

Riskienhallinta ja tietämyksen tasot

Lasse Koskinen

Tämän artikkelin yhtenä tavoitteena on tarjota moderni näkökulma riskienhallinnan keskeisiin käsitteisiin päätöksenteon näkökulmasta. Toinen tavoite on käsitteiden selkeyttäminen ja käytettävissä olevan tietämyksen riskienhallinnallisten vaikutusten systemaattinen analysointi. Artikkelissa esitetään uudella tavalla riskin määritelmä, jossa lähtökohtana on ei-toivotun tapahtuman mahdollisuuden ja riskin mittaamisen erottaminen toisistaan. Kyseistä määritelmää käsitellään tietämyksen eri tasojen näkökulmasta: tunnettu epävarmuus, tuntematon epävarmuus ja tietämättömyys epävarmuudesta olemassaolosta. Riskiä mitattaessa huomioidaan ei-toivotun tapahtuman sattumisen aiheuttaman haitan suuruus tai sattumisen yleisyys tai molemmat. Mahdollisuudet päätöksentekoon riippuvat tietämyksen tasosta – samoin mahdolliset riskienhallinnan keinot. Konkreettisenä esimerkkinä tarkastellaan väestöennusteiden riskejä.

Johdanto

Riski on vaikeasti lähestyttävä ja määriteltävä käsite jopa akateemisille tutkijoille (ks. esim. Campbell 2006b). Arkikielessä sanaa ”riski” käytetään kuvaamaan tappiota, menetystä tai vahinkoa, joka liittyy ei-toivotun tapahtuman sattumisen mahdollisuuteen. Ei-toivotun tapahtuman toteutumisesta johtuvat tappiot voivat olla minkä tahansa arvon menetyksiä: rahallisen arvon, terveydellisen arvon tai yhteiskunnallisen arvon menetyksiä.

Kirjallisuudessa on esitetty monia erilaisia riskin määritelmiä (ks. esim. Aven 2010). Tässä artikkelissa riski määritellään koskemaan ainoastaan ei-toivotun tapahtuman haitallisuutta ja mahdollisuutta. Olennainen riskiin liittyvä piirre on epävarmuus. Sana mahdollinen tarkoittaa, että toteutumisen todennäköisyys vaihtelee eli tapahtuma ei ole mahdoton eikä varma.

Ei-toivotun tapahtuman toteutumisesta seuraavan tappion tai haitan suuruus on myös epävarmuutta aiheuttava tekijä. Epävarmuus ulottuu täydellises-

tä tietämättömyydestä tarkkaan ja perusteltuun todennäköisyysarvioon, joka perustuu laajaan tietopohjaan sekä perusteltuihin laskentamenetelmiin.

Knight (1921) määrittelee riskin ja epävarmuuden käsitteet siten, että riski viittaa objektiivisiin todennäköisyyksiin ja epävarmuus ei-mitattavissa oleviin subjektiivisiin todennäköisyyksiin. Gomory (1995) laajensi tätä tarkastelua kolmeen eri tietämyksen luokkaan. Tässä artikkelissa riskin käsitettä ja riskienhallintaa käsitellään näiden luokkien näkökulmasta.

Riskien arvioinnin lähtökohtana on monesti todennäköisyyslaskentaan perustuvat mallit. Tämä lähestyminen soveltuu tilanteeseen jossa epävarmuus ja tappiot (vahingot) ovat ennakoitavissa sekä mitattavissa tai mallinnettavissa. Lähestymistapa mahdollistaa taloudellisen riskienhallinnan ja siihen liittyvien sitovien sopimusten vaatiman riskiarvioiden tarkkuuden ja luotettavuuden (ks. esim. Rejda & McNamara 2014, 40–42).

Kansainvälisessä riskienhallinnan tutkimuksessa tärkeään rooliin nousevat riskimittarien ominaisuudet ja erityinen malliriskin käsite esitellään tietämyksen näkökulmasta. Esiteltyjä käsitteitä ja periaatteita sovelletaan väestöennusteiden riskien arvioimiseen, erityisesti Suomen tilanteen näkökulmasta.

Riskin käsite ja riskin mittaaminen

Hansson (2010) on esittänyt riskin käsitteen minimaaliset ominaisuudet:

1. Riski liittyy ei-toivottavaan tapahtumaan ja
2. Kyseisen ei-toivottavan tapahtuman sattuminen ei ole varma eikä mahdollon.

Riski siis liittyy tulevaisuuden epävarmuuteen ja tarkasti ennustettavaan tulevaisuuden tapahtumaan ei liity riskiä. Ehdot 1 ja 2 yhdistämällä saadaan muotoilu: riski on ei-toivottavan tapahtuman mahdollisuus.

Toisaalta ei-toivotun tapahtuman määrittely on aina osittain subjektiivista (Campbell 2006a). Esimerkiksi talon palamisen mahdollisuus voi olla riski kyseisen talon omistajalle, mutta ei naapurikaupungin asukkaalle. Tarkemmassa riskin kuvauksessa on siis selitettävä kenen tai minkä näkökulmasta tapahtuma on ei-toivottu. Tämä huomioiden saadaan seuraava määritelmä riskille, jossa tietty objektin on altistunut riskille.

Määritelmä 1 a (Riski)

Riski (pubdas riski) on objektille ei-toivottavan tapahtuman mahdollisuus.

Näin määriteltynä riskin käsite vastaa arkikielen sanan ”riski” merkitystä. Toivottavan tapahtuman, esimerkiksi lottovoiton, mahdollisuus ei ole riski tämän määritelmän mielessä. Määritelmä 1 b kattaa myös tällaiset positiiviset tapahtumat.

Määritelmä 1 b (Epävarmuus)

Epävarmuus (spekulatiivinen riski) on objektille toivottavan tai ei-toivottavan tapahtuman mahdollisuus.

Kansainvälisen riskienhallintastandardi ISO 31 000 (ISO 31 000, 2018) ohjeessa 73 määrittellään, että riski on epävarmuuden (positiivinen tai negatiivinen) vaikutus tavoitteiden toteutumiseen (”effect of uncertainty on objectives”). Taloustieteellisessä kirjallisuudessa termi ”riski” viittaa yleensä määritelmän 1 b) kaltaiseen tilanteeseen eli yleiseen epävarmuuteen.

Määritelmien 1 a) ja 1 b) ero näkyy vakuutustoiminnassa. Vakuutusyhtiö kantaa asiakkaittensa (puhtaita) riskejä vakuutusmaksua vastaa. Vakuutusyhtiön näkökulmasta tämä toiminta on spekulatiivista riskinottoa.

Määritelmässä 1 ei oteta kantaa riskin suuruuteen, ainoastaan olemassaoloon: ”riski” ja ”riskin suuruus” ovat eri asioita. Riskin suuruutta tarkasteltaessa tarvitaan enemmän informaatiota – ei-toivottavan tapahtuman aiheuttaman tappion suuruus ja esiintymisen yleisyys. Näiden avulla voidaan muodostaa mitta riskille.

Määritelmä 2 a) (Riskimitta ja riskin suuruus)

Riskimitta M on funktio objektille ei-toivottavien tapahtumien sattumisen aiheuttamien tappioiden (haittojen) suuruuksista ja esiintymisen yleisyydestä. Riskimitan M arvoa kutsutaan riskin suuruudeksi.

Määritelmässä 2 a) riskin suuruus riippuu sekä mahdollisen tappion suuruudesta, että tappion esiintymisen yleisyydestä, mutta määritelmä sisältää erikoistapauksena myös tilanteen, jossa riskin suuruuden arviointi rajoittuu

pelkästään tappion suuruuteen (L deterministinen) tai tappion todennäköisyyteen. Tällaiset tilanteet ovat yleisiä puutteelliseen tietoon perustuvissa riskiarvioissa.

Seuraava määritelmä sopii rajoitetumpaan tilanteeseen, jossa ei-toivottavien tapahtumien aiheuttamien tappioiden suuruuden todennäköisyysjakauma tunnetaan.

Määritelmä 2 b) (Riskimitta ja riskin suuruus)

Riskimitta M on funktio objektille ei-toivottavien tapahtumien sattumisen aiheuttamien tappioiden (haittojen) suuruusjakaumasta $L(P)$. Riskimitan M arvoa kutsutaan riskin suuruudeksi.

Määritelmässä 2 b) todennäköisyyden luonne ei ole relevantti, todennäköisyys voi olla valinnan tapauksesta riippuen joko objektiivinen tai subjektiivinen.

Finanssialalla paljon käytetty riskimitta on tappiojakauman kvantiilipiste eli Value-at-Risk (VaR), jonka tulkinta on seuraava: VaR horisontilla t ja luottamustasolla 95 % merkitsee, että todennäköisyydellä 95 % tappion suuruus ajan t kuluttua on korkeintaan kyseinen VaR(95 %, t)-luku (ks. esim. McNeil ym. 2005, 37).

Riskimitalta vaadittavien ominaisuuksien määrittelyyn ei ole yksikäsitteistä vastausta. Artzner ym. (1999) ovat esittäneet monissa riskienhallinnan tarkasteluissa luontevat aksioomat riskimitalle. Nämä aksioomat toteuttavia riskimittoja kutsutaan koherenteiksi.

Määritelmä 3 (Koherentti riskimitta)

Riskimittaa ρ kutsutaan koherentiksi, jos kaikille tappiojakaumille L_1 ja L_2 sekä vakioille $k > 0$ on voimassa:

$$\text{Subadditiivisuus: } \rho(L_1 + L_2) \leq \rho(L_1) + \rho(L_2),$$

$$\text{Homogeenisuus: } \rho(k L_1) = k \rho(L_1),$$

$$\text{Monotonisuus: } \rho(L_1) \leq \rho(L_2), \text{ kun } L_1 \leq L_2,$$

$$\text{Siirtainvarianssi: } \rho(L_1 + k) = \rho(L_1) + k.$$

Koherentin riskimittarin aksioomia voidaan perustella esimerkiksi seuraavalla tavalla. Subadditiivisuus on tarpeen, jotta kokonaisriskille saadaan turvalli-

nen arvio osariskien summana. Tällöin hajautetun riskiportfolion riskin suuruus on pienempi kuin hajauttamattoman portfolioon eli riskimitta ”huomioi hajautuksen”.

Homogeeniseen riskimittariin perustuva arvio ei riipu käytetystä yksiköstä, kuten valuutasta. Monotonisuuden nojalla kahdesta sijoituksesta aina (varmuudella) tappiollisempi on myös riskillisempi. Siirtainvarianssi perusteella tappion kasvaminen määrän k kasvattaa riskiä vastaavan määrän.

Erästä vaihtoehtoa koherentille riskimitalle on konveksi riskimitta. Se saadaan jos subadditiivisuus ja homogeenisuus korvataan heikommalla konveksisuusehdolla: $\rho(kX + (1 - k)Y) \leq k\rho(X) + (1 - k)\rho(Y)$, $k \in [0, 1]$. Konveksisuus takaa mm. laskennallisia etuja koherenttisuuteen verrattuna. (Föllmer & Schied 2002.)

On huomionarvoista, että riskimitta Value-at-Risk ei ole koherentti. Dhaene ym. (2003) ovat analysoineet riskimittojen toivottavien ominaisuuksien riippuvuutta sovelluskohteesta. Heidän loppupäätelmänsä on, että riskimitan koherenttisuus- ja konveksisuusvaatimus ovat epäsoivia useissa käytännön sovelluksissa. Wang ja Koskinen (2009) korostavat riskimittojen robustisuuden tärkeyttä epävarman datan tapauksissa.

Koherenttisuutta tai konveksiuutta ei edellä selitetyn perusteella voida asettaa yleiseksi riskimitan vaatimukseksi vaan sovelluksissa valinta on tehtävä tapauskohtaisesti. Riskimitan valinnassa tulee siis huomioida sovelluskohteen luonne yleisten teoreettisten ominaisuuksien lisäksi.

Riskien ja tietämyksen luokitteluja

Riskit luokitellaan satunnaisuuden luonteen perusteella usein seuraavasti (ks. esim. Rejda & McNamara 2014, 20–25):

- dynaaminen vs. staattinen,
- spekulatiivinen vs. puhdas,
- subjektiivinen vs. objektiivinen,
- hajautuva vs. systemaattinen.

Kuuselan ja Ollikaisen (2005) suomenkielisen teoksen riskiluokkien määritelmät poikkeavat oleellisesti yllä esitetyistä nykyisen kansainvälisen käytännön mukaisista määritelmistä.

Dynaamiset riskit muuttuvat suhdanteiden ja olosuhteiden mukaan. Staattiset riskit pysyvät samoina yli ajan. Staattiset riskit ovat helpommin arvioitavissa kuin dynaamiset riskit. Spekulatiiviset riskit sisältävät ei-toivotun tapahtuman lisäksi hyödyllisen tapahtuman mahdollisuuden – niillä voi siis spekuloida. Puhtaassa riskissä on vain ei-toivotun tapahtuman mahdollisuus. Vakuutettavat riskit ovat yleensä puhtaita ja staattisia. Liikeriskit ovat spekulatiivisia ja usein dynaamisia.

Subjekttiivinen riski on persoonan henkiseen tilaan perustuva epävarmuus. Objekttiivinen riski on toteutuneen tappion suhteellinen vaihtelu odotetun tappion ympärillä. Sen suuruus voidaan määrittää jollakin tilastollisella hajonnan mittarilla. Hajautuva riski voidaan eliminoida hajauttamalla. Systemaattista riskin suuruutta hajautus ei pienennä.

Mahdollisuudet riskien mittaamiseen ja riskienhallinnallisiin toimenpiteisiin riippuvat tietämyksen tasosta. Ralph Gomory (1995) luokittelee tietämyksen epävarmasta asiasta kolmeen luokkaan: tunnettu epävarmuus eli **K** (Known), tuntematon epävarmuus eli **uk** (unknown) ja tietämättömyys epävarmuuden olemassaolosta eli **Uk** (Unkownable). Tässä noudatetaan kirjan Diebold ym. (2010) esitystä:

I Tietämys mittauksena

a. **K** viittaa tapaukseen, jossa tapahtumien todennäköisyysjakauma tunnetaan kokonaisuudessaan. Esimerkiksi tietyn ikäisten suomalaisten miesten kuoleman riski voisi kuulua tähän luokkaan. Tämä vastaa Frank Knightin (1921) käsitettä ”riski”. Siinä tapahtumat ja niiden todennäköisyydet on määritelty ja riski sisältää myös suotuisat tapahtumat.

b. **uk** viittaa tilanteeseen, jossa kaikille tapahtumille ei voida määrittää todennäköisyyttä. Esimerkiksi finanssikriisin riski näyttäisi kuuluvan tähän luokkaan. Tämä vastaa Frank Knightin (1921) käsitettä ”epävarmuus”. Siinä tapahtumat tunnetaan, mutta niiden (objekttiivisia) todennäköisyyksiä ei ole määritelty.

c. **Uk** viittaa tilanteeseen, jossa mahdollisten tapahtumien joukkoa ei voida tietää etukäteen – eikä siis myöskään niihin liittyviä todennäköisyyksiä. Asbestin aiheuttama riski oli tällainen jonkin aikaa. (Hillerdal 2004.)

II Tietämys teoriana

a. **K** viittaa tilanteeseen, jossa teoreettisesta mallista on laaja yksimielisyys. Kvanttimekaniikka on esimerkki tämän kaltaisesta teoriasta.

b. **uk** viittaa tilanteeseen, jossa on joukko kilpailevia teoreettisia malleja, joista yhdelläkään ei ole paradigman asemaa. Voidaankin ajatella, että **K** viittaa teoriaan ja **uk** hypoteesiin tai oletamaan. Esimerkiksi sijoitusmarkkinoita kuvataan sekä rationaalisen että psykologisen käyttäytymisen teorioiden avulla.

c. **Uk** viittaa tilanteeseen, jossa ei ole tieteellistä mallia. Esimerkiksi uudentyyppisen taudin leviämisen riski voisi kuulua tähän luokkaan.

Mittaaminen ja teoria täydentävät toisiaan. Esimerkiksi kyvyttömyys määrittää harvinaisten tapahtumien todennäköisyyksiä voi johtua joko tilastoaineiston tai tilastollisen teorian puutteista. Vastaava jako koskee määritelmien 2 a) ja 2 b) mukaisia riskimittoja.

Tilastollisen ääriarvojen teorian kehittyminen mahdollisti vähäiseen datan perustuvan äärimmäisen harvinaisten riskien arvioinnin (ks. esim. McNeil ym. 2015). Laaja suomenkielinen esitys aiheesta on Leppisaaren lisen-siaatintutkielma (Leppisaari 2012). Työssä luodaan katsaus ääriarvoteoriaan perustuviin tilastollisiin menetelmiin, ja toiseksi sovelletaan näitä menetelmiä Suomen aineistoilla meren pinnankorkeuden maksimiarvojen mallintamiseen ja Suomen väestöä kohdanneiden onnettomuus- tai katastrofikuolemien lukumäärien todennäköisyysjakauman estimointiin. Kolmas sovellus on markkinariskin riskimittojen estimointi.

Koherentin riskimitan määritelmä kuvaa lähtötilannetta **K**. Riskien satunnaisen luonteen mukaiset luokitukset dynaaminen-, staattinen- ja objektiivinen riski vaativat myös tason **K** tietämyksen ilmiöstä.

Riskin käsitteen keskeisin käyttötapa liittyy päätöksentekoon. Kysymyksenä esitettynä ”millainen riski liittyy suunniteltuun toimenpiteeseen?” tai ”millä toimenpiteellä riskiä voidaan pienentää?”. Epävarmuuden luokka rajaa käytettävissä olevat keinot.

Tarkastelunäkökulma, tilanne tai vaikkapa maantieteellinen sijainti vaikuttavat riskikäsitteen ymmärtämiseen. Riskit ovat kontekstisidonnaisia ja

henkilöiden riskiarviot muuttuvat ajan ja paikan suhteen. Päätöksentekijät eivät myöskään usein tunne omien päätöstensä kaikkia vaikutuksia. Vaikka päätöksentekijä tunnistaisi ei-toivotun tapahtumien mahdollisuuden, hän ei useinkaan tiedä milloin ja minkä suuruisena tapahtuma toteutuu. (Kuusela & Ollikainen 2005, 17–18.)

Päätöksenteko kun epävarmuus tunnetaan – tapaus K

Riittävän kattavan ja hyvän laatuisten tilastoaineiston ollessa käytössä, voidaan soveltaa perinteisen tai bayesilaisen (subjektiivisen) tilastotieteen menetelmiä todennäköisyysjakauman määrittämiseksi. Tällaisessa tunnetun epävarmuuden tapauksessa riskianalyysiin on käytettävissä vahvat odotetun hyödyn käsitteeseen nojaavat työkalut, jotka John von Neumann ja Oskar Morgenstern formalisoivat vuonna 1944 (von Neumann & Morgenstern 1944). Tässä esitetään ydinkäsitteet. Laajempi suomenkielinen esitys lähteineen löytyy esimerkiksi oppimateriaalista Alvarez ja Koskinen (2007).

Kun ei-toivotut tapahtumat ja niiden todennäköisyysjakaumat tunnetaan, on mahdollista hyödyntää todennäköisyyslaskennan teoriaa. Voidaan esimerkiksi tarkastella voiton tai tappion odotusarvoa. Riskin suuruus vaikuttaa ihmisten riskeihin suhtautumiseen, ja merkitystä on myös riskinottajan riskinkantokyvyllä, minkä takia ihmiset eivät yleensä käyttäydy voiton odotusarvokriteerin mukaisesti. Ongelma ratkaistiin hyödyn odotusarvomallilla, jossa rahan hyöty kasvaa – mutta vähenevästi. Esimerkiksi varallisuuden pienenkin lisäyksen tuoma hyöty on käänteisesti verrannollinen edeltävään varallisuuteen.

Karkeasti ottaen *hyötyfunktioiksi* kelpaa mikä tahansa tarkastelun kohteena olevan suureen määrittelyjoukossa määritely jatkuva ja monotonisesti kasvava kuvaus. Hyötyfunktion numeroarvolla ei itsessään ole merkitystä ja ainoastaan vaihtoehtojen paremmuusjärjestys on tärkeä. Tämän takia hyötyfunktioihin voidaan tehdä järjestyksen (monotonisuuden) säilyttäviä muunnoksia. Odotetun hyödyn teoriassa ei normaalisti erotella tapahtumia toivottaviin ja ei-toivottaviin, jolloin ”riskillä” viitataan normaalikielen sanaan ”epävarmuus”.

On myös syytä huomata, että mikäli tarkasteltava hyötyfunktio on differentioituva, kutsutaan kuvausta $U'(x)$ rajahyödyksi. Yleensä oletetaan, että hyötyfunktio toteuttaa ns. vähenevän rajahyödyn lain, jonka mukaan $U'(x)$ on vähenevä (jokainen lisäyksikkö siis kasvattaa hyötyä, mutta hidastuvaa vauhtia). Selvästi siis nähdään, että mikäli vähenevän rajahyödyn laki toteutuu, on hyötyfunktio $U(x)$ konkaavi. Erityisesti, vertailtaessa satunnaisia varallisuuden tasoja x ja y tulee ensiksi määrittää odotusarvot $E[U(x)]$ ja $E[U(y)]$ ja sen jälkeen valitaan niistä maksimi.

Hyötyfunktioiden avulla voidaan vertailla eri vaihtoehtoja siten, että vertailussa otetaan huomioon epävarmuuden (riskin) kaihtamisen periaate. Tarkastellaan seuraavaa tilannetta: Sijoittajalle tarjotaan kahta eri vaihtoehtoa (ns. arpa), joista hän saa vapaasti valita. Toinen vaihtoehtoista tuottaa varmuudella tuoton $px+(1-p)y$, kun taas toinen tuottaa tuoton x todennäköisyydellä p ja tuoton y todennäköisyydellä $1 - p$. Tällöin

$$E[U(x1)] = U(y + p(x - y))$$

ja

$$E[U(x2)] = U(y) + p(U(x) - U(y))$$

ja sijoittaja valitsee siis sijoituksen, joka antaa tuoton

$$\text{maksimi } \{U(y + p(x - y)), U(y) + p(U(x) - U(y))\}.$$

Mikäli päätöksentekijä valitsee varman kohteen ennen saman odotetun tuoton tuottavan epävarman sijoituskohteen, kutsutaan sijoittajaa epävarmuutta kaihtavaksi. Mikäli päätöksentekijä on indifferentti edellä mainittujen sijoituskohteiden välillä, kutsutaan päätöksentekijää riskineutraaliksi.

Päätöksenteko kun epävarmuus tuntematonta – tapaukset u_k ja U_k

Tuntematon epävarmuus viittaa tilanteeseen, jossa kaikille tapahtumille ei voida määrittää todennäköisyyttä (u_k) tai kaikkien tapahtumien olemassaoloa ei tunneta (U_k). Käytännön päätöksentekotilanteissa ongelmia on usein tietämyksessä sekä mittausten että teorian osalla. Käytettävissä oleva data on harvoin täydellistä, vaikka sitä olisi valtava määrä. Tarvitaan menetelmiä, jotka soveltuvat puuttuvan datan korvaamiseen ja datan laadun tarkkailuun. Toisaalta päätöksenteko nojaa normaalisti tulevaisuuden ennusteisiin ja käytettä-

vissä olevan teorian ennustevoima on usein heikko. Lisäksi tarvitaan välineitä erilaisista lähteistä peräisin olevan informaation yhdistämiseen.

Keskeisimmät ongelmat kuuluvat kolmeen luokkaan – mallinnettavien ilmiöiden vähäiseen ennustettavuuteen, tarvittavien tietoaisteistojen puutteisiin ja toiminnan mutkikkouteen. Näistä seuraa, että tappiodatan generoivan prosessin (L(P)) määrittäminen on hankalaa ja siihen liittyy virheellisen mallin valinnan riski. Tätä ilmiötä kutsutaan malliriskiksi. Ylensä tämä riski liittyy tuntemattomaan epävarmuuteen (**uk**), mutta erityisen suuri vaara piilee tilanteessa, jossa mallin käyttäjä ei havaitse mallin virheellisyyttä tai rajoittuneisuutta (luokka **Uk**). Riskimallien jatkuva kyseenalaistaminen ja testaaminen sekä tarvittaessa niiden rakenteen muuttaminen on keskeinen keino malliriskin hallinnassa riippumatta epävarmuuden tyypistä (Dowd 2002, 35–363).

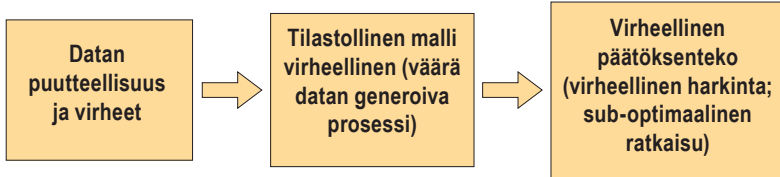
Kuviossa I on esitetty tyypillinen mittausten epävarmuuteen liittyvä mallivirheen kehittymisprosessi (Koskinen 2008) Jos esimerkiksi päädytään virheelliseen tilastolliseen mallin, kyseisen mallin käyttämisestä seuraa virhepäätelmän riski. Mallin kehitysvaiheessa käytettävissä oleva luotettava ja ennustevoimainen teoria pienentää datan puutteellisuudesta aiheutuvaa malliriskiä.

Muun muassa finanssialalla stressitestejä käytetään menetelmänä tuntemattomaan epävarmuuteen **uk** liittyvän riskin arvioimisen, jolla arvioidaan talouden huonon kehityksen vaikutuksia vakavaraisuuteen ja tulokseen. (EIOPA 2016) Testeissä käytettävien skenaarioiden tulisi olla riittävän äärimmäisiä mutta silti mahdollisia. Tällainen lähestymistapa on esimerkki tilanteesta, jossa riskin suuruuden arviointi (riskimitta) rajoittuu pelkästään tappion suuruuteen, mutta sen arvo päätöksenteolle on suuri.

Mandelbrot ja Taleb (2010) kritisoivat laajasti riskien mallinnuksessa (ja muualla) käytettävää normaalijakaumaolettamaa. Heidän näkemyksensä mukaisesti todella suuren tappion aiheuttavat, mutta yleensä harvinaiset tapahtumat ovat ratkaisevia ja riskien mallinnuksessa tulisi keskittyä niihin. Taleb (2007) on kutsunut tällaisia heikoimman tietämyksen luokan **Uk** tapahtumia mustiksi joutseniksi. Tällöin musta joutsen on erittäin epätodennäköinen tapahtuma, jolla on kaksi luonteenomaista piirrettä: se ei ole ennustettava ja sillä on valtava vaikutus. Mandelbrot ja Taleb (2010) suosittelevat riskien mal-

linnuksessa normaalijakauman rinnalla käytettäväksi tappiojakaumaksi $L(P)$ Pareto -jakaumaa, jossa suuren tappion todennäköisyys on suuri normaalijakaumaan verrattuna.

Mallivirheen kehittyminen



Kuvio 1. Malliriskin ensimmäinen lähde on usein käyttötarkoitukseen nähden puutteellinen data, sitä seuraa virheellinen tilastollinen malli, jonka tuloksia hyödynnettäessä lisätään edelleen lopputuloksen virhettä (Koskinen 2008).

Riskienhallinta ja riskien arviointi

Riskienhallinnasta löytyy laaja kirjallisuus. Tuore suomenkielinen ja käytännönläheinen esitys yrityksen riskienhallinnasta on Ilmonen ym. (2016). Kansainvälinen ja laaja yrityksen riskienhallinnan esitys johdon näkökulmasta on esimerkiksi Fraser ja Simkins (2010). Yrityksen taloudellisen riskienhallinnan laadulliset ja määrälliset menetelmien osa-alueet kattava esitys on esimerkiksi Sweeting (2011). Riskienhallinta voidaan määritellä formaalisesti esimerkiksi seuraavalla tavalla.

Määritelmä 4 (Riskienhallinta ja kokonaisvaltainen riskienhallinta)

Riskienhallinta muodostuu joukosta subjektin suorittamia toimenpiteitä, jotka muuttavat olosuhdetta tai toimintaa (engl. hazard), joka altistaa objektin potentiaalisille tappion tai vahingon aiheuttajille (engl. perils). Kokonaisvaltaisessa riskienhallinnassa toimenpiteiden valinnan kriteerinä on kokonaisyödyn maksimointi, ei yksittäisen riskitekijän tai kokonaisriskin minimointi.

Esimerkiksi suunnitteilla olevaa taloa voi uhata talon valmistumisen jälkeen tulvavahinko. Tulvavahingolle altistava tekijä on lähellä rantaa ja matalalla si-

jaitseva rakennuspaikka ja vahingon aiheuttaja tulviminen. Riskienhallinnan toimenpide on rakentaminen alun perin suunniteltua korkeammalla sijaitsevalle paikalle.

Riskille altistuminen on määritelmän mukaan aina ei-toivottavaa. Riskien rajaamisesta eli altistuman pienentämisellä on toivotun vaikutuksen lisäksi kuitenkin aina jokin negatiivinen seuraus. Esimerkiksi tupakoinnin lopettaminen pienentää keuhkosityövän riskiä, mutta estää tupakoinnista nauttimisen. Vastaavasti palovakuutuksen hankkiminen suojaaa talon palamisen taloudellisilta menetyksiltä, mutta hankittu suoja maksaa.

Tietoinen riskinoton lisääminen voi olla perusteltua valitun riskin kohdalla, mikäli se mahdollistaa suuremman kokonaishyödyn tavoittelun. Esimerkiksi sijoitusriskin lisääminen voi olla kannattavaa, koska lisäyksen mahdollistaa korkeamman tuoton tavoittelun. Lisäriskin otto ilman siitä aiheutuvaa lisähyödyn mahdollisuutta ei ole rationaalista. Yritykset ottavat liikeriskejä koska ne mahdollistavat liikevoitot – eivät muusta syystä.

Riskienhallinnassa on yleensä kyse tulevaisuuden epävarmuuden, ei pelkkien riskien, hallinnasta monitavoitteisten päätösongelmien yhteydessä. Kyseessä on aktiivinen toiminta, jonka toistuvia vaiheita ovat

- riskien tunnistaminen ja seuranta,
- suuruuden ja yhteisvaikutusten arvioiminen sekä
- riskien rajaaminen ja riskeiltä suojautuminen tai riskien siirto.

Nämä toiminnot edellyttävät strategian ja riskinottohalukkuuden määrittämistä. Riskinottoa arvioidaan soveltuvan riskimitan avulla (ks. esim. Sweeting 2011).

Riskiä arvioitaessa on otettava huomioon ei-toivotun tapahtuman luonne, jossa lähtökohtana on tarkasteltavien tapahtumien tarkka määrittely esimerkiksi tarkasteltavan ajanjakson suhteen. Vaikka epävarmuutta mahdollisesti aiheuttavat tapahtumat kyettäisiin tunnistamaan ja määrittelemään täsmällisesti, ei riskin toteutumisen seurauksia voida aina suoraan mitata.

Riskimittaa valittaessa suuria haittoja halutaan ehkä painottaa enemmän kuin pieniä, kaikki tappiolajit eivät ole yhtä tärkeitä ja haluttaessa päätösentekijän riskiasenne on kuvattava erikseen. Näitä riskienhallinnan vaiheita on hyvä seurata säännöllisesti ja tehdä tarvittaessa korjauksia menettelytapoihin.

Riskien hajauttaminen on yksi keskeinen riskienhallinnan keino. Siksi on tärkeää päätellä, onko tarkasteltava riski hajautuva vai ei. Valitun riskimitan on huomioitava hajautus järkevällä tavalla. Koherentit riskimitat ovat tällaisia.

Tilastollisilla menetelmillä on usein keskeinen rooli riskienhallinnan eri vaiheissa. Tilastollinen data-analyysi auttaa riskien tunnistamisessa ja niiden tärkeysjärjestyksen muodostamisessa. Riskien yhdistämisessä hyödynnetään riippuvuuksia kuvaavia kopuloita, jotka huomioivat myös epälineaariset riippuvuudet. (McNeil ym. 2005, 184–237.)

Toiminnan riskeistä suuri osa liittyy ihmisen käyttäytymiseen. Sen ennustettavuus on paljon vähäisempää kuin luonnonilmiöiden, koska kausaalisia luonnonlakien kaltaisia malleja ei ole olemassa tai niitä ei vielä tunneta. Tämä johtaa tilastollisten menetelmien robustisuuden keskeisyyteen. Mallien mutkikkouden takia simuloinnit nousevat keskeiseksi analyysitekniikaksi. Samalla simulointien nopeus on osoittautunut hyvin tärkeäksi kysymykseksi. (Koskinen 2008.)

Tavoitteen – oikea data, oikeaan aikaan, oikeassa paikassa – onnistuminen on ratkaisevaa myös riskienhallinnassa.

Väestöennusteiden riskit

Väestöennusteet ovat käytettävissä olevan tietämyksen valossa joillakin olettamuksilla tehtyjä arvioita epävarmasta tulevaisuudesta. Yleensä ennusteiden pohjana käytetään historiallisesti havaittuja väestöilmäilmiöiden trendejä, mutta mikään ei takaa tämän kehityksen jatkumista tulevaisuudessa (ks. Sweeting 2011, 363–371). Asetelma sisältää selvästi luokkien **uk** ja **Uk** piirteitä.

Väestöennusteen riski on ennustevirheen mahdollisuus. Sen mitaksi sopivat erilaiset ennustevirheen mittarit, kuten keskineliövirhe. Kehittyneiden maiden väestöennusteet ovat tyypillisesti olleet hyvin tarkkoja muutaman vuoden tähtäimellä, mutta huonosti paikkansa pitäviä pitkällä aikavälillä. (Ks. esim. Alho 2014.)

Perinteisesti väestöennusteet ovat olleet ns. deterministisiä ennusteita, jolloin ennusteiden epävarmuus ja riskit eivät tule esiin. Tämän puutteen korjaavat stokastiset väestöennusteet, joissa ennusteet pohjautuvat esimerkiksi menneen kehityksen pohjalta johdettuihin todennäköisyysjakaumiin. Näitä

jakaumia hyväksi käyttäen voidaan simuloida vaihtoehtoisia skenaarioita ja laskea niille luottamusvälit, joiden väliin kehityksen ennustetaan jollakin todennäköisyydellä sijoittuvan.

Kuolevuusmallinnuksessa erilaisia mallivaihtoehtoja on paljon, ja ne ja kaantuvat eri käyttötarkoitusten mukaan. (Cairns ym. 2008.) Mallinvalinnassa tekijöitä ovat muun muassa

- tarkasteltava populaatio (koko väestö vai sen osa),
- stokastinen vai deterministinen lähestymistapa,
- selittävät muuttujat (esim. sukupuoli, ikä ja kuolinsyys),
- ennustejakson pituus,
- datan valinta ja saatavuus.

Selvästikään väestöennusteen eivät kuulu pelkästään tunnetun epävarmuuden K alaan.

Kirjallisuudessa on esitetty monta eri tapaa tuottaa stokastisia väestöennusteita. Lähtökohtana on yleensä kohorttimalli, jossa keskeiset komponentit (kuolevuus, syntyvyys ja migraatio) mallinnetaan stokastisesti. Suomalaisen henkivakuutus toiminnan näkökulmasta väestöennusteita ovat tehneet ja analysoineet esimerkiksi Ronkainen (2012) ja Siren (2012). Tässä kuvataan pääpiirteet ennusteriskin näkökulmasta. Laajempi esitys lähteineen ja työeläkevakuutuksen implikaatioinen löytyy esimerkiksi Biströmin ja Elon (2007) raportista.

Komponenttien mallinnuksessa on pääasiallisesti käytetty kolmea eri menetelmää: asiantuntijamenetelmä, aikasarjamenetelmä ja ennustevirhemenetelmä. Asiantuntijamenetelmän vahva puoli on se, että niissä tulevaisuutta yritetään hahmottaa loogisella tavalla, jolloin tulevaisuudessa epätodennäköisesti toistuvat piirteet voidaan karsia. Kääntöpuolena voidaan kritisoida asiantuntijamenetelmän tuottamien ennusteiden luottamusvälien kapeutta, mikä johtuu asiantuntijoiden taipumuksesta väheksyä epävarmuutta.

Aikasarjamenetelmät rakentuvat ajatukselle, että historiassa tapahtuneet ilmiöt kuvataan aikasarjamallilla, jota hyödynnetään tulevaisuuden ennustamisessa (Alho 1990). Asian luonteeseen siis kuuluu, että havaitun historiallisen trendin tulisi jatkua myös tulevaisuudessa. Esimerkiksi Suomen kuolevuudessa havaittu pitkäaikainen tasainen pieneneminen lähtökohtaisesti jatkuisi tulevaisuudessakin. Kuitenkin myös aikasarjamenetelmissä esiintyy joukko

harkinnanvaraisuuksia. Ennusteen tekijä voi valita esimerkiksi menneisyydestä eripituisia aikavälejä, joihin aikasarjamallia sovitetaan.

Aikasarjamenetelmän soveltuvuus tulevaisuuden epävarmuuden mittarina riippuu siitä, miten hyvin valittu aikasarjamalli edustaa mallinnettua suu-
retta. Voidaan kuitenkin perustellusti kyseenalaistaa yli sata vuotta vanhan tiedon merkityksellisyys, koska olot olivat tuolloin hyvin erilaiset nykyisiin verrattuna eikä paluu niihin ole enää kovinkaan todennäköistä.

Ennustevirhemenetelmällä pyritään arvioimaan ennusteen hajontaa aiempien ennusteiden luotettavuuden nojalla. Toisin sanoen tutkitaan vanhoista ennusteista, miten lähelle toteutunutta ne ovat osuneet. Näin saadaan useita havaintoja tietyn ennustevuoden ennustevirheestä hajonnan laskemiseksi. Menetelmän vahvuutena on se, että ennusteet yleensä laaditaan parhaan asiantuntemuksen mukaisesti. Jos siis tämä paras asiantuntemus on ennustanut väärin aikaisemmin, miksei sama paras tietämys voisi nytkin olla yhtä paljon väärässä?

Menetelmän yksi heikkous lienee käytettävissä olevan datan pienuus eli ennusteita ei ole tehty kovin montaa. Toinen heikkous on aineiston painotuminen vanhoihin ennusteisiin, koska uusista ennusteista ei vielä ole ehditty saada paljon havaintoja. Stokastisia väestöennusteita on kritisoitu siitä, että ne saattavat antaa liian mekanistisen kuvan varsin monisyisestä väestöilmioista. Aina ei myöskään ole tarpeeksi painotettu mahdollista laskelmien oletuksina olevia subjektiivisia näkemyksiä mallin valinnassa, datapohjan laajuudessa ja muissa oletuksissa (Lutz & Goldstein 2004).

Stokastiset ennusteet palvelevat merkittävällä tavalla ennusteriskien hallintaa. Jo pelkkä ennustevirheen konkretisointi auttaa hahmottamaan pitkän aikavälin ennusteisiin liittyvää suurta epävarmuutta. Tämä voi johtaa päättäjän tietämyksen kasvamiseen luokasta **Uk** luokkaan **uk**. Toisaalta onnistuneet ennustemenetelmät voivat siirtää ilmiön luokasta **uk** luokkaan tunnetun epävarmuuden luokkaan **K**.

Yhteenveto ja johtopäätökset

Riskin käsite on tarpeellinen myös tilanteissa joissa riskin suuruutta ei voi määrittää, koska jo pelkkä riskin olemassaolon tiedostaminen voi auttaa ris-

kiin varautumisessa. Tätä ajatellen artikkelissa esitettiin uusi riskin määritelmä, jossa lähtökohtana on ei-toivottavan tapahtuman mahdollisuuden ja riskin suuruuden erottaminen toisistaan.

Yleisessä tilanteessa riskin suuruus riippuu sekä mahdollisen tappion suuruudesta, että tappion todennäköisyydestä, mutta määritelmä sisältää tilanteen, jossa riskin suuruuden arviointi rajoittuu pelkästään tappion suuruuteen tai tappion todennäköisyyteen. Tällaiset tilanteet ovat yleisiä puutteelliseen tietoon perustuvissa riskiarvioissa.

Riskin käsitteen lisäksi esitettiin riskienhallinnan formaali määritelmä aktiivisena toimintana, jossa keskeistä on kokonaishyödyn maksimointi vaaroille (tappioille) altistumista muuttamalla.

Mahdollisuudet rationaalisen päätöksentekoon riippuvat päättäjän tietämyksen tasosta, samoin mahdolliset riskienhallinnan keinot. Molempia käsiteltiin tietämyksen eri tasojen näkökulmasta.

Konkreettisena esimerkkinä tarkastellaan väestöennusteiden tekemistä ja väestöennustemalleja, kun näkökulma on ennustevirheen sattumisen riski.

Lähteet

- Alho, J. 2014. Forecasting demographic forecasts. *International Journal of Forecasting* 30, Issue 4, October–December, 1128–1135.
- Alvarez, L. & Koskinen, L. 2007. Rahoituksen teoriaa ja sovelluksia aktuaareille. *Vakuutusvalvontaviraston julkaisusarja* 2007: 3.
- Artzner, P., Delbaen, F., Eber, J.-N. & Heath, D. 1999. Coherent Measures of Risk. *Mathematical Finance* 9, 203–228.
- Aven, T. 2010. Reliability Engineering and System Safety 95, 623–631.
- Biström, P. & Elo, K. 2007. Katsaus väestöennusteisiin. *Eläketurvakeskuksen katsauksia* 2007:5.
- Cairns, A., Blake, D. & Dowd, K. 2008. Modelling and management of mortality risk: a review. *Scandinavian Actuarial Journal*, 79–113.
- Campbell, S. 2006a. Risk and the Subjectivity of Preference. *Journal of Risk Research* 9:03, 225–242.
- Campbell, S. 2006b. Against Beck – In Defence of Risk Analysis. *Philosophy of the Social Sciences* 36, 2, 149–172
- Dhaene, J., Goovaerts, J. & Kaas, R. 2003: Economic Capital Allocation Derived from Risk Measures. *North American Actuarial Journal* 7:2, 44–56.

- Diebold F., Doherty, N. & Herring, R. 2010. The known, the unknown, and the unknowable in financial risk management: Measurement and theory advancing practice. Princeton University Press.
- Dowd, K. 2002. Measuring market risk. Wiley.
- EIOPA. 2016. EIOPA Insurance Stress Test Report 16/302.
- Fraser, J. & Simkins, J. 2010. Enterprise risk management – Today’s leading research and best practices for tomorrow’s executives. John Wiley.
- Föllmer, H. & Schied, A. 2002. Convex measures of risk and trading constraints. *Finance and Stochastics*, October, 6, Issue 4, 429–447.
- Gomory, R. 1995. The Known, the Unknown and the Unknowable. *Scientific American*, June.
- Hansson, S. 2010. Risk: objective or subjective, facts or values. *Journal of Risk Research* 13:2, 231–238.
- Hillerdal, G. 2004. The Swedish Experience with Asbestos: History of Use, Diseases, Legislation, and Compensation. *International journal of occupational and environmental health*, Apr–Jun 10 (2), 154–8.
- Ilmonen, I., Kallio, J., Koskinen, J. & Rajamäki, M. 2016. Johda riskejä – Käytännön opas riskienhallintaan. FINVA.
- ISO 31000, 2018. <https://www.iso.org/iso-31000-risk-management.html>.
- Knight, F.H. 1921. Risk, Uncertainty and Profit. Boston: Houghton Mifflin Company.
- Koskinen, L. 2008. Tilastolliset menetelmät vakuutusyhtiön riskienhallinnassa. Suomen tilastoseuran vuosikirja, 82–95.
- Kuusela, H. & Ollikainen, R. (toim.). 2005. Riskit ja riskienhallinta. Tampere: Tampere University Press.
- Leppisaari, M. 2013. Katastrofi- ja finanssiriskin mittaamisesta ääriarvoteoriaa soveltaen. Matematiikan ja systeemianalyysin laitos. Aalto yliopisto. Lisensiaatin tutkimus. Marraskuu.
- Lutz, W. & Goldstein, J. 2004. How to Deal with Uncertainty in Population Forecasting? *International Statistical Review* 72:1, 1–4.
- Mandelbrot, B. & Taleb, N. 2010. Mild vs. wild randomness. Kirjassa F. Diebold, N. Doherty & R. Herring (toim.) *The known, the unknown, and the un-knowable in financial risk management: Measurement and theory advancing practice*. Princeton University Press.
- McNeil, A., Frey, R. & Embrechts, B. 2005. *Quantitative risk management, concepts, techniques and tools*. Princeton University Press.
- von Neumann, J. & Morgestern, O. 1944. *Theory of Games and Economic Behavior*. Princeton University Press.
- Rejda, G. & McNamara, M. 2014. *Principles of Risk Management and Insurance*. Person.
- Ronkainen, V. 2012. Stochastic modeling of financing longevity risk in pension insurance. *Scientific monographs*, E 44. Bank of Finland.
- Siren, T. 2012. Henkivakuutusyhtiöiden kuolevuus tutkimus K2012. Tutkimukset. Finanssivalvonta.

- Sweeting, P. 2011. Financial enterprise risk management. International series on Actuarial Science. Cambridge University Press.
- Taleb, N. 2007. The Black Swan: The Impact of the Highly Improbable. Random House.
- Wang, M. & Koskinen, L. 2009. Various Faces of Risk Measures: Internal Model's Perspective. Proc. ASTIN – Colloquia of the International Actuarial Association.