

Luonnonkatastrofiriskien mallinnuksesta ja
analysoinnista

Suppea SHV-harjoitustyö

Annina Pietinalho

Huhtikuu 2013

Sisältö

1	Johdanto	4
2	Katastrofriskien mallinnuksesta ja analysoinnista	7
2.1	Yleistä	7
2.2	Katastrofimallien osa-alueet	9
2.2.1	Katastrofimallien rakenne	9
2.2.2	Tapahtumien mallinnus	10
2.2.3	Lähtötietoaineisto	10
2.2.4	Vahingoittuvuuden laskenta	11
2.2.5	Taloudellisten vahinkojen laskenta	13
2.3	Tulokset ja niiden tulkinta	13
2.4	Katastrofimallinnus käytännössä	17
2.4.1	Lähtötietoaineistosta	17
2.4.2	Mallien vertailu ja valinta	18
2.4.3	Usean mallin käyttö	20
3	Euroopan myrskyriskien mallinnuksesta	22
3.1	Yleistä	22
3.2	Katastrofimallinnusyryksistä	24
3.3	Lähtötietoaineisto	25
3.3.1	Lähtötietoaineisto, AIR	25
3.3.2	Lähtötietoaineisto, EQECAT	26
3.4	Vahinkotapahtuma	27
3.4.1	Vahinkotapahtuma, AIR	27
3.4.2	Vahinkotapahtuma, EQECAT	28
3.4.3	Vahinkotapahtuma, Vertailu & yhteenveto	30
3.5	Vahingoittuvuus	32
3.5.1	Vahingoittuvuus, AIR	32
3.5.2	Vahingoittuvuus, EQECAT	35
3.5.3	Vahingoittuvuus, Vertailu & yhteenveto	35
3.6	Taloudellisten vahinkojen laskenta	36
3.6.1	Taloudellisten vahinkojen laskenta, AIR	36
3.6.2	Taloudellisten vahinkojen laskenta, EQECAT	37
3.6.3	Taloudellisten vahinkojen laskenta, Vertailu & yhteenveto	38

SISÄLTÖ **2**

4 Johtopäätökset **39**

Kirjallisuutta **41**

Abstract

Catastrophe modelling is the process of using computer-based models to estimate losses from natural or man-made hazards, such as earthquakes, floods and windstorms. Catastrophe models have become a key tool in assessing capital adequacy and are used by regulators, rating agencies, insurers and reinsurers alike. While the process is rigorous and highly analytical, it also requires expert judgement in terms of model development and results interpretation.

To make informed and prompt risk management decisions, senior management in the insurance company must have a sound understanding of a company's risk exposure and its key drivers. They should understand the strengths and weaknesses of catastrophe risk models and seek the levels of information and detail they need to feel comfortable with taking decisions. Catastrophe risk specialists should have an overall understanding of the building blocks of stochastic catastrophe models, such as event set, hazard, vulnerability and financial module. Catastrophe risk specialist should also understand the main challenges faced in developing each of these components for the perils that are most relevant to the company. This will inform their understanding of the purpose of the model, and help ensure that the modelling approach reflects the nature, scale and complexity of the risk inherent in the company's business.

Extratropical windstorms are the most important widely-insured natural peril in Europe and the only natural catastrophe peril for Finland that is included in vendor catastrophe models. European windstorms cause significant damage. Their expected annual insured losses far surpass those of any other peril in the region. To manage their windstorm risk, companies need catastrophe models that adequately take into account the specific characteristics of the hazard and the different vulnerabilities in different regions.

In this treatise we first give an overview of catastrophe modeling in general in chapter 2. Much of time of vendor model users is spent in understanding which assumptions are most important to a particular model, and the impact on the results. In the chapter 3 we discuss more detailed about European windstorm modelling for Finland and compare components of vendor models AIR and EQECAT. The purpose of this treatise is to give tools to understand and define what Finnish insurance companies should take into account when they are analyzing their exposure to European windstorm risks.

Luku 1

Johdanto

Katastrofimallinnuksen tarkoituksena on arvioida katastrofitapahtumiin liittyvien vahinkojen riskiä. Vakuutusyhtiön johdolla tulee olla perusteellinen tuntemus yhtiön riskilähteistä ja niihin vaikuttavista tekijöistä tehdäkseen tietoon perustuvia liiketoiminnan riskienhallintaan liittyviä päätöksiä. Tulosten määrittäminen on tärkeää, sillä niiden perusteella voidaan suunnitella riskienhallinnan vaihtoehtoisia strategioita, kuten esimerkiksi riskien vähentämistä tai jälleenvakuuttamista.

Kaksi erillistä kehitystä, riskien sijoittaminen kartalle ja katastrofitapahtumien mittaaminen, yhdistyivät 1990-luvun alussa katastrofimallinnuksena [12, s. 24]. Hurrikaani Andrew'n vuonna 1992 aiheuttamien korvausten vuoksi yhdeksän vakuutusyhtiötä tuli maksukyvyttömiksi, joten vakuutusyhtiöt ymmärsivät, että niiden tulee arvioida ja hallita luonnonkatastrofiriskiään tarkemmin ja useat yhtiöt kääntyivät katastrofiriskin mallintajien puoleen saadakseen tukea riskienhallintaan ja liiketoiminnan päätöksenteolle [12, s. 25]. Samaan aikaan useat mallinnusyritykset kehittivät tietokoneohjelmistoja analysoimaan luonnonkatastrofien seurauksia ja kolme pääyrittystä perustettiin: AIR (Applied Insurance Research) Worldwide, RMS (Risk Management Solutions) ja EQECAT [12, s. 24].

Katastrofiriskien mallinnus on prosessi, jossa käytetään matemaattisia malleja estimoimaan vahinkoja, joita voi syntyä katastrofitapahtumasta, kuten esimerkiksi maanjäristyksestä tai myrskystä. Mallinnus on saanut laajan hyväksynnän vakuutus- ja riskienhallinta-alalla ja niihin luotetaan vahvasti haettaessa tukea taloudellisille päätöksille. Nykypäivänä katastrofimalleista on tullut pääasiallisia työkaluja pääomien riittävyyden riskiperusteiseen arviointiin ja niitä käyttävät yhtäläillä valvojat, luottoluokittajat kuin ensi- ja jälleenvakuuttajat [20, s. 1]. Vakuutusyhtiöt ja jälleenvakuutusyhtiöt ovat katastrofimallien pääasiallisia käyttäjiä, mutta myös pääomamarkkinoilla on kiinnostusta käyttää teknologiaa katastrofibondien tarkempaan hinnoitteluun [12, s. 27].

Pääomien ja riskienhallinnan kysymykset ovat olennaisia kaikille vakuutusyhtiöille, mutta erityistä merkitystä niillä on keskinäisille yhtiöille [20, s. 4]. Keskinäisten vakuutusyhtiöiden on osakeyhtiöitä haastavampaa täydentää pää-

omiaan katastrofitapahtumien jälkeen. Tämä korostaa keskinäisen pääoman säilyttämistä ja vaatii jälleenvakuutus pääoman tehokasta hallintaa, mutta eniten se korostaa katastrofiriskialtistuksen tarkkaa arviointia.

Tietokoneavusteiset mallit mahdollisten katastrofivahinkojen mittaamiseksi kehitettiin yhdistämällä luonnonkatastrofien tieteellinen tutkimus ja historialliset tapahtumat maantieteellisiin tietojärjestelmiin. Katastrofimallinnukseen liittyvät useat tieteenalat, kuten tilastotiede ja todennäköisyyslaskenta, fysikaaliset tieteet, insinööritieteet, teknologia, vakuutusmatematiikka ja vakuutus [20, s. 1]. Vaikka prosessi on täsmällinen ja hyvin analyttinen, se myös vaatii asiantuntija-arvioita mallin kehityksessä ja tulosten tulkinnassa.

Solvensi II kehikossa vastuu mallinnusprosessista, malleista ja mallien käytöstä on vakuutusyhtiöllä [5, s. 17]. Näin siinäkin tapauksessa, että se olisi ulkoistanut esimerkiksi katastrofimallinnuksen kolmannelle osapuolelle, esimerkiksi jälleenvakuutusmeklarille tai kaupallisille katastrofimallintajille. Solvenssi II vaatimuksia, kuten mallin valintaa, validointia ja mallin muutoshallintaa, ei voi ulkoistaa, vaikka jotkin osa-alueet hoidetaankin kolmannen osapuolen toimesta [5, s. 17]. Solvenssi II vakavaraisuussäätelyssä katastrofimallinnuksen tulee kuvastaa vakuutusyhtiön riskiprofilia ja luonnetta, joten niillä, joilla on suurempi altistus riskille, tulee olla myös syvällisempi ymmärrys käytetyistä malleista [5, s. 30].

Yhtiön ja erityisesti sen ylimmän johdon tulisi ymmärtää katastrofiriskimallien heikkoudet ja vahvuudet ja olla tietoinen mahdollisista poikkeavuuksista yhtiön katastrofiriskimallinnuksessa [5, s. 13]. Katastrofiriskiasiantuntijoilla puolestaan tulisi olla kokonaisvaltainen käsitys katastrofiriskimallien osista ja ymmärtää suurimmat haasteet näiden komponenttien kehittämisessä niiden riskien osalta, jotka ovat kaikkein tärkeimpiä yhtiön kannalta. Tämä tarkoittaa ymmärrystä mallin tarkoituksesta ja auttaa varmistamaan, että mallinnustapa vastaa yhtiön liiketoiminnan riskien luonnetta, laajuutta ja monipuolisuutta [5, s. 14].

Mikä olennaista, katastrofimallit ovat analyttinen viitekehys tutkia, arvioida ja hallita katastrofiriskiin liittyvää epävarmuutta [17, s. 4]. Katastrofimalleille on luonteenomaista, että niihin sisältyy erityisasiantuntemusta monien niiden ihmisten osaamisalueen ulkopuolelta, jotka mallia käyttävät. Kaupallisten mallintarjoajien dokumentaation tarkoituksena on tarjota yhtiöille riittävästi tietoa ja ymmärrystä katastrofimallista, joka auttaa mallin valinnassa, käytössä ja arvioinnissa [5, s. 25]. Tämän työn luvussa 2 käsitellään katastrofiriskien mallinnusta yleisesti, käydään läpi katastrofimallien komponentit, tyypilliset tulokset ja niiden tulkinta sekä katastrofiriskianalyysin tekemistä käytännössä. Luvussa esitettävä katastrofiriskien analysoinnin viitekehys on yleinen. Vastaavalla tavalla voidaan analysoida vakuutusyhtiön myrskyriskin lisäksi myös esimerkiksi tulvariskiä eli ensisijaisesti sijoittaa vakuutetut riskit kartalle ja tämän jälkeen hydrologisiin mallein arvioida alueella eri tilanteissa vallitsevat vedenkorkeudet ja sitten veden mahdollisesti vakuutetuille kohteille ja ympäristölle aiheutuneet vahingot.

Euroopan talvimyrskyt eli niin kutsutut ekstratrooppiset myrskyt ovat kaik-

kein tärkein laajasti vakuutettu luonnon aiheuttama vaarailmiö Euroopassa [7, s. 1] ja myös ainoa Suomen luonnonkatastrofiriski, joka on huomioitu kaupallisissa katastrofimalleissa. Talvimyrskyjä sattuu huomattavan usein Euroopassa, vaikka tyypillisesti vain muutamat niistä vuodessa ovat riittävän voimakkaita aiheuttamaan merkittävää vahinkoa. Luvussa 3 käydään läpi Euroopan myrskyriskin mallinnusta erityisesti Suomeen kohdistuvien riskien arvioinnin kannalta. Läpikäynti toteutetaan perehtymällä kaupallisten katastrofimallien AIR ja EQECAT mallinnustapoihin ja vertaamalla niitä. Tavoitteena on kasvattaa ymmärrystä myrskyriskimallinnuksen eroista sekä mallin heikkouksista ja vahuuksista.

Luvussa 4 on esitetty työn johtopäätökset ja yhteenveto. Työn olennaisimpien käsitteiden määrittelyt on esitetty seuraavassa listauksessa [12, s. 235]:

- *Katastrofi* on odottamaton luonnonilmiön tai ihmisen aiheuttama tapahtuma, jolla on laaja-alaisia negatiivisia sosioekonomisia vaikutuksia.
- *Katastrofiriski* on suureen onnettomuuteen liittyvä mahdollisuus taloudellisiin vahinkoihin tai muihin negatiivisiin vaikutuksiin.
- *Katastrofivahinko* on taloudellinen vahinko, joka syntyy suuresta onnettomuudesta.
- Katastrofivahinkojen arviointitekniikoita kutsutaan yhteisellä nimellä *katastrofimallinnukseksi*.

Luku 2

Katastrofiriskien mallinnuksesta ja analysoinnista

2.1 Yleistä

Katastrofiriskien mallinnuksen tavoitteena vakuutusyhtiöissä on tukea liiketoiminnan riskienhallintaa ja päätöksentekoa. Kun yhtiöllä on vakuutuskantansa katastrofiriskistä hyvä ymmärrys, se voi tehdä päätöksiä, kuten

- hallita kokonaisriskialtistusta vahinkoilmiökohtaisesti (esimerkiksi myrskyt ja tulvat)
- hankkia tehokkaan katastrofijälleenvakuutussuojan
- hinnoitella luonnonilmiöön liittyviä riskejä (kaupallisia katastrofimalleja käytetään laajasti myös jälleenvakuutusmarkkinoilla riskin hinnoitteluun)
- hallita pääomia ja viranomaisvaatimusten täyttämistä
- käydä läpi riskinottohalukkuutensa ja riskien valinnan.

On olemassa useita tapoja määrittää yhtiön katastrofiriskiä [20, s. 5]. Ne vaihtelevat perinteisemmistä skenaariopohjaisista lähestymistavoista todennäköisyyslaskennallisiin menetelmiin. Skenaariotesti on tietyn ennalta määritellyn tapahtuman vaikutusten testausta arvioimatta tapahtuman todennäköisyyttä. Ideana on realistisesti heijastaa tapahtuman vaikutuksia kaikissa niissä näkökulmissa, joissa yhtiöllä on altistusta tapahtumalle. Stressitestausta on konkreettinen ja intuitiivinen [20, s. 5], joten sillä voidaan välttää ”mustan laatikon” ongelmaa ja tarjoata läpinäkyvyyttä, joka ei aina ole mahdollista katastrofimalleissa. Valvojat ja luottoluokittajat pitävät stressitestausta arvokkaana täydennyksenä muun tyyppiselle mallinnukselle.

Katastrofimallin tarkoitus on luotettavasti arvioida vakuutuskannan mahdolliset vahingot tulevaisuudessa koettavissa katastrofeissa sekä huomioida erot vahingoittuvuuksissa eri alueilla. Todennäköisyyslaskennallinen lähestymistapa katastrofivahinkojen analysointiin on sopivin tapa käsitellä kaikista luonnonkatastrofeihin liittyvistä ilmiöistä syntyviä epävarmuuksia [12, s. 45]. Koska aineistoa on vähän, perinteiset tilastotieteeseen pohjautuvat tekniikat eivät sovellu tulevista tapahtumista syntyvien vahinkojen arviointiin. Historia-aineiston hyödyllisyys on kyseenalainen myös siksi, että sekä ympäristö että vakuutusyhtiön vakuutuskanta muuttuvat jatkuvasti.

Katastrofiriskit ovat haastavia mallintaa, koska tieto siitä, mikä määrittelee äärimmäisen tapahtuman sattumistodennäköisyyden, on rajallista ja lisäksi on tarve ymmärtää kaikki tapahtumaan liittyvät mahdolliset vahinkoa aiheuttavat tekijät [21, s. 5]. Katastrofimallit ovat keino yhdistää fysikaalisesta ilmiöstä olevat tiedot eri tieteenaloilta vakuutuskannan tietoihin ja jopa vakuutusyhtiöiden ja korvauksenhakijoiden katastrofitapahtuman jälkeiseen käyttäytymiseen [21, s. 5]. Näin voidaan arvioida fyysiset vahingot erityyppisille rakenteille ja muuntaa vahingot rahallisiksi tappioiksi [12, s. 46]. Näitä tuloksia voidaan käyttää vakuutusyhtiöiden, omaisuuden omistajien ja vakuutuksenottajien hyödyksi.

On tärkeää huomioida, että katastrofimallit auttavat ainoastaan arvioimaan tapahtumien ympärillä olevaa epävarmuutta, mutta eivät pysty poistamaan sitä. Kun ymmärrys fysikaalisista prosesseista kasvaa ja lisää havaintoaineistoa kertyy, tietoa koskevan epävarmuuden voidaan olettaa pienenevän, mutta seuraavan tapahtuman ajankohtaa (esimerkiksi maanjäristystä) ei silti voi ennustaa. Jokaisessa merkittävässä katastrofitapahtumassa tulee yllätyksiä [16]. Valitettavasti tälle ei voida tehdä mitään, sillä luotettavaa aineistoa ei vain yksinkertaisesti ole riittävästi. Kuten sanonta kuuluu, emme tiedä sitä, mitä me emme tiedä.

Solvensi II vakavaraisuuskehikossa vakuutusyhtiöillä on mahdollisuus käyttää sisäisiä malleja. Tällöin yhtiöiden tulee osoittaa perusteltu ymmärrys katastrofimalleihin liittyvästä epävarmuudesta ja epävarmuuden lähteistä [5, s. 59]. Erityisesti yhtiöiden tulee ymmärtää, mikä vaikutus mallinnetulla epävarmuudella on sen sisäisellä mallilla arvioituun pääomavaatimukseen. Parhaimmillaankin mallinnus voi ainoastaan tukea yhtiön näkemyksen muodostamista katastrofeihin liittyvistä riskeistä.

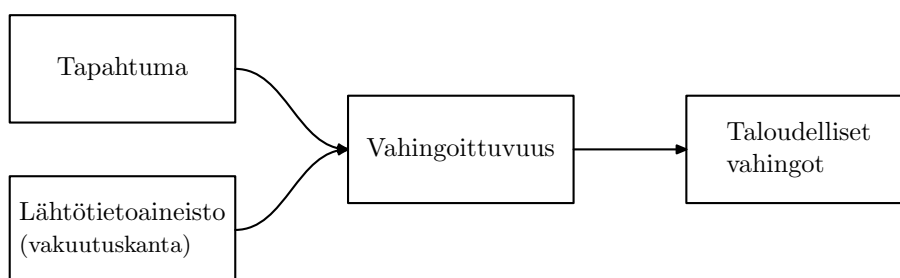
Vaikka todennäköisyyslaskennallinen lähestymistapa on yleisesti todettu sopivimmaksi, on se hyvin monimutkainen ja -tahoinen [12, s. 46]. Mallintajan näkökulmasta tehtävänä on simuloida, realistisesti ja riittävästi, kaikkein tärkeimmät ominaisuudet tästä monimutkaisesta systeemistä [21, s. 7]. Riskienhallinnan asiantuntijoiden tulee tutustua malleissa käytettyihin oletuksiin ja ymmärtää seuraukset ja rajoitukset käyttääkseen tuloksia tehokkaasti. Tämän luvun pykälässä 2.2 käsitellään katastrofiriskimallin eri komponentteja tarkemmin. Pykälässä 2.3 käydään läpi mallin tuloksia ja niiden tulkintaa ja pykälässä 2.4 mallinnus- ja analysointiprosessia käytännössä.

2.2 Katastrofimallien osa-alueet

2.2.1 Katastrofimallien rakenne

Katastrofimallin luotettavuus riippuu suuresti luonnonilmiöiden tapahtumisista ja käyttäytymistä kontrolloivan fyysikaalisen ilmiön ymmärtämisestä. Tämän vuoksi malleissa on yhdistetty usean eri tieteenalan ymmärrys ja tieto. Näin on saatu teoreettisesti ja empiirisesti perusteltuja malleja, joilla voidaan järkevällä tarkkuudella simuloida näitä monimutkaisia ilmiöitä [12, s. 46].

Katastrofiriskiasiantuntijoilla tulee olla kokonaisvaltainen käsitys katastrofiriskimallien osista [5, s. 14]. Mallien neljä peruskomponenttia ovat satunnaisen tapahtumien mallinnus, lähtötietoaineisto (vakuutuskannantiedot), kohteiden vahingoittuvuus ja taloudellisten vahinkojen analyysi. Nämä komponentit on kuvattu kuvassa 2.1. Yhdessä satunnainen tapahtuma, vahinkoilmiö ja vahingoittuvuus muodostavat sen, mikä perinteisesti tunnetaan todennäköisyyslaskennallisena riskianalyysinä.



Kuva 2.1: Katastrofiriskimallin peruskomponentit.

Katastrofiriskien mallinnuksen viitekehys on samanlainen vaaratekijästä riippumatta. Seuraava esimerkki havainnollistaa myrskyriskin vahinkomenon laskennan vaiheita (mukailtu esimerkistä [21, s. 2]).

1. Käyttäjä syöttää vakuutuskohteiden sijaintitiedot ja muut tiedot malliin.
2. Malli geokoodaa sijaintitiedot sen koordinaatteihin tunnistaen paikkojen tarkan sijainnin.
3. Mallin stokastinen tapahtuma komponentti luo tapahtumajoukon simuloimalla tuhansia tapahtumia liittyen tiettyyn paikkaan ja myrskytyyppiin ja generoi tapahtumien tiedot, kuten tuulen nopeuden, määritelläkseen vaaran voimakkuuden.
4. Vahingoittuvuus komponentti yhdistää simuloitua yksityiskohtaisia tietoja vaarasta vakuutuskannan tietoihin, joiden perusteella voidaan arvioida fyysiset vahingot erilaisille kohteille ja muuntaa nämä vahingot taloudelliseksi menetyksiksi.

5. Taloudellisten vaikutusten analyysissä lasketaan vakuutuskannan kohteille sattuneista vahingoista maksettavat vakuutuskorvaukset perustuen kohteiden vakuutussopimusten korvaavuuteen.

2.2.2 Tapahtumien mallinnus

Katastrofimallin *tapahtuma* komponentissa generoidaan stokastisesti mahdollisten tapahtumien joukko ja niistä muodostetaan mallin tapahtumakatalogi. Mallin tulee arvioida kolme perustietoa liittyen katastrofitapahtuman lähtöparametreihin: todennäköisimmät sijainnit tuleville tapahtumille, niiden sattumisen todennäköisyys sekä niiden vakavuus ja vaikutukset [12, s. 47]. Esimerkiksi myrskyssä simuloidaan myrskyn reitti ja tuulen voimakkuudet kullakin alueella, myrskyn kesto ja muut vastaavat vahinkojalanjälkeen vaikuttavat tekijät. Voimakkuus lasketaan jokaiselle paikalle ja se on funktio muun muassa ilmiön voimakkuudesta, etäisyydestä tapahtuman keskukseen ja paikallisista olosuhteista (esimerkiksi maanmuodot).

Jokaiselle katastrofitapahtuman elementtejä määrittävälle tekijälle luodaan todennäköisyysjakautumat suhteessa havaittuun aineistoon [12, s. 46]. Esimerkiksi myrskymalleissa arvioidaan todennäköisyys, että tuulennopeus ylittää tietyn nopeuden, jolloin vahinkoa esimerkiksi rakennuksille alkaa syntyä. Todennäköisyysjakautumien valinta ei perustu vain tilastotieteeseen, vaan myös tieteelliseen ymmärrykseen luonnonilmiöiden käyttäytymisestä. Simuloimalla tuhansia mahdollisia tapahtumaskenaarioita realistisiin parametreihin ja historiatietoihin perustuvilla todennäköisyyslaskennallisilla malleilla, saadaan kuva mitä voisi sattua ajan kuluessa.

2.2.3 Lähtötietoaineisto

Katastrofimallin *lähtötietoaineisto* komponentissa määritellään tarkasteltavan vakuutuskannan olennaiset riskille alttiit ominaisuudet [12, s. 26]. Yhtiön tulee määritellä vakuutettujen kohteiden sijainnit ja pystyä havainnollistamaan ymmärrys niistä ominaispiirteistä, joilla on merkittävin vaikutus sen vakuutuskannan vahinkoihin. Taulukossa 2.1 on havainnollistettu Keskinäisen Vakuutusyhtiön Tapiolan myrskyriskianalyysissä käytettyä lähtötietoaineistoa.

Erityisen tärkeää useimmille vaaratekijöille on vakuutettujen riskien maantieteellinen sijainti [5, s. 31]. Geokoodaamiseksi kutsutussa prosessissa käytetään koordinaatteja kuten pituus- ja leveyspiirejä tai katuosoitetta, postinumeroa tai muuta vastaavaa sijainnin kuvaajaa. Kuvassa 2.2 on esimerkkinä esitetty Keskinäisen Vakuutusyhtiön Tapiolan myrskyriskin varalta vakuuttamien metsähehtaarien keskittymät kartalla. Kohteiden muut ominaisuudet, jotka voivat auttaa arvioimaan omaisuuden vahingoittuvuutta, lisätään myös sen tietoihin. Tällaisia ovat esimerkiksi rakennukselle rakennustapa, kerrosten lukumäärä ja ikä.

Vakuutuskorvausten laskentaan tarvitaan lisäksi tiedot kohteiden vakuutus-sopimuksista. Vakuutusehtotiedot sisältävät tyypillisesti tiedot vakuutussopimuksen taloudellisesta rakenteesta, kuten omavastuut ja vakuutusmäärän [5, s.

Taulukko 2.1: Tapiolan vakuutuskannan myrskyriskimallinnuksessa käytettyjä tietoja.

Vakuutuslaji	Tieto	Esimerkkejä
Omaisuus- vakuutus	Postinumero	
	Vakuutettu kohde	Rakennus, irtaimisto, keskeytys
	Vakuutuslaji	Koti, maatila, kaupallinen
	Käyttötapa	Hotelli- ja ravitsemus, teollisuus
	Riskien lukumäärä	
	Rakennuksen pinta-ala	
	Vakuutusmäärä	
	Ostavastuu	
Metsä- vakuutus	Postinumero	
	Vakuutusten lukumäärä	
	Vakuutetut hehtaarit	
	Vakuutusmäärä	
	Ostavastuu	

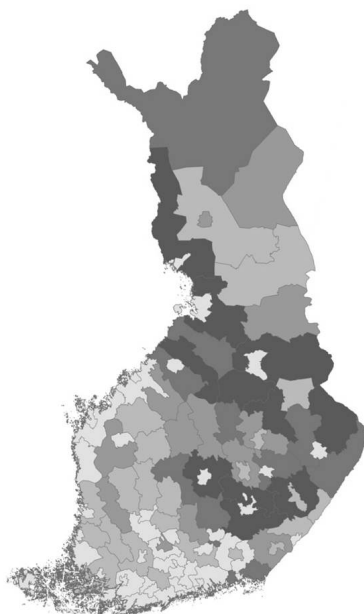
31]. Vakuutusyhtiön kokonaisvahingon laskemiseksi tarvitaan lisäksi tiedot yhtiön omasta kyseisen katastrofitapahtuman varalle olevasta jälleenvakuutussuojasta. Tällaiset tiedot ovat tyypillisesti suojan kapasiteetti, omavastuuosuudet, osallistumisosuudet ja uudistusten lukumäärä [5, s. 31].

Mallinnuksen lähtötietona käytettävällä aineistolla on erittäin suuri vaikutus siihen, kuinka mallinnuksella pystytään vakuutuskannan riskejä kuvaamaan. Mallinnetut tulokset ovat vain niin robusteja kuin niihin syötetty riskialtistusdata on [21, s. 12]. Riskialtistusdatan laatu on yksi mallien epävarmuuden lähde, jota voidaan kontrolloida. Parantamalla sijaintitiedon tarkkuutta tai yksityiskohtia vakuutetuista kohteista, voidaan merkittävästi tarkentaa vahinkoarviota.

2.2.4 Vahingoittuvuuden laskenta

Vahingoittuvuus komponentissa määritetään tapahtumakomponentissa määritellyn katastrofitapahtuman aiheuttamat fyysiset vaikutukset ja niistä aiheutuneiden vahinkojen määrä riskille alttiina oleville vakuutuskannan kohteille, kuten rakennuksille ja niiden irtaimistolle [12, s. 27]. Katastrofimallissa vahinkoja kuvataan luonteeltaan suorina ja epäsuorina. Suorat vahingot sisältävät rakenteen korjaus- tai jälleenhankintakustannukset. Epäsuorat vahingot sisältävät liiketoiminnan keskeytysvaikutukset ja evakuoitujen asukkaiden uudelleensijoitustautumiskustannukset.

Jos olisi käytettävissä runsaasti hyvälaatuista havaittua vahinkoaineistoa erilaisista mahdollisista rakennustyypeistä ja paikoista, tilastollinen lähestymistapa vahingoittuvuusfunktioiden määrittämiseen olisi riittävä. Toisaalta jos ei olisi saatavissa aineistoa ollenkaan, puhtaasti insinööritieteisiin pohjautuva lähestymistapa olisi ainoa mahdollisuus. Todellisuus on aina jossakin näiden ääripäiden

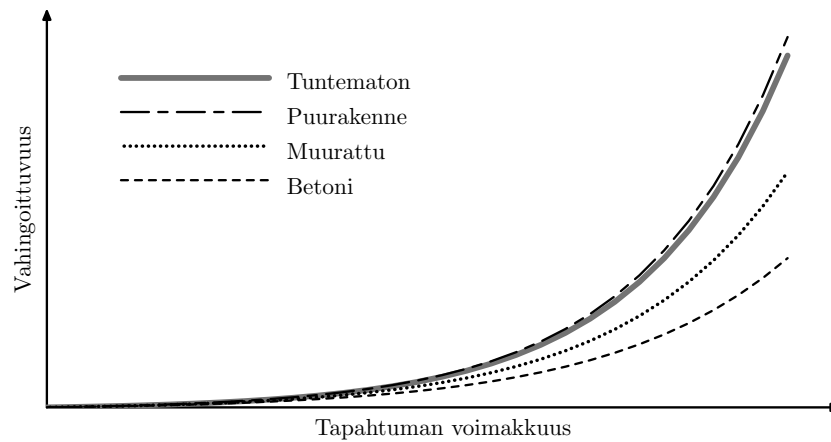


Kuva 2.2: Tapiolan vakuutuskannan myrskyriskille alttiit metsähehtaarit.

välillä. Yleisesti vahingoittuvuusfunktiot estimoidaan ensin perustuen insinöörianalyysiin, tutkimusjulkaisuihin ja myrskyjen jälkeisiin vahinkotutkimuksiin ja korvausaineistoihin [13, s. 5]. Kun lisää aineistoa tulee saataville, vahingoittuvuusfunktioita uudelleenarvioidaan ja päivitetään. Näin voidaan ottaa huomioon myös se, että lopulliseen vahinkoon vaikuttaa myös ihmisten ja yhtiöiden käyttäytyminen vahingon sattuessa.

Vahingoittuvuusfunktio kuvaa vahinkoalttiin kohteen suhdetta paikalliseen vahinkointensiteettiin, jolle se altistuu. Tämän perusteella voidaan määrittää odotetut vahingot vakuutuskannan kohteille tapahtuman voimakkuuden funktiona [12, s. 236]. Vahingoittuvuusfunktiot ovat aluekohtaisia ja vaihtelevat omaisuuden vahinkoalttiuden mukaan maanjäristyksen maan järjestyksestä hurrikaanin myrskytuuliin [21, s. 7]. Parametrit, jotka määrittävät esimerkiksi rakennuksen alttiuden tai vahinkoherkkyyden sisältävät sen rakennusmateriaalin, käyttötarkoituksen, rakennusvuoden ja korkeuden. Vahingon määrä arvioidaan *keskimääräisenä vahingoittumissuhteena* (MDR, mean damage ratio), joka on keskimääräisen oletetun vahingon suhde rakennuksen uudelleenrakennuskustannuksiin. Kuvassa 2.3 on esimerkinomaisesti havainnollistettu Suomen rakennusten myrskyriskin vahingoittuvuusikäyriä eri rakennustavoilla. Suomessa yksityisessä käytössä olevista rakennuksista valtaosa on puurakenteisia, joten myrskyriskimallit tyypillisesti olettavat kohteet puurakenteisiksi, mikäli tarkempaa tietoa kohteen rakennustavasta ei ole.

Matemaattisia vaatimuksia vahingoittuvuusfunktiolle on kolme [13, s. 2]. Ensinnä sen tulee olla monotonisesti kasvava vahinkoilmiön voimakkuuden suhteen.



Kuva 2.3: Esimerkki rakennusten vahingoittuvuuskäyristä.

Toiseksi sen tulee olla jatkuva ja differentioituvia. Kolmanneksi niiden tulee rajoittua välille 0% ja 100%. Lisäksi vahingoittuvuusfunktion muodon tulee kuvastaa insinööritieteen mukaista rakennuksen vastetta vahinkoilmiölle, jolle se altistuu. Tällöin esimerkiksi rakennuksen vahingoittuvuusikäyrät ovat erilaisia tulvissa ja myrkyissä.

2.2.5 Taloudellisten vahinkojen laskenta

Taloudellisten vahinkojen arviointi tehdään katastrofimallin neljännessä *taloudelliset vahingot* komponentissa. Siinä lasketaan mallin vahingoittuvuus komponentissa määritettyjen vahinkojen taloudelliset vaikutukset vakuutusyhtiölle soveltamalla arvioituihin vahinkoihin kohteiden vakuutusehtoja, kuten esimerkiksi omavastuita ja vakuutuskorvausmääriä. Lisäksi siinä määritetään todennäköisyydet, että vahingot ylittävät jonkin tietyn summan [12, s. 46].

Lisäksi komponentissa huomioidaan yhtiön jälleenvakuutusjärjestelyt vakuutusyhtiön omalle vastuulle jäävän kokonaisvahingon määrittämiseksi [5, s. 28].

2.3 Tulokset ja niiden tulkinta

Katastrofimallinnuksella saadut tulokset tarjoavat arvokkaan näkökulman mahdollisten katastrofivahinkojen suuruuteen, niiden esiintymistiheyteen ja riskien vaihteluun. Tuloksia kuvataan tyypillisesti seuraavien kolmen päätuloksen sekä niistä johdettujen tunnuslukujen avulla:

- Ylitystodennäköisyyskäyrä, EP-käyrä
- Suurin mahdollinen vahinko, PML
- Keskimääräinen vuotuinen vahinko, AAL

Katastrofimallinnuksen keskeinen tulos on *ylitystodennäköisyyskäyrä* (Exceedance probability, EP-käyrä). Se on kokonaisvahinkojen kertymäfunktioista saatava graafinen esitys todennäköisyydestä, että vakuutuskantaan sattuu tietyn ajanjakson aikana annetun suuruinen tai suurempi vahinko [12, s. 236]. Ylitystodennäköisyyskäyrästä käytetään kahta eri muotoa:

- Yleisimmin käytetty muoto on AEP-käyrä (Annual Exceedance Probability), joka kuvaa vuoden aikana sattuvien vahinkojen todennäköisyyksiä.
- Toinen tyypillinen muoto on tapahtumakohtaisten vahinkojen suuruudesta kertova OEP-käyrä (Occurrence Exceedance Probability).

Ylitystodennäköisyyskäyrän avulla voidaan myös määrittää *jakautuman hännän ehdollinen odotusarvo* (TCE, Tail Conditional Exceedance), joka kertoo tietyn rajan ylittävien vahinkojen odotusarvon.

Kun otetaan huomioon, kuinka vakuutusyhtiöt käyttävät katastrofimallinnusta ja EP-käyrää riskienhallintaan, on olennaista ymmärtää, kuinka EP-käyrä muodostetaan vahinkoarvioista. Mukaillaan esimerkkiä [12, s. 30] ja oletetaan, että on olemassa joukko luonnonkatastrofitapahtumia E_i , jotka voivat vahingoittaa vakuutusyhtiön vakuutuskantaa. Jokaiselle tapahtumalle on arvioitu vuotuisen sattumistodennäköisyys p_i ja sen aiheuttamat vahingot L_i . Lista erilaisista tapahtumista on esitetty taulukossa 2.2.

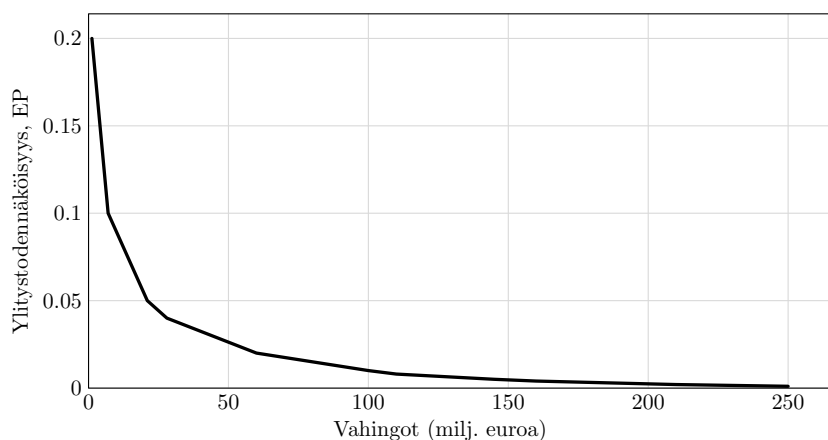
Taulukko 2.2: Esimerkin katastrofiriskiin liittyvät mahdolliset tapahtumat ja niiden tiedot.

Tapahtuma	p_i	L_i	$EP(L_i)$	Palautumisaika	$\mathbb{E}(L)$
1	0,0010	250 m€	0,001	1000	0,25 m€
2	0,0010	210 m€	0,002	500	0,21 m€
3	0,0020	160 m€	0,004	250	0,32 m€
4	0,0010	145 m€	0,005	200	0,15 m€
5	0,0030	110 m€	0,008	125	0,33 m€
6	0,0020	100 m€	0,010	100	0,20 m€
7	0,0101	60 m€	0,020	50	0,61 m€
8	0,0204	28 m€	0,040	25	0,57 m€
9	0,0104	21 m€	0,050	20	0,22 m€
10	0,0526	7 m€	0,100	10	0,37 m€
11	0,1111	1,2 m€	0,200	5	0,13 m€

Taulukossa 2.2 listatut tapahtumat oletetaan riippumattomiksi Bernoulli-jakautuneiksi satunnaismuuttujiksi ja määritellään jokaisen tiheysfunktio:

$$\mathbb{P}(E_i \text{ tapahtuu}) = p_i$$

$$\mathbb{P}(E_i \text{ ei tapahdu}) = 1 - p_i.$$



Kuva 2.4: Esimerkki ylitystodennäköisyyskäyrästä.

Jos tapahtumaa E_i ei tapahdu, vahingot ovat nolla. Odotetut vahingot annetusta tapahtumasta E_i tietyssä vuonnassa ovat:

$$\mathbb{E}(L) = p_i L_i.$$

Oletetaan lisäksi esimerkin havainnollisuuden vuoksi, että muita kuin taulukossa 2.2 esitettyjä vahinkoja ei vuoden aikana satu ja että vuoden aikana sattuu vain yksi vahinkotapahtuma¹. Tuloksena saatava ylitystodennäköisyys on vuotuinen todennäköisyys, että vahingot ylittävät annetun summan [12, s. 30].

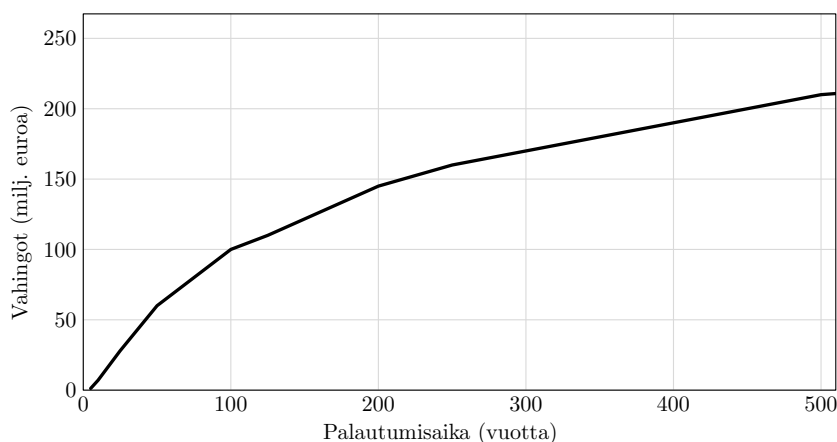
$$\begin{aligned} EP(L_i) &= \mathbb{P}(L > L_i) = 1 - \mathbb{P}(L \leq L_i) \\ &= 1 - \prod_{j=1}^i (1 - p_j). \end{aligned}$$

Kuvassa 2.4 on esitetty esimerkin vakuutuskannan katastrofriskiä liittyvä EP-käyrä. Havaitaan, että vakuutuskannassa on 0,5 prosentin todennäköisyys tapahtua vähintään 145 miljoonan euron suuruinen vahinko.

Kuten muissakin katastrofimallinnuksen tuloksissa, myös ylitystodennäköisyyskäyrässä on tyypillisesti epävarmuutta ja on huomioitava, että tarkasteltaessa yhtä kohtaa EP-käyrästä epävarmuus tulee merkittäväksi [5, s. 60]. On olennaista, että yhtiöt keskittyvät mallinnuksen antamaan kokonaiskuvaan vakuutuskantansa riskillisyydestä eivätkä ylitystodennäköisyyskäyrän yksittäisiin pisteisiin, koska se saattaa johtaa vakuutuskannan optimointiin katastrofimallin heikkouksien ympärillä.

Ylitystodennäköisyyskäyrän avulla voidaan myös määrittää vakuutuskannan *suurin mahdollinen vahinko* (PML, Probable Maximum Loss) [12, s. 31]. PML

¹Käytännössä ei useinkaan voida rajoittaa oletukseen, että vuodessa sattuu vain yksi vahinkotapahtuma, vaan analyysissä on olennaista huomioida katastrofitapahtumien tai niiden syntyyn vaikuttavien tekijöiden riippuvuus.



Kuva 2.5: Esimerkki vahinkojakautumasta palautumisaajan suhteen.

tunnusluku liittyy vakuutusyhtiön valitsemaan ylitystodennäköisyyteen. Jos esimerkiksi oletetaan, että vakuutusyhtiö määrittää hyväksyttävän riskitason ylitystodennäköisyydeksi 0,4%, vakuutusyhtiö voi EP-käyrästä määrittää, kuinka suuri vahinko voi tällä todennäköisyydellä sattua.

Tyypillisesti PML-rajat asetetaan suhteessa palautumisaikaan. *Palautumisaika* (Return Period) on odotettu aika tietyn suuruisen vahinkotapahtumien välillä, joka määritellään vuotuisen ylitystodennäköisyyden käänteislukuna [12, s. 238]. Esimerkiksi 100 vuoden palautumisaika vastaa 1 prosentin vuotuista ylitystodennäköisyyttä. Palautumisaika on luonnollinen mitta myös siksi, että Solvenssi II vakavaraisuussäätelyssä vakuutusyhtiöiden vakavaraisuusvaatimukset perustuvat vaatimukseen, että vakuutusyhtiöiden tulee säilyttää maksukykyisyytensä kerran 200 vuodessa tapahtuvassa tapahtumassa. Kuvassa 2.5 on esitetty kuvan 2.4 EP-käyrä palautumisaajan suhteen.

Kolmas katastrofimallinnuksesta saatava keskeinen tulos on *keskimääräinen vuotuinen vahinko* (AAL, Average Annual Loss) [21, s. 8]. AAL voidaan laskea arvioidun vahingon ja vuotuisen sattumistodennäköisyyden tulojen summana jokaisessa tapahtumassa, joka tapahtumajoukkoon kuuluu. Kun oletetaan, että muita kuin taulukossa 2.2 esitettyjä vahinkoja ei vuoden aikana satu, keskimääräinen vuotuinen vahinko tästä tapahtumajoukosta saadaan summana odotetuista tapahtumakohtaisista vahingoista:

$$AAL = \sum_i p_i L_i = 3,36 \text{ m€}.$$

AAL tunnuslukua voidaan käyttää vakuutusten hinnoittelussa arvioimaan katastrofiriskiin liittyvän vahinkomenon osuutta, sillä se on arvio vuotuisesta maksusta, joka tarvitaan kattamaan vahingot mallinnetuista vahinkoilmiöistä ajan mittaan olettaen, että vakuutuskannan riskit pysyvät nykyisenlaisena.

Katastrofiriskianalyysien tuloksia tulkitessa on tärkeää ymmärtää, että kaikkea mallien epävarmuutta ei ole tuloksissa esitetty [5, s. 59]. Tämä vuoksi tu-

loksiin luottaminen ilman viittausta niihin liittyviin epävarmuuksiin, voi johtaa riskien virheelliseen arviointiin. *AAL tunnusluvun keskihajonta* kuvastaa vuotuisten vahinkojen vaihtelua vuosien välillä. Se mittaa, kuinka lähellä todelliset vahingot annettuna vuotena ovat estimoitua puhdasta riskimaksua. Toinen olennainen AAL estimaattien ympärillä olevaa vuotuista vaihtelua kuvaava tunnusluku on *variaatiokerroin* (CV, coefficient of variation). Se määritellään vahinkojen keskihajonnan suhteena keskiarvoon. Tunnusluku on normalisoitu, joten sitä voidaan käyttää myös verrattaessa eri vakuutuskantojen välistä riskillisyyttä [21, s. 8].

2.4 Katastrofimallinnus käytännössä

2.4.1 Lähtötietoaineistosta

Katastrofimallinnuksen lähtötiedoksi tarvittavaa aineistoa kuvattiin pykälässä 2.2.3. Tämän lähtötietoaineiston tulee olla hyvälaatuista ja riittävän tarkkaa, jotta katastrofimallit voivat uskottavasti kuvata vakuutusyhtiön riskin ja siten parantaa analyysien taloudellista voimakkuutta ja turvata yhtiölle riittävän määrän pääomaa [21, s. 13]. Tärkeimmät kohdat [5, s. 30], jotka katastrofimalleja käyttävien yhtiöiden tulee tarkastella, ovat:

- ymmärtää lähtötietoaineiston laadun vaikutus katastrofimallien kehittämiseen ja käyttöön. Vakuutuskannan riskialtistusta kuvaavan aineiston laatu on yksi niistä epävarmuuden elementeistä, jota voidaan kontrolloida. Aineiston tulee liittyä suoraan katastrofille altistuneeseen vakuutus-kantaan, ei koko portfolioon.
- katastrofimallien tarkkuus ja sopivuus on hyvin riippuvaista mallia rakennettaessa käytetystä datasta. Koska katastrofimalli tuottaa vahinkoarviot suhteessa mallin kehityksessä käytettyyn aineistoon, malli voi olla jopa kokonaan sopimaton tietylle vakuutuskannalle. Esimerkkinä tilanne, jossa malli ei sisällä vahingoittuvuusfunktiota tietyille vakuutuslajille lainkaan.
- jokaisen malleja käyttävän yhtiön tulee pyrkiä mahdollisimman tarkkaan, täydelliseen ja sopivaan malliin syötettävään aineistoon.
- erityistä huomiota tulee kiinnittää aineistoon, joka liittyy vaaratekijöihin ja maantieteellisiin alueisiin, joista tulee suurin riski liiketoiminnalle.
- yhtiön oman aineiston laadun säännöllinen tarkkailu ja datastandardien määrittäminen on suositeltava käytäntö.

Katastrofimalleissa yleensä käytetty lähtötietoaineisto voi erota merkittävästi tiedoista, jota käytetään vakuutuslalla muihin tarkoituksiin. Pääasiallinen haaste katastrofimalleja käyttäville yhtiöille onkin koota tarkkaa ja yksityiskoh-taista tietoa vakuutetuista riskeistä [5, s. 30].

Lähtötietoaineiston olennaisuus on avain sen laatuun, mutta vahvasti riippuvainen mallin vaatimuksista, jotka taas ovat riippuvia mallinnetuista vaaratekijöistä ja kalibroitimenetelmistä [5, s. 34]. Esimerkiksi katuosoitetasoinen sijaintitieto on vähemmän tärkeää Euroopan myrskyriskien mallinnuksessa kuin tulva- tai maanjäristysriskissä. On tärkeää tietää käytetyn mallin tarkkuus (esimerkiksi tuulennopeuden laskennassa käytettävä ruudusto), jotta voidaan ymmärtää datan laadun parantamisen vaikutukset vahinkoarvioiden tarkkuuden paranemiseen.

Yhtiön oman lähtötietoaineiston tarkkuutta voi tutkia ja mahdollisesti parantaa esimerkiksi vertaamalla yhtiön omia dataja vakuutusalan aineistoihin [5, s. 33]. Jos riskimittatieto puuttuu tai se on virheellistä, tällöin yhtiön toimien tulisi olla suhteessa riskiin, jolle yhtiö on altistunut [5, s. 35]. Puuttuva datan osalta voidaan esimerkiksi laskea mahdolliset täydennyskertoimet mallinnettuihin tietoihin tai käyttää koko alan tietoja arvioina [5, s. 35]. Virheellisen aineiston osalta on luonnollisesti tärkeää pyrkiä löytämään oikeat arvot esimerkiksi ulkoisista tietolähteistä tai vaihtoehtoisesti käyttää konservatiivisia tai keskimääräisiä arvoja. On tärkeää, että yhtiö ymmärtää lähtötietoaineiston ja sen mahdollisten puutteiden merkityksen mallinnustuloksiin, jonka vuoksi esimerkiksi herkkyysanalyysi on suositeltavaa.

Yhtiöt, jotka käyttävät jälleenvakuutusmeklareita tai muita kolmansia osapuolia katastrofiriskinsä mallinnuksessa, tulee ymmärtää myös tämän osapuolen tekemä aineiston laadun testaus sekä mahdolliset lähtötietoaineiston käsittelyt ja muokkaukset, joilla parannetaan joko lähtötietoaineiston laatua, täydellisyyttä tai sopivuutta verrattuna alun perin tuotettuun dataan [5, s. 32].

2.4.2 Mallien vertailu ja valinta

Katastrofiriskien analysointi perustuu käytännössä useimmiten kaupallisiin katastrofimallinnusohjelmistoihin, joten katastrofimallinnuksen ja -analyysin tekemisessä korostuu yhtiölle, sen vakuutuskannalle ja vakuutuskannan riskeille sopivan ohjelmiston valinta. Kysymykset, jotka malleja liiketoiminnan päätöksenteossaan käyttävien yhtiöiden tulisi ainakin käydä läpi, ovat [20, s. 4]:

- Mitkä vaaratekijät mallinnuksessa on huomioitu? Mitä tekijöitä ei ole otettu huomioon? Mitä muita menetelmiä voidaan soveltaa niille vaaratekijöille, joita ei ole mallinnettu?
- Ovatko kaikkien vakuutuslajien suorat ja epäsuorat luonnonkatastrofiriskit huomioitu mallissa? Esimerkiksi ajoneuvo-, tapaturma- ja vastuuvakuutusten vahingot omaisuusvakuutusvahinkojen lisäksi.
- Mallinnetun vaaratekijän osalta tulee selvittää mitä malli kattaa?
 - vaikka jokin onkin sisällytetty malliin (esimerkiksi maanjäristys) ovatko kaikki siihen liittyvät vaaratekijät huomioitu myös (esimerkiksi mahdollinen tsunami ja maan vetistyminen).
 - miten mallintamattomat liitännäiset vaaratekijät huomioidaan?

- Mikä olisi suurimman realistisen kuviteltavissa olevan tapahtuman vaikutukset?
- Mitkä olisivat usean tapahtuman vaikutukset? Miten yhtiön jälleenvakuutusyhtiö toimii suhteessa realistiseen tapahtumaskenaarioon, jossa on sarjassa useita tapahtumia?

Erityisesti Solvenssi II - vakavaraisuussääntelyssä korostuu mallien validointi. Yhtiöiden tulee omistaa katastrofimalliensa validointiprosessi riippumatta siitä lisensoiko yhtiö ne suoraan omaan käyttöönsä tai käyttäkö jälleenvakuutusmeklareita tai kolmansia osapuolia mallien laskentaan [5, s. 49]. Mallin tarjoajan validoinnin tarkoituksena on varmistaa, että tulokset ovat perusteltuja tietyllä vaaratekijälle maatasoisessa tarkastelussa [5, s. 49]. Tämän jälkeen yksittäisen yhtiön on kuitenkin suoritettava oma validointi, jonka tarkoituksena on varmistaa, että malli on sopiva sen omalle vakuutuskannalle [5, s. 50]. Koska katastrofimallien tarjoajat hyödyntävät merkittävää tieteellistä asiantuntemusta rakentaessaan malleja, on rajallista kuinka hyvin yksittäinen yhtiö pystyy validoimaan harvoin sattuvia suuria vahinkoja toistamatta tieteellistä asiantuntemusta, joka mallien luontiin on käytetty [5, s. 53].

Ymmärrys siitä, mitä mallin tulokset sisältävät, on ratkaiseva niiden hyödyntämisessä. Ensimmäinen kriteeri katastrofimallin tai -mallien valintaan onkin, kuvaako malli riittävästi yhtiön riskiprofilia ja onko olennaiset riskit huomioitu mallissa [5, s. 40]. Kaikki katastrofimallit eivät kata jokaista vaaratekijää jokaisessa maassa ja tämä saattaa rajoittaa niiden käyttöä riippuen siitä, missä kyseinen yhtiö liiketoimintaansa harjoittaa. Toinen vaihtoehto mallintamattomille vahingoille on, että kyseistä riskiä ei ole (riittävästi) huomioitu mallissa². Viime vuosina sattuneiden katastrofien oppeja hyödynnetään malleissa lähivuosien aikana, kun saadaan tarkempaa uutta tietoa yhdistettynä uuteen tieteelliseen ajatteluun [20, s. 4].

Mallin laadullisessa arvioinnissa voidaan tutkia ja arvioida mallissa käytettyjä datalähteitä, menetelmiä ja oletuksia. Mallin kehittäjät tuottavat näkemyksensä luonnonkatastrofeista yhdistämällä asiantuntemusta riippumattomista julkaistuista tutkimuksista, omista tutkimuksistaan ja analysoimalla vahinkohistoriatietoja (sekä julkisista lähteistä kerättyjä että vakuutusyhtiöiltä saatuja yhtiökohtaisia tietoja) [5, s. 45]. Katastrofimallin tarjoajan tekemä datan validointi ja mallin kalibrointi tuottaa koko alan tasaisen näkemyksen riskistä, joka saattaa kuitenkin olla eri kuin yhtiön oman liiketoiminnan näkökulmasta muodostettu näkemys riskistä. Mallissa huomioitujen riskien mallinnuksen arviointiin yhtiöillä saattaa olla historiallista vahinkoaineistoa, jota voidaan käyttää validoimaan tiheämmin sattuvia katastrofivahinkoja. Harvoin sattuvien vahinkojen osalta yhtiöiden pitää varmistaa, että ne ovat tyytyväisiä mallin tarjoa-

²Esimerkkejä vuodelta 2011 [20, s. 2]: Uuden-Seelannin maanjäristys: tuntematon mannerlaattojen sauma, joten maanjäristys puuttui tapahtumaskenaarioista. Japanin maanjäristys: mannerlaattojen ei geologisten tutkimusten pohjalta odotettu liikkuvan niin suurelta alueelta, joten tapahtuma tulee vaikuttamaan myös seismologiseen tutkimukseen ja arvioihin maailmanlaajuisesti. Lisäksi tsunami sekä sen seurannaisvaikutukset puuttuivat tapahtumaskenaarioista. Myös Australian tulvat puuttuivat mahdollisista skenaarioista.

jan tekemään validointiin. Tarvittaessa ne voivat käyttää myös useita malleja ja asiantuntija-arvioita [5, s. 51].

Mallin valinnassa on tärkeä huomioida myös yhtiön kyky koota mallin tehokkaaseen käyttöön sopiva ja riittävän tarkalla tasolla oleva riskialtistusaineisto [5, s. 40]. Tässä on hyödynnettävä herkkyysanalyyseja, jotta saadaan selville tulosten herkkyys käytettävän lähtötietoaineiston suhteen.

Katastrofimalleissa on valintoja ja asetuksia, joiden perusteella mallin tuloksia voidaan kalibroida [5, s. 43]. Katastrofimalleja käytävillä yhtiöillä tulee olla riittävä asiantuntemus näistä mahdollisuuksista ja mallin tarjoajan suosituksista niiden käyttöön. Tehdyt valinnat ovat usein toisistaan riippuvia ja niitä pitää käsitellä mallinnustapana pikemmin kuin yksittäisinä valintoina [5, s. 44]. Vaikka yhtiö käyttäisi mallin tuloksia kolmannen osapuolen kautta, tulee yhtiön silti itse päättää mallinnuksessa käytettävistä valinnoista ja asetuksista.

Suuri osa katastrofimallien käyttäjien ajasta menee sen ymmärtämiseen, mitkä oletukset ovat kaikkein tärkeimpiä kyseiselle mallille ja mikä vaikutus niillä on tuloksiin [20, s. 6]. Tämän tiedon saaminen edellyttää mallin kattavaa herkkyys- ja stressitestausta sekä mallin parametrien että lähtötietojen osalta. Mallin herkkyyttä lähtötietojen oletuksille voidaan testata käyttämällä tasaisista portfolioista³ mallin lähtötietoina. Lisäksi voidaan testata lähtötietoaineiston tarkkuustasoa sekä verrata tuloksia eri katastrofimalleista [5, s. 52]. Näin voidaan määrittää, minkä suuruisia muutoksia vaaratekijöissä tai alueissa saattaa tapahtua ja mikä saattaa aiheuttaa merkittäviä vaikutuksia yhtiön riskiprofiiliin [5, s. 41].

Mallin valinnassa on lisäksi tärkeä huomioida saatavilla oleva tuki ja sen läpinäkyvyys, kun yhtiön kehittää ymmärrystä mallissa käytetyistä teorioista ja oletuksista [5, s. 40]. Mallin valintakriteereitä on suositeltavaa tarkastella säännöllisesti, jotta voidaan varmistua, että malli pysyy yhtiön liiketoiminnan riskejä kuvaavana [5, s. 40].

2.4.3 Usean mallin käyttö

Vakuutuslalla on yleistä, että yhtiöt käyttävät useita katastrofimalleja vakuutuskantansa riskien analysointiin. Usean mallin käyttö tarjoaa mahdollisuuden verrata eri mallien vahvuuksia ja heikkouksia ja tasapainottaa tilanteita, joissa katastrofimalleissa hyödynnetyissä tieteissä on eroja [20, s. 5]. Lisäksi se mahdollistaa tulosten yhdistämisen useista eri malleista [5, s. 54]. Edelleen käytäntöä tukee jälleenvakuutusmeklareiden tapa tarjota tulokset kaikista kyseiselle alueelle ja riskitekijälle tarjolla olevista malleista. Käytetty lähestymistapa saattaa riippua myös käyttötarkoituksesta, sillä yhtiöt saattavat käyttää yhtä mallia vastuunvalintaan ja toista taas pääomien hallintaan [5, s. 56].

Mallia kalibroitaessa tuloksia toisesta tai kolmannelta mallista voidaan käyttää kalibroimaan tuloksia ensimmäisestä mallista [5, s. 55]. Tässä tapauksessa tuloksia muista malleista ei käytetä myöhemmin liiketoiminnan päätöksenteos-

³Tasaisella portfolioilla viitataan vakuutuskantaan, jossa riskille altis vakuutusmäärä on sama vakio jokaisella alueella.

sa, mutta vertaamalla useita tuloksia voidaan pienentää yksittäiseen ulkoiseen malliin tai toimijaan liittyvää riskiä. Eri katastrofimalleissa voi olla huomattavia eroja sekä iässä että alkuperässä. Voi olla myös suuria eroja mallin muutosten tiheydessä, suuruudessa ja suunnassa. Usean mallin käyttö voi vähentää riskiä yksittäisen katastrofimallin yhtäkkisen tai suuren muutoksen vaikutuksista [20, s. 5].

Katastrofiriskinsä analysoimiseksi yhtiöt voivat myös yhdistää kahden tai useamman mallin tuloksia yhdeksi tulokseksi. Tämä voidaan nähdä menetelmänä vähentää riskiä mallin epätäydellisyydestä tai harhasta [5, s. 55]. Usean mallin tulosten matemaattinen yhdistäminen on haastavaa [20, s. 6] ja prosessissa joudutaan turvautumaan riippuvuusrakenteisiin. Jos yhtiö käyttää monen mallin tuloksia yhdistettyinä, sen tulee ymmärtää syvällisesti sekä yksittäiset mallit että mallien yhdistämistekniikka. Mallinnusprosessin tuleekin noudattaa mallin valinnan ja validoinnin hyviä käytäntöjä myös käytettäessä useita malleja.

Useiden mallien käyttöä rajoittavat ensisijaisesti resurssit. Usean mallin käyttöön liittyviä ongelmia voidaan pienentää käyttämällä jälleenvakuutusmeklaria, joka säännöllisesti käyttää useaa mallia [20, s. 6]. Tyypillisiä usean mallin lähestymistapoja [5, s. 57]:

- *Yleisessä lähestymistavassa hyödyntää yksinkertaisia painoja* lasketaan eri mallien tulosten painotettu keskiarvo. Tässä menetelmässä oletetaan, että mallien tulokset on kalibroitu samalla tavalla. Painot perustuvat yleisiin oletuksiin mallista ennemmin kuin sekoitettavien mallien yksityiskohtiin. Painoja voidaan käyttää joko vahinkojen lukumäärien jakautumiin tai suuruusjakautumiin.
- *Vaihtoehtoisessa lähestymistavassa hyödyntää yksinkertaisia painoja* määritetään mahdollisista tapahtumista taulukot ja yhdistämispainoja sovelletaan tapahtumien lukumääriin. Simulointimenetelmiä voidaan käyttää, kun otetaan huomioon vuotuinen vahinkotaulu. Tässä menetelmässä säilytetään fysikaaliset tapahtumajoukot ja niihin liittyvät vahinkojalanjäljet. Menetelmä on todennäköisyyspainotettu ja siten se mahdollistaa myös riippuvuuksien käytön.
- *Mallin ositus* painottaa eri mallien komponentteja eri tavalla, joka mahdollistaa mallin osa-alueiden herkkyydestauksen sekä hyvien osamallien hyödyntämisen.
- *Muuttuvassa painosekoituksessa* eriytetään jokin mallin komponentti ja sovelletaan painojen jakautumaa.
- *Yhdistäminen* tarkoittaa usean mallin tuloksen yhdistämistä toisen mallin, tyypillisesti yhtiön sisäisen mallin, lähtötiedoiksi. Tämä ottaa huomioon eri vakuutuskannoille sopivat mallit, silloin kun vakuutuskantoja ei voida mallintaa samassa mallissa.

Luku 3

Euroopan myrskyriskien mallinnuksesta

3.1 Yleistä

Ekstratrooppiset myrskyt aiheuttavat merkittävän riskin vakuutetulle omaisuudelle Euroopan maaperällä. Vaikka myrskyjen aiheuttamat yksittäiset vahingot ovatkin keskimäärin pieniä, johtuen laajasta vakuutusturvasta yli suurimman osan Eurooppaa, kokonaisvahingot voivat nopeasti nousta miljardeihin euroihin [15, s. 2]. Odotetut vuotuiset vahingot ovat toiseksi suurimmat Yhdysvaltojen hurrikaanivahinkojen jälkeen [2, s. 2]. Nämä talvimyrskyiksi kutsutut matalan paineen systeemit muodostuvat, kun lämmin ja kostea ilma subtrooppisilta alueilta konvergoi subarktisten alueiden kylmän ilman kanssa [25, s. 1]. Niiden reitti kulkee Atlantin yli ja saapuessaan läntiseen Eurooppaan ne tuovat kovia tuulia, voimakkaita sateita ja aiheuttavat tulvia rannikoille.

Tiettyjen¹ ilmasto-olosuhteiden vallitessa, kuten talvikaudella 2011–2012, talvimyrskyjen reitti kulkee kohti Eurooppaa koillissuunnassa, jolloin ne vaikuttavat erityisesti Brittein saariin ja Skandinaviaan [25, s. 3]. Toisissa ilmasto-olosuhteissa, myrskyjen reitti kulkee itään, jolloin ne vaikuttavat erityisesti Välimeren maihin ja Saksaan. Ekstratrooppiset myrskyt eroavat trooppisista myrskyistä merkityksellisellä tavalla vakuutettujen vahinkojen arvioinnin kannalta. Talvimyrskyjen tuulen nopeudet ovat alhaisia suhteessa hurrikaaneihin nousten ainoastaan 120–175 kilometriin tunnissa, mutta tuulet voivat kuitenkin yltää kauaksi sisämaahan ja jopa voimistua sisämaassa. Tämän vuoksi Euroopan talvimyrskyillä on hyvin laaja vahinkojalanjälki [15, s. 1]. Kuvassa 3.1 on esitetty eräiden suurten talvimyrskyjen reittejä. Reiteistä voidaan havaita myös niiden vaikutus laajalla alueella sisämaassa.

Talvimyrskyt ovat tärkein laajasti vakuutettu luonnon aiheuttama vaarail-

¹ Sään vaihtelevuutta kuvaa Pohjois-Atlantin oskillaatio (engl. the North Atlantic Oscillation, NAO). NAO-indeksi määritellään subtrooppisen korkeapaineen (Azorien korkeapaine) ja subarktisen matalapaineen (Islannin matalapaine) ilmanpaineiden erona. NAO+ olosuhteissa myrskyjen reitti kulkee yleensä koilliseen ja NAO– yleensä itään [25, s. 3].



Kuva 3.1: Eräiden myrskyjen reitit vuosilta 1999–2010 havainnollistavat talvi-myrskyjen vaikutusta sisämaassa [15, s. 1].

miö Euroopassa [7, s. 1] ja myös ainoa kaupallisissa katastrofimalleissa huomioitu Suomen luonnonkatastrofiriski. Talvimyrskyjä sattuu huomattavan usein Euroopassa, vaikka tyypillisesti vain muutamat niistä vuodessa ovat riittävän voimakkaita aiheuttamaan merkittävää vahinkoa esimerkiksi metsälle [14, s. 2]. Taulukossa 3.1 on esitetty kymmenen vakuutettujen vahinkojen² mukaan mitattuna merkittävintä Euroopan talvimyrskyä vuosilta 1980–2011 [19].

Talvikaudella 2011–2012 nähtiin useiden vahinkoa aiheuttavien talvimyrskyjen kulkevan yli Euroopan. Pahimmat vahingot Suomessa aiheutti joulun 2011 jälkeen Skandinavian, Baltian ja Pohjois-Saksan yli kulkenut Tapani³-myrsky. Myrsky aiheutti muun muassa omaisuusvahinkoja, metsävahinkoja, maanvyörymiä ja massiivisia sähkökatkoksia. Tapani-myrskystä aiheutui vahinkoa yhteensä 432 miljoonaa euroa ja vakuutettuja vahinkoja 284 miljoonaa euroa [23, s. 26]. Suomessa Tapani-myrsky vaikutti koko eteläiseen Suomeen ja oli pahin myrsky sitten vuoden 2001 Janika myrskyn aiheuttaen vakuutettuja vahinkoja yhteensä yli 100 miljoonaa euroa [11].

²USD-EUR vaihtokurssina vuoden 2012 keskimääräinen kurssi 0,7783 (www.ecb.eu/stats/)

³Myrskyä kutsutaan englanninkielisessä tekstissä yleisimmin Norjan ilmatieteen laitoksen antamalla Dagmar-nimellä, mutta myös Berliinin yliopiston antamalla Patrick-nimellä.

Taulukko 3.1: Merkittävimmät talvimyrskyt Euroopassa 1980–2011.

Ajankohta	Myrsky	Kokonaisvahingot	Vakuutetut vahingot
26.12.1999	Lothar	8 950 m€	4 590 m€
18-20.1.2007	Kyrill	7 780 m€	4 510 m€
25-26.1.1990	Daria	5 330 m€	3 970 m€
15-16.10.1987	87J	3 040 m€	2 410 m€
26-28.2.2010	Xynthia	4 750 m€	2 410 m€
24-27.1.2009	Klaus	3 970 m€	2 330 m€
7-9.1.2005	Erwin (Gudrun)	4 510 m€	2 020 m€
27-28.12.1999	Martin	3 190 m€	1 950 m€
3-4.12.1999	Anatol	2 330 m€	1 870 m€
25-27.2.1990	Vivian	2 490 m€	1 630 m€

Luvussa 2 käsiteltiin katastrofiriskien mallinnusta ja analysointia yleisesti. Suomen suurimmaksi luonnonkatastrofiriskiksi on katastrofimalleissa huomioitu talvimyrskyt osana Euroopan talvimyrskyjen mallinnusta. Suomi on huomioituna mallinnettu kahdessa kaupallisessa katastrofimallinnusohjelmistossa, yhtiöiden AIR ja EQECAT Eurowind-malleissa. Tämän luvun pykälässä 3.2 esitellään mallinnusta tekevät yritykset yleisesti. Tämän jälkeen pykälissä 3.3 – 3.6 kuvataan näiden yhtiöiden Euroopan myrskyriskimallien komponentteja julkisesti⁴ käytössä olevan informaation perusteella erityisesti Suomen riskien mallinnuksen kannalta.

3.2 Katastrofimallinnussyrityksistä

Katastrofimallinnus vaatii syvällistä asiantuntemusta useilta eri tieteenaloilta, jonka vuoksi katastrofiriskien analysointi perustuu tyypillisesti kaupallisiin katastrofimalleihin. Katastrofimallinnuksen kolme suurinta yritystä ovat EQECAT, AIR (Applied Insurance Research) Worldwide ja RMS (Risk Management Solutions) [12, s. 24].

AIR Worldwide on perustettu vuonna 1987 Bostonissa ja se on osa Verisk Analytics -yhtiön Verisk Insurance Solutions -ryhmää [2, s. 8]. AIR mallintaa luonnonkatastrofi- ja terrorismiriskejä yli 90 maassa. AIR on kehittänyt katastrofimalleja eri maantieteellisille alueille: Pohjois-, Keski- ja Etelä-Amerikka, Eurooppa, Karibia sekä Aasia-Tyynenmeren alue [4]. Vähintään yhdellä maantieteellisellä alueella mallinnetut vahinkoilmiöt ovat trooppiset syklonit (hurrikaanit, taifuunit), maanjäristykset, satovahingot, sisämaan tulvat, ekstrapooppiset syklonit (talvimyrskyt), vakavat ukkosmyrskyt (tornado, raesade, syöksyvirtaukset), maastopalo, terrorismi [4].

⁴Yhtiöt tarjoavat mallin käyttöönsä lisensoineille asiakkaille myös yksityiskohtaisempaa informaatiota.

AIRin ekstratrooppisten syklonien malli Euroopalle (versio 13), kattaa 18 maata eli lähes koko Euroopan, joka altistuu ekstratrooppisille myrskyille. Tänä päivänä AIRin neljännen sukupolven ekstratrooppisten syklonien malli Euroopalle edustaa yli vuosikymmenen kokemusta tällaisten sääsystemien mallintamisessa. Euroopan myrskyriskimallissa huomioidut vakuutuslajit ovat kotivakuutus, kaupalliset kiinteistöt, teollisuuskiinteistöt, maatalous, kasvihuoneet, metsätalous ja autovakuutus [15, s. 4].

EQECAT on perustettu vuonna 1994 San Franciscossa ja nykyisin se on ABS Consulting Inc. yhtiön tytäryhtiö [8, s. 2]. RQETM (Risk Quantification & Engineering) on EQECATin vuonna 2012 julkaisema katastrofimallinnusohjelmisto, joka kattaa kaikkiaan 180 luonnonkatastrofimallia 96 maalle ja alueelle kuudessa eri maanosassa [10, s. 2]. Mallinnetut vahinkoilmiöt ovat maanjäristys (maan järiseminen, tätä seuraava tulipalo, sammutinjärjestelmän vuoto, lakisääteinen tapaturmavakuutus), trooppinen sykloni ja myrsky (tuuli, myrskyn nostama aallokko, tuulen aiheuttama tulva), maastopalo, talvimyrsky ja tulva.

EQECAT on kehittänyt useita alueellisia malleja. Esimerkiksi Euroopan myrskymalli Eurowind kattaa 22 eri maata, mukaan lukien Suomen [10, s. 2]. Mallinnetut vakuutuslajit sisältävät kotitaloudet, kaupalliset kiinteistöt, teollisuuskiinteistöt, kunnalliset kohteet, maatalouskohteet ja metsätalouden [8, s. 2]. Mallinnetut vakuutussuojat ovat rakennus, irtaimisto ja keskeytys. Kaikki pääasialliset rakennustyytit ja toimialat on mallinnettu vakuutuslajeittain.

Risk Management Solutions (RMS) yhtiö on muodostettu vuonna 1988 Stanfordin yliopistolla. Se mallintaa katastrofiriskejä tällä hetkellä yli sadassa maassa. Mallinnetut riskit ovat maanjäristys, hurrikaanit, myrskyt, tornadot ja rae-sateet, tulipalot, tulvat, terrorismi ja pandeeminen influenssa [22]. Euroopan myrskyriskin mallinnus kattaa 15 eri maata, mutta ei Suomea, joten tätä mallia ei tarkastella tässä työssä tarkemmin.

3.3 Lähtötietoaineisto

3.3.1 Lähtötietoaineisto, AIR

Katastrofimallin lähtötietoina määritellään riskille alttiina olevan vakuutuskanan olennaiset tiedot niin tarkasti kuin mahdollista. Olennaisimpia tietoja myrskyriskialttiuden määrittämiseen on vakuutettujen kohteiden sijainti. AIRin katastrofimallissa mallinnus voidaan tehdä kaikille maille cresta⁵ alueittain, kuntatasoisesti, postinumeroitain tai käyttäjän määrittelemänä pituus- ja leveyspiireinä [2, s. 7].

Mallissa huomioidaan omaisuusriskit ja niiden aika-arvoon liittyvät keskeytysvahingot. Kohteiden vahingoittuvuuserojen huomioimiseksi malli tukee kaikissa maissa yhteensä 34 eri rakennusluokkaa ja 50 eri toimialaluokkaa [2, s. 7].

⁵Cresta alue on vakuutuslalla yleisesti käytetty standardi riskialtistusaineiston maantieteelliseen luokitteluun. Se on lyhenne sanoista Catastrophe Risk Evaluation and Standardizing Target Accumulations. Suomessa cresta alueen kertoo alueen postinumeron kaksi ensimmäistä numeroa ja niitä on yhteensä 99.

Näiden lisäksi Tanskassa ja Alankomaissa tuetaan erillistä kasvihuone-luokkaa sekä Suomessa, Norjassa ja Ruotsissa metsätalous-luokkaa.

Vakuutusvahinkojen laskemiseksi lisäksi malli tarvitsee lähtötiedoiksi mallinnsuokittain vakuutettujen kohteiden vakuutussopimuksiin liittyvät tiedot, kuten vakuutusmäärän ja omavastuun. Suomessa myös täysarvovakuutukset ovat tyypillisiä, joten yhtiöiden on laskettava näiden enimmäiskorvausmäärää vastaavat summat mallinnuksen lähtötiedoiksi.

Jos yksityiskohtaista tietoa ei ole saatavilla, voivat yhtiöt hyödyntää yksityiskohtaista vakuutusalan tasoista riskialtistustietokantaa (IED, Industry Exposure Database). Se perustuu viimeisimpään saatavilla olevaan tietoon riskien lukumääristä, rakennusten tiedoista, jotka on saatu useista tilastollisista toimistoista ja hallintotoimipisteistä [2, s. 6]. Koska näiden tietojen tarkkuustaso vaihtelee merkittävästi, AIR käyttää hienostunutta algoritmia, joka ottaa huomioon topografian, satelliittitiedosta johdetun maankäyttötiedon ja ”yövalojen” aineiston jakaakseen maan riskitarkastelun yhden neliökilometrin suuruisiin alueisiin. Tämä mahdollistaa yhdenmukaisen mallinnuksen sekä maan sisällä että eri maiden välillä, joka on erityisen tärkeää mallinnettaessa Euroopan ekstratrooppisia sykloneja [2, s. 6].

AIR on lisäksi luonut tarkan metsävakuutusten mallintamiseen tarkoitetun vakuutusalan riskialtistus tietokannan Norjalle, Ruotsille ja Suomelle käyttämällä eri metsäntutkimuslaitosten tietoja [14, s. 5]. Nämä tietokannan tiedot tarjoavat merkittävää lisäarvoa yhtiöille, joilla ei ole yksityiskohtaista tietoa riskialtistuksestaan. Lisäksi AIR malli tarjoaa metsävakuutukselle oletuksena korvausarvon per pinta-alayksikkö tapauksissa, jossa sitä ei ole saatavana [14, s. 5]. Tämä oletusarvo ottaa huomioon tiedon, että vahingoittuneiden tukkipuiden arvo ei vastaa koko vahinkoa, vaan osa niistä voidaan hyödyntää esimerkiksi kuitupuuna. Tässä huomioidaan, että myrskyvahinkojen korvausarvo on tyypillisesti alhaisempi kuin tulipalossa, koska palaneella puulla ei ole arvoa.

3.3.2 Lähtötietoaineisto, EQECAT

EQECATin myrskyriskimalliin riskialtistusdata voidaan tuoda malliin pituus- ja leveyspiiritietojen perusteella, paikan nimien perusteella, cresta alueittain tai maatasolla [8, s. 2]. Postinumerotasolle yhdistetyt tiedot puretaan ja geokoodataan pääasiallisiin populaatiokeskittyymiin käyttämällä populaatiopainotettua lähestymistapaa. Mallin hienojakoistamismenetelmät perustuvat viimeisimpiin väestölaskentoihin ja muihin saatavilla oleviin tilastollisiin aineistoihin [24, s. 56].

Myös Euroopan rakennuskanta sisältää suhteellisen korkean osuuden vanhempaa rakennuskantaa ja vahingoittuvuusfunktioiden tulee huomioida useampien rakennustapojen käyttö. Mallinnetut vakuutuslajit ovat yksityiset kohteet, kaupalliset kohteet, suuryritykset, kunnalliset kohteet, maatalouskohteet ja metsä [8, s. 2]. EQECATin mallin kuvauksen mukaan kaikki olennaiset rakenne- ja käyttöluokat rakennuksille on mallinnettu. Vahingot lasketaan rakennuksille, irtaimistolle ja keskeytysvakuutukselle.

Vakuutusalan riskialtistus on saatavilla erikseen EQECATin tietokannasta, Insured Exposure Data for Europe [8, s. 2].

Kuten AIR mallissa, vakuutusvahinkojen laskemiseksi malli tarvitsee lisäksi lähtötiedoiksi mallinnusluokittain vakuutettujen kohteiden vakuutus sopimukseen liittyvät tiedot, kuten vakuutusmäärän ja omavastuun.

3.4 Vahinkotapahtuma

3.4.1 Vahinkotapahtuma, AIR

Ekstratrooppisten syklonien mallissa mallinnetaan epävakaat ilmakehän olosuhteet, joissa ne syntyvät, muunnetaan nämä tuulet tarkoiksi arvioiksi maanpinnan tuulista ja yhdistetään ajan ja paikan suhteen klusterointiin [2, s. 2]. AIRin ekstratrooppinen sykloni mallinnus ottaa huomioon monimutkaisuudet, jotka määrittävät vahinkotapahtuman.

Käyttämällä numeerisia sääennusteanalyyseja, AIRin ekstratrooppisten syklonien malli heijastaa täyttä vaihtelua mahdollisista myrskyistä, joita voidaan kokea Euroopassa, sisältäen niiden esiintymistiheyden, vakavuuden ja reitin [14, s. 4]. Malli ottaa huomioon näihin myrskyihin liittyvät maanpinnan tason tuuliaalueet hyvin yksityiskohtaisella tasolla, yhdistäen tiedot muun muassa tietoihin maaperästä, joka voi aiheuttaa voimakkaita paikallisia tuulipuuskia.

Johtuen ekstratrooppisten syklonien monimutkaisesta rakenteesta ja niiden syntyyn vaikuttavista dynaamisista olosuhteista, historia-aineistoon nojaavat tilastolliset menetelmät eivät anna riittävän realistista kuvaa tulevista myrskyriskeistä. Tiedot eivät ole riittäviä tuottamaan myrskykatalogiin mahdollisia tapahtumia, jotka liittyvät näiden myrskyjen yksilöllisiin tuuliolosuhteisiin [2, s. 2]. Tästä johtuen AIR toi vuonna 2000 alan ensimmäisenä todennäköisyyslaskennallisen katastrofimallin, joka yhdistää numeerisen sääennustamisen (NWP, Numerical Weather Prediction) historiallisiin tietoihin perustuviin menetelmiin.

Luodakseen katalogin mallin simuloitaville vahingoille, AIR mallin kehityksessä hyödynnetään historia-aineistoa ilmatieteentutkimuslaitoksilta eri puolilta Eurooppaa. Perustuen NWP analyysiin, fysikaaliset luonteenpiirteet noin 1500 historiallisesta siemenmyrskystä on muunnettu tuottamaan tapahtumakatalogi yli 50 000 tapahtumasta, jolla tuuliolosuhteet ja myrskyn reitit heijastavat kattavaa vaihtelua mahdollisista koettavista myrskyistä Euroopassa [2, s. 2]. AIR mallin muunnosmenetelmät varmistavat, että myös äärimmäiset tuulitapahtumat, joilla on rajoitettu historiallinen esiintyvyys tai ei historiallisia havaintoja lainkaan, ovat realistisesti edustettuina katalogissa.

Muuntaakseen NWP ilmastomallin tulokset maanpinnassa vaikuttaviksi tuuliksi, AIRin meteorologit hyödyntävät alasskaalausmenetelmää [2, s. 3]. Vaikka karkeamman tarkkuustason mallit saattavat antaa riittävät vahinkoarviot vakuutusalan tasolla, alasskaalatut tuuliaalueet antavat paljon tarkemman kuvan yhtiöiden vakuutuskannan tasolla [2, s. 3]. Tilastotiedot sadoista paikallisista sääasemista parantavat merkittävästi tarkkuutta ja mallinnettujen tuulien todenmukaisuutta maanpinnassa. Paikalliset vaikutukset yhdistetään sisältäen

muun muassa maan käytön ja maan pinta-aineksen ja karkeuden ja tuulen puuskaisuuden.

Myrskyriskien mallinnuksessa on huomioitava myös useiden tapahtumien sattuminen lähellä toisiaan. Historia on toistuvasti osoittanut, että Eurooppaan voi iskeä useita myrskyjä pienellä aikavälillä ja yksittäiset paikat voivat kokea kovia tuulia useana päivänä [2, s. 3]. Vain tuulen nopeuksien tutkiminen saattaa antaa vaikutelman, että ainoastaan yksi laaja myrsky on mennyt ohi. Numeerinen sääennustus sallii sellaisten myrskyjen erottamisen toisistaan niiden keskuksen mukaan. Tämä on kriittinen ominaisuus, jotta voidaan tutkia vahinkojen syntymistä ja riskien välistä korrelaatiota eri maiden välillä. Tällaisten klustereiden oikeanlainen huomiointi tapahtumakatalogissa on myös tärkeä jälleenvakuutus sopimusten huomiointiin, jotka kattavat vuotuiset kokonaisvahingot samoin kuin sopimuksille, jotka rajoittuvat korvaamaan vahingot, jotka sattuvat tiettyssä aikaikkunassa, esimerkiksi 72 tuntia.

Luodakseen robustin ja tieteellisesti tarkan mallin, malli on validoitu suhteessa havaittuun vahinkohistoriaan [2, s. 6]. Validointi ei rajoitu vain mallin tuloksiin, vaan jokainen komponentti validoidaan suhteessa moniin eri lähteisiin, esimerkiksi myrskykatalogia verrataan historian myrskytietoihin ja mallinnettuja myrskytuulia verrataan havaittuihin myrskytuuliin. Mallinnetut vahingot on validoitu suhteessa raportoituun vakuutusalan vahinkoaineistoon ja yli 3 miljardin euron vakuutusyhtiöiden vahinkoaineistoon [3, s. 7].

3.4.2 Vahinkotapahtuma, EQECAT

EQECATin Eurowind malli on todennäköisyyslaskentaan perustuva riskimalli, joka kvantifioi tulevaa myrskyriskiä Euroopassa [8, s. 1]. Se julkaistiin vuonna 1997 ja siihen on tehty sen jälkeen useita suurempia päivityksiä. Nykyisin vahinkoilmiön mallinnus perustuu ”hybridimalliin”, joka yhdistää mallin empiiristen vahinkoilmiöiden perusteisiin näkökulmat sekä numeerisesta että fyysisestä mallinnuksesta [8, s. 1]. Stokastinen tapahtumakatalogi koostuu yhdistelmästä historiallisia tapahtumia ja AOGCM⁶-ilmastomallin mukaan mallinnettuja myrskyjä.

Mallin tapahtumakatalogi perustuu pääosin stokastisille muunnoksille menneistä tapahtumista, ja tämän on arvioitu olevan kaikkein sopivin tapa generoida synteettisiä tapahtumia epäsymmetrisestä monimutkaisesta systeemistä [8, s. 1]. Menneiden tapahtumien osalta vahinkoilmiön voimakkuutta on mitattu puuskatuulten nopeusaineistolla, jotka ovat noin 3900 Euroopan meteorologiselta asemalta [8, s. 1]. Puuskatuuliaineistossa on ajateltu olevan korkea sijainnillinen tiheys ja hyvin alhainen epävarmuustaso [18, s. 42]. Ylläpitääkseen meteorologisten alueiden reunojen aineistojen yhdenmukaisuutta vahinkointensiteetissä, suunnassa ja kestossa tapahtumamallinnuksessaan, kansallisten meteorologisten asemien tietoja on täydennetty Yhdysvaltojen kansallisen ilmastotietokeskuksen⁷ tuulimittauksilla [18, s. 43]. Tämän jälkeen tiedot (mittausaseman

⁶Atmosphere-Ocean General Circulation Model

⁷NCDC, the Nation Climatic Data Centre

sijainti ja korkeus) on puhdistettu, geokoodattu ja tarkistettu. Vahinkoilmiömallin empiirinen perusta sallii myös maiden välisten korrelaatioiden realistisen arvioinnin.

Täydentääkseen historiallisiin tietoihin perustuvaa tapahtumien joukon generointia, EQECAT käyttää AOGCM ilmastomallin tuloksia 22 mallinnettuun Euroopan maahan [8, s. 1]. AOGCM analyysi mahdollistaa tapahtumajoukon tärkeiden näkökulmien uudistamisen, kuten esiintymistiheydet, klusterointi ja myrskyn fysikaaliset parametrit. Näin voidaan vähentää vahinkoilmiömallin epävarmuutta. AOGCM mallin käyttäminen tarjoaa lisää robustia tietoa myrskyjen luonteista (esimerkiksi suurin mahdollinen poikkeama, alueellinen myrskyn reittien jakautuma), jota voidaan käyttää lisänä mitattujen tuulen nopeuksien aineistoon ja näin lisätä luotettavuutta stokastisen tapahtumajoukon generointiin [18, s. 43]. Se myös validoi suurten myrskyjen klusteroinnin mallinnusta.

Vahinkoilmiöiden vaikutusten analyysitarkkuus on 500m x 500m ruudusto, joka perustuu alueen maaperään ja maankäyttötietoihin [8, s. 2]. Malliin on sisällytetty tuulen muokkain, joka ottaa huomioon paikallisen maanpinnan muodot ja tuulen puuskaisuuden, poistaa niiden paikalliset vaikutukset ja muuttaa epä-säännöllisin välein mitatut tuulen nopeudet vapaiksi tuulen nopeuksiksi, joita voidaan tämän jälkeen tasaisesti interpoloida [8, s. 1]. Nämä ehdot muunnetaan 500 metrin ruudustoon, josta ne ovat myöhemmin uudestaan sovellettavissa todennäköisiin vapaisiin tuulen nopeus jalanjälkiin, jotta voidaan määrittää realistiset tuulivahinkoilmiöt missä tahansa sijainnissa. Yhdessä tuulen muutosvaihteluiden kanssa, näitä ehtoja käytetään kvantifioimaan tuulen nopeus epävarmuudet missä tahansa paikassa.

Talvimyrskyihin saattaa liittyä myös merenpinnan nousu ja tästä aiheutuvan tulvavahinkojen riski. Myrskyn aiheuttama veden pinnan nousu vahinkoilmiönä on kuitenkin mallinnettu ainoastaan Iso-Britannialle, Ranskalle ja Ruotsille [8, s. 1]. Tuulen nopeudet ja tuulen suunnat johdetaan yksittäisistä satunnaisten tapahtumien jalanjäljistä, jotta voidaan määrittää myrskyn aiheuttama veden pinnan nousu.

EQECATin mallissa simuloidaan 300 000 vahinkovuotta [10, s. 1]. Yhtiön mukaan tämä mahdollistaa monimutkaisten piirteiden mallintamisen, kuten riskien välisen korrelaation, ei-Poisson-jakautuneet tapahtumien lukumäärä jakautumat ja useaan tapahtumaan liittyvien vakuutusehtojen käsittelyn, kuten vuosittaiset rajat, uudistusten lukumäärät ja aikaisemmat tapahtumat.

Malli on validoitu vertaamalla mitattujen ja mallinnettujen tuulen nopeus aineistoja historiallisiin tapahtumiin. Näiden välillä on havaittu merkittävää korrelaatiota [8, s. 2]. Tämä tehtiin viimeksi Xynthia myrskylle positiivisin tuloksin. Sen todentamiseksi, että stokastinen tapahtumajoukko täyttää nämä ehdot, kaikki pääparametrit stokastisista myrskytapahtumista on laskettu ja verrattu historiatietoihin.

3.4.3 Vahinkotapahtuma, Vertailu & yhteenveto

Kriittinen alue Euroopan myrskyjen mallintamisen epävarmuudesta liittyy vahinkoilmiöön itseensä [24, s. 55]. AIR ja EQECAT mallien vahinkoilmiön mallinluslogiikka on peruseriaatteiltaan samanlainen. Molemmat ovat niin sanottuja hybridimalleja, joissa yhdistetään sekä havaittuja tietoja historiallisista myrskyistä että ilmastomallinnusta.

EQECAT perustuu havaittujen puuskatuulten nopeuksien interpolointiin, johon lisäksi huomioidaan alueelliset olosuhteet. Vahinkoilmiön mallinnusta täydennetään AOGCM ilmastomallin antamalla tuloksilla tietoihin. AIR malli perustuu mallinnettuihin puuskatuuliin useista eri puuskatuulten parametriseintiohjelmista ja on yhdistetty NWP ilmastomallinnukseen. Ilmastomallinnusta käytetään siis molemmissa malleissa täydentämään vahinkotapahtumien joukkoa erilaisten mahdollisten tulevaisuuden skenaarioiden osalta, mutta käytetyt ilmastomallit ovat erilaiset. Molemmilla lähestymistavoilla on hyvät ja huonot puolensa.

AOGCM ja NWP mallit ovat molemmat maailmanlaajuisia ilmastomalleja [24, s. 56]. Niiden perusrakenne on samanlainen ja perustuu maapallon ilmastosysteemin pääkomponenttien, kuten ilmakehä, meri, kasvillisuus, jäämassat ja kemia, kehityksen simulointiin. Pääasiallinen ero on, kuinka malleja käytetään. NWP malleja käytetään tyypillisesti lyhyihin, vain muutaman päivän mittaisiin, aikasarjoihin [24, s. 56]. Johtuen niiden lyhyestä simulointijaksosta, NWP mallit käyttävät olennaisesti ainoastaan ilmakehäkomponentteja, sillä muut systeemin osa-alueet eivät olennaisesti muutu lyhyellä aikavälillä [24, s. 56]. Tämän vuoksi niitä voidaan käyttää tarkemmalla tarkkuudella kuin AOGCM malleja.

Myrskyriskien mallinnuksessa NWP malleja käytetään generoimaan historiallisia ja stokastisia tapahtumajoukkoja. Niitä käytetään myös myrskyjen enustamiseen [24, s. 55]. Vaikka NWP lähestymistapa antaa vertikaalisen dimensio vahinkoilmiölle ja voi auttaa ymmärtämään paremmin myrskyn kehittymistä, sitä ei voida suoraan käyttää mallintamaan maassa sattuvia vahinkoja [24, s. 55]. Mallinnetut vapaat tuulet on ensin skaalattava myrskyn aiheuttamien vahinkojen määrittämiseksi maanpinnan tason tuuliksi. Tämän vuoksi Euroopan myrskyilmiöitä voidaan vain approksimoida NWP simulaatioilla.

AOGCM ilmastomalleja käytetään maailmanlaajuisesti erityisesti pidempiaikaisiin, kymmenien vuosien, ilmastollisiin tutkimuksiin [24, s. 55]. AOGCM mallit käyttävät kaikkia maapallosysteemin komponentteja ja niiden keskinäisiä vaikutuksia simulointiajanjaksoilla ja siten mahdollistavat ilmastomuutoksen vaikutusten tutkimisen myös Euroopan talvimyrskyjen osalta [24, s. 56]. Pääero NWP malleihin on, että ne luovat omat synteettisen sään ja sen vuosittaiset tai vuosikymmenten syklit. Tätä ominaisuutta voidaan käyttää pienentämään vahinkoilmiöihin liittyvää epävarmuutta, kuten mallinnettujen myrskyjen alueellista jakautumaa, myrskyalueen kokoa ja myrskyjen esiintymistiheyttä.

Vahinkovakuutusyhtiöiden vakuutuskannan riskillisyyden arviointiin lyhyen aikavälin ilmastomallinnuksen antamat tulokset ovat riittäviä, koska esimerkiksi sekä ensivakuutuksen että jälleenvakuutuksen sopimukset ovat tyypillisesti vuoden mittaisia. Katastrofimalleja käytetään ulkomailla myös yhteiskunnallisiin

tarkoituksiin ja suunnitteluun, jolloin pidemmän aikavälin, esimerkiksi ilmasto-
muutoksen vaikutukset eri alueiden riskillisyyteen, ovat olennaista tietoa. Usean
vuoden mallinnus tuo kuitenkin osaltaan lisää epävarmuutta vahinkoilmiön mal-
linnukseen.

Euroopan ekstratrooppisissa myrskyissä on historia-aineiston perusteella ha-
vaittu merkittävää klusterointia ja se oli suurinta intensiivisimmässä myrskyis-
sä lähellä Pohjois-Atlantin myrskyjälkeä [6, s. 60]. Tämä alue sisältää eteläi-
sen Skandinavian, Brittein saaret, Benelux-maat, Pohjois-Saksan ja Pohjois-
Ranskan. Tämä myrskyjen klusterointi on otettu molemmissa katastrofimalleis-
sa huomioon ainakin jollakin tavalla. Myrskyjen klusteroinnin huomioiminen
myrskyriskimallinnuksessa on tärkeää erityisesti vakuutusyhtiöiden jälleenva-
kuutussopimusten kannalta, sillä useat pienemmät myrskyt saattavat aiheuttaa
kokonaisvahingon, joka ylittää yksittäisen ison myrskyvahingon (esimerkiksi ker-
ran 100- tai 250-vuodessa vahingon, johon yhtiöt tyypillisesti ovat varautuneita)
[25, s. 4]. Näissä tilanteissa XL-jälleenvakuutussopimukset voivat helposti ylit-
tyä tai eivät vaikuta lainkaan, jättäen vakuutusyhtiöille riittämättömän suojan.

Vahinkoilmiön mallinnukseen liittyy merkittävää epävarmuutta. Epävarmuut-
ta on ensinnäkin siinä, kuvaako stokastisten tapahtumien katalogi kattavasti
epävarmuudet odotettavissa olevista mallinnetuista tapahtumista. Lisäksi epä-
varmuutta on stokastisten tapahtumien katalogia rakennettaessa käytettävien
todennäköisyysjakautumien parametrisoinnissa [5, s. 62]. Epävarmuutta voi liit-
tyä myös tapahtuman paikalliseen voimakkuuteen, esimerkiksi tuulen nopeuteen
tietyissä paikassa, joka aiheuttaa epävarmuutta sattuvan vahingon suuruudessa
[5, s. 62].

Tarkasteltujen mallien mallinnustekniikat ovat erilaiset johtuen erilaisista
tuuliaineistoista sekä erilaisista ilmastomalleista. Lisäksi yhtiöiden käyttämät
validointiaineistot ovat erilaisia. Vahinkoilmiön mallinnustekniikoissa on siis sel-
viä eroja, jotka aiheuttavat eroa mallien antamiin katastrofiriskiarvioihin sekä
voimakkuuden että mahdollisen sijainnin suhteen. Vahinkoilmiön osuutta mal-
linnuksen tuloksiin voidaan tutkia määrittämällä mallin tulokset niin sanotulle
tasaiselle vakuutuskannalle eli käyttämällä jokaiselle sijainnille samaa vakiota
vakuutusmäärää esimerkiksi päävakuutusluokan osalta. Tällöin vakuutuskannan
sijainnilliset tai vakuutusluokkakohtaiset jakaumaerot eivät vaikuta tuloksiin.

Lisäksi on huomioitava, että myrskyt voivat aiheuttaa myös Suomessa meri-
veden pinnan nousun. Merivesitulvan riski on toki Suomen altistuman myrsky-
riskin kokonaisriskiin verrattuna pieni, mutta alueellisesti voi aiheuttaa merkit-
täviäkin vahinkoja. Tätä ei missään kaupallisessa myrskyriskimallissa ole Suo-
men osalta toistaiseksi huomioitu.

Edelleen on huomioitava, että vahinkotapahtuman mallinnuksessa kokonais-
vahingon mallinnus on vain yksi komponentti ja mallin hyvyyden ratkaisee
ennen kaikkea kokonaisuus. Esimerkiksi vahingoittuvuuden mallintamisella on
suuri merkitys mallin antamiin vahinkoarvioihin.

3.5 Vahingoittuvuus

3.5.1 Vahingoittuvuus, AIR

Katastrofimallinnuksessa vahingoittuvuusfunktiot muuntavat rakenteisiin tai vakuutuskantaan vaikuttavan vahinkoilmiön voimakkuuden rahalliseksi vahingoiksi ennen kuin riskin jakamisinstrumentteja, kuten vakuutussopimusta, on otettu huomioon [13, s. 1].

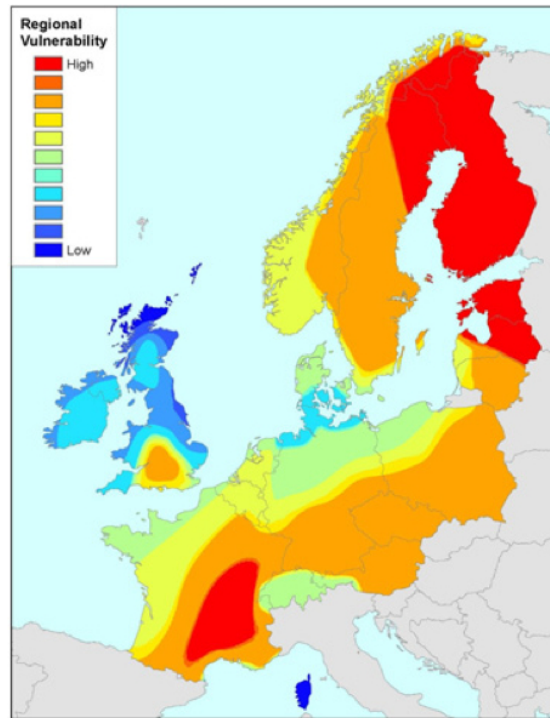
Luotettavien vahinko- ja korvausarvioiden generoiminen talvimyrskyistä Euroopassa on haastavaa, sillä sekä vahinkoilmiö itse että kiinteistöjen vahingoittuvuus eri puolilla Eurooppaa, omaavat ominaispiirteitä ja muuttujia, jotka eivät suoraan osu perinteisiin mallinnuskäytäntöihin [15, s. 1]. Havaittu aineisto katastrofivahingoista on osoittanut, että vahingoittuvuusfunktio on hyvin monitahoinen eikä sitä voida riittävän kuvaavasti mallintaa käyttämällä tyypillisiä parametrisia jakautumia [13, s. 4]. AIR mallissa on käytetty useita eri lähestymistapoja vahingoittuvuusfunktioiden määrittämiseen. Ne estimoidaan ensin perustuen insinööritieteellisiin analyysihin, tutkimusjulkaisuihin ja vahinkojen jälkeisiin tutkimuksiin ja korvausaineistoihin [13, s. 5]. Kun lisää aineistoa tulee saataville, vahingoittuvuusfunktioita uudelleenarvioidaan ja päivitetään [13, s. 5].

Tällä hetkellä AIR mallissa on vahingoittuvuusfunktiot 34 erilaiselle rakennusluokalle ja 51 käyttötavalle. Metsävakuutus on huomioitu vain Suomessa, Ruotsissa, Norjassa ja kasvihuoneet vain Tanskassa ja Alankomaissa [2, s. 4].

Rakennuksen vastine ekstratrooppisen syklonin tuulille voi vaihdella merkittävästi riippuen sen rakennustavasta, käytöstä, korkeudesta samoin kuin alueellisista rakennuskäytännöistä ja rakennuksen iästä [2, s. 4]. Euroopassa asuinrakennukset ovat yleensä muurattuja rakennuksia, mutta poikkeuksen muodostavat Norja, Ruotsi ja Suomi, joissa puurakentaminen on hallitsevaa. Kun rakenteet altistuvat tyypillisille ekstratrooppisille tuulille, vahingot vaihtelevat useimmiten vähäisistä keskinkertaisiin ja rajoittuvat ei-rakenteellisiin elementteihin, kuten katot ja ikkunat [2, s. 4].

Kaupallisissa kiinteistöissä on laajempi kirjo rakennusmateriaaleja. Pienemmät kaupallisetkin kiinteistöt ovat muurattuja rakennuksia, joten niiden vahingoittuvuus on vastaava kuin kotirakennusten [2, s. 4]. Suuret kaupalliset kiinteistöt ovat todennäköisemmin teräsbetoni- tai teräsrakenteisia ja tyypillisesti ne ovat hyvin suunniteltuja ja rakennettuja. Näissäkin rakennuksissa vahingot sattuvat tyypillisesti ei-rakenteellisille osille ja lasituksille; rakenteellisia vahinkoja syntyy hyvin harvoin [2, s. 4]. Suurissa kaupallisissa kiinteistöissä saattaa olla suhteellisen suuria määriä lasia, joka on hyvin altis tuulen aiheuttamille vahingoille [2, s. 4].

AIR mallissa on lisäksi vahinkofunktiot varastoille, maataloudellisille tarkennuksille ja kasvihuoneille, joilla on alhaisempi tuulen vastustuskyky kuin kotija kaupallisilla rakennuksilla [2, s. 4]. Kun yksityiskohtaista tietoa vakuutuskannasta (esimerkiksi rakennustyyppiä tai korkeutta) ei ole saatavilla, malli hyödyntää tuntemattomille tekijöille suunniteltua vahingoittuvuusfunktioita, joka ottaa huomioon maakohtaiset erot rakennusten ominaisuuksissa [2, s. 7].



Kuva 3.2: Rakennusten alueellinen vahingoittuvuus AIR-mallissa [2, s. 5].

Vahingot rakennuksen ulkokuorelle voivat aiheuttaa vahinkoa irtaimistolle ja irtaimistovahinkojen määrää saattaa pahentaa sade myrskyn aikana tai sen jälkeen. AIR malli tukee erillistä irtaimistovahinkojen arviointia samoin kuin keskeytysvakuutuksen vahinkofunktioita, jotka voivat ottaa huomioon sellaiset tekijät kuin rakennustyyppin ja käyttöluokan [2, s. 4].

Euroopassa on havaittavissa merkittäviä eroja ilmastossa ja kausittaisessa myrskyintensiteetissä. Jokainen maa on kehittänyt rakennuskäytäntöjä tai määräyksiä, jotka vastaavat sen historiallista kokemusta myrskyvahingoista [15, s. 2]. Tämän vuoksi rakennukset alueilla, jotka usein kokevat voimakkaita tuulia, ovat tyypillisesti vähemmän vahingoittuvia, koska näiden alueiden rakennusmääräykset ovat tiukemmat. Nämä erot vahingoittuvuudessa heijastuvat rakenteellisten määräysten kokoelmaan. Nämä Eurocode -direktiivin alla suunnitellut rakennusten vähimmäistuulikuormavaatimukset perustuvat myrskyjen puuska- tuulinopeuksiin, joita alueella sattuu kerran 50 vuodessa [15, s. 2]. Esimerkiksi Suomessa tämä tuulennopeus on 36 metriä sekunnissa, kun taas esimerkiksi Skotlannin pohjoisosissa jopa yli 50 metriä sekunnissa. AIRin mallissa vahingoittuvuusfunktiot ovat alueellisia ja ottavat huomioon alueelliset rakennusvaatimukset ja -käytännöt rakennusten vahingoittuvuuteen [15, s. 3]. Alueellisia eroja AIR mallin vahingoittuvuudessa on havainnollistettu kuvassa 3.2.

Euroopassa on alueellisia eroja vahingoittuvuudessa, jotka johtuvat muista

syistä kuin säähistoriasta [15, s. 3]. Kahdella eri rakennuksella, jotka ovat identtisiä, voi olla erilaiset vahingoittuvuudet, jos toinen sijaitsee Etelä-Ranskassa ja toinen Norjassa [15, s. 3]. Nämä voivat johtua esimerkiksi erilaisista vahinkojen hoitokäytännöistä, voimassaolevista rakennusmääräyksistä, kiinteistöjen ylläpitotasosta ja jopa erilaisista petosmääristä. Nämä muut alueelliset erot vahingoittuvuudessa otetaan huomioon implisiittisesti [15, s. 3].

Rakennusten ja niiden irtaimistolle sattuvien vahinkojen lisäksi metsävahingoilla on tärkeä rooli Ruotsin, Suomen ja Norjan talouksille, sillä näissä maissa suurin osa metsämaasta on yksityisomistuksessa [3, s. 2]. Myrskyn aikana on kaksi pääsyötä puustolle aiheutuneisiin vahinkoihin: juurineen kaatuminen tai katkeaminen [14, s. 3]. Yleisesti metsän alttius myrskyvahingoille on vaikutusta monimutkaisista suhteista alueen tuuli-ilmaston sekä yksittäisen puun ja sen kasvualustan välillä.

Muuntaakseen tuulen nopeudet metsävahingoiksi, AIR on kehittänyt vahingoittuvuusfunktiot, jotka arvioivat puun vahinkoherkkyyttä mekaanisilla vahinkomalleilla ja validoimalla käyttämällä korkealaatuista vakuutusvahinkoaineistoa, joka on saatavilla talvimyrskyistä Anatol (1999), Erwin (2005) ja Hanno (2007) Ruotsissa [14, s. 4]. Puun ominaisuudet, jotka vaikuttavat niiden kykyyn vastustaa tuulikuormaa, sisältävät korkeuden (korkeammat puut ovat yleisesti vahingoittuvaisempia), ikä (vanhemmat puut ovat yleisesti vahingoittuvaisempi), leveys (leveämmät puut ovat vähemmän vahingoittuvaisempia) ja puulaji (johtuen runkojen erilaisista repäisyvoimien vastustuskyvyistä), juurien ankkurointitapa ja oksiston luonne [14, s. 4]. Matala ja kostea maaperä voivat estää syvää juurten kasvua, kun taas jäänyt maa vähentää vahingoittuvuutta, koska se estää puita kaatumasta juurineen [14, s. 4].

Vakuutusyhtiöillä on yleensä vain tiedot vakuutetusta pinta-alasta ja vakuutusmäärästä per pinta-alayksikkö, mutta ei tietoa puutyypeistä [14, s. 4]. Tämä vuoksi malliin on lisätty puutyyppi ”tuntematon” kuvaamaan puita, jotka ovat kullekin alueelle tyypillisiä. Lisäksi AIR malli tarjoaa oletuksena korvausarvon per pinta-alayksikkö tapauksissa, jossa sitä ei ole saatavana [14, s. 5]. Tämä oletusarvo ottaa huomioon tiedon, että myrskyssä vahingoittuneet puut eivät menetä koko arvoaan, vaan niitä voidaan usein hyödyntää ainakin kuitupuuna.

Fysikaaliset tai insinööripohjaiset mallit tyypillisesti määrittävät rakenteellisten ja ei-rakenteellisten rakennusten osien kestävyys, sisältävät epävarmuutta alhaisilla tuulen nopeuksilla kuten Euroopan talvimyrskyissä. Tämän vuoksi tarvitaan myrskyjen jälkeisiä tutkimuksia ja laajoja vahinkoaineistoja luotettavien vahingoittuvuusfunktioiden määrittämiseen ja validointiin. Kehittäessään vahingoittuvuusfunktioita Euroopan talvimyrskyriskimalliin AIR on käyttänyt myrskyjen jälkeisiä tutkimuksia kaikista merkittävistä Euroopan talvimyrskyistä alkaen vuodesta 1999 samoin kuin laajaa kolmen miljardin euron vahinkoaineistoa eri eurooppalaisilta vakuutusyhtiöiltä [15, s. 4].

3.5.2 Vahingoittuvuus, EQECAT

Mallin vahingoittuvuusfunktiot perustuvat vakuutusten korvaus- ja riskialtistusaineistoon. Käytännössä vahinko- ja riskialtistusaineisto kattaa vain rajoitetut ajanjaksot ja liittyvät vain tiettyihin tuulen nopeuksiin. Lisäksi aineistossa voi olla myös epätarkkuuksia ja epätäydellisyyksiä. EQECAT mallin vahingoittuvuusfunktiot on määritetty käyttämällä insinööritieteellisiin tutkimuksiin perustuvia menetelmiä ja sen jälkeen funktioita on jalostettu vakuutuskorvausaineistoista saatujen tietojen perusteella [8, s. 2]. Empiirinen ymmärrys laajojen tuulen nopeuksien vaikutuksista erilaisille rakennustyypeille on yhdistetty tutkimuksiin suhteellisista vahingoittuvuuksista eri rakennusmääräyksissä eri mallinnetuissa maissa.

Metsäriskin vahingoittuvuusfunktio on sisällytetty Ruotsin ja Suomen riskeihin ja ne perustuvat puutyyppeihin ja korkeuksiin.

EQECATin mallin insinööritieteellisistä tutkimuksista vastaa sen emoyhtiö ABS Consulting.

3.5.3 Vahingoittuvuus, Vertailu & yhteenveto

Vahingoittuvuusmoduulissa muunnetaan vahinkotapahtuman paikallinen voimakkuus omaisuudelle sattuviksi vahingoiksi. Sekä AIR että EQECAT yhtiöiden katastrofimallissa on huomioitu Suomen osalta rakennuksille, niiden irtaimistolle sekä metsille aiheutuvat vahingot. Katastrofiriskialtistuksen analysoinnissa tulee huomioida lisäksi myös mahdolliset mallintamattomat riskit. Viime vuosina Suomessa sattuneet myrskyt ovat aiheuttaneet vahinkoja myös muun muassa autoille sekä kuljetusvakuutusvahinkoja, jotka tulisi huomioida kokonaisriskin arvioinnissa.

Jos olisi käytettävissä rajoittamaton määrä havaittua vahinkoaineistoa kaikista mahdollisista rakennustyypeistä ja paikoista, tilastollinen lähestymistapa vahingoittuvuusfunktioiden määrittämiseen olisi riittävä. Toisaalta jos ei olisi saatavissa aineistoa ollenkaan, puhtaasti insinööritieteisiin perustuva lähestymistapa, jolla määritetään kohteiden vahingoittuvuus myrskytuulen voimasta, olisi ainoa mahdollisuus. Koska todellinen vahinkodata on vähäistä erityisesti monista vakavista tapahtumista, ainoastaan tilastolliset tekniikat ovat riittämättömiä arvioimaan syntyvää vahinkoa [5, s. 62]. Tämän vuoksi katastrofimallinnusyhtiöt rakentavat vahinkofunktiot yhdistämällä tietoa historiallisista aineistoista, insinööritieteellisistä analyyseistä, vahinkotapahtumien jälkeisistä tutkimuksista ja esimerkiksi tietoa rakennusmääräysten kehittymisestä [5, s. 62]. Parametripävarmuuden arvioimiseksi voidaan käyttää useita datalähteitä [5, s. 62]. Kun lisää aineistoa tulee saataville, vahingoittuvuusfunktioita uudelleenarvioidaan ja päivitetään [13, s. 5].

Sekä AIR että EQECAT kertovat omissa materiaaleissaan määrittävänsä vahingoittuvuusfunktiot edellä kuvatulla tavalla. AIR mallista on saatavilla yksityiskohtaisemmat kuvaukset, mutta EQECATin menetelmä on saatavilla olevan materiaalin perusteella periaatteiltaan vastaava. Koska vahingoittuvuusfunktioiden johtamiseen käytetään useita erilaisia tekniikoita, sisältävät ne merkittävä-

ti mallin rakentavien yhtiöiden omaa asiantuntemusta ja näkemystä. Malleissa käytettyjen vahingoittuvuuksien vertailuun voidaan käyttää tasaista portfolioita eli testaamalla samalla alueella samanarvoisia olennaisimpia rakennustyyppijä tai vakuutuslajeja ja vertaamalla niiden tuloksia keskenään.

Myrskyriskien mallinnuksessa rakennusten vahingoittuvuudessa vahingoittuvuusfunktioissa otetaan tyypillisesti huomioon alueelliset erot, jotka johtuvat alueellisten rakennusvaatimusten ja -käytäntöjen eroista. Lisäksi vahingoittuvuusfunktio on määritetty erikseen myös rakennusten tyyppin mukaan, esimerkiksi erilaiset omakotirakennuksille ja kaupallisille kiinteistöille. Lisäksi molemmissa malleissa on huomioitu joillekin maille ominaisia riskiluokkia, kuten Suomen, Ruotsin ja Norjan metsävakuutus.

Vakuutusyhtiön kannalta pääasiallinen tavoite katastrofimalinnuksessa ei ole fyysisten vahinkojen arviointi, vaan tulevien taloudellisten vahinkojen määrittäminen, jotka vakuutusyhtiö joutuu maksamaan katastrofitapahtuman jälkeen. Tämän vuoksi myös muita tekijöitä tulee ottaa huomioon, esimerkiksi sekä vahingon kärsineiden oma toiminta kuin vakuutusyhtiöiden vahinkojen hoitoprosessin toiminta. Nämä muut erot vahingoittuvuudessa otetaan huomioon implisiittisesti vahingoittuvuusfunktioiden kalibroinnin kautta.

Koska molempien mallien vahingoittuvuusfunktio perustuvat insinööritieteellisiin analyyseihin tuulen kullakin voimakkuudella rakenteelle tai rakennuksen ei-rakenteelliselle osalle tai metsän puille aiheuttamiin vahinkoihin, jää Suomen kannalta vahinkoalittiutta tarkastellessa huomioitta kaatuvien puiden aiheuttamat vahingot. Puut aiheuttavat kaatuessaan rakennuksen päälle jopa rakenteellisia vahinkoja ja lisäksi sähkölinjojen päälle kaatuvat puut saattavat aiheuttaa sähkökatkoja. Pitkät sähkökatkot taas saattavat aiheuttaa pakkaskaudella vahinkoja rakenteille ja irtaimistoille vesiputkistojen jäätyminen vuoksi sekä irtaimistovahinkoina korvattavia pakasteiden pilaantumisia. Tämän tyyppiset välilliset vahingot voidaan katastrofimallien vahingoittuvuusfunktioissa huomioida vahinkojen jälkeisten aineistotutkimusten perusteella. Suomen riskien mallinnuksen kannalta tämän tekee ongelmalliseksi, että Suomessa on lähivuosina sattunut ainoastaan yksi suurempi myrsky (Tapani) eikä sekään palautumisajaltaan nouse riittävän harvinaiseksi vakuutusyhtiöiden pääomavaatimusten kalibroinnin näkökulmasta. Lisäksi yksityiskohtaista vahinkoaineistoa Tapani-myrskystä ei ole ainakaan vielä todennäköisesti pystytty huomioimaan vahingoittuvuusfunktioiden kalibroinnissa. Voidaan siis olettaa, että Suomen riskien vahingoittuvuuksien mallinnus tulee kehittymään lähivuosina.

3.6 Taloudellisten vahinkojen laskenta

3.6.1 Taloudellisten vahinkojen laskenta, AIR

Taloudellisen mallinnuksen komponentissa vakuutetuille kohteille mallinnetut vahinkoarviot muunnetaan taloudelliseksi vahingoiksi ja vakuutuskorvauksiksi. Kun on arvioitu yksittäiselle omaisuudelle sattunut vahinko, on olennaista soveltaa vakuutussopimuksen ehtoja oikein. AIR mallit huomioivat koko maantie-

teellisen alueen jokaisessa simuloitussa tapahtumassa. Tapahtumat, jotka vaikuttavat useisiin eri maihin, kuten Euroopan talvimyrskyt, on mallinnettu yhtenä tapahtumana, joten mallissa on mahdollista huomioida useisiin eri maihin liittyvät korvaukset ja ehdot luotettavasti [1, s. 2]. Lisäksi AIR mallin taloudellinen laskenta tukee alueellisten osalimiittien huomiointia ja heijastaa ne oikein vakuutus sopimustason vahinkoarvioihin [1, s. 2]. Vakuutus sopimustason vahinkoarviot allokoidaan takaisin yksittäisille kohteille tai alueille perustuen niiden kokonaisvahinko-osuuteen ennen vakuutusehtojen soveltamista [1, s. 3].

AIR mallin taloudellisten vahinkojen laskennassa on mahdollisuus soveltaa useita erilaisia omavastuutyyppejä [1, s. 2]. Yleisin on omavastuutyyppi prosenttiomavastuu, jossa omavastuusumman määrittämiseksi sovelletaan kiinteää prosenttia vakuutus määrään. Joissakin sopimuksissa omavastuu lasketaan prosenttiosuutena vahingosta, joka on myös mahdollista AIR mallissa.

Katastrofien jälkeiset tutkimukset ja todelliset vahinkoaineistot paljastavat vaihtelevuuden vahingoissa, jotka johtuvat esimerkiksi annetusta tuulen nopeudesta. AIR mallin taloudellinen komponentti hyödyntää keskivahingon todennäköisyysjakautumaa kuvaamaan vahinkosummien vaihtelevuutta [1, s. 3]. Tämä mahdollistaa koko vahinkojakautuman generoinnin, johon edelleen voidaan soveltaa vakuutusehtoja.

AIR mallin taloudellinen komponentti tukee myös vakuutus sopimuksen kerrostamista ja siten havainnollistaa sekä vakuutus yhtiön johdolle että esimerkiksi jälleenvakuuttajan vastuunvalitsijalle, missä kerroksessa tämä haluaa olla mukana ja missä ei [1, s. 3].

3.6.2 Taloudellisten vahinkojen laskenta, EQECAT

EQECATin taloudellisessa mallinnuksessa kaikki yleisimmät vakuutus sopimus rakenteet ja jälleenvakuutus suojatyypit on mallinnettu perustuen EQECATin katastrofiriskimallinnusohjelmiston RQETM (Risk Quantification & Engineering) yleiseen toiminnallisuuteen.

Taloudellisten sopimusten mallinnusrakenne on neljäkerroksinen hierarkkinen rakenne (asiakkaat, sopimukset, alueet ja rakenteet), jolla pyritään jäljittämään reaali maailman (jälleen) vakuutus sopimusten taloudellisia rakenteita ja luomaan mahdollisuus niiden ominaisuuksien arviointiin [9, s. 1]. Ensivakuutus osalta voidaan huomioida vakuutus määrät kohteittain tai tietyssä paikassa vahinkoilmiöittäin [9, s. 2]. Vakuutus sopimusten rajat voidaan ottaa huomioon suojakohtaisesti tai yhdistettyjen suojien osalta ja lisäksi on mahdollisuus ottaa huomioon osa-aluekohtaiset vakuutus määrät tai omavastuut.

Vakuutus yhtiön omalle vastuulle jäävän vahingon arvioimiseksi EQECATin taloudellisten vahinkojen laskentakomponentissa RQETM on mahdollisuus soveltaa useita erilaisia jälleenvakuutus sopimuksia [9, s. 2]. Suhteellisista suojista on tarjolla osamäärä- ja ylitejälleenvakuutus sopimukset ja ei-suhteellisista suojista riskikohtainen XL, tapahtumakohtainen XL, vuotuista kokonaisvahinkomenoa suojaava XL sekä ja Stop Loss. Moduulissa voidaan ottaa huomioon luotettavasti moneen ilmiöön liittyvät vuosittaiset rajat vakuutus suojissa, suojien mo-

nikerroksisuus, hierarkkiset vakuutussolepimusehdot ja uudistusten lukumäärät [9, s. 2].

3.6.3 Taloudellisten vahinkojen laskenta, Vertailu & yhteenveto

Taloudellisten vahinkojen laskentakomponentissa määritetään katastrofitapah-tuman aiheuttamat vakuutussolepimusten mukaiset rahalliset vahingot. Sekä AIR mallissa että EQECAT mallissa on mahdollisuus huomioida useita erilaisia vakuutussolepimusehtoja sekä ensivakuutuksen että jälleenvakuutuksen osalta.

Vakuutusyhtiön on varmistuttava omassa katastrofiriskianalysissään, että sen omien vakuutussolepimusten riskinsiirtosolepimukset on huomioitu riittävän kuvaavasti. Yhtiön jälleenvakuutussolepimusten rakenteesta riippuen, esimerkiksi useasta pienemmästä tapahtumasta saattaa vakuutusyhtiölle jäädä omalle vastuulle suurempi summa vuositasolla kuin yksittäisestä hyvin suuresta tapahtumasta.

Luku 4

Johtopäätökset

Katastrofiriskien mallintaminen on tärkeää vakuutusyhtiön pääomien riittävän tason määrittämiseksi ja niiden perusteella voidaan suunnitella riskienhallinnan vaihtoehtoisia strategioita, kuten esimerkiksi riskien vähentämistä tai jälleenvakuuttamista. Nykypäivänä katastrofimalleista on tullut pääasiallisia työkaluja arvioimaan pääomien riittävyyttä ja niitä käyttävät yhtäläillä valvojat, luotto-luokittajat kuin ensi- ja jälleenvakuuttajat.

Yhtiön ja erityisesti sen ylimmän johdon tulisi ymmärtää katastrofiriskimallien heikkoudet ja vahvuudet ja olla tietoinen mahdollisista poikkeavuuksista yhtiön katastrofiriskimallinnuksessa. Katastrofiriskiasiantuntijoilla puolestaan tulisi olla kokonaisvaltainen käsitys katastrofiriskimallien osista ja ymmärrys mallin tarkoituksesta, jotta he voivat varmistua, että mallinnustapa vastaa yhtiön liiketoiminnan riskien luonnetta, laajuutta ja monipuolisuutta. Tässä työssä on käsitelty katastrofiriskien mallinnusta erityisesti suomalaisen vahinkovakuutusyhtiön näkökulmasta ja niitä menetelmiä, joita yhtiöt voivat hyödyntää määrittäessään katastrofiriskialtistustaan.

Työn kolmannessa luvussa käsiteltiin Euroopan myrskyriskien mallinnusta kaupallisissa katastrofimalleissa AIR ja EQECAT. Myrskyriskit ovat ainoa kaupallisissa katastrofimalleissa huomioitu Suomen luonnonkatastrofiriski. Myrskyriskien mallinnukseen perehtyminen on yhä olennaisempaa suomalaisille vakuutusyhtiöille, sillä viimeaikaisten tutkimusten mukaan ilmaston muutos lisää sään vaihtelevuutta ja on todennäköistä, että tulevaisuudessa saattaa esiintyä useampia pienempiä myrskyjä ja noin 10 % kasvu suurempien myrskyjen esiintyvyydessä on mahdollinen [7, s. 1]. Edelleen näiden myrskyjen tyypillinen reitti yli Euroopan saattaa olla siirtymässä pohjoisemmaksi, jolla on merkittäviä vaikutuksia vakuutetuille riskeille Suomessa, mutta myös muualle Eurooppaan [14, s. 3].

Työn kolmannen luvun tarkasteluissa havaittiin, että vaikka käsiteltyjen AIR ja EQECAT katastrofimallien peruslogiikka on samanlainen, on niissä myös eroja. Suurimmat erot käsiteltyjen mallien välille tuo tapahtumien mallinnus ja vahingoittuvuus. Tapahtumien mallinnuksessa malleissa on käytetty erilaisia ilmastomalleja ja lisäksi tuulta on mitattu erilaisin lähestymistavoin. Vahingoit-

tuvuusfunktioiden määrittämisessä joudutaan käyttämään merkittävässä määrin yhtiöiden asiantuntijoiden näkemyksiä, joten myös ne eroavat malleissa.

Olennaista yhtiön katastrofiriskien mallinnuksen kannalta on perehtyä siihen, mitä riskejä mallissa on huomioitu ja ovatko ne huomioitu riittävästi. Tämän lisäksi on tulosten tulkinnan ja mallien ymmärtämisen kannalta erittäin olennaista tehdä kattavasti herkkyyksianalyysia ja stressitestausta mallin lähtötietojen ja eri mallinnusvalintojen osalta. Luvussa 3 havaittiin, että katastrofimalleissa on huomioitu Suomen osalta rakennuksille ja irtaimistolle aiheutuvat vahingot sekä metsävahingot. Myrskyt ovat aiheuttaneet vahinkoja myös muun muassa autoille sekä kuljetusvakuutusvahinkoja. Omaisuusvahinkojen osalta malleissa ei ole huomioitu erityisesti Suomelle tyypillisiä myrskyistä seuraavia epäsuoria vahinkoja, kuten puiden kaatumisesta aiheutuvat omaisuusvahingot tai sähkökatkoista aiheutuvat vahingot. Lisäksi Suomen riskien mallinnuksen osalta on odotettavissa lähivuosien aikana merkittävää kehitystä, sillä Suomessa on sattunut lähivuosina ainoastaan yksi suuri myrsky, eikä senkään vahingoista saatuja tietoja ole vielä ehditty hyödyntää katastrofimallien kehityksessä juuri lainkaan.

Suomen luonnonkatastrofiriskien analysoinnin osalta on lisäksi olennaista ymmärtää, että kaupallisissa katastrofimalleissa huomioidaan tällä hetkellä vain ekstratrooppisiin myrskyihin eli niin kutsuttuihin talvimyrskyihin liittyvät riskit. Myös kesällä voi tapahtua suuria vahinkoja aiheuttavia myrskyjä, kuten kesän 2010 lopulla sattuneet Asta, Veera, Sylvi ja Lahja myrskyt. Nämä ovat tyypillisesti ukkosmyrskyjä, joissa tuulet voivat syöksyvirtausten voimasta nousta paikallisesti hyvinkin korkeiksi ja siten aiheuttaa merkittäviä vahinkoja. Kesämyrskyjen riskiä yhtiöiden on arvioitava esimerkiksi skenaarioperusteisesti tai kehittämällä itse laskentamalli näiden vahinkojen arviointiin.

Katastrofimalinnus ei voi koskaan tarjota kristallipalloa ja se pysyy parhaimmillaankin epätarkkana tieteenä. Mallit voivat vain approksimoida reaalia maailmaa eikä siten koskaan pidä tuudittautua olettamaan niiden toimivan täydellisesti tai ennustavan tulevaisuutta. Ne ovat kuitenkin erinomainen menetelmä vakuutusyhtiön katastrofiriskien ymmärtämiseen, analysointiin ja riskienhallintaan.

Kirjallisuutta

- [1] AIR Worldwide Corporation: *AIR CLASIC/2 Financial Module Brochure*. AIR Worldwide Corporation, 2007.
- [2] AIR Worldwide Corporation: *The AIR Extratropical Cyclone Model for Europe*. AIR Worldwide Corporation, 2010.
- [3] AIR Worldwide Corporation: *The AIR Extratropical Cyclone Model for Europe*. AIR Worldwide Corporation, 2011.
- [4] AIR Worldwide Corporation: *AIR Peril Models*. AIR Worldwide Corporation, 2012.
- [5] Association of British Insurers: *Industry Good Practice for Catastrophe Modelling*. Association of British Insurers, London, 2011.
- [6] Coppack L., Windstorm families. *Global Reinsurance*. September (2009), 58–59.
- [7] EQECAT. *Activity of Catastrophic Windstorm Events in Europe in the 21st Century*. 2011.
- [8] EQECAT. *Eurowind Model Fact Sheet*. 2012.
- [9] EQECAT. *RQETM Financial Model Fact Sheet*. 2012.
- [10] EQECAT. *RQETM (Risk Quantification & Engineering) Fact Sheet*. 2012.
- [11] Finanssialan keskusliitto, uutinen 20.6.2012. Saatavilla www.fkl.fi (viitattu 30.12.2012).
- [12] Grossi P., Kunreuther H.: *Catastrophe Modeling: A New Approach to Managing Risk*. Springer, Boston, 2005.
- [13] Jain V.: *Anatomy of a Damage Function: Dispelling the Myths*. AIR Currents Article, 2010.
- [14] Kafali C.: *Gone with the Wind: Modeling Forestry Risk in Europe*. AIR Currents Article, 2011.
- [15] Kafali C.: *Regional Wind Vulnerability in Europe*. AIR Currents Article, 2011.

-
- [16] Keogh B.: Unmodelled losses: anticipating the unexpected. *Insurance Day*. May (2012).
- [17] Khater M.: Dealing with Uncertainty in Catastrophe Risk Management. *Insurance Day*. September (2011).
- [18] Khater M.: European Windstorm Risk Modelling. *Bermuda Re/insurance* October (2008), 40–43.
- [19] Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, Geo Risks Research, NatCat-SERVICE: *Significant natural catastrophes 1980 - 2011*. March (2012).
- [20] Owens B., Swindell R.: *Catastrophe Modelling for Mutuals*. Willis Re, 2011.
- [21] RMS. *A guide to Catastrophe Modelling*. The Review of Worldwide Reinsurance, 2008.
- [22] RMS. Risk Management Solutions -yhtiön internet-sivut www.rms.com. Viitattu 6.1.2013.
- [23] Swiss Re: Natural catastrophes and man-made disasters in 2011. *sigma*. No 2/2012.
- [24] Webb J., Better understanding of a key peril. *Global Reinsurance*. September (2009), 55–57.
- [25] Zuba G.: *A Windy Winter Season*. AIR Currents Article, 2012.