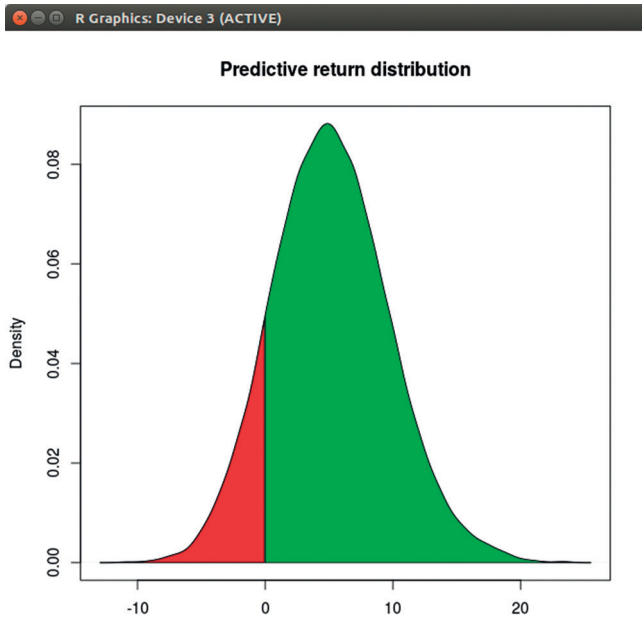
missä $E(r)$ on tuoton odotusarvo ja σ^2 tuoton varianssi.

Tulosolio, joka ilmestyy tulosikkunaan, koostuu seuraavista komponenteista: 1) optimaalisen salkun koostumus (portfolio), salkun tuotto-odotus (returnExpectation), tuoton keskihajonta (returnDeviation) sekä Value at Risk -luvut (VaR). Salkun koostumus on prosentteina kokonaissijoituksesta, jos kokonaissijoitussummaksi valittiin 100; muuten osuudet ovat euroina. Salkussa on mukana riskitön sijoitus (Risk-free), jos se päätettiin ottaa mukaan. Negatiivinen luku tässä kohtaa tarkoittaa ottolainaa eli velaksi sijoitta-

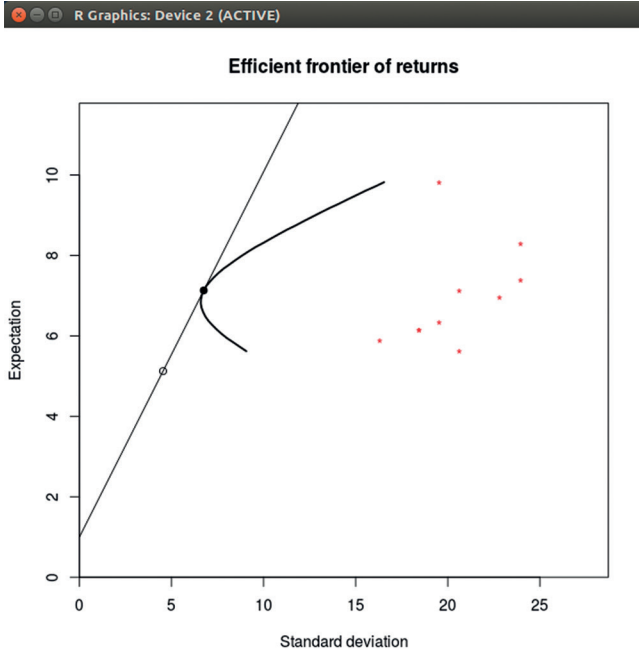
mista. Muiden sijoituskohteiden kohdalla lyhyeksimyyntiä ei ole sallittu, joten negatiiviset luvut eivät ole mahdollisia. Myös tuoton odotusarvo ja hajonta sekä VaR-luvut voidaan tulkita prosentteina, jos kokonaissijoitussumma oli 100. Value at Risk tarkoittaa arvoa, jota pienempi tuotto on annetulla todennäköisyydellä. Negatiiviset luvut merkitsevät tappiota.

Tuloksena syntyy myös kaksi kuviota. Ensimmäisessä kuviossa (kuva 23) on simuloitu tuoton jakauma. Vihreän alueen pinta-ala vastaa voiton todennäköisyyttä ja punainen tappion todennäköisyyttä. Tässä voidaan havainnollistaa mm. sitä, että vaikka yksittäisen osakkeen tuottojakauma olisi vino, hajautetun salkun tuottojakauma voi olla melko symmetrinen ja likimain normaalijakautunut.

Toinen kuvio (kuva 24) havainnollistaa sijoituskohteita tuoton keskihajonnan ja odotusarvon muodostamassa tasossa. Yksittäiset riskilliset sijoituskohteet (osakkeet) on esitetty punaisilla tähdillä. Näiden vasemmalla puolella oleva käyrä esittää ns. pienimmän varianssin rintamaa; se ilmoittaa pienimmän mahdollisen hajonnan, joka on saavutettavissa kullakin tuotto-odotuksen ar-



Kuva 23.
Valitun salkun tuoton
ennustejakauma



Kuva 24. Tuoton hajonnan ja odotusarvon taso, jolle on merkitty yksittäiset sijoitukset punaisilla tähdillä, pienimmän varianssin rintamaa osoittava käyrä, pääoman kohdentamisen suora sekä optimaalinen riskillinen salkku mustalla pisteellä ja optimaalinen kokonaissalkku valkoisella pisteellä.

volla salkun osakepainoja optimoimalla. Tämän käyrän yläosa on ns. tehokas rintama, joka ilmoittaa suurimman mahdollisen tuotto-odotuksen, joka on saavutettavissa kullakin keskihajonnan arvolla. Tällä käyrällä on musta piste, joka edustaa optimaalista salkkua siinä mielessä, että siinä Sharpen luku on suurin. Sharpen luku salkulle P on

$$S_P = \frac{E(r_P) - r_f}{\sigma_P},$$

missä $E(r_P)$ on salkun tuoton odotusarvo, σ_P sen hajonta ja r_f riskitön tuotto.

Jos valittuna on riskitön sijoituskohde, piirretään lisäksi suora, jonka vakioterminä on riskitön korko ja joka sivuaa tehokasta rintamaa. Tämän suoran kulmakerroin on optimaalisen riskillisen salkun Sharpen luku, ja sivuamiskohdan koordinaatit vastaavat tämän salkun hajontaa ja tuotto-odotusta. Suoraa kutsutaan pääoman kohdentamisen suoraksi (capital allocation line,

CAL). Sillä on valkoinen piste, jonka koordinaatit ovat riskittömästä sijoituksesta ja riskillisestä salkusta koostuvan optimaalisen kokonaissalkun tuoton hajonta ja odotusarvo. Jos tämä optimipiste sijaitsee optimaalista riskillistä salkkua vastaavan mustan pisteen oikealla puolella, kyseessä on velaksi sijoittaminen.

Osakkeen arvon määrittäminen

Valintaikkunan ”Determining stock price” (kuva 25) avulla voidaan arvioida osakkeen todellista arvoa mallintamalla tulevia osinkoja ja diskonttaamalla ne nykyhetkeen (dividend discount model, DDM). Ensimmäiseen laatikkoon on mahdollista arvioida osingot yhdelle tai useammalle vuodelle pilkuilla erotettuina. Laskennassa oletetaan, että viimeisen laatikkoon merkityn osingon jälkeen osingot muuttuvat tasaisella nopeudella (constant growth DDM tai Gordon growth model). Jos viimeisin osinko on D_0 , kasvunopeus g ja diskonttokorko k , osakkeen todellinen arvo on

$$V_0 = \frac{D_0(1+g)}{1+k} + \frac{D_0(1+g)^2}{(1+k)^2} + \dots = \frac{D_0(1+g)}{k-g}.$$

The screenshot shows a dialog box titled "Determining stock price". It has a dark header bar with a red close button. Below the header, there are several input fields and buttons. The "Future dividends (€)" field contains the value "1". Below this, there are two columns of input fields. The left column is labeled "Fill either k or the boxes below it" and contains fields for "Risk adjusted return k (%)" (value 12), "Riskless rate r (%)", "Market risk premium (%)", and "Beta (%)". The right column is labeled "Fill either g or the boxes below it" and contains fields for "Growth rate g (%)" (value 10), "Return on equity ROE (%)", and "Plowback ratio b (%)". At the bottom of the dialog, there are five buttons: "Help" (with a question mark icon), "Reset" (with a circular arrow icon), "Apply" (with a green checkmark icon), "Cancel" (with a red X icon), and "OK" (with a green checkmark icon).

Kuva 25.
Osakkeen hinnan
määrittäminen
valintaikkuna

Ylimpään laatikkoon vasemmalla asetetaan diskonttokorko k , joka on osakkeelta vaadittava odotettu tuotto ja jossa osakkeen riski on otettu huomioon. On kuitenkin mahdollista jättää tämä kohta täyttämättä ja täyttää kolme sen alapuolista laatikkoa, jolloin k määritetään Capital Asset Pricing (CAP) -mallin avulla. Mallin mukaan osakkeelta voidaan odottaa tuottoa $r_f + \beta[E(r_M) - r_f]$, missä r_f on riskitön korko, β osakkeen beta-luku ja $E(r_M)$ markkinaportfolion

odotettu tuotto. Laatikoihin täydennetään prosentteina riskitön korko, markkinariskilisiä $E(r_M) - r_f$ ja beta-luku.

Ylimpään oikeanpuoleisista laatikoista merkitään odotettu osinkojen kasvunopeus g . Myös tämä kohta voidaan jättää täyttämättä, jos kaksi sen alapuoleista laatikkoa täytetään. Tällöin kasvunopeutta arvioidaan kaavalla $g = ROE \times b$, missä ROE on oman pääoman tuotto (return on equity) ja b osuus yhtiön tuloksesta, joka sijoitetaan uudelleen yhtiöön (ns. plowback ratio).

Laskennan tulosolio sisältää seuraavat komponentit: osinko (dividend), osakkeelta vaadittava tuotto desimaalilukuna (k), kasvunopeus desimaalilukuna (g), kasvumahdollisuuksien nykyarvo (present value of growth opportunities, *PVGO*) ja osakkeen arvo (stockPrice). *PVGO* lasketaan vähentämällä osakkeen arvosta sen arvo ilman kasvuoletusta.

Yhteenveto

RiskDemon avulla voidaan havainnollistaa riskienhallintaan liittyvää todennäköisyyslaskentaa. Sovelluskohteita ovat osake- ja korkosijoittaminen, vararikkoteoria ja demografia. Riskiä voidaan havainnollistaa monenlaisten graafisten esitysten, taulukoiden ja riskilukujen avulla.

Teknisesti RiskDemo käyttää hyväkseen avoimen lähdekoodin ohjelmistoa R, joka on suunniteltu tilastolliseen laskentaan ja grafiikan tuottamiseen, sekä siihen liittyvää graafista käyttöliittymää R Commander. RiskDemo on R:n lisäpaketti ja samalla R Commanderin liitännäinen.

Lähteet

- Bodie, Z., Kane, A. & Marcus, A.J. 2014. Investments. 10th Global Edition. McGraw-Hill.
- Eppler, M. J. & Aeschmann, M. 2009. A systematic framework for risk visualization in risk management and communication. Risk Management 11(2), 67–89.
- Fox, J. 2005. The R Commander: A Basic Statistics Graphical User Interface to R. Journal of Statistical Software 14(9), 1–42.
- Fox, J. 2007. Extending the R Commander by "Plug-In" Packages. R News 7(3), 46–51.
- Fox, J. 2017. Using the R Commander: A Point-and-Click Interface for R. Boca Raton FL: Chapman and Hall/CRC Press.
- Fox, J. & Bouchet-Valat, M. 2017. Rcmdr: R Commander. R package version 2.3-2.

- Hyndman, R. J., avustajat Booth, H., Tickle, L. & Maindonald, J. 2017. Demography: Forecasting Mortality, Fertility, Migration and Population Data. R package version 1.19. <https://CRAN.R-project.org/package=demography>.
- Kaas, R., Goovaerts, M., Dhaene, J. & Denuit, M. 2008. Modern Actuarial Risk Theory Using R. 2nd edition. Springer.
- R Core Team. 2017. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Snow, G. 2016. TeachingDemos: Demonstrations for Teaching and Learning. R package version 2.10. <https://CRAN.R-project.org/package=TeachingDemos>.
- Wallace, B. C., Dahabreh, I. J., Trikalinos, T. A., Lau, J., Trow, P. & Schmidt, C. H. 2012. Closing the Gap between Methodologists and End-Users: R as a Computational Back-End. *Journal of Statistical Software* 49(5).