

Karoliina Pilli-Sihvola, Riina Haavisto, Väinö Nurmi,
Kaius Oljemark, Heikki Tuomenvirta, Sirkku Juhola,
Fanny Groundstroem, Ilkka Miettinen & Hilppa Gregow

Taloudellisesti tehokkaampaa sää- ja ilmastoriskien hallintaa Suomessa

Joulukuu 2016

Valtioneuvoston selvitys-
ja tutkimustoiminnan
julkaisusarja 45/2016

KUVAILULEHTI

Julkaisija ja julkaisuaika	Valtioneuvoston kanslia, 2.12.2016		
Tekijät	Pilli-Sihvola K., Haavisto R., Nurmi V., Oljemark K., Tuomenvirta H., Juhola S., Groundstroem F., Miettinen I. & Gregow H.		
Julkaisun nimi	Taloudellisesti tehokkaampaa sää- ja ilmatoriskien hallintaa Suomessa		
Julkaisusarjan nimi ja numero	Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 45/2016		
Asiasanat	Sää- ja ilmatoriskit, riskienhallinta, ilmastonmuutos, sopeutuminen, taloustieteet		
Julkaisuaika	Joulukuu, 2016	Sivuja 68	Kieli suomi

Tiivistelmä

Sää- ja ilmatoriskit vaikuttavat olennaisesti yhteiskuntamme toimintaan ja ilmastonmuutoskeskustelun myötä niiden hallinta on enenevässä määrin esillä. Yhteiskunnan sopeutumisen kannalta joustavat (robustit) riskienhallinta- ja sopeutumistoimet on tärkeä tunnistaa ja toimeenpanna. Toimet voivat vähentää sää- ja ilmatoriskiä, lisätä niihin varautumista, sopeutumista ja niistä toipumista. Riskienhallinta ja sopeutumistoimia suunniteltaessa, arvioitaessa ja valittaessa tulisi entistä paremmin huomioida niiden taloudellinen tehokkuus. Taloudellisen tehokkuuden määrittämiseen on olemassa useita erilaisia analyysimenetelmiä, mutta niiden käyttö päätöksenteossa Suomessa on vielä verrattain harvinaista.

Tämä raportti on ensimmäinen esitys eri taloudellisten analyysimenetelmien käytöstä ja soveltuvuudesta sää- ja ilmatoriskien hallinta- ja sopeutumistoimien arviointiin Suomessa. Aluksi raportissa esitellään lyhyesti mitä sää- ja ilmatoriskien hallinnalla tarkoitetaan ja miten eri riskienhallinta- ja sopeutumistoimet voidaan jaotella. Tämän jälkeen esitellään kuusi päätöksentekoa tukevaa taloudellista analyysimenetelmää ja selvitetään, niiden nykyistä käyttöä ja mahdollisuuksia Suomen olosuhteissa. Lisäksi raportissa esitetään yhteiskunnallinen kustannus-hyötyanalyysi vuoden 2013 sähkömarkkinalain uudistuksesta sekä neljä kaupunkien sopeutumistoimien kustannusten arviointiin kehitettyä työkalua. Lopuksi esitetään suosituksia siitä, kuinka joustavat ja kustannustehokkaat sää- ilmatoriskien hallintatoimet saataisiin tunnistettua yhteiskunnallisessa päätöksenteossa. Tämä tapahtuu muun muassa 1) kohdentamalla resursseja sää- ja ilmatoriskien hallintatoimien kattavan taloudellisen analyysin tekoon, erityisesti mittavissa investoinneissa 2) kehittämällä työkaluja toimien kustannusten ja hyötyjen sekä riskien vaikutusten arviointiin, sekä 3) luomalla ohjeet sää- ja ilmatoriskien hallintakeinojen ja ilmastonmuutoksen sopeutumiskeinojen taloudellisten arviointien tekoon ja arviointien tarkkuuden parantamiseen.

Raportti on toteutettu osana ELASTINEN-hanketta, joka tuotti tietoa ja etsi ratkaisuja, jotka vahvistavat eri toimialojen kykyä arvioida ja hallita sää- ja ilmatoriskejä sekä sopeutua muuttuvaan ilmastoon.

Tämä julkaisu on toteutettu osana valtioneuvoston vuoden 2015 selvitys- ja tutkimussuunnitelman toimeenpanoa (tietokayttoon.fi).

Julkaisun sisällöstä vastaavat tiedon tuottajat, eikä tekstisisältö välttämättä edusta valtioneuvoston näkemystä.

PRESENTATIONSBLAD

Utgivare & utgivningsdatum	Statsrådets kansli, 2.12.2016		
Författare	Pilli-Sihvola K., Haavisto R., Nurmi V., Oljemark K., Tuomenvirta H., Juhola S., Groundstroem F., Miettinen I. & Gregow H.		
Publikationens namn	Effektiv hantering av väder- och klimatrisker i Finland		
Publikationsseriens namn och nummer	Publikationsserie för statsrådets utrednings- och forskningsverksamhet 45/2016		
Nyckelord	Väder- och klimatrisker, risk hantering, klimatförändring, klimat anpassning, ekonomi		
Utgivningsdatum	December, 2016	Sidantal 68	Språk Finska

Sammandrag

Väder- och klimatrisker har en ständig, väsentlig inverkan på samhällets funktion, och på grund av den pågående debatten om klimatförändringen är hanteringen av dessa risker allt mer på bordet. För samhällets anpassning är det viktigt att igenkänna och genomföra flexibla och kraftiga anpassningsåtgärder. Sådana åtgärder kan minska väder- och klimatriskerna, öka beredskapen för, anpassningen till och återhämtningen från dem. Vid planering, utvärdering och väljning av riskhanterings- och anpassningsåtgärder borde deras ekonomiska effektivitet beaktas allt bättre. Det finns en mängd olika metoder för att bedöma den ekonomiska effektiviteten av åtgärder, men deras användning i beslutsfattandet i Finland är fortfarande relativt sällsynt.

Denna rapport är den första presentationen om användbarheten av olika ekonomiska analysmetoder för bedömning av riskhanterings- och anpassningsåtgärder i Finland. Den börjar med att kort redogöra vad man menar med hantering av väder- och klimatrisker och hur riskhanteringen och anpassningsåtgärderna kan kategoriseras. Efter detta presenteras sex ekonomiska analysmetoder som stöder beslutsfattning och deras användning och potential i Finlands omständigheter klargörs. Rapporten redovisar också en social kostnads-nyttanalyt på den i år 2013 reviderade elmarknadslagstiftningen samt fyra verktyg som utvecklats för att uppskatta kostnader av städernas anpassningsåtgärder. Rapporten avslutas med rekommendationer på hur flexibla och kostnadseffektiva riskhanterings och anpassningsåtgärder kan identifieras i samhälleligt beslutsfattande. Detta sker bland annat genom att 1) tilldela resurser för omfattande ekonomiska analyser av väder- och klimatriskernas hanterings- och anpassningsåtgärder, särskilt vid större investeringar, 2) utveckla verktyg för att utvärdera kostnader och fördelar av åtgärder samt riskernas följder 3) skapa riktlinjer för att förbättra de ekonomiska analyserna av väder- och klimatriskernas hantering och anpassning till klimatförändringen.

Rapporten har förverkligats som en del av ELASTINEN-projektet, som producerade information och sökte lösningar för att förstärka olika branschers förmåga att värdera och behandla väder- och klimatrisker och att anpassa sig till klimatförändringen.

Den här publikationen är en del i genomförandet av statsrådets utrednings- och forskningsplan för 2015 (tietokayttoon.fi/sv).

De som producerar informationen ansvarar för innehållet i publikationen. Textinnehållet återspeglar inte nödvändigtvis statsrådets ståndpunkt

DESCRIPTION

Publisher and release date	Prime Minister's Office, 2.12.2016		
Authors	Pilli-Sihvola K., Haavisto R., Nurmi V., Oljemark K., Tuomenvirta H., Juhola S., Groundstroem F., Miettinen I. & Gregow H.		
Title of publication	Efficient Weather and Climate Risk Management in Finland		
Name of series and number of publication	Publications of the Government's Analysis, Assessment and Research Activities 45/2016		
Keywords	Weather and climate risks, risk management, climate change, climate change adaptation, economics		
Release date	December, 2016	Pages 68	Language Finnish

Abstract

Weather and climate risks are constantly affecting the functioning of society, and due to the on-going climate change discourse their management is increasingly on the table. To reduce the weather and climate risk and adapt to climate change, it is important to recognise and implement robust risk management and adaptation measures. Such measures can reduce the weather and climate risk, increase the preparedness, adaptation and recovery to it. When planning, assessing and choosing management and adaptation measures, it is increasingly important to consider their cost efficiency. There are a variety of methods to assess the cost efficiency of measures, but their use in decision-making in Finland is still quite rare.

This report assesses the use and usability of different economic analysis methods for the cost efficiency assessment of different risk management and adaptation measures in Finland. It begins by outlining weather and climate risk management and how risk management and adaptation measures can be categorised. The report presents six decision support methods and analyses their use in Finland. The report also details a social cost benefit analysis on the weather-related requirements in the revised Electricity Market Act, 2013. Applications of the analysis tools are presented for four cases around the world. The report concludes with recommendations on how robust and cost efficient risk management and adaptation measures could be identified for decision-making. This could happen, inter alia, by 1) allocating resources for economic analyses on risk management and adaptation measures, particularly when the implementation of measures leads to major investments, 2) developing tools to analyse costs and benefits of measures and impacts of weather and climate risk, and 3) creating guidelines for improving the economic analyses of weather and climate related risk management and adaptation.

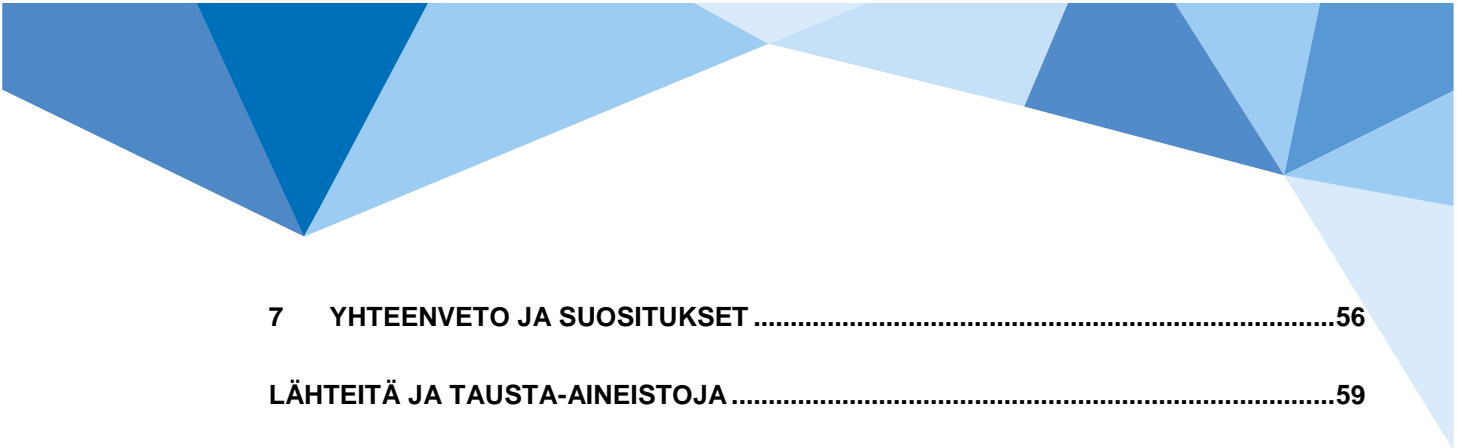
The report has been produced as part of the ELASTINEN project which provided knowledge and sought solutions to improve the capabilities of sectors to manage weather and climate risks and adapt to a changing climate.

This publication is part of the implementation of the Government Plan for Analysis, Assessment and Research for 2015 (tietokaytoon.fi/en).

The content is the responsibility of the producers of the information and does not necessarily represent the view of the Government.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	SÄÄ- JA ILMASTORISKIEN HALLINTA JA SOPEUTUMINEN	9
	2.1 Sää- ja ilmastoriskien määrittely.....	9
	2.2 Neljä myrskyä Suomessa ja niiden vaikutukset.....	11
	2.3 Esimerkkejä riskien vähentämistä ja hallintatoimista tehdyistä taloudellisista analyyseistä.....	14
3	TALOUDELLISET ARVIOINTIMENETELMÄT	15
	3.1 Monitavoitearviointi.....	16
	3.2 Kustannus-hyötyanalyysi.....	17
	3.3 Kustannus-vaikuttavuusanalyysi.....	19
	3.4 Reaaliopioanalyysi.....	20
	3.5 Portfolioanalyysi.....	21
	3.6 Robusti (joustava) päätöksentekoaalyysi (<i>Robust decision making</i>).....	22
4	TALOUDELLISET ARVIOINTIMENETELMÄT SUOMESSA	23
	4.1 Tapaus: tulvariskien hallintasuunnitelmat.....	23
	4.2 Tapaus: vesihuolto.....	25
	4.3 Tapaus: kaupunkisuunnittelu.....	29
	4.4 Tapaus: muut sektorit.....	33
5	KUSTANNUS-HYÖTYANALYYSI: SÄHKÖMARKKINALAIN UUDISTUS 2013	34
	5.1 Analyysiin tarvittavat muuttujat ja aineisto.....	34
	5.2 Hyötyjen määrittäminen.....	39
	5.3 Kustannusten määrittäminen.....	43
	5.4 Herkkyysanalyysi.....	44
	5.5 Tulokset.....	45
	5.6 Johtopäätökset.....	45
6	KANSAINVÄLISIÄ ESIMERKKEJÄ TALOUDELLISESTA ANALYYSISTÄ KAUPUNGEISSA	47
	6.1 Tapaus 1: New York - Myrskyn kustannusten mallintaminen.....	47
	6.2 Tapaus 2: Lontoo – kustannus-vaikuttavuustyökalu lämpöaaltoihin sopeutumiseen rakennetussa ympäristössä.....	48
	6.3 Tapaus 3: Kööpenhamina - yhteiskunnallinen kustannushyötyanalyysi.....	50
	6.4 Tapaus 4: Rotterdam – yhteiskunnallinen kustannushyötyanalyysi.....	51
	6.5 Tapaus 5: Ho Chi Minh City – robusti päätöksenteko.....	53



7	YHTEENVETO JA SUOSITUKSET	56
	LÄHTEITÄ JA TAUSTA-AINEISTOJA	59
	LIITTEET	66
	A Tulvariskien hallintasuunnitelmat	66
	B Haastatellut asiantuntijat	67
	C Regressiomalli	67

1 JOHDANTO

Sään ja ilmaston vaikutukset yhteiskuntaan ja sen toimijoihin ovat näkyvillä koko ajan. Suomessa sopeudumme päivittäin muuttuviin sääolosuhteisiin ja pohdimme ilmastomuutoksen vaikutuksia pidemmällä aikavälillä. **Sää- ja ilmastoriskien hallintaan liittyy toimia, esimerkiksi toimintamalleja tai investointeja, jotka vähentävät sää- ja ilmastoriskiä, lisäävät niihin varautumista, sopeutumista ja niistä toipumista.**

Sopeutumista ohjataan myös politiikalla: valtioneuvosto on hyväksynyt periaatepäätöksen kansallisesta ilmastomuutokseen sopeutumissuunnitelmasta 2022. Sillä toimeenpannaan kansallisesti Euroopan unionin sopeutumisstrategiaa¹. Suunnitelman päämääränä on, että yhteiskunnalla on kyky sopeutua ilmastossa tapahtuviin muutoksiin ja hallita niihin liittyvät riskit. Yksi tavoitteista on, että toimijoilla olisi käytössään tarvittavat ilmastoriskien arviointi- ja hallintamenetelmät.²

Riskienhallinta- ja sopeutumistoimien taloudellisen tehokkuuden pitäisi olla tärkeä kriteeri toimia valittaessa. Toisaalta on tärkeää myös arvioida jo toteutettuja toimia ja oppia niistä. **Päätöksenteon tukena olisi siten hyvä käyttää taloudellista analyysiä. Taloudellisen analyysin perimmäinen tarkoitus on tarkastella eri toimenpiteitä taloudellisen tehokkuuden näkökulmasta.** Tämä voi edesauttaa laittamaan toimia tärkeysjärjestykseen, myös sektorikohtaisesti tai koko yhteiskunnan tasolla, sekä määrittelemään joustavia (robusteja) toimia.

Laadukkaiden taloudellisten analyysien teko sopeutumistoimista on Suomessa varsin harvinaista ja tyypistyy hyötyjen ja kustannusten karkeaan erotteluun. Käytännössä ainoa käytetty menetelmä on kustannus-hyötyanalyysi, jota on yleensä käytetty osana monitaivoitearviointia. Kansainvälisessä kirjallisuudessa on kuitenkin esitetty myös muita menetelmiä riskienhallinta- ja sopeutumistoimien taloudelliseen analyysiin, sillä yhä kiihtyvämmin muuttuva yhteiskunta ja ilmasto luovat haasteita kustannus-hyötyanalyysin käytölle. Kustannus-hyötyanalyysi perustuu hyvin määriteltyihin epävarmuuksiin, jotka voidaan esittää eksaktisti todennäköisyyksillä. Tämä ei nykymaailmassa monessakaan tilanteessa enää toteudu.

Tämä raportti on ensimmäinen esitys eri taloudellisten analyysimenetelmien käytöstä ja soveltuvuudesta sää- ja ilmastoriskien hallinta- ja sopeutumistoimien arviointiin Suomessa, ja se on toteutettu valtioneuvoston kanslian rahoittamassa hankkeessa Ennakoiva lyhyen aikavälin sää-, talous ja ilmastoriskien hallitseminen (ELASTINEN). Tämän raportin ovat kirjoittaneet Ilmatieteen laitoksen, Helsingin yliopiston sekä Terveiden ja hyvinvoinnin laitoksen asiantuntijat.

Luvussa 2 esitellään lyhyesti mitä sää- ja ilmastoriskien hallinnalla tarkoitetaan ja miten eri riskienhallinta- ja sopeutumistoimet voidaan jaotella. Luvussa 3 esitellään kansainvälisen kirjallisuuden perusteella tiiviisti kuusi päätöksentekoa tukevaa menetelmää, joilla riskienhallinta- ja sopeutumistoimien toimivuutta voidaan tarkastella taloudellisesta näkökulmasta:

¹ Euroopan komissio, 2013

² Maa- ja metsätalousministeriö, 2014, s. 21, 23 ja 24.

Monitavoitearviointi (Multi-criteria analysis - MCA)
Kustannus-hyötyanalyysi (Cost-Benefit analysis - CBA)
Kustannus-vaikuttavuusanalyysi (Cost effectiveness analysis - CEA)
Reaalioptionalyysi (Real Option Analysis - ROA)
Portfolioanalyysi (Portfolio Analysis - PA)
Robusti (joustava) päätöksenteko (Robust decision making - RDM)

Lisäksi menetelmien käyttöä Suomen riskienhallinta- ja sopeutumistoimien arviointiin pohditaan suomalaisen kirjallisuuden ja asiantuntija-arvioiden perusteella. Menetelmät, niiden vaihtoehdot, heikkoudet ja muut ilmastonmuutokseen sopeutumisen kannalta oleelliset seikat on käsitelty MEDIATION-hankkeessa^{3,4} (EU FP7), eikä tämä katsaus siksi mene syvälle itse menetelmiin vaan keskittyy niiden hyödyntämiseen Suomessa.

Luvussa 4 esitetään yhteenveto taloudellisten arviointimenetelmien nykyisestä käytöstä Suomessa. Tulvariskien hallinta ja vesihuolto ovat käytännössä ainoat sektorit, joissa taloudellisia analyysejä sää- ja ilmatoriskeihin sekä ilmastonmuutokseen liittyvän päätöksenteon tukena on toteutettu. Siksi luvussa keskitytään erityisesti niihin. Lisäksi esitellään muut, yksittäiset sää- ja ilmatoriskejä taloudellisesta näkökulmasta tehneet tarkastelut, ja muutama muu relevantti esimerkki.

Luvussa 5 esitetään ELASTINEN-hankkeessa toteutettu yhteiskunnallinen *in medias res* (hankkeen elinkaaren aikainen, in the midst of things) kustannus-hyötyanalyysi vuonna 2013 voimaan tulleen sähkömarkkinalain jakeluverkon toiminnan laatuvaatimuksista, joilla tavoitellaan myrskyn tai lumikuorman aiheuttamien sähkökatkojen vähenemistä.

Ilmastonmuutokseen sopeutuminen tulee olemaan iso haaste kaupungeissa ja kunnissa⁵. Kirjallisuudesta löytyy kansainvälisiä esimerkkejä erityisesti kaupunkisuunnitteluun kehitettyjen sopeutumistyökalujen taloudellisista arviointimenetelmistä. Luvussa 6 esitellään neljä työkalua, jotka on kehitetty sopeutumistoimien kustannusten arviointiin kaupungeissa ja arvioidaan, kuinka niitä voidaan soveltaa Suomessa.

Luvussa 7 esitellään analyysin johtopäätökset ja esitetään suosituksia siitä, kuinka yhteiskunnallinen päätöksenteko voisi ottaa askeleita kohti joustavaa ja kustannustehokasta sää- ja ilmatoriskien hallintaa sekä ilmastonmuutokseen sopeutumista.

3 <http://mediation-project.eu/news/european-policy-support-and-collaboration-and-by-related-fp7-projects>

4 esim. Watkiss & Hunt, 2013

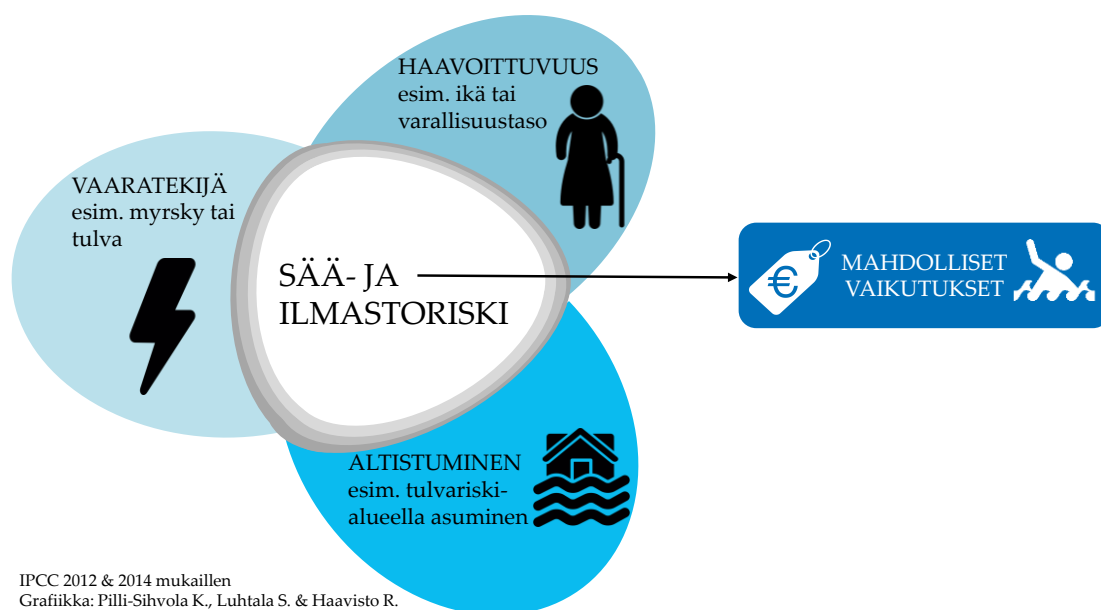
5 Rosenzweig ym., 2011

2 SÄÄ- JA ILMASTORISKIEN HALLINTA JA SOPEUTUMINEN

2.1 Sää- ja ilmatoriskin määrittely

2.1.1 Sää- ja ilmatoriski

Sää- ja ilmatoriski muodostuu kolmesta tekijästä: vaaratekijästä, haavoittuvuudesta ja altistumisesta (Kuvio 1) ⁶:



Kuvio 1. Sää- ja ilmatoriskin vaikuttavat tekijät ja niiden määritelmät

Sää- ja ilmatoriskin määritelmä pätee niin yksilön, talouden eri sektoreiden kuin koko yhteiskunnankin tasolla. Sää- ja ilmatoriski ei ole staattinen tekijä, vaan kaikki kolme siihen vaikuttavaa tekijää vaihtelevat ja muuttuvat ajan myötä. Ihmistoiminnan aiheuttama ilmastonmuutos vaikuttaa, tosin vielä osin epäselvällä tavalla, vaaratekijän muuttumiseen. Lisäksi joissain tapauksissa, esimerkiksi tulvissa ja maanvyörymissä, myös ekosysteemien muuttuminen tai tuhoaminen kasvattaa vaaratekijän roolia. Yhteiskunnallisten ja taloudellisten tekijöiden kehitys vaikuttaa haavoittuvuuden ja altistumisen muuttumiseen. Vaaratekijän, haavoittuvuuden ja altistumisen kehikko ilmentää, miksi sää- ja ilmatoriski on Suomessa melko alhainen. Erityisesti useat haavoittuvuutta määrittävät tekijät, kuten puhtaan veden määrä, ovat hyvällä tasolla, asumis- ja hygieniastandardit ovat korkeat, ja energia- vesi- ja jätehuolto toimivat⁷. Toisaalta Suomessakin yhteiskunnan haavoittuvuus sää- ja ilmatoriskeille voi kasvaa esimerkiksi digitalisaation myötä, sillä yhteiskunta on entistä riippuvaisempi toimivista sähköverkkoista.

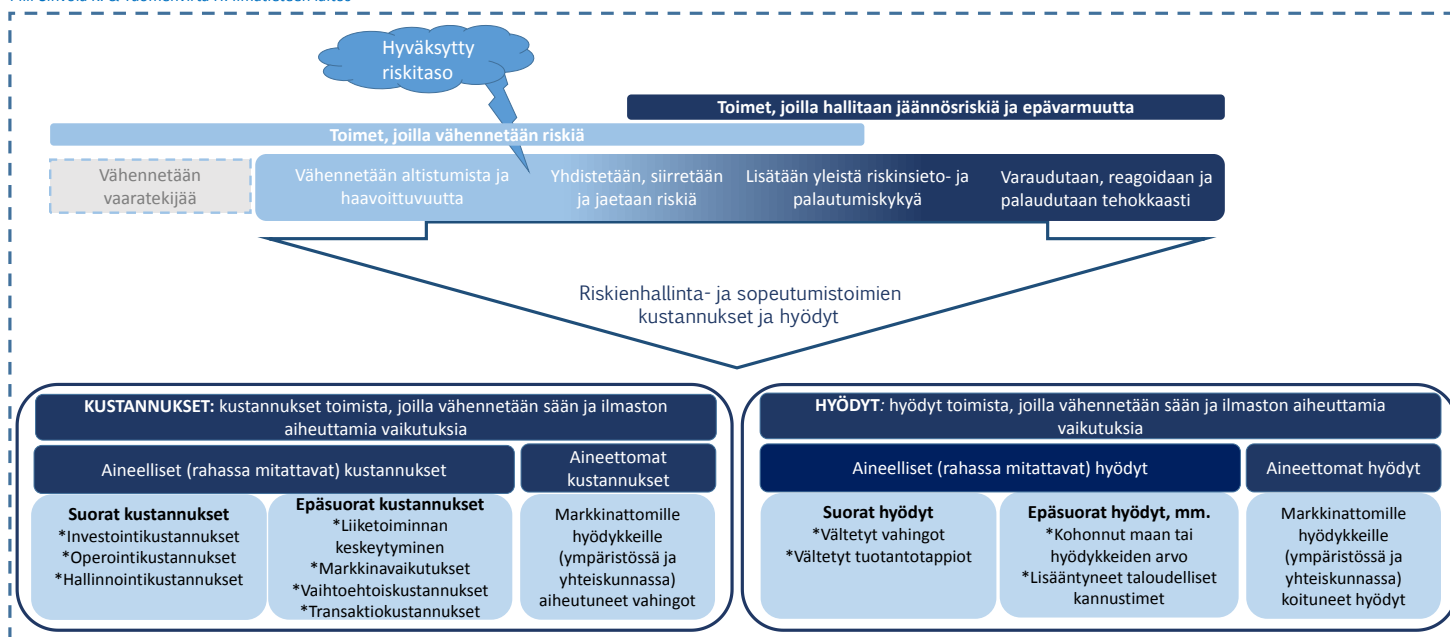
⁶ IPCC, 2012

⁷ Paunio, 2014

Kuvio 2 esittelee luokittelun toimista, joilla sää- ja ilmatoriskien hallintaa ja sopeutumista toteutetaan. Ilmastonmuutoksen hillintä on keino, jolla vaaratekijän muuttamiseen voidaan vaikuttaa. Lisäksi esimerkiksi tulvia ja maanvyörymien esiintymistä voidaan vähentää ekosysteemien avulla. Varsinaisilla riskienvähentämis-, hallinta- ja sopeutumistoimilla vähennetään sää- ja ilmatoriskiä hyväksytyyn riskitasoon asti ja hallitaan jäljelle jäänyttä, niin sanottua jäännösriskiä, ja esimerkiksi ilmastonmuutoksen vuoksi lisääntyvää epävarmuutta⁸. Näistä toimista aiheutuu aineellisia ja aineettomia kustannuksia ja hyötyjä⁹.

Sää- ja ilmatoriskien vähentämiseen tähtäävien toimien jaottelu ja toimista aiheutuvat kustannukset ja hyödyt

Pilli-Sihvola K. & Tuomenvirta H. Ilmatieteen laitos



Kuvio 2. Sää- ja ilmatoriskien vähentämis-, hallinta, ja sopeutumistoimien jaottelu ja toimista aiheutuvat kustannukset ja hyödyt

⁸ IPCC, 2012

⁹ Meyer ym., 2013

2.1.2 Hyväksytty riskitaso

Vaaratekijää, altistumista ja haavoittuvuutta pienentämällä pyritään vähentämään potentiaalisesti vahinkoa tai vaaraa aiheuttavan luonnonilmiön (vaaratekijän) vaikutuksia, ennen kuin ilmiö on aiheuttanut vahinkoa. Näitä riskejä vähentäviä toimia toteuttamalla pyritään saavuttamaan niin sanottu hyväksytty riskitaso. Vesistö- ja rannikkotulville altistumista Suomessa on pyritty vähentämään määrittämällä valtakunnallisesti yhtenevät periaatteet paikkakohtaisille alimmille rakentamiskorkeuksille¹⁰. Merkittävä energiasektorin ja samalla koko yhteiskunnan haavoittuvuutta vähentävä politiikkatoimi Suomessa toteutettiin vuonna 2013, kun sähkömarkkinalain muutos (ks. luku 4) osittain vastasi lisääntyvään sähköriippuvuuteen asettamalla tavoitteeksi muun muassa, että ”*Jakeluverkko on suunniteltava ja rakennettava, ja sitä on ylläpidettävä siten, että, jakeluverkon vioittuminen myrskyn tai lumikuorman seurauksena ei aiheuta asemakaava-alueella verkon käyttäjälle yli 6 tuntia kestävästä sähkönjakelun keskeytystä*”.¹¹

2.1.3 Jäännösriski ja epävarmuus

Hyväksytyin riskitason saavuttamisen jälkeen toimien luonne muuttuu, sillä riskiä ei voida tai sitä ei kannata täydellisesti poistaa taloudellisen tehottomuuden tai yhteiskunnallisen hyväksyttävyyden vuoksi. Tätä jäännösriskiä ja samalla (muun muassa ilmastonmuutoksen myötä) lisääntyvää epävarmuutta pitää pyrkiä hallitsemaan ja vaikutuksiin sopeutumaan.

Riskien hallinta- ja sopeutumistoimilla pyritään vähentämään jäännösriskiä ja reagoimaan siihen, minkä lisäksi toteutuneista vaaratekijän vaikutuksista pyritään palautumaan mahdollisimman tehokkaasti. Riskien yhdistäminen (*pooling*), siirtäminen (*transferring*) ja jakaminen (*sharing*) ovat pääasiassa erilaisia finanssisektorin mahdollistamia riskienhallintatoimia, joilla hallitaan taloudellista riskiä. Myös erilaiset yhteiskunnalliset vakuutukset kuuluvat tähän kategoriaan. Yhteiskunnallisen riskinsieto- ja palautumiskyvyn lisääminen joustavalla päätöksenteolla tai tiedon ja taitojen lisäämisellä ovat toimia, jotka sekä vähentävät että parantavat jäännösriskin ja epävarmuuden hallintaa. Jäännösriskiä hallitaan myös toimilla, joita toteutetaan kun sää- tai ilmastoriskin uhka on havaittu. Vahinkoja aiheuttavaan ilmiöön varaudutaan (*prepare*) esimerkiksi ennakkovaroitusjärjestelmillä ja pelastusharjoituksilla, siihen reagoidaan (*response*) muun muassa pelastustoimen avulla ja palautuminen (*recovery*) käynnistetään, kun varsinainen tilanne on ohi ja pyritään saavuttamaan normaali toimintatase.¹²

2.2 Neljä myrskyä Suomessa ja niiden vaikutukset

Taulukkoon 1 on listattu esimerkinomaisesti neljän suuren myrskyn aiheuttamia vahinkoja ja niiden kustannuksia. Taulukko perustuu kesällä 2016 Ilmatieteen laitoksella käynnistettyyn kehittämishankkeeseen, jonka tarkoituksena on muodostaa tietokanta Suomessa tapahtuneista sää- ja ilmastovahingoista. Tämä edesauttaa myös Sendain viitekehyksen toimeenpanoa¹³. Suomessa myrskyjen suurimmat taloudelliset vaikutukset syntyvät kaatuvista puista, sähkökatkoista ja vakuutusyhtiöiden maksamista korvauksista.

¹⁰ Parjanne & Huokuna (toim), 2013

¹¹ Sähkömarkkinalaki 588/2013

¹² IPCC, 2012

¹³ Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030 A/CONF.224/CRP.1

Taulukko 1. Neljä esimerkkiä suuret vahingot Suomessa aiheuttaneista myrskyistä ja rajuilmoista

	Aika	Loukkaantuneet	Kuolleet	Puiden kaadot (m ³)	Kaatumien puiden arvo (€)	Tappiot metsänomistajille (€)	Vaikutukset sähköjakeluun (kotitaloutta ilman sähköä)	Verkkoyhtiöiden maksamat vakio-korvaukset	Sähköverkkojen korjauskustannukset (€)	Vaurioituneiden rakennusten lkm	Vakuutusyhtiöiden maksamat korvaukset (€)
Asta, Veera, Lahja ja Sylvi -rajuilmat	29.7-8.8. 2010	40-50 (g)	1 (g)	8,1 milj. (g)	ei tietoa	ei tietoa	481 000 (g)	10,3 milj. € (g)	22 milj. (g)	ei tietoa	82 milj. (g)
Tapani-myrsky	26.-28.12. 2011	-	1 (a)	3,5 milj. (b)	120 milj. (c)	25-30 milj (n)	570 000 (d)	40 milj. € (d)	30 milj. (d)	665 (e)	100 milj. (f)
Eino-myrsky	17.11. 2013	2 (h)	-	1,5 milj. (i)	60 milj. (i)	30 milj. (n)	200 000 (j)	ei tietoa	ei tietoa	99 (e)	30 milj. (f)
Valio-myrsky	2.-3.10. 2015	1 (k)	-	0,5-1,5 milj. (l)	20-50 milj. (l)	ei tietoa	232 000 (m)	9 milj. € (m)	8 milj. (m)	91 (e)	ei tietoa

- a) Helsingin Sanomat. Yksi kuollut myrskyn takia, sähköjen palautuminen vienee päiviä. <http://www.hs.fi/kotimaa/a1305552090736>
- b) Metsätilastollinen vuosikirja 2012 <http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/julkaisut/vsk/2012/>
- c) Maanmittauslaitos. Vuoden 2011 Tapaninpäivän myrskyn metsätuhojen ilmakuvaus. <http://www.maanmittauslaitos.fi/ammattilaisille/maastotiedot/kaukokartoitus/ilmakuvat/tuho-tulvaimakuvaus/vuoden-2011-tapaninpaivan-myrskyn-metsatuhojen>
- d) Energiategollisuus. <http://energia.fi/ajankohtaista/lehdistotiedotteet/loppuvuoden-sahkokatkoista-karsi-570-000-asiakasta>
- e) Pelastustoimen resurssi- ja onnettomuustilasto PRONTO
- f) Yle. Eino-myrskyn jälkimainingit tuntuvat vakuutusyhtiöissä. http://yle.fi/uutiset/eino-myrskyn_jalkimainingit_tuntuvat_vakuutusyhtiöissa/6951747
- g) Heinä-elokuun 2010 rajuilmat. Tutkintaselostus. Onnettomuustutkintakeskus. http://www.turvallisuustutkinta.fi/material/attachments/otkes/tutkintaselostukset/fi/muutonnettomuudet/2010/s22010y_tutkintaselostus/s22010y_tutkintaselostus.pdf
- h) Yle. Kaksi loukkaantui Eino-myrskyssä Etelä-Savossa. http://yle.fi/uutiset/kaksi_loukkaantui_eino-myrskyssa_etela-savossa/6940689
- i) Etelä-Savon Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Eino-myrskyn tuhot Etelä-Savossa. <https://www.ely-keskus.fi/documents/10191/276041/Eino+myrsky+ESAELYN+vastaus+Mavin+selvitys-pyynnin%C3%B6%C3%B6n/a8858297-4502-4ecc-b6c0-8e4b4b44fe19>
- j) Yle. Eino-myrsky iski rajusti Keski-Suomeen – suurvahingoilta on välttytty. http://yle.fi/uutiset/eino-myrsky_iski_rajusti_keski-suomeen_-_suurvahingoilta_on_valtytty/6938336
- k) Pohjois-Karjalan pelastuslaitos. <http://www.pkpelastuslaitos.fi/onnettomuustiedote?pkplot=325>
- l) Ilmatieteen Laitos. Valion päivän myrsky varsin pitkäkestoinen. <http://ilmatieteenlaitos.fi/tiedote/106723657>
- m) Energiategollisuus. Valio-myrsky vaikeutti sähköjakelua vähemmän kuin syksyn 2013 myrskyt. <http://energia.fi/ajankohtaista/lehdistotiedotteet/valio-myrsky-vaikeutti-sahkonjakelua-vahemman-kuin-syksyn-2013-myrskyt>
- n) Maa- ja metsätalousministeriö. 2011. Tiedote. http://mmm.fi/artikkeli/-/asset_publisher/myrskyissa-kaatui-puita-noin-120-miljoonan-euron-arvosta

Kaatuneet puut

Voimakkaat tuulet kaatavat metsää pahimmillaan laajoilta yhtenäisiltä alueilta aiheuttaen metsänomistajille monien kymmenien miljoonien eurojen tappiot. Viime vuosikymmenien suurimmat puustotuhot aiheutuivat kesän 2010 rajuilmoista. Myrskyissä kaatuneiden puiden arvo lasketaan hinnaksi, mikä metsiköstä olisi saatu, jos se olisi myyty pystymetsänä. Myrskyssä kaatuneen ja vahingoittuneen puuston myyntiarvo on kuitenkin pienempi kuin normaalisti pystyssä myytävän puuston arvo. Arvon aleneminen johtuu kohonneista korjuukustannuksista, tuhoutuneista metsään jäävistä puista ja puun osista sekä puutavaran laadun heikkenemisestä ja tästä johtuvasta hinnan laskusta. Metsänomistajan tappiot määrittyvät kaatuneiden puiden arvon ja puuston myyntiarvon erotuksena. Kaatuneista puista aiheutuu kustannuksia myös muille kuin metsänomistajille. Kaatuneet puut aiheuttavat sähkökatkoja, vaurioita rakennuksille ja liikennehäiriöitä myrskyn kaataessa puita sähkölinjoille, rakennusten päälle ja liikenneväylille. Vuoden 2010 heinä-elokuun rajuilmoissa liikenne katkesi ainakin 50 maantiellä ja muutamia tieosuuksia oli poikki myös valtateillä.¹⁴

Sähkökatkot

Yhteiskunnan riippuvuus sähköstä johtaa siihen, että vaikutukset laaja-alaisista sähkökatkoista ulottuvat pitkälle. Myrskyissä tai rajuilmoissa sähkölinjoille kaatuneet puut ovat katkoneet sähköjä sadoilta tuhansilta kotitalouksilta. Sähkökatkoista syntyy myös merkittävät kustannukset verkkoyhtiöille korvausvelvollisuuksien vuoksi. Suurimmat korvaukset verkkoyhtiöt maksoivat vuoden 2011 Tapani-myrskystä. Ne joutuvat myrskyjen seurauksena korjaamaan sähköverkkoaan ja tekemään siihen lisäinvestointeja, jolloin myrskyn kokonaiskustannukset verkonhaltijoille kasvavat vielä korvauksiakin suuremmiksi. Luvussa 5 tarkemmin analysoitu vuoden 2013 sähkömarkkinalain muutos vaikuttaa maksettuihin korvauksiin, joten ennen lakimuutosta maksettuja korvauksia ei voi verrata mahdollisiin korvauksiin tulevaisuudessa.

Sähkökatkot koettelevat yhteiskuntaa myös laajemmin kuin vain sähköyhtiöiden osalta. Sähkökatkot vaikeuttavat muun muassa tehtaiden ja muun elinkeinoelämän toimintaa, sekoittavat junaliikennettä, haittaavat viestintäliikennettä ja joissain tapauksissa hankaloittavat myös vesihuoltoa. Laajojen sähkökatkosten aikana puhelin- ja tiedonsiirtoyhteyksien verkkoviat ovat yleisiä, koska tukiasemiin ei saada virtaa. Tukiasemat on varustettu varavirtalähteillä, mutta nekään eivät riitä, jos sähkökatkos kestää pidempään kuin vara-akut. Vuoden 2010 heinä-elokuun rajuilmoissa myös vesihuolto kärsi sähkökatkoista¹⁴. Monessa kunnassa sähkökatkojen seurauksena sähköllä toimivat pumput lakkasivat toimimasta, jolloin vettä ei saatu vedenottamoille, vedenottamoilta puhdistamoille eikä edelleen vesijohtoverkkoon. Lisäksi painevaihtelut putkistoissa muuttivat veden virtaussuuntaa, jolloin vaarana oli talousveden laadun heikkeneminen.

Vakuutuskorvaukset

Vakuutusyhtiöt korvaavat joitain myrskyjen ja rajuilmojen aiheuttamia kustannuksia. Korvauksia maksetaan tyypillisesti metsävaurioista sekä ajoneuvoille ja rakennuksille sattuneista vaurioista. Vuoden 2011 Tapani-myrskystä maksettiin tähän mennessä suurimmat vakuutusyhtiöiden korvaukset: Kaksi kolmasosaa rakennuksille ja irtaimistolle sattuneista vahingoista ja noin kolmasosa metsävahingoista metsänomistajille¹⁵. Heinä-elokuun 2010 rajuilmoista maksetuista 82 miljoonan euron korvauksista, metsävahinkokorvausten osuus oli 49 miljoonaa euroa ja ajoneuvovahinkokorvausten lähes 5 miljoonalla euroa¹⁴.

¹⁴ Onnettomuustutkintakeskus, 2010

¹⁵ Helsingin Sanomat, 2012 <http://www.hs.fi/kotimaa/a1305552090736> Viitattu 2.9.2016

2.3 Esimerkkejä riskien vähentämistä ja hallintatoimista tehdyistä taloudellisista analyyseistä

Sää- ja ilmatoriskien vähentäminen, hallinta ja ilmastonmuutokseen sopeutuminen on jatkuvaa päätöksentekoa, ja kaikkiin toimiin liittyy kustannuksia ja hyötyjä. Suomessa sään- ja ilmaston aiheuttamia vaikutuksia pyritään vähentämään monin eri toimin. Toimia valittaessa tulisi käyttää taloudellisia analyysejä, mutta niitä tehdään sää- ja ilmatoriskeihin tai ilmastonmuutokseen sopeutumiseen liittyvässä päätöksenteossa kuitenkin tyypillisemmin ulkomailla kuin Suomessa.

Taloudellisia analyysejä on tehty kaikista kuvion 2 riskienvähentämisen ja hallinnan toimintakentistä, paitsi finanssimarkkinoiden roolista. EU onkin noston vakuutustoiminnan mukaan sopeutumiseen liittyviin keskusteluihin¹⁶, jotta siitä vähitellen tulisi osa ilmastonmuutokseen liittyvää riskien hallintaa.

Altistumista ja haavoittuvuutta sää- ja ilmatoriskeille voidaan vähentää esimerkiksi rakentamalla vesivarastoja kuivuuden varalle tai esteitä tulvien leviämiseksi ja kohentamalla elinolosuhteita. YK:n ilmastopimuksen sihteeristö¹⁷ esittelee eri maissa ja tilanteissa toteutettuja kustannus-hyötyanalyysejä, kustannus-vaikuttavuusanalyysejä ja monitavoitearvioita. Tapaukset vaihtelevat Ison-Britannian tulva- ja eroosiohallinnasta tehdystä kustannus-hyötyanalyysistä Bhutanin kansallisesta sopeutussuunnitelmasta tehtyyn monitavoitearviointiin.

Kansallisia sopeutussuunnitelmia voidaan käyttää yleisen riskinsietokyvyn ja palautumis- ja vastustuskyvyn lisäämisen lähtökohtana. Esimerkiksi ECA (2009) arvioi kustannus-hyötyanalyysin avulla valtioiden ja alueiden sopeutumista ilmastonmuutokseen ("*total climate risk*") ja esittelee sen lisäksi työkaluna sopeutumisen kustannuskäyrän¹⁸. Wethli (2014) puolestaan esittelee kustannus-hyötyanalyysin käyttöä riskienhallinnassa esimerkiksi varoitussuunnitelmiin, rokotuksiin ja parantuneisiin vesi- ja sanitaatioolosuhteisiin¹⁹.

Sää- ja ilmatoriskien aiheuttamaa jäännösriskiä ja epävarmuutta voidaan hallita esimerkiksi laadukkailla sääpalveluilla ja ennakkovaroitusjärjestelmillä, jotka parantavat varautumisen ja reagoinnin tasoa. Rogers ja Tsirkunov (2013) alleviivaavatkin kansallisten meteorologisten- ja hydrologisten palveluiden (NMHS) merkitystä tehokkaassa varautumisessa sää- ja ilmatoriskeihin²⁰. Maailmanpankki kumppaneineen jatkavat vielä pidemmälle ja esittävät kehikon, jolla kansallisten sääpalveluiden yhteiskunnalliset hyödyt ja kustannukset voidaan selvittää kokonaisvaltaisesti²¹. Ilmatieteen laitoksen palveluiden vaikuttavuutta ja yhteiskuntataloudellisia hyötyjä on arvioitu VTT:n vuonna 2007 julkaisemassa raportissa²². Raportin mukaan Ilmatieteen laitoksen palveluihin sijoitetut rahat tuottavat vähintään viisinkertaisen hyödyn joka vuosi. Myös Ilmatieteen laitoksella on käytössä arviointikehikko, jolla sää- ja ilmastopalveluiden hyötyjä voidaan arvioida²³.

¹⁶ Euroopan Komissio, Vihreä kirja COM(2013) 213

¹⁷ UNFCCC, 2011

¹⁸ ECA, 2009

¹⁹ Wethli, 2014

²⁰ Rogers ja Tsirkunov, 2010

²¹ World Bank ym., 2015

²² Hautala & Leviäkangas, 2007

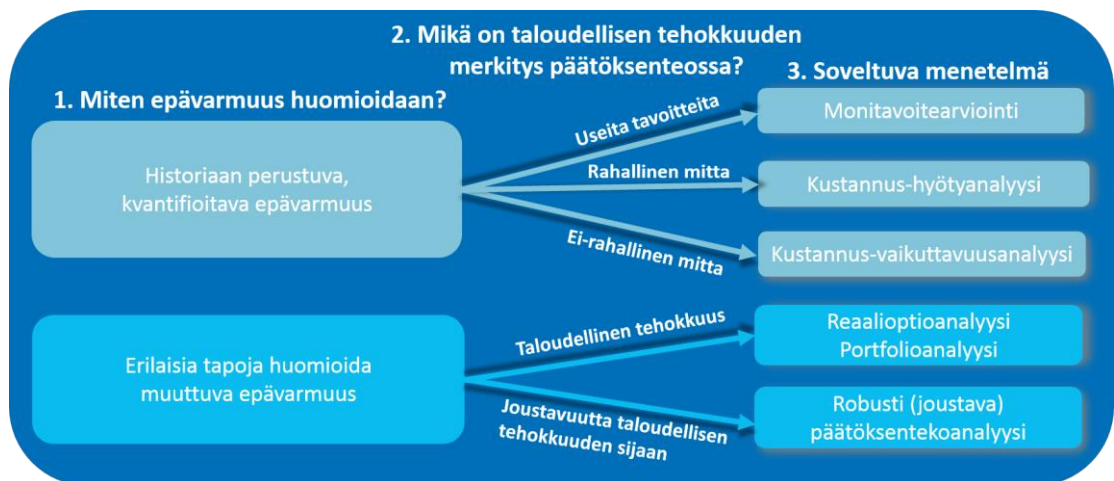
²³ esim. Pilli-Sihvola ym., 2015

3 TALOUDELLISET ARVIOINTIMENETELMÄT

Sää- ja ilmatoriskeihin liittyy kiinteästi epävarmuus, joka korostuu ilmastonmuutoksen edessä. Ilmastoskenaarioihin ja erityisesti sään ääri-ilmiöissä tapahtuviin muutoksiin liittyvä epävarmuus vaikuttaa myös eri hallinta- ja sopeutumistoimien ajoitukseen ja tehokkuuteen. Taloudelliset arviointimenetelmät huomioivat nämä epävarmuudet eri tavalla, ja arviointimenetelmä tulisikin valita tilanteen mukaan epävarmuuksien suuruudesta ja laadusta sekä sopeutumisinvestoinnin tyypistä ja suuruudesta riippuen. Lisäksi eri toimenpiteiden kustannuksilla ja hyödyillä voi olla hyvin erilaiset aikajänteet, joten niiden vertailu ilman tarkempaa ja systemaattista analyysiä on usein hankalaa.

Nykyilmastoon ja siinä tapahtuviin sään ääri-ilmiöihin liittyvä epävarmuus on mahdollista analysoida tilastollisesti historiallisen aineiston perusteella. Ilmastoskenaariot antavat tietoa tulevasta ilmastosta, mutta monien sää- ja ilmastosuureiden osalta niiden kyky vähentää epävarmuutta tulevasta ilmastosta on vielä heikkoa. Tulevaisuuteen liittyy myös monia muita epävarmuuksia, jotka tulee mahdollisesti huomioida sopeutumistoimia valittaessa. Lisäksi päätöksentekoon liittyy usein eri intressiryhmiä ja mielipiteitä. Tällaisissa tilanteissa puhutaan syvästä epävarmuudesta (*deep uncertainty*): epävarmuutta ei pystytä määrittämään todennäköisyyksillä tai päätöksentekijät eivät pysty määrittämään tai saavuta yhteisymmärrystä systeemimallista, jolla päätösten seuraukset analysoidaan.²⁴

Analyysimenetelmien erilaiset tavat käsitellä epävarmuutta esitetään tiivistettynä kuviossa 3. Monitavoitearvioinnissa sekä kustannus-hyöty- ja kustannus-vaikuttavuusanalyseissä epävarmuudelle pyritään antamaan jokin mitta tai vaihteluväli. Reaalioptio- ja portfolioanalyysit sekä robusti päätöksenteko puolestaan huomioivat päätöksentekoon liittyviä epävarmuuksia kokonaisvaltaisemmin todennäköisyyksillä ja vaiheittain. Menetelmien soveltumisen mahdollisuuksia Suomessa käsitellään luvun seuraavissa osioissa.



Kuvio 3. Taloudellista analyysiä hyödyntävien päätöksentekoa tukevien menetelmien soveltuvuus eri tilanteissa

²⁴ Lempert R.J., 2014.

3.1 Monitavoitearviointi

Monitavoitearvioinnissa otetaan järjestelmällisesti huomioon eri politiikkavaihtoehtojen erimittaiset vaikutukset ja epävarmuudet sekä eri sidosryhmien näkemykset politiikkatoimien tavoitteista²⁵. Sen avulla riskienhallinta- ja sopeutumistoimet on mahdollista laittaa järjestykseen erilaisten rahallisten, fyysisten tai laadullisten kriteerien perusteella²⁶. Arvopuuanalyysissä²⁷ ja kustannus-hyötyanalyysia voidaan käyttää osana monitavoitearviointia, ja usein ne ovatkin siinä tärkeässä osassa. Monitavoitearviointi itsessään ei ole taloudellinen arviointimenetelmä, vaan siinä tutkitaan yhdessä harkinnassa olevaa päätöstä ja tuodaan esiin eri näkökulmia.²⁸

Monitavoitearvioinnilla on merkittävä mahdollisuus päätöksenteossa, koska tavoitteisiin voidaan sisällyttää epävarmuuden käsittely tai muuten sopeutumistoimille tyypillisiä kompleksisia elementtejä. Lisäksi menetelmä mahdollistaa laadullisen tiedon käsittelyn silloinkin, kun kerätyssä aineistossa on aukkoja²⁶. Monitavoitearviointi kannattaa tehdä sopeutumistoimien suunnitteluvaiheessa, jotta eri sidosryhmien tavoitteet tulevat ilmi. Suppeaan monitavoitearviointiin menee aikaa vähintään 2 kuukautta ja työmäärä riippuu ongelman ominaispiirteistä ja arvioinnin toteuttamistavasta, esimerkiksi sidosryhmyön osalta²⁵.

Monitavoitearvioinnin **vahvuutena** on sen mahdollisuus yhdistää määrällistä ja laadullista dataa ja eri sidosryhmien osaamista. **Heikkoutena** puolestaan on sen taipumus subjektiivisuuteen, ja usein tulokset pitää analysoida perusteellisemmin muiden menetelmien avulla.²⁶

Mahdollisuudet Suomessa: Monitavoitearviointi

Vahvuudet Suomessa: Monitavoitearviointi on verrattain tuttu menetelmä, johon löytyy kotimaista osaamista. Sen avulla päätöksenteko saadaan läpinäkyvämmäksi ja hyväksyttävämmäksi ja sidosryhmien väliset intressiristiriidat voidaan selvittää keskustelemalla²⁸. Kotimaisilla työkaluilla tulosten kuvaamista voidaan helpottaa (esim ARVI-työkalu²⁹).

Heikkoudet Suomessa: Monitavoitearviointi vaatii useita asiantuntijoita ja sidosryhmiä mukaan prosessiin, joten se vaatii paljon resursseja²⁵. Menetelmää on hyödynnetty paljon, ja muun muassa tulvaryhmille on kehitetty monitavoitearviointiopas³⁰, mutta taloudellisen näkökulman huomiointi on heikolla tasolla. Tulvariskien hallintasuunnitelmissa taloudelliset vaikutukset on monesti arvioitu karkeasti esimerkiksi kustannustarkasteluna, vaikka esimerkiksi kustannus-hyötyanalyysia voidaan käyttää osana monitavoitearviointia.

Tilannetta parantaisi: Monitavoitearvioinnin soveltamisalaa tulisi laajentaa yksittäisten riskien hallinnasta kokonaisvaltaiseen riskienhallinnan ja sopeutumisen suunnitteluun. Esimerkiksi ilmastonkestävä kaupunkisuunnittelu tulisi nähdä kokonaisuutena, jossa kaikki potentiaaliset riskit huomioidaan. Jotta taloudellinen tehokkuus saadaan paremmin mukaan monitavoitearviointiin, tulee sopivan taloudellisen arviointimenetelmän valinnasta laatia ohjekirja ja esittää huolella toteutettu esimerkkitapaus osana monitavoitearviointia sää- ja ilmastoriskien hallinnassa.

²⁵ Jääskeläinen ym., 2013

²⁶ Watkiss & Hunt, 2013

²⁷ ”Arvopuuanalyysin soveltaminen voidaan jakaa viiteen päävaiheeseen: 1) arviointikriteerien ja vaihtoehtojen määrittäminen, 2) vaikutusten arviointi, 3) eri osapuolten arvostusten selvittäminen, 4) vaikutustiedon ja vastaajien näkemysten yhdistäminen monitavoitearviointimallissa ja 5) tulosten analysointi ja suositusten laadinta.” Nurmi & Marttunen, 2012

²⁸ Marttunen ym., 2008b

²⁹ Marttunen ym., 2015

³⁰ Rytkönen & Marttunen, 2013

3.2 Kustannus-hyötyanalyysi

Kustannus-hyötyanalyysissä arvioidaan riskienhallinta- ja sopeutumistoimien elinkaaren kaikki oleelliset vaikutukset rahassa ja diskontataan kustannukset ja hyödyt nykyhetkeen. Kustannuksia ja hyötyjä tulee arvioida suhteessa ihmisten muuttuvaan hyvinvointiin, jolloin riskienhallinta- ja sopeutumistoimen vaikutukset mitataan maksuhalukkuutena tai hyväksymishalukkuutena ja sopeutumistoimen vaatimat tuotantopanokset vaihtoehtoiskustannuksina. Kustannus-hyötyanalyysin tuloksena on riskienhallinta- ja sopeutumistoimien nettonykyarvo tai hyöty/kustannus -suhdeluku, ja positiivisen nettonykyarvon saavat toimet ovat taloudellisesti kannattavia³¹. Kustannus-hyötyanalyysillä voidaankin järjestää eri toimet taloudellisen kannattavuuden ja tehokkuuden mukaan, koska kustannus-hyötyanalyysin teoreettinen perusta nojaa Pareto-tehokkuuteen ja Kaldor-Hicks -kompensaatiokriteeriin. Toimi on Pareto-tehokas, jos kenenkään asemaa ei voida parantaa huonontamatta jonkun toisen asemaa. Kaldor-Hicks-kompensaatiokriteerin mukaan toimesta hyötyjien on pystyttävä vähintään teoriassa korvaamaan häviävälle osapuolille heidän tappionsa ja silti jätävä voitolle.³²

Kustannus-hyötyanalyysin käyttö ilmastonmuutokseen sopeutumiseen liittyvän päätöksenteon tukena on vielä varhaisessa ja alati kehittyvässä vaiheessa, mutta sen käyttö on suositua varsinkin investointiprojekteissa³³. Kustannus-hyötyanalyysin avulla arvioituja sopeutumiseen liittyviä projekteja on tehty monilla toiminnan tasoilla aina paikallisesta globaaliin. Katastrofiriskien vähentämiseen (*DRR, disaster risk reduction*) ja sopeutumistoimiin painottuvat kustannus-hyötyanalyysit vertailevat riskienhallinta- ja sopeutumistoimien kustannuksia projektilla vältettyihin vahinkokustannuksiin.^{34,35}

Vaikka nettonykyarvo riskienhallinta- ja sopeutumistoimille olisikin positiivinen, voi joskus olla perusteltua lykätä toimien täytäntöönpanoa, jos lykkäys mahdollistaa oppimisen toimien tulevista hyödyistä ja kustannuksista³⁶. Kun kyse on investoinnista ja riskineutraalista päätöksentekijästä, tulee investointivaihtoehdon kustannusten odotusarvon olla korkeintaan yhtä suuri kuin perusvaihtoehdossa, jotta investoinnin hyödyt ovat vähintään yhtä suuret kuin sen kustannukset³⁷.

Kustannus-hyötyanalyysin **vahvuuksina** ovat sen tunnettuus ja sen tarjoama analyysi taloudellisista hyödyistä, toiminnan oikeutuksista ja taloudellisen tehokkuuden näkökulmasta optimaalisista ratkaisuvaihtoehdoista. Sen **heikkouksina** puolestaan ovat markkinattomien hyötyjen rahallisen arvon määrittämisen vaikeus ja se, että epävarmuuksien huomioiminen rajoittuu riskien todennäköisyyksiin³¹. Kustannus-hyötyanalyysi ei myöskään ota kantaa kustannusten ja hyötyjen jakautumisesta eri tahoille^{38,39}. Ilmastonmuutoksen aiheuttama epävarmuus sopeutumistoimien hyödyistä erityisesti pitkällä aikavälillä asettaa rajoitteita sopeutumistoimien kustannus-hyötyanalyysiin, eikä epävarmuutta tulevaisuudesta usein oteta analyysissä huomioon³⁵.

³¹ Watkiss & Hunt, 2013.

³² Boardman ym., 2006

³³ Li ym., 2014 & Kind, 2014

³⁴ Field (toim.) 2012.

³⁵ Shreve & Kelman, 2014

³⁶ Leary, 1999

³⁷ Virta ym., 2011

³⁸ UNFCCC, 2011

³⁹ Markandya & Watkiss, 2009

Vahvuudet Suomessa: Kustannus-hyötyanalyysi on menetelmänä varsin tunnettu. Osaa- mista sen tekemiseen löytyy hajautetusti eri tutkimuslaitoksista⁴⁰. Analyysien tekemiseen on olemassa ohjeita myös taloustieteitä tuntemattomille henkilöille (esim. vieraslajien tor- junta).⁴¹

Heikkoudet Suomessa: Menetelmän soveltaminen kaupunkien sopeutumistoimiin on haastavaa, koska kaupunkien ympäristötilinpidosta usein puuttuu sopeutumiseen liittyvät kustannukset⁴². Sopeutumistoimien kustannus-hyötyanalyysijä tehtäessä olisi myös muis- tettava ottaa huomioon sopeutumisinvestointien kokonaistaloudelliset vaikutukset, mikä luultavasti parantaisi investointien kannattavuutta⁴³. Tähän mennessä sopeutumistoimista tehdyt kustannus-hyötyanalyysit ovat olleet paremminkin pintapuolisia tarkasteluja suorista kustannusvaikutuksista kuin perusteellisia analyysijä hyvinvoinnin muutoksista. Ei-raken- teellisten toimien ja markkinattomien (kuten luontoon ja ympäristöön liittyvien) hyötyjen ar- vioinnin vaikeus ja tärkeys on tunnistettu tulvariskien hallintasuunnitelmissa⁴⁴ ja kaupunki- suunnittelussa (ks. Luku 4.1).

Tilannetta parantaisi: Kustannus-hyötyanalyysin tekemistä helpottaisivat kustannustieto- pankki⁴², tietokanta analyyseissä käytetyistä oletusarvoista, menetelmien käyttöohjeista käyttäjien kommentteista ja vinkeistä sekä oppimisportaali tai kurssi päätöksentekijöille⁴³. Tällöin analyysiin tarvittavat tiedot olisivat paremmin tekijöiden saatavilla eikä esimerkiksi kustannuksia tarvitsisi arvioida uudestaan. Ei-rakenteellisia toimia ja markkinattomia hyö- tyjä tulisi arvioida perusteellisesti muutamassa eri maantieteellisessä sijainnissa, ja näitä tuloksia voitaisiin ”*benefit transfer*”-periaatteen mukaisesti käyttää vastaavissa tarkaste- luissa muualla.

⁴⁰ Jääskeläinen ym., 2013

⁴¹ Heikkilä & Kettunen 2014

⁴² Yrjölä & Viinanen 2012

⁴³ Virta ym., 2011

⁴⁴ Lehtoranta ym., 2011

3.3 Kustannus-vaikuttavuusanalyysi

Kustannus-vaikuttavuusanalyysi vertailee eri vaihtoehtoja tietyn tavoitteen saavuttamiselle fyysisten vaikutusten ja rahallisten kustannusten avulla⁴⁵. Koska fyysisiä vaikutuksia ei arvo-teta rahassa, kustannus-vaikuttavuusanalyysi on kustannus-hyötyanalyysiä nopeampi ja ke-vyempi toteuttaa⁴⁶. Kustannus-vaikuttavuusanalyysin tuloksena eri toimet voidaan laittaa vai-kutus/kustannus-suhteen mukaiseen järjestykseen, jos vaikutuksilla on keskenään sama yk-sikkö. Menetelmällä voidaan siis selvittää, kuinka paljon maksaa yhden yksikön verran hyötyä kullakin politiikkatoimella⁴⁵.

Kustannus-vaikuttavuusanalyysi on työläämpi menetelmä ilmastonmuutokseen sopeutumisen suunnitteluun ja arviointiin kuin ilmastonmuutoksen hillinnän, sillä sopeutumistoimien vaiku-tukset mitataan kaikki eri yksiköissä ja niitä on vaikea yhteismitallistaa⁴⁵. Kustannus-vaikutta-vuusanalyysi on kuitenkin hyvä työkalu silloin, kun valmistellaan politiikkatoimia eikä ole aikaa tai resursseja arvottaa hyötyjä rahassa⁴⁶. Suomessa kustannus-vaikuttavuusanalyysiä on hyödynnetty erityisesti terveystaloudessa⁴⁷, mutta myös ympäristönhoidossa^{48,49}.

Kustannus-vaikuttavuusanalyysin **vahvuuksina** on sen helppo sovellettavuus ja ymmärrettä-vyys sekä mahdollisuus arvottaa markkinattomia hyötyjä. Sen sijaan sen **heikkoutena** on so-pimattomuus monimutkaisiin tilanteisiin, joissa yksi mittari ei huomioi kaikkia oleellisia kustan-nuksia ja hyötyjä (ts. vaikutuksia). Se ei myöskään huomioi epävarmuuksia vaan olettaa tie-tyt kehityssuunnan⁴⁵.

Mahdollisuudet Suomessa: Kustannus-vaikuttavuusanalyysi

Vahvuudet Suomessa: Menetelmä asiantuntijoiden arvioiden avulla tehdystä, todennäköi-syyksiin pohjautuvasta kustannus-vaikuttavuusanalyysistä on kehitetty Suomessa ja mene-telmää on sovellettu moniulotteiseen ympäristötavoitteeseen⁴⁸. Esimerkiksi kaupunkisuun-nittelussa pyritään täyttämään asetetut tavoitteet, jolloin suunnittelijan tehtäväksi muodos-tuu tavoitteen saavuttaminen tietyin kriteerein, joista yksi voi olla kustannusten minimointi. Näin ollen tämän hetken kaupunkisuunnittelu toteuttaa kustannus-vaikuttavuusajattelua hyödyntämättä varsinaisia sofistikoituneita arviointimenetelmiä.

Heikkoudet Suomessa: Perusteellisesti tehty analyysi vaatii tilannekohtaisia malleja, joita ei yleensä ole valmiina⁴⁸. Vaikka kustannus-vaikuttavuusajattelutapaa sovelletaan päätök-senteossa, eri riskienhallinta- ja sopeutumistoimien pitkän aikavälin kustannuksia eikä hyö-tyjä huomioida, vaan päätöksenteko perustuu alun investointikustannuksiin. Myös tavoit-teen saavuttamiseen käytettyjen toimien tunnistaminen on vaikeaa, erityisesti tilanteissa, joissa toimilla on keskinäisiä riippuvuuksia. Esimerkiksi hulevesien hallinnassa tavoite voi-daan saavuttaa pidätys- ja viivästysrakenteilla, hulevesiviemäristöllä tai jollakin näiden yh-distelmällä.

Tilannetta parantaisi: Kustannus-vaikuttavuusanalyysi ei sovellu yllä mainituista syistä sää- ja ilmatoriskien hallinnassa käytettyjen toimien arviointiin muuta kuin tilanteissa, joissa toimien hyötyjä ei voi tai haluta arvottaa rahassa. Suomessa esimerkkinä voidaan pitää kylmyys- ja lämpöaaltoja, jotka aiheuttavat ylimääräisiä kuolemantapauksia.

⁴⁵ Watkiss & Hunt 2013

⁴⁶ Jääskeläinen ym., 2013

⁴⁷ Esim THL, 2016

⁴⁸ Esim. merenhoitosuunnitelma (Oinonen ym., 2015);

⁴⁹ Esim. luonnon monimuotoisuuden lisääminen (Miettinen ym., 2012)

3.4 Reaalioptioanalyysi

Finanssimarkkinoilta tutuksi tullut reaalioptioanalyysi ilmaisee määrällisenä investointiin liittyvän riskin erilaisissa epävarmoissa tulevaisuuksissa. Menetelmän avulla voidaan arvioida, onko jokin investointi kannattavaa tehdä sellaisenaan nyt vai muokattuna myöhemmin, kun saadaan lisätietoa tulevaisuuden kehitymisestä. Reaalioptioanalyysin avulla voidaan arvioida sekä investoinnin ajoituksen joustavuuden arvoa että sen sopeutumisen joustavuuden arvoa.⁵⁰

Reaalioptioanalyysillä voidaan tunnistaa kustannustehokkaista investoinneista sellaiset, joiden toimeenpanoa kannattaa vielä lykätä esimerkiksi uuden tiedon odottamisen takia. Tällöin kuitenkin odottamisen tuottaman hyödyn on oltava odottamisesta aiheutuvia kustannuksia suurempi. Reaalioptioanalyysillä voidaan myös erottaa kustannus-hyötyanalyysin mukaan kustannustehottomista projekteista sellaiset, jotka saattavat olla kannattavia toteuttaa asteittain sitä mukaa, kun uutta tietoa on saatavilla, koska reaalioptioanalyysin avulla voidaan hahmottaa investoinnin arvon kehittyminen muuttuvissa olosuhteissa. Reaalioptioanalyysi hyödyntää päätös-/tapahtumapuu-menetelmiä, todennäköisyyksiä ja odotusarvoja.⁵¹

Reaalioptioanalyysin mahdollisuudet ilmastonmuutokseen sopeutumiseen on kirjallisuudessa tunnistettu, sillä menetelmä mahdollistaa joustavuuden, oppimisen ja epävarmuuksien analysoinnin prosessin edetessä. Menetelmää on käytetty esimerkiksi merenpinnan nousuun liittyvien investointipäätösten teossa.⁵¹

Menetelmän **vahvuutena** on sen tuottama määrällinen ja taloudellinen tieto investoinnin joustavuuden arvosta ja oppimisesta. Reaalioptioanalyysi vaatii paljon aineistoja ja on erittäin aineisto- ja resurssi-intensiivinen, mitä pidetäänkin yhtenä menetelmän **heikkoutena**.⁵⁰

Mahdollisuudet Suomessa: Reaalioptioanalyysi

Käyttö ja vahvuudet Suomessa: Suomessa reaalioptioanalyysiä ei ole käytetty juuri lainkaan finanssimarkkina-analyysin ulkopuolella. Menetelmän teoreettista käyttöä on sovellettu aluerakentamisprojektin investointien ohjauksessa⁵², ja reaalioptioiden mahdollista käyttöä on spekuloitu pelastustoimen investointien vaikuttavuuden tutkimisessa⁵³. Verrattuna muihin aluerakentamisprojekteissa perinteisesti käytettyihin menetelmiin reaalioptioanalyysi parantaa taloudellisen arvioinnin tarkkuutta ja on käyttökelpoinen priorisoinnissa ja sekä pitkän aikavälin suunnittelun tukena⁵².

Heikkoudet Suomessa: Reaalioptioanalyysi soveltuu erityisesti suuria investointeja vaativien sopeutumistoimien päätöksentekoon. Suomessa suuret sopeutumiseen liittyvät investoinnit ovat varsin harvassa, jolloin menetelmä on usein turhan raskas toteuttaa. Menetelmän onkin todettu olevan haastava sen epävarmuuksiin liittyvien tietovaatimusten takia⁵³.

Tilannetta parantaisi: Mikäli Suomessa suunnitellaan sää- tai ilmatoriskien tai ilmastonmuutoksen vaikutusten vähentämiseen tähtäviä politiikkatoimia, joiden ennakoitaan aiheuttavan merkittäviä investointeja infrastruktuuriin, reaalioptioanalyysin voisi tehdä esimerkinomaisesti ja arvioida sen hyödyllisyyttä muihin analyysimenetelmiin verrattuna. Tällöin vältetään yhteiskunnan näkökulmasta liian kalliilta ratkaisuilta.

⁵⁰ Watkiss & Hunt, 2013.

⁵¹ Watkiss ym., 2014.

⁵² Virenius, 2014

⁵³ Häkkinen & Palopäälystöliitto, 2010

3.5 Portfolioanalyysi

Arvopaperimarkkinoilta peräisin olevan modernin portfolioteorian perusteella investointituottoa kannattaa maksimoida ja riskiä minimoida hajauttamalla sijoituksia. Portfolioanalyysillä tunnistetaan eri investointityyppien ja -mahdollisuuksien kirjosta sellainen joukko (eli portfolio) investointeja, jotka tuottavat suurimmat voitot annetulla riskitasolla. Menetelmä vähentää voittojen riippuvuutta yhdestä voimavarasta (*asset*) hajauttamalla sekä investointeja että riskiä samanaikaisesti. Monipuolistamalla sopeutumistoimia saadaan kokonaisriskiä pienennettyä.⁵⁴

Ilmastonmuutokseen sopeutumisessa on tärkeää, että sopeutumistoimet ovat monipuolisia ja että sopeutumistoimen toimivuuteen/toimimattomuuteen liittyvää riskiä voidaan hajauttaa tehokkaasti. Portfolioanalyysillä voidaan määrittää sopeutumistoimien eri portfolioiden tehokkuus ilmastonmuutokseen liittyvän epävarmuuden vallitessa⁵⁴. Esimerkiksi kaivos- metalli-, öljy- ja maakaasualan yhtiö BHP Billiton on analysoinut oman tuoteperheensä ilmastonmuutoskestävyyttä portfolioanalyysin avulla⁵⁵.

Portfolioanalyysin pää**vahvuus** on nimenomaan siinä, että sen avulla voi jäsenetysti arvioida sopeutumistoimien portfolioita. Menetelmän **heikkouksia** ovat kuitenkin sen tekninen monimutkaisuus ja aineistovaatimukset (vaikuttavuus, riippuvuussuhteet, todennäköisyydet), minkä takia sitä voi olla vaikea hyödyntää arvioitaessa sopeutumista joihinkin riskeihin.⁵⁴

Mahdollisuudet Suomessa: Portfolioanalyysi

Käyttö ja vahvuudet Suomessa: Menetelmää ei ole käytetty Suomessa sää- ja ilmatoriskeihin liittyen, mutta esimerkkejä löytyy varsinkin hankintatoimesta ja logistiikasta (liiketoiminnan ala). Lisäksi Aalto-yliopiston systeemianalyysin laboratoriossa on osaamista päätöksenteon matemaattisista algoritmeista, ja siellä on kehitetty robusti portfoliomallinnus -menetelmä, jolla voisi olla potentiaalia myös sää- ja ilmatoriskien hallinnan arvioinnissa.⁵⁶

Heikkoudet Suomessa: Menetelmän käyttöä vaikeuttavat sen työläisyys, kvantitatiivisen aineiston vaatimukset esimerkiksi toimien vaikutuksista ja osaamisen puute.

Tilannetta parantaisi: Rahoitetaan tieteellinen tutkimus, jossa portfolioanalyysiä hyödynnetään sää- ja ilmatoriskien hallinta- ja ilmastonmuutokseen sopeutumistoimien arviointiin, esimerkiksi kokonaisvaltaisessa sopeutumis suunnittelussa kaupunkialueilla, joissa riskejä voidaan hallita eri toimin.

⁵⁴ Watkiss & Hunt, 2013

⁵⁵ BHP Billiton, 2015

⁵⁶ <http://rpm.aalto.fi/>

3.6 Robusti (joustava) päätöksentekoaalyysi (*Robust decision making*)

Syvän epävarmuuden vallitessa robusti päätöksenteko -menetelmä auttaa löytämään sellaiset sopeutumistoimet, jotka toimivat joustavasti ja taloudellisesti tehokkaasti riippumatta siitä, millainen tulevaisuus lopulta on. Robustin päätöksenteon tavoitteena on minimoida tulevaisuuden (ilmastonmuutoksen) negatiiviset vaikutukset⁵⁷.

Menetelmässä lähdetään liikkeelle strategian luomisesta. Erilaisten analyysimenetelmien (esim. erilaisten malliajosten) avulla tunnistetaan sellaiset tilanteet, joissa luotu strategia ei tuota haluttuja tuloksia ja tunnistetaan strategian heikkoudet. Tämän jälkeen arvioidaan millaisia vaikutuksia ja vasteita strategian pettämisestä aiheutuu ja millaisia kompromisseja (tradeoffeja) joudutaan tekemään, jotta siitä selvitään. Lopputuloksena syntyy joustava (robusti) strategia, joka on seurausta systeemissä toimivien toimijoiden tekemistä valinnoista ja jossa palautumis- ja vastustuskyky on huomioitu osana tarkasteltua systeemiä.⁵⁸

Robustia päätöksentekoa on käytetty esimerkiksi Yhdysvaltojen länsirannikon vesivarojen hallinnan sopeutumisstrategian arvioinnissa⁵⁹, New Orleansin tulvariskeihin varautumisen eirakenteellisten toimien arvioinnissa⁶⁰ ja Ho Chi Minh Cityn tulvariskien hallinnan arvioinnissa ja suunnittelussa (ks. luku 6.5)⁶¹. Menetelmän **vahvuuksina** ovat sen pyrkimys robustisuuden optimaalisuuden sijaan ja toimivuus myös syvässä epävarmuudessa. Sen **heikkouksina** ovat suuret kvantitatiivisen datan vaatimukset, laskentatehon tarve ja korkea asiantuntemusvaatimus⁵⁷.

Mahdollisuudet Suomessa: Robusti päätöksenteko

Käyttö ja vahvuudet Suomessa: Menetelmää ei ole käytetty Suomessa. Suomessa on kuitenkin paljon aineistoja ja erilaisia malleja, joita voisi olla mahdollista hyödyntää menetelmän käytössä.

Heikkoudet Suomessa: Menetelmän käyttöä vaikeuttavat sen työläys, kvantitatiivisen datan vaatimukset ja osaamisen puute. Esimerkiksi vapaasti saatavilla olevassa R-ohjelmistossa on algoritmeja menetelmän käyttämiseen, mutta ne vaativat osaamista ja ymmärrystä. Ilmastoon liittyvät epävarmuudet ja riskit eivät välttämättä ole Suomessa niin suuria, että menetelmän käyttö kannattaisi.

Tilannetta parantaisi: Suurissa infrastruktuurihankkeissa (esim. kaupunkisuunnittelussa) kevennettyä versiota⁶² kannattaisi harkita. Tämä antaisi suuntaa menetelmän jatkokäytön kannalta.

⁵⁷ Watkiss & Hunt 2013.

⁵⁸ Lempert ym., 2012.

⁵⁹ Lempert & Groves, 2010

⁶⁰ Fischbach, 2010

⁶¹ Lempert ym., 2013

⁶² Frontier Economics, 2013

4 TALOUDELLISET ARVIOINTIMENETELMÄT SUOMESSA

4.1 Tapaus: tulvariskien hallintasuunnitelmat

Kustannus-hyötyanalyysi on käytännössä ainoa Suomessa käytetty menetelmä sää- ja ilmastoriskejä koskevan taloudellisen tehokkuuden arviointiin. Sitä on käytetty erityisesti tulvariskien hallintaan^{63,64} liittyen, mutta myös ilmastonmuutoksen ja muiden seikkojen myötä tulevien vieraslajien torjuntatoimien valinnan yhteydessä⁶⁵ ja jonkin verran vesihuollossa (Taulukko 2). Tulvariskien hallintasuunnitelmien taloudellinen analyysivaatimus tulee tulvariskilaista (620/2010 10 §), jonka mukaan ”suunnitelmassa tarkastellaan toimenpiteiden kustannuksia ja hyötyjä” sekä tulvariskiasetuksesta⁶⁶, jonka mukaan hallintasuunnitelmissa esitetään arvio ”toimenpiteiden vaikutuksista, kustannuksista ja hyödyistä”.

Suomessa toteutetut kustannus-hyötyanalyysit ovat kuitenkin vain harvoin seikkaperäisiä selvityksiä riskienhallinta- ja sopeutumistoimien hyödyistä ja kustannuksista, ja ne jäävät usein hyvin pinnallisiksi katsauksiksi. Kustannus-hyötyanalyysi tuntuukin tähän asti olleen lähinnä pikainen työkalu, jolla saadaan karkea suunta sopeutumistoimien kannattavuudelle. Usein sitä käytetään muita päätöksentekoa tukevia työkaluja täydentämässä (esim. tapahtumapuu, monitavoitearviointi).

Monitavoitearviointia ei ole varsinaisesti sovellettu ilmastonmuutokseen sopeutumiseen muutoin kuin muutamissa tulvariskien hallinnan suunnitteluun ja arviointiin liittyvissä projekteissa⁶⁷ sekä tulvariskien hallintasuunnitelmissa⁶⁸. Tulvatyöryhmille on myös kehitetty monitavoitearviointiopas⁶⁹. Ympäristöhallinnossa menetelmä on tuttu yleisessä vesienhoidon suunnittelussa⁷⁰, kalakantojen ennallistamisessa⁷¹, metsien käytön suunnittelussa⁷² ja ympäristövaikutusten arviointimenettelyssä (YVA)^{73,74}.

Suomessa on määritelty 21 merkittävää tulvariskialuetta. Tulvariskien hallintasuunnitelmat vuosille 2016–2021 on tehty sellaisille vesistö- tai rannikkoalueille, joilla on tunnistettu yksi tai useampi merkittävä tulvariskialue (LIITE A). Maa- ja metsätalousministeriö hyväksyi tulvariskien hallintasuunnitelmat vuonna 2015.⁷⁵ ELASTINEN-hankkeessa tarkasteltiin 16 hallintasuunnitelmaa siitä näkökulmasta, miten niissä on käytetty taloudellisia analyysimenetelmiä. Raportissa käydään läpi lisäksi viisi vesihuoltoa riskienhallinnan näkökulmasta käsitellyttä analyysiä (Taulukko 2). Yksittäiset sää- ja ilmastoriskien hallintaa Suomessa taloudellisesta

⁶³ Katso liite A

⁶⁴ Nelimarkka & Ahopelto 2013

⁶⁵ MTT, esim. Heikkilä 2008

⁶⁶ vna 659/2010, liite A, kohta 4

⁶⁷ esim. Verta ja Marttunen 2010, Rytkönen ym., 2012a-b, Porthin ym., 2013

⁶⁸ esim. Raitalampi 2015a-c

⁶⁹ Rytkönen & Marttunen, 2013

⁷⁰ esim. Marttunen ym., 2008a-b

⁷¹ Karjalainen ym., 2011

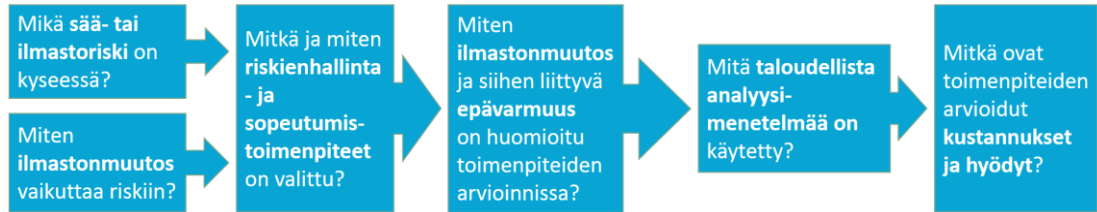
⁷² Saarikoski ym., 2010

⁷³ YVA-menettely: <http://www.ymparisto.fi/YVA>

⁷⁴ Marttunen ym., 2015; Jämsen 2013

⁷⁵ http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Tulviin_varautuminen/Tulvariskien_hallinta/Tulvariskien_hallinnan_suunnittelu/Tulvariskien_hallintasuunnitelmat

lähtökohdasta analysoineet tutkimukset esitellään taulukossa 4. Kirjallisuus analysoitiin seuraavien muuttujien näkökulmasta:



Kuvio 4. Tulvariskienhallintasuunnitelmien kirjallisuusanalyysissä mukana olleet muuttujat ja analyysin kulku

Tulvariskien hallintasuunnitelmissa ilmastonmuutos on huomioitu vaihtelevasti kahden eri näkökulman kautta: ilmastonmuutoksen vaikutus tulvariskiin ja hallintatoimenpiteisiin.

Ilmastonmuutoksen huomiointi 16 tulvariskienhallintasuunnitelmassa

1. Suunnitelmissa on arvioitu ilmastonmuutoksen vaikutusta tulvariskiin, eli sitä, miten ilmastonmuutos vaikuttaa alueen hydrologiaan ja tulvien esiintyvyyteen. Suurimaksi osaksi ilmastonmuutoksen vaikutus tulvariskiin pohjautuu Water Adapt -projektin loppuraporttiin⁷⁶ tai sen pohjalta tehtyihin hydrologisiin analyyseihin.
2. Tulvariskien hallitsemiseksi ehdotettujen toimenpiteiden sopivuutta ilmastonmuutokseen on jollain tavoin pyritty ottamaan huomioon. Kahdeksassa tapauksessa ehdotettujen toimenpiteiden sopivuus ilmastonmuutokseen on arvioitu asteikolla kyllä-ei tai hyvä-huono, neljässä tapauksessa ilmastonmuutos on huomioitu yhtenä monitavoitearvioinnin kriteerinä ja neljässä tapauksessa on todettu, että hallintasuunnitelman toimenpiteet on tehty vain nykytilanteeseen ja ilmastonmuutos on jätetty huomioimatta. Tulvariskilain mukaan ilmastonmuutos pitää ottaa huomioon toisella kierroksella 2018–2021 eli silloin toimenpiteiden ilmastonmuutoskestävyys täytyy analysoida kaikilla alueilla ja kenties tarkemmin. Tarkemmin arviointimenetelmiä tai -ajanjaksoja ei ole vielä määritetty.

Tulvariski on ainoa sää- ja ilmatoriski Suomessa, jonka hallinnassa taloudellinen tarkastelu on lakisääteistä. Kaikissa tulvariskien hallintasuunnitelmissa on tehty vähintään karkea kustannustarkastelu. Yhdessätoista suunnitelmassa tulvariskien hallinnan toimenpiteiden soveltuvuus on määritetty vähintään kevennetyllä monitavoitearvioinnilla. Pisimmälle taloudellinen analyysi on viety kolmessa suunnitelmassa, joissa kustannukset ja hyödyt on laskettu rahassa, ja toimenpiteiden nettonykyarvo on määritetty.

⁷⁶ Veijalainen ym., 2012



Kuvio 5. Merkittävien tulvariskien hallintasuunnitelmissa tehtyjen taloudellisten analyysien laatu

Kaikissa suunnitelmissa toimenpide-ehdotusten taloudellinen analyysi on karkealla tasolla suunnitelmien yleispiirteisyydestä johtuen. Suoraan hallintasuunnitelmissa esitettyjen taloudellisten analyysien pohjalta tehtävät päätökset voivat olla korkeintaan suuntaa-antavia. Tarkempi kustannus-hyötyanalyysi tulisivikin tehdä toimenpide-ehdotuksen toteutuksen käynnistyessä yksityiskohtaisemman hankesuunnittelun yhteydessä. Erityisesti isoissa investoinneissa taloudellinen analyysi olisi kannattavaa toteuttaa huolellisesti, sillä ali- tai yli-investoinnin mahdollisuus ja sen aiheuttama taloudellinen tehottomuus lisääntyy investoinnin kasvaessa. Analyysin tekemistä helpottaa se, että isoimmat toimenpiteet ovat luonteeltaan rakenteellisia, jolloin kustannus-hyötyanalyysin toteutus on suoraviivaisempaa. Keskeinen haaste kuitenkin on ei-rakenteellisten toimenpiteiden arvottaminen, koska ne eivät välttämättä tuota suoraa mitattavaa hyötyä. Esimerkiksi tulvariskien hallintasuunnitelmien 410 toimenpiteestä suuri osa on valmiustoimia, eli tulvan uhatessa suoritettavia toimenpiteitä joihin kuuluvat muun muassa tulvaennusteet ja -varoitussuunnitelmat sekä tulvatilannetoiminnan suunnittelu ja harjoittelu. Näiden taloudellinen tarkastelu on haastava, mutta tarpeellista. Tulvariskien hallintasuunnitelmien osalta taloudellisen analyysin karkeus on tunnustettu jo aiemmin tulvariskien hallinnan valtakunnallisessa koordinoitiryhmässä, ja tässä raportissa esitetyt tulokset vahvistavat tätä. Luvussa 5 esitetty kustannus-hyötyanalyysi sähkömarkkinalain vaatimuksesta osoittaa, kuinka tärkeää huolellisen taloudellisen tarkastelun tekeminen on erityisesti isoissa investoinneissa, sillä tulokset voivat vaihdella paljonkin riippuen käytetyistä aineistosta ja olettamuksista.

4.2 Tapaus: vesihuolto

Tulvariskien hallintasuunnitelmien lisäksi ELASTINEN-hankkeessa analysoitiin vesihuollon sää- ja ilmatoriskien hallinta- ja sopeutumistoimia taloudellisesta näkökulmasta käsittelevä kirjallisuus (Taulukko 1). Vesihuoltoalalla on tehty todella vähän ilmastonmuutoksen sopeutumistoimiin sekä sää- ja ilmatoriskien hallintatoimiin liittyviä kustannuslaskelmia. Selvityksiä ilmastonmuutoksen vaikutuksista ja sopeutumistarpeista vesihuollossa on tehty muutamia⁷⁷. Ulkomaisten lähteiden mukaan ilmastonmuutokseen sopeutumisen kustannukset koko maailmassa vesihuollossa voivat olla luokkaa 9–11 miljardia dollaria/vuosi⁷⁸. Suomessa ilmaston-

⁷⁷ esim. Vienonen ym. 2012 ja Tekniikan Akateemiset TEK 2014

⁷⁸ Parry ym., 2009

muutoksen kustannusvaikutuksia on arvioitu yleisesti muutamissa hankkeissa, kuten PE-SETA⁷⁹, ClimateCost⁸⁰ ja Finadapt⁸¹. Vesihuollon osalta sää- ja ilmatoriskien sekä ilmastonmuutoksen kustannusvaikutuksia on tarkasteltu taloudellisesta näkökulmasta ainoastaan Porvoossa, missä konsultti on tehnyt yhteenvedon sään ääri-ilmiöiden vaikutuksista vesihuoltoon⁸². Kyseisessä raportissa on tehty myös kustannus-hyötyanalyysi siitä, millaisia kustannuksia ilmastonmuutos voi aiheuttaa ja millaisia kustannuksia tunnistettuihin uhkiin vastaaminen tulisi aiheuttamaan. Talousveden riskienhallinnasta on tehty yleinen kustannus-hyötyvertailu, mutta sää- ja ilmatoriskit eivät ole siinä pääroolissa⁸³. Kaupunkitulvien ja hulevesien osalta varautumisen kustannuksia on arvioitu vain karkeasti Helsingissä ja Porissa⁸⁴.

⁷⁹ <https://ec.europa.eu/jrc/en/peseta/peseta-i-results> Viitattu 27.10.2016

⁸⁰ <http://www.climatecost.cc/> Viitattu 27.10.2016

⁸¹ <http://www.syke.fi/projects/finadapt> Viitattu 27.10.2016

⁸² Gaia Consulting Oy, 2008

⁸³ Jääskeläinen, 2007

⁸⁴ Virta ym., 2011

Taulukko 2. Vesihuollon kirjallisuusanalyysi

RISKI/VAARATEKIJÄ	RISKIENHALLINTA- JA SOPEUTUMISTOIMET	TALOUDELLINEN ANALYYSI
Rankkasateet ja tulvat, kuivuus, lämpötilan muutos, myrskyt ja ukkoset, maankäytön muutokset ⁸⁵	Kattava kuvaus sopeutumistoimista: vedenottoaivojen oikea sijoittaminen ja rakentaminen, pintaveden riittävän pitkän suotautumismatkan varmistaminen, pienten vesimuodostumien antoisuuden arviointi kuivina kausina, viemäriverkostojen mitoituksen tarkistaminen, varavoiman saataavuuden varmistaminen, uusien jätevesipumppaamojen sijoittaminen pohjavesialueiden ja tulvavaara-alueiden ulkopuolelle, ilmastonmuutoksen vaikutusten selvittäminen jätevedenpuhdistukseen ja erityisesti typenpoistoon.	Ei taloudellisia arviointeja/kustannuslaskelmia
Tulvat, lisääntyneet hulevedet ⁸⁶	Tulvariskien kartoitus ja hallintasuunnitelmien laatiminen. Vihreät infrastruktuurit, kuten kosteikot ja metsitykset voivat parantaa sekä tulvien että kuivuuden hallintaa.	Markkinalähtöinen arvio: markkinoiden koko on yli 30 miljardia euroa ja vuosittainen kasvu noin 10 %. Ympäristöhaasteet luovat kysyntää ennen kaikkea vedenpuhdistusjärjestelmille. Myös desalinaatio (suolan poisto merivedestä) ja jäteveden uudelleenkäyttö mainitaan ratkaisuin puhtaan veden riittämättömyysongelmaan.
<i>Ilmastonmuutos seuraavan sadan vuoden aikana:</i> muutokset lämpötiloissa, sademäärissä ja sateen intensiteetissä sekä lumen sadannassa ja sulamisessa voivat johtaa jätevedenpuhdistamolla suurempiin virtaamiin sekä lämpötilan ja kuorman laskuun. Jätevesien käsittelyssä sääolosuhteiden muutoksille herkimmat prosessiyksiköt ovat nitrifikaatio ja jälkiselkeytys. ⁸⁷	Jäteveden käsittelyä (ml. viemäröinti) koskeva mitoitussarvojen pohdinta ilmastonmuutoksen aiheuttamien sadevesi/hulevesihuippujen näkökulmasta. Tulevaisuudessa tulee olemaan ongelma isoilla laitoksilla (Helsinki/Tampere), jotka käyttävät sekaviemäröintiä myös jatkossa.	Euromääräiset arviot (vähäiset) varautumisen kustannuksista – ulkomaiset lähteet arviointien pohjana. Päähuomio yleissuunnittelun haasteissa – ei kustannuksissa.

85 Vienonen S., ym., 2012

86 Tekniikan Akateemiset TEK. 2014

87 Kuismin L. 2010.

Tulvariskit, mm. meritulva: Yhteenvetoraportti Porvoon kaupungin sopeutumisesta ilmastonmuutoksen vesihuollolle aiheuttamiin riskeihin ⁸⁸	<i>Sään ääri-ilmiöiden vesihuoltoon kohdistamien uhkien tunnistus ja merkityksen arvottaminen</i>	Yhteenveto sään ääri-ilmiöiden vaikutuksista, mukaan lukien taloudelliset vaikutukset. Tunnistettujen uhkien vastatoimenpiteiden hinta (hinnoittelu toimenpiteittäin)
Hygieniariskit, vesiepidemiat, varautuminen talousvesissä ⁸⁹	Liittyminen ilmastonmuutokseen lähinnä niissä tapauksissa, joissa epidemian syynä rankkasade.	Kustannukset arvioitu todellisissa vesiepidemia-tilanteissa. Raportissa kuvattu niitä välittömiä kustannuksia, joita vesivälitteistä epidemioista on todettu syntyneen ja sitä millaisia kustannuksia olisi syntynyt jos ko. epidemia olisi pyritty estämään. Desinfioinnin yksikkökäsittelyjen kustannustietoja voidaan soveltaa myös ilmastonmuutoksen sopeutumisen kustannusten arviointiin.
Poikkeustilanne, jota ei ole tarkemmin kuvattu. ⁹⁰	Vedenhankinnan turvaaminen poikkeustilanteessa (ei välttämättä sää- tai ilmatoriskistä johtuva)	Monitavoitearviointi. Vaihtoehtojen taloudelliset vaikutukset määritetty sanallisesti ja investointi-, käyttö- ja kokonaiskustannukset rahallisesti. Myös kotitalouksille siirtyvä kustannus laskeutu. Tavoitteena minimoida kustannukset ja vaikutus vedenhintaan.

88 Gaia Consulting Oy, 2008

89 Jääskeläinen A., 2007

90 Rantala ym., 2014

4.3 Tapaus: kaupunkisuunnittelu

Kaupunkisuunnittelussa on käytetty taloudellisia analyysimenetelmiä erityisesti tulvasuojelun toimenpiteiden arviointiin, mutta myös ilmastonmuutokseen sopeutumistoimien alustavassa arvioinnissa (Taulukko 3). Taloudellisia arvioiteja on tehty Helsingissä, Salossa ja Porissa. Käytetyin analyysimenetelmä on kustannus-hyötyanalyysi.

Tässä alaluvussa esitellään, miten Helsingin sää- ja ilmatoriskien hallintaa ja ilmastonmuutokseen sopeutumista on analysoitu, miten taloudellisten arviointimenetelmiä on käytetty kaupungin päätöksenteossa ja millaisille arvioille kaupungissa olisi tarvetta. Tämän arvion tuloksia ei voi suoraan yleistää koskemaan kaikkia Suomen kaupunkeja johtuen Helsingin ominaispiirteistä (esim. sijainti, väkiluku, väestötiheys, käytettävissä olevat resurssit), mutta pääpiirteittäin tuloksia ja suosituksia voidaan soveltaa myös muualla. Tätä arviota varten haastateltiin asiantuntijoita Helsingin eri virastoista sekä Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymästä (HSY) (ks. lista Liitteestä B).

Ensimmäinen hanke, jossa ilmastonmuutokseen sopeutumisen tarvetta Helsingissä arvioitiin oli BaltCiCa-hanke⁹¹ vuosina 2007–2013. Tällöin tunnistettiin myös tarve taloudelliselle ajattelulle ja kustannus-hyötyanalyysille sekä erityisesti tarve kustannustietopankille, joka tukisi sopeutumiseen liittyvää päätöksentekoa⁹². Taloudellinen ajattelu sopeutumistoimien arviointiin käynnistettiin Ilmastonkestävä kaupunki (ILKKA) – työkaluja suunnitteluun -hankkeessa, jossa asiantuntijatyöpajojen avulla toteutettiin sopeutumistoimien priorisointi Helsingin kaupungin sopeutumisen edesauttamiseksi⁹³. Tehdyllä priorisoinnilla arvioitiin 46 toimenpiteen tarpeellisuutta Helsingille. Tämän lisäksi tunnistettiin seitsemän läpileikkaavaa teemaa, joiden avulla pohdittiin sopeutumistoiimiin liittyviä tutkimustarpeita ja keinoja, joilla toimenpiteen tehokkuutta voitaisiin lisätä. Yrjölän ja Viinanen (2012) lisäksi myös Haapala ja Järvelä (2014) raportoivat, että ilmastoasioiden hallinnan edistäminen vaatisi mm. kustannus-hyötyanalyysien toteuttamista päätöksenteon tueksi^{92, 93}.

Tarve etenkin kustannus-hyötyanalyysin tekemiselle Helsingin sopeutumisessa on siis jo tunnistettu. Haastattelujen perusteella voidaan kuitenkin todeta, että käytännössä kustannus-hyötyanalyysiä ei käytetä lainkaan, vaikka erityisesti julkisen sektorin investoinnit eri sopeutumistoimenpiteisiin pitäisi arvioida taloudellisesta näkökulmasta. Viitaten luvun 2 kehikkoon, muista maista oppiminen on haastavaa, koska Suomen vaaratekijät, haavoittuvuus ja altistuminen ovat maailman mittakaavassa vähäisiä. Mikäli sopeutumistoiimiin investoidaan ilman huolellista analyysiä, on taloudellisesti tehottomien investointien vaara suuri.

Helsingissä merkittäviksi tunnistetut sää- ja ilmatoriskit ovat merivesitulva, hulevesitulva ja lämpöaalto. Meriveden noususta johtuviin tulviin reagoitiin vuoden 2005 tulvan jälkeen, ja tällä hetkellä suurimpana sää- ja ilmatoriskinä nähdään rankkasateiden aiheuttamat hulevesitulvat. Hulevesien hallinnan parantamiseksi tehtiin Helsingin kaupungin hulevesistrategia vuonna 2008⁹⁴, mutta strategiasta huolimatta hulevesien hallinta on vielä osittain puutteellista ja vastuukysymykset (kuka vastaa toimien toteuttamisesta ja kustannuksista) ovat tällä hetkellä ratkaisematta. Lämpöaaltojen riski on tunnistettu, mutta toimia niiden vaikutusten vähentämiseksi ei ole mietitty. Lämpöaaltojen sopeutumistoiimia arvioitaessa mallia voisi ottaa

⁹¹ <http://www.baltcica.org/> Viitattu 2.9.2016

⁹² Yrjölä & Viinanen, 2012

⁹³ Haapala ja Järvelä, 2014

⁹⁴ HKR, 2008

esimerkiksi alaluvussa 6.2 esiteltävästä Lontooseen kehitetystä kustannus-vaikuttavuustyökalusta lämpöaaltojen vaikutusten vähentämiseksi.

Meri- ja hulevesitulvien hallitsemiseksi tehdään kaupungissa erilaisia toimia. Merivesitulvia varten on rakennettu tulvasuojelurakenteita ja hulevesien hallintaa pyritään tekemään ensisijaisesti viivästys- ja pidätysrakenteilla, kuten viheralueilla, mutta myös rakenteellisia muutoksia joudutaan tekemään. Tiheimmin rakennetuilla alueilla hulevesiä varten rakennetaan erillisviemäröintiä. Kaiken kaikkiaan tulvariskien hallintatoimien kirjo kaupungissa on laaja, ja niiden toteuttaminen on monin paikoin käynnissä. Niitä joudutaan arvioimaan myös jokaisen uuden kaupunginosan kohdalla. Haastattelujen perusteella nähtiin tarve kahdelle erilaiselle taloudelliselle arviolle eri riskienhallintatoimenpiteistä:

Toimien elinkaarikustannusten arviointi

Kustannus-hyötyanalyysin käyttö Helsingissä ei kaikissa tapauksissa ole tarpeellista, sillä tulvariskien hallinnan lähtökohta on tavoitteiden saavuttaminen, eli hyväksytyn riskitason saavuttaminen ja ylläpito. Hyväksytyn riskitason saavuttamiseksi hulevesiputket ja viivästys- ja pidätysrakenteet suunnitellaan siten, että tietyin välein tilastollisesti tarkasteltuna esiintyvät tulvat eivät aiheuta alueella ongelmia. Tavoitteisiin perustuvan päätöksenteon tueksi tulisi arvioida eri toimien elinkaarikustannukset, sillä toimien investointi- ja vaihtoehtokustannukset ovat erisuuruisia eri toteutusvaiheissa. Esimerkiksi uuden asuinalueen viheralueiden alkuinvestointi- ja vaihtoehtokustannukset ovat käytännössä suuremmat kuin hulevesiputkien. Kuitenkin pitkällä aikavälillä, muun muassa ilmastonmuutoksen vuoksi lisääntyvästä epävarmuudesta johtuen, viheralueiden elinkaarikustannukset saattavat olla hulevesiputkien uudelleenmitoitusta alhaisemmat. Eri toimien elinkaarikustannuksia vertailemalla tietty riskitaso saavutettaisiin mahdollisimman alhaisin kustannuksin.

Kaupungin päätöksentekijöille tulisi tarjota aineisto eri toimenpiteiden elinkaarikustannuksista keskitetysti ja siten, että työkalu on helposti käytettävissä eri päätöksenteko- ja työvaiheissa. Sitien toimien priorisointi taloudellisesta näkökulmasta onnistuisi helposti jo suunnitteluvaiheessa.

Kustannus-hyötyanalyysin käyttö

Kustannus-hyötyanalyysin käytölle on tunnistettu tarve Helsingissä, mutta sekä kustannus- että hyötyarvioita on varsin vähän suunnittelijoiden ja päätöksentekijöiden käytössä. Kaupunkisuunnittelun tavoitekeskeisyys vaikeuttaa kustannus-hyötyanalyysin hyödyntämistä, mutta menetelmän käyttö on erityisen tärkeää perusteltaessa esimerkiksi viheralueiden hyötyjä eri toimijoille. Kustannus-hyötyanalyysi mahdollistaa eri toimien priorisoinnin, eli mitä toimia kannattaa toteuttaa ja missä järjestyksessä, ottaen huomioon kaupungin resurssit. Helsingissä tehty priorisointi on tehty sidosryhmien tavoitenäkökulmasta, eikä taloudellisen tehokkuuden näkökulmaa ole huomioitu. Toimien taloudellinen tarkastelu kannattaisi tehdä ennen kuin Helsingissä tapahtuu mittavia tulvavahinkoja, sillä potentiaaliset vaikutukset voivat olla suuret, erityisesti jos tulvavedet pääsevät maanalaisiin rakennelmiin.

Tärkeässä osassa kustannus-hyötyanalyysiä on ymmärtää sää- ja ilmatoriskien vaikutukset ja niihin liittyvät epävarmuudet. Historiallista vaikutustietoa on jonkin verran saatavilla ja sen systemaattisen keräämisen aloittaminen on tärkeää. Tämän jälkeen eri toimien hyö-

tyjä (vältettyjä vahinkoja) voidaan arvioida tarkemmin. Luvussa 6.3 esitetty Kööpenhaminan sopeutumisstrategian taloudellinen tarkastelu noudattaa kustannus-hyötyanalyysin periaatteita, ja siitä voidaan ottaa esimerkkiä myös Helsingissä.

Esimerkiksi viheralueilla on sää- ja ilmatoriskien hallinnan lisäksi myös muita hyötyjä. Viheralueiden kaltaisten markkinattomien hyödykkeiden hyötyjen arviointi vaatii erityisesti siihen tarkoitettuja menetelmiä kuten kyselyihin perustuvia ilmaistujen preferenssien menetelmiä tai paljastettujen preferenssien menetelmiä, kuten hedonisten hintojen menetelmä. Markkinattomille hyödyille (kuten viihtyisyyden lisääntymiselle) voidaan hyödyntää tietyin rajauksin *benefit transfer*-käytäntöä, eli tietyssä paikassa arvioitujen hyötyjen voidaan olettaa olevan samankaltaiset myös muualla.

Esimerkiksi viheralueilla on sää- ja ilmatoriskien hallinnan lisäksi myös muita hyötyjä. Viheralueiden kaltaisten markkinattomien hyödykkeiden hyötyjen arviointi vaatii erityisesti siihen tarkoitettuja menetelmiä. Tällaisia ovat ilmaistujen preferenssien menetelmät, jotka perustuvat kyselyihin, ja havaittuun käyttäytymiseen perustuvat paljastettujen preferenssien menetelmät, kuten hedonisten hintojen menetelmä. Helsingistä on tehty tuore analyysi hedonisten hintojen menetelmällä viheralueiden arvon määrittämiseksi. Laaja aineisto, johon kuului Helsingin asuntojen toteutuneet kauppahinnat sekä kaupungin ekosysteempipalvelut, analysoitiin tilastollisesti viheralueiden arvon määrittämiseksi. Tulosten mukaan viheralue nostaa asunnon hintaa, mutta vaikutus riippuu vahvasti sijainnista ja viheralueen tyypistä. Puistojen läheisyys nostaa asuntojen hintaa eniten kaupungin keskustassa: Keskimääräisen asunnon hinta neliometriä kohden kasvaa 1,8 prosenttia jokaista sataa metriä kohti mentäessä lähemmäksi tiettyä viheraluetta, ja tämä hyöty laskee asteittain nollaan noin 6-8 kilometrin etäisyydellä keskustasta. Avoimet pellot ja vihreät aukeat kasvattavat vastavalla tavalla keskimääräisen asunnon hintaa esikaupungeissa: Hyöty alkaa näkyä kahdeksan kilometrin etäisyydellä Helsingin keskustasta ja on suurimmillaan kaupungin rajoilla 0,8 prosentin lisäys neliömetrin hintaan. Kaupunkimetsät nostavat asuntojen hintaa koko kaupungissa, mutta niiden vaikutus on sijaintikohtainen: Helsingin keskustassa metsäinen alue kasvattaa asunnon neliöhintaa 3,7 prosenttia, ja vaikutus vähenee nollaan 6-8 kilometrin päässä keskustasta.⁹⁵

Huolella toteutettu ja raportoitu kustannusten ja hyötyjen arviointi mahdollistaa tiedon tarjoamisen eri toimijoille keskitetysti. Kun eri toimien kustannukset ja aineelliset ja aineettomat hyödyt ovat helposti toimijoiden saatavilla, muiden toimien toteuttamiseen vaikuttavien kriteerien (mm. yhteiskunnallinen hyväksyttävyyys, toteutuskelpoisuus) arviointi voidaan jättää toimijoiden oman ammattitaidon varaan.

Helsingin kaupunki on tehnyt paljon työtä erityisesti meritulvien mutta myös hulevesien hallinnan suhteen, ja toimet näiden hallitsemiseksi on tunnistettu. Eri tasojen toimijoiden tiedon lisääminen taloudellisen tehokkuuden merkityksestä ja arvioinnista on tärkeää, ja tämän pitää tapahtua kaikilla eri päätöksentekotasolla. Koska toimia on jo tunnistettu, kokonaisvaltaisen sopeutumisen arvioinnissa voisi olla potentiaalia portfolioanalyysin käyttöön, sillä se mahdollistaisi muun muassa eri toimien keskinäisten riippuvuuksien arvioinnin. Ensisijaisen tärkeää olisi kuitenkin tehdä vähintään kustannus-hyötyanalyysi Kööpenhaminan esimerkin mukaan (ks. Luku 6.3).

⁹⁵ Votsis, 2016

Taulukko 3. Kaupunkisuunnittelun kirjallisuusanalyysi

RISKI/VAARATEKIJÄ	RISKIENHALLINTA- JA SOPEUTUMISTOIMET	TALOUDELLINEN ANALYYSI
Ilmastonmuutoksen, erityisesti tulvien huomioon ottaminen kaupunkisuunnittelussa Helsingissä ⁹⁶	1) maankäyttö & rakentaminen, 2) infrastruktuuri, 3) ympäristö, 4) terveys & turvallisuus	Kustannukset arvioitu yleisellä tavalla - ei euromääräisesti / karkea kustannus-hyötyanalyysi.
Tulvasuojelu Porissa ⁹⁷	Veden pidättäminen valuma-alueella	Kustannus-hyötyanalyysi
Jokitulva ja rankkasadetulvien riskienhallinta Porissa ja Helsingissä ⁹⁸	Rakennetaan kaksi lisäojaa ja imeytyskenttä	Kustannus-hyötyanalyysi
Helsingin sopeutumistoimet ilmastomuutokseen ⁹⁹	1) maankäyttö & rakentaminen, 2) infrastruktuuri, 3) ympäristö, 4) terveys & turvallisuus	Karkea sanallinen kustannus-hyötyanalyysi
Helsingin sopeutumistoimet ilmastomuutokseen ¹⁰⁰	Potentiaaliset sopeutumistoimet tunnistettu aiemmasta kirjallisuudesta. Asiantuntijatyöryhmän kanssa sopeutumistoimet on priorisoitu 13 tärkeimpään.	Ei taloudellista analyysiä, mutta todettu, että kustannus-hyötyanalyysi edistäisi ilmastoasioiden hallintaa ja tulisi tehdä nimetyissä tapauksissa.
Tulvasuojelu Porissa ¹⁰¹	Sopeutumistoimet listattu ja kolme lupaavinta valittu 1) vahvemmat pengerrykset 2) perusteellinen ruoppaus 3) uusi joenvarsi	Monitavoitearviointi, herkkyyshanalyysi, laskettu sidosryhmille omat painoarvot ja sopeutumistoimille arvot, joiden mukaan taas määräytyy sopeutumistoimien järjestys.
Tulvasuojelu Salossa ¹⁰²	Pengerrys, ruoppaus, jäänestorakennelmat ja näiden yhdistelmä	Kustannus-hyötyanalyysi, toimenpiteiden nettohyötyarvot on laskettu taulukoon.

96 Yrjölä ja Viinanen, 2012

97 Silander, 2010

98 Virta ym., 2011

99 Rantanen ym., 2012

100 Haapala ja Järvelä, 2014

101 Porthin ym., 2013

102 Nelimarkka & Ahopelto, 2013

4.4 Tapaus: muut sektorit

Taulukko 4. Muun kirjallisuuden analyysi

RISKI/VAARATEKIJÄ	RISKIENHALLINTA- JA SOPEUTUMISTOIMET	TALOUDELLINEN ANALYYSI
Muuttuvien ilmasto-olosuhteiden vaikutus etelänjauhaiseen ¹⁰³	Suoja-alue	Kustannus-hyötyanalyysi
Vieraslajien torjunta (raportti ei ota kantaa vieraslajin tulon syyhyn, mutta antaa ohjeet torjuntakeinojen taloudelliseen arviointiin) ¹⁰⁴	Eri toimenpiteitä on lueteltu esimerkinomaisesti	Raportissa esitellään lyhyesti arviointiin soveltuvia menetelmiä, mutta näitä ei avata sen tarkemmin. Sen sijaan korostetaan toimenpiteiden vertailua keskenään. Raportin liitteessä on lueteltu Suomessa tehtyjä taloudellisia vieraslajiarvioiteja, jotka on tehty eri menetelmin.
Viherkattojen ekosysteemipalvelujen arvottaminen, yhtenä hyötynä hulevesien hallinta ¹⁰⁵	Viherkatto	Kustannus-hyötyanalyysi
Ilmastonmuutoksen vaikutukset ja sopeutuminen ¹⁰⁶	Yhteenvetoraportti, joka perustuu Ilmastonmuutoksen sopeutumistutkimusohjelman (ISTO, 2006–2010) hankkeiden tuloksiin. Mukana on myös monien muiden projektien tuloksia.	Ilmastonmuutoksen vaikutusten taloudellisia arvioita: "Sään ääri-ilmiöistä aiheutuvat vahingot voivat olla Suomessa melko suuria. Välittömät kustannukset tulvasta, jonka todennäköisyys on 0,4 %, voivat olla yli 100 miljoonaa euroa." Sopeutumista ei tarkasteltu taloudellisesta näkökulmasta.
Ravinne päästöt Itämereen, ei esitetty suoraa yhteyttä sää- ja ilmastoriskeihin tai ilmastonmuutokseen, mutta vahva vesihuoltonäkökulma. ¹⁰⁷	Viisi eri vesiensuojelutoimenpidettä: jätevedenpuhdistuksen keskittäminen, investointi uusiin ilmastimiin, laivajätevesien vastaanotto, hulevesikosteikko ja peltojen suojavähykkeet.	Kustannus-hyötyanalyysi, elinkaaren aikaiset kokonaishyödyt ja -kustannukset

¹⁰³ Heikkilä, 2008

¹⁰⁴ Heikkilä ja Kettunen, 2014

¹⁰⁵ Nurmi, ym. 2013.

¹⁰⁶ Maa- ja metsätalousministeriö, 2012

¹⁰⁷ Punttila, 2014

5 KUSTANNUS-HYÖTYANALYYSI: SÄHKÖMARKKINALAIN UUDISTUS 2013

Vuonna 2013 voimaan astunut sähkömarkkinalaki edellyttää, että haja-asutusalueilla (vapaa-ajan asunnot pois lukien) ei saa siirtymäajan jälkeen esiintyä yli 36 tunnin eikä taajamissa yli 6 tunnin sähkökatkoksia. Verkkoyhtiöt ovat täten velvoitettuja parantamaan sähkönjakelun toimitusvarmuutta merkittävästi. Siirtymäaika jatkuu vuoteen 2029 asti, johon mennessä välitavoitteiden on täytynyt täytyä vuosina 2019 ja 2023. **Tämän kustannus-hyötyanalyysin tarkoituksena on analysoida lakimuutoksen kustannuksia ja hyötyjä ja erityisesti, i) onko kuluttajien maksama hinta korkeampi kuin toimitusvarmuuden parantumisesta saatavat hyödyt, ii) miten huolellinen analyysi aiheesta tehtiin ennen lakimuutosta ¹⁰⁸, ja iii) miten kattava analyysi aiheesta on mahdollista tehdä saatavilla oleva aineisto huomioon ottaen.**

Hyödyt sähkön toimitusvarmuuden parantumisesta tulevat sähkönkuluttajille, jotka välttyvät jatkossa keskeytysten aiheuttamilta haitoilta. Sähkökatkojen vähentyessä myös kuluttajien keskeytyksistä saamat korvaukset vähenevät, mikä näkyy säästönä jakeluyrityksille, joiden liikevaihdosta merkittävä osa (pahimmillaan jopa 30 %) voi huveta vahingonkorvauksiin¹⁰⁶. Toisaalta lakimuutoksen edellyttämä toimitusvarmuus sähkönjakelussa tulee vaatimaan toimenpiteitä sähköverkkoihin, ja niistä aiheutuneet kustannukset tulevat erityisesti (lähes välttämättömän) maakaapeloinnin aiheuttamista kustannuksista. Yhden maakaapelikilometrin hinta on keskijänniteverkossa keskimäärin noin kaksinkertainen verrattuna perinteiseen ilmajohtoon. Pienjänniteverkossa kustannusero riippuu maasto-olosuhteista.

5.1 Analyysiin tarvittavat muuttujat ja aineisto

5.1.1 Hyötyjen määrittämiseen tarvittavat muuttujat ja aineisto

Sähkömarkkinalain muutoksella tavoitellaan parempaa sähkönjakelun luotettavuutta. **Luotettavuuden arvon määrittämiseksi tarvitaan tietoa i) keskeytyksestä aiheutuvasta haitasta** eri sähköverkon käyttäjille, erityisesti kuluttajille ja yrityksille, **sekä ii) keskeytysten kestoista.**

Keskeytyksestä aiheutuva haitta kuluttajille ja yrityksille

Teoriassa keskeytyksestä aiheutuvan haitan rahallinen arvo sähkönkuluttajille perustuu joko 1) kuluttajan maksuhalukkuuteen eripituisten sähkökatkojen välttämiseksi (*Willingness to pay - WTP*) tai 2) kuluttajan halukkuuteen suostua tietyn suuruiseen kompensatioon hyväksyäksään eripituiset sähkökatkot (*Willingness to accept - WTA*). Usein WTP ja WTA-arvot ovat lähellä toisiaan, mutta joissain tapauksissa ne voivat olla myös todella kaukana toisistaan¹⁰⁹. Esimerkiksi sähköverkkojen tapauksessa WTA:n on todettu voivan olla jopa nelinkertainen verrattuna WTP:hen ¹¹⁰. Ero arvoissa johtuu siitä, että maksuhalukkuutta (WTP) rajoittaa henkilön käytettävissä oleva varallisuus, kun taas hyväksytylle kompensatiolle (WTA) ei vastaavaa rajoitetta ole. Se kumpaa arvoa (WTA vai WTP) missäkin

¹⁰⁸ Partanen ym., 2012

¹⁰⁹ esim. Haneman, 1991

¹¹⁰ London Economics, 2014

tilanteessa tulee käyttää, riippuu useimpien taloustietelijöiden mielestä siitä, mihin kuluttajalla katsotaan olevan oikeus, tai siitä, kuka kustannukset lopulta maksaa ¹¹¹.

Tässä kustannus-hyötyanalyysissä WTP on oikea mittaamaan yksityishenkilöiden kokemaa haittaa, koska toisin kuin tyypillisissä markkinatilanteissa, alueellisina monopoleina toimivien sähköjakeluyritysten investointikustannukset tulevat lopulta asiakkaiden maksettaviksi. Tämä johtuu siitä, että sähköjakeluyritysten pääomalle on määritelty kohtuullinen tuotto sähkömarkkina- ja Energiaviraston valvontamenettelyssä, mutta asiakkailta perittyä hintaa ei rajoiteta. Siksi yritykset voivat siirtää kasvaneet kustannukset hintoihin, jolloin hyötyjä (kuluttaja) ja maksaja (kuluttaja) ovat sama taho. Sähkömarkkina- ja jakeluvarmuuden parantaminen esimerkiksi maakaapeloinnin avulla lisää yritysten kiinteitä kustannuksia, jotka jaksotetaan poistojen avulla vähennyksinä liiketulokseen. Liiketulokseen tehtävät vähennykset johtavat siihen, että tulopuolta voidaan vastaavasti kasvattaa. Käytännössä tämä tulee todennäköisesti näkymään sähkön siirtohintojen kasvuna ¹¹², ja esimerkkejä on olemassa jo noin 30 % siirtohintojen noususta ¹¹³. Tästä syystä myös edellä mainitut sähköntuottajien maksamat korvaukset ja niiden väheneminen luotettavuuden parantuessa jätetään huomioimatta. Ilman valvontamenettelyäkin euromääräiset tulonsiirrot toiselta osapuolelta toiselle summautuvat kustannushyötylaskelmissa nolnaan.

Kuluttajien haitan selvittämistä varten käytämme vuosina 2005¹¹⁴ ja 2014¹¹⁵ Suomessa tehtyjä kyselyitä, joissa on määritelty rahassa mitattu haitta eripituisista sähkökatkoista kuluttajille. Kyselyissä ei kuitenkaan tarkasti määritellä kumpaa arvoa (WTA vai WTP) kuluttajalta on kysytty¹¹³. Kuviossa 6 on esitetty sähkökatkosta kuluttajalle määritelty keskihaitta (y-akseli), joka on riippuvainen katkon pituudesta (x-akseli). Talvella haitta vaihtelee 1,7 eurosta (sekunnin katko) 368,7 euroon (36 tunnin katko) ja kesällä 1,8 eurosta 366,5 euroon. Erot vuodenaikojen välillä eivät ole tilastollisesti merkitseviä.

Vuonna 2015¹¹⁶ tehdyssä tutkimuksessa WTP:ksi saatiin noin 1,5 euroa/h (muutettuna €/kWh) ja WTA:ksi jopa 15 euroa/h (muunnettuna €/kWh). Kymmenkertainen ero WTP:n ja WTA:n välillä kuvastaa jonkinlaista epäohjonmukaisuutta kuluttajan valinnassa todellisen tilanteen ja kuvaillun tilanteen kesken: kuluttaja saattaisi esimerkiksi kieltäytyä 14 euron korvauksesta tunnin sähkökatkosta, mutta ei olisi valmis maksamaan saman katkon välttämiseksi kahta euroa¹¹⁷. Siten nämä arvot soveltuvat huonosti kustannus-hyötylaskelmaan.

Tässä kustannus-hyötyanalyysissä käytettyjä haitan keskimääräisiä arvoja (Kuvio 6) voidaan verrata myös ulkomailla mitattuihin arvoihin. Se osoittaa, että saadut arvot mahtuvat ulkomaisten tutkimusten WTP-haarukkaan. Usein WTP on mitattu rahayksikköinä sähkönkulutusta kohti (*Value of Lost Load - VoLL*). Arvot liikkuvat kahdesta 20 euroon per kilowattitunti. Esimerkiksi erittäin tarkasti laaditussa raportissa WTP-arvoksi on laskettu noin 4 €/kWh ja WTA-arvoksi noin 13 €/kWh (arvot on käännetty vuoden 2013 punnasta)⁹⁸. Keskimääräinen kotitalous käyttää tunnissa noin yhden kilowattitunnin energiaa¹¹⁸, joten nämä WTP ja WTA-arvot voidaan laveasti tulkita vastaavan tuntikohtaista sähkökatkon haittaa.

¹¹¹ esim. Arrow, 1993

¹¹² esim. Partanen, 2012

¹¹³ esim. Taloussanomien, Tammikuu 16. 2016

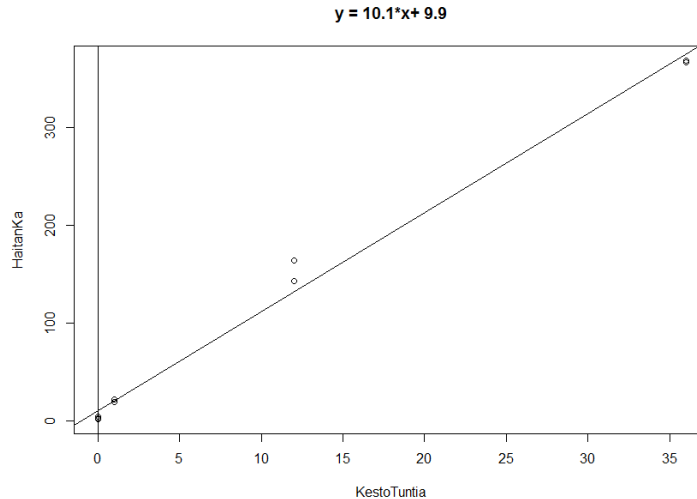
¹¹⁴ Silvast ym., 2005

¹¹⁵ Matschoss, 2014

¹¹⁶ Küfeoğlu 2015

¹¹⁷ Kahneman ym., 1991; Brown & Gregory, 1999

¹¹⁸ Tilastokeskus, 2016, sähkön hinta kuluttajatyypeittäin



Kuvio 6. Odottamattomasta haitasta koettu keskimääräinen haitta euroina

Sekä kesällä että talvella haitta näyttäisi kotitalouksien tapauksessa kasvavan lineaarisesti ajan funktiona. Siksi tuntikohtainen haitta ja lyhyen katkon haitta voidaan mallintaa yksinkertaisella lineaariregressiolla (Liite C). **Regressiomallin perusteella erittäin lyhyen sähkökatkon haitta on noin 10 euroa, jonka jälkeen haitta kasvaa noin 10 euroa /tunti.**

Yrityksille kuluttajien maksuhalukkuutta vastaava mittari on se rahallinen määrä, mitä sähkökatko vähentää yrityksen tekemää voittoa. Käytännössä tätä mitataan usein esimerkiksi menetetyt tuotannon arvolla ¹¹⁹.

Keskeytysten kesto nyt ja oletukset keskeytysten vähenemisestä

Haitan euromääräisen arvon lisäksi hyötyjen määrittämiseen tarvitaan tietoa siitä, kuinka paljon eripituisia sähkökatkoja tarkastellulla alueella on nyt, kuinka paljon niitä olisi tulevaisuudessa nykyisellä sähköverkolla ja miten katkojen määrä tulee muuttumaan erilaisten toimenpiteiden seurauksena. Ongelmana on, että 1) keskeytysaineiston kerääminen on sähköverkkoyritysten vastuulla ja 2) se on heidän hallussaan. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että aineistoa ei aina ole olemassa tai sitä ei haluta luovuttaa.

Energiateollisuus ry tilaa vuosittain konsultilta sähköverkkoyrityksille tehtävän kyselyn. Sen vastauksista on saatavilla aggregoituja aineistoa sähkökatkoista koko maasta kaikilta sähköverkkoyrityksiltä. Tämän aineiston maantieteellinen tarkkuus ei ole kuitenkaan tarpeeksi tarkkaa kovin yksityiskohtaiseen analyysiin. Tässä kustannus-hyötyanalyyssissä ongelma on ratkaistu niin, että käytämme edellä mainitulta konsultilta saatua aineistoa, jossa tietyllä alueella toimivien sähköverkkoyritysten sähköjakeluhäiriöt vuosien 2005 ja 2014 välillä on aggregoitu.

Alueeksi valikoituivat Pirkanmaa ja ne alueet, joita Pirkanmaalla toimivat sähköverkkoyritykset ylläpitävät Pirkanmaan lisäksi. Pirkanmaalla toimivien Elenia Oy:n ja Caruna Oy:n ansiosta maantieteellinen otanta on varsin laaja: se sisältää alueita koko Pirkanmaan lisäksi mm. Varsinais-Suomesta, Uudeltamaalta, Pohjanmaalta, Hämeestä ja Keski-Suomesta. Kaiken kaikkiaan asiakkaita on tarkasteltavalla alueella noin 1,1 miljoonaa, mikä kattaa noin 31 % koko Suomen sähköverkosta. Koko Suomen sähköverkkoa suppeampi analyysi auttaa kohdentamaan kustannukset ja hyödyt tarkemmin kuin koko maan kattava analyysi. Toisaalta alue edustaa kohtalaisen hyvin koko Suomea: sekä asiakasmäärä, että verkkonpituus ovat

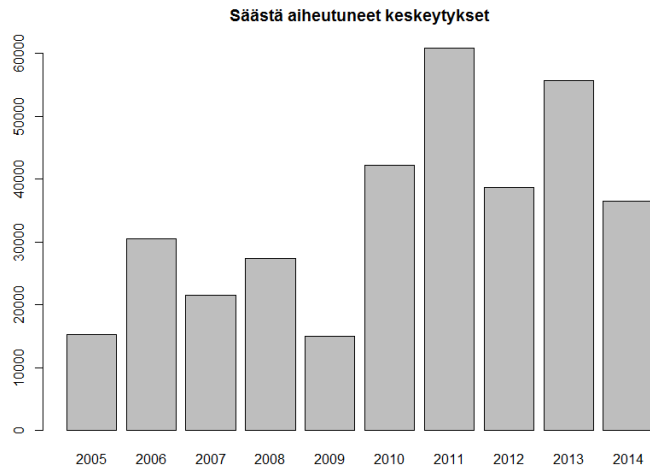
¹¹⁹ esim. Mäkinen ym. 2009

suhteessa lähes samat kuin koko Suomen tasolla.¹²⁰ Lisäksi alueelle mahtuu niin suuria kaupunkeja kuin haja-asutusalueittakin. Asiakkaat jakautuvat eri käyttäjäryhmittäin alueella seuraavasti:

Taulukko 5. Sähkönkäyttäjryhmien jakautuminen tutkittavalla alueella¹²¹

	Asuminen ja Maatalous	Teollisuus	Palvelut ja Rakentaminen	Kotitaloudet	Yhteensä
Osuus %	0,6	0,6	0,6	98,2	100
Määrä	6 600	6 600	6 600	1 080 200	1 100 000

Kaiken kaikkiaan säästä johtuvia keskeytyksiä oli vuosien 2005–2015 välillä 343 600. Keskimääräisen keston pituus oli 3 h 20 min, ja se koski 107 asiakasta. Kuviossa 2 on esitelty säästä aiheutuneiden keskeytysten määrät vuosittain. Suurin keskeytysmäärä oli vuonna 2011, jolloin aiheutui yli 60 800 keskeytystä.



Kuvio 7. Säästä aiheutuneet keskeytykset vuosittain tarkasteltavalla alueella

Sähkökatkojen oletetaan analyysissä vähenevän sähkömarkkinalain tiukennuksen osoittamalla tavalla. Oletus voidaan tehdä, sillä sähköverkko on uusittava sellaiseksi, että edellytykset toimitusvarmuudesta täyttyvät. Voimme siirtää epävarmuuden tarvittavista toimenpiteistä kustannuksiin. Käytännössä oletetaan siis, että:

- **taajama-alueilla** säästä aiheutuva haitta tulee loppumaan kokonaan maakaapelointiasteen seurauksena.
- **taajama-alueiden ulkopuolella** yli 36 tunnin kestäviä sähkökatkoksia ei enää tapahdu ja muiden sähkökatkojen frekvenssi puolittuu.

¹²⁰ Energiavirasto, 2016 Sähkön käyttö maakunnittain

¹²¹ <http://energia.fi/tilastot-ja-julkaisut/sahkotilastot/sahkonkulutus/sahkon-kaytto-maakunnittain>

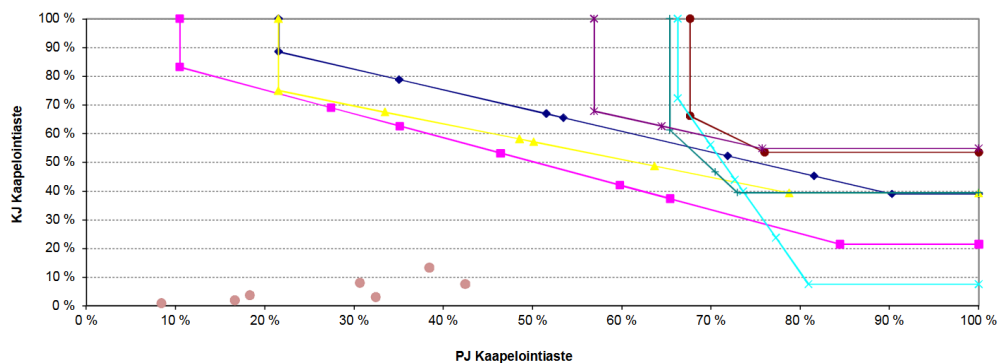
5.1.2 Kustannusten määrittämiseen tarvittavat muuttujat ja aineisto

Kustannuksia varten tarvitaan tietoa alueen sähköverkosta, sen nykyisestä maakaapelointiasteesta, tarvittavasta maakaapelointiasteesta, sekä maakaapeloinnin kustannuksista taajamissa ja haja-asutusalueilla.

Alueella toimivien sähköverkkojen kokonaispituudet ovat seuraavat: pienjänniteverkko: 99 709 km; keskijänniteverkko: 52 528 km ja Suurjänniteverkko: 2 942 km

Kustannusten määrittämisen kannalta täytyy ensin selvittää vaadittavat toimenpiteet sähkömarkkinalain määrittämän luotettavuuden saavuttamiseksi. Näitä on selvitetty kattavasti Lappeenrannan teknillisen yliopiston vuonna 2012 valmistuneessa raportissa¹²², josta selviää, että ylivoimaisesti suurin vaikutus verkon käyttövarmuuteen säähäiriöiden varalta saavutetaan keski- ja pienjänniteverkkojen maakaapeloinnilla.

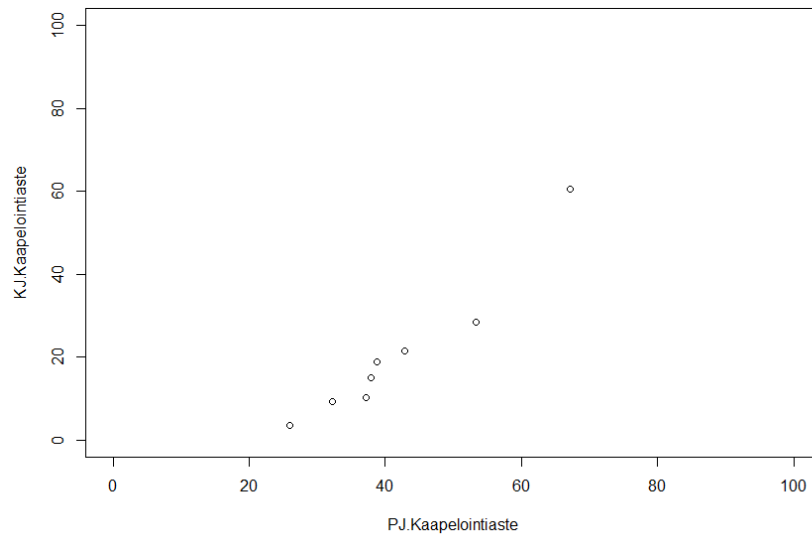
Saavuttaakseen vaadittavat vaatimukset verkon säävarmuudelle maakaapelointiasteen lisääminen on käytännössä pakollista kaikille tarkasteltavalla alueella toimiville sähköverkkoyhtiöille niin keski- kuin pienjänniteverkonkin osalta, vaikka toimintavarmuutta voidaan parantaa johonkin pisteeseen asti myös muilla toimenpiteillä. Partanen ym. (2012) tutkivat myös vaadittavaa maakaapelointiastetta suhteessa eri toimitusvarmuusvaatimuksiin.¹²⁰ Kaapeloinnin rajat voidaan esittää seuraavasti: mikäli pienjänniteverkko (PJ) on kaapeloitu 35–45 prosenttisesti, edellytetään keskijänniteverkolta (KJ) noin 50–70 prosentin kaapelointiastetta. Toisaalta mikäli pienjänniteverkot on kaapeloitu 70–90 prosenttisesti, riittää keskijänniteverkon osalta 20–50 prosentin kaapelointiaste yhtiöstä riippuen. Näillä kaapelointiasteilla saavutettaisiin 36 tunnin maksimiaikaraja sähkönjakelun keskeytykselle. Koska 36 tunnin aikaraja on yhteneväinen sähkömarkkinalain minimin kanssa taajamien ulkopuolella, siihen vaadittavat kaapelointiasteet on esitelty kuviossa 3. Taajamissa 6 tunnin maksimikeskeytysaika edellyttää, että sekä keski- että pienjänniteverkon pitäisi olla kaapeloitu 100 prosenttisesti. Kuviossa 3 eriväriset viivat edustavat eri yhtiöiltä vaadittavia maakaapelointiasteita vaadittavan toimitusvarmuuden saavuttamiseen. Pisteet vaadittavien maakaapelointiasteiden alapuolella taas vastaavat Partasen ym. (2012) tutkimien sähköverkkoyhtiöiden vuoden 2012 PJ-KJ – kaapelointiasteita¹²⁰.



Kuvio 8. Toimitusvarmuuden saavuttamiseksi vaadittavat pien- ja keskijänniteverkon maakaapelointiasteet

¹²² Partanen ym., 2012

Alueella toimivien sähköverkkoyritysten maakaapelointiasteet ovat julkista tietoa¹²³. Kuviossa 4 on esitelty sähköverkkoyhtiöiden keski- ja pienjännitekaapelointiasteet niiltä yrityksiltä, jotka ovat mukana tehdyssä analyysissä.



Kuvio 9. Aineistossa esiintyvien sähköverkkoyhtiöiden vuoden 2013 maakaapelointiasteet ¹²¹

Maakaapeloinnin kustannukset verrattuna ilmajohtoverkkoon selviävät yksikköhinnosta eri sähköverkkokomponenteille^{124,125}. Maakaapelointi on ilmajohtoverkkoon verrattuna kalliimpaa: hintasuhde on keski-jänniteverkon osalta noin kaksinkertainen. Kun nykyisen keski-jänniteverkon keskihinta on noin 28800–32200€, on maakaapeloidun keski-jännitekaapeliverkon hinta noin 61700€.¹²²

Lisäksi tehtiin seuraava oletus: ”Pienjänniteverkkoyhtiöiden osalta ilmajohtoverkon ja maakaapeliverkon rakentamisen on arvioitu olevan kustannuksiltaan samassa suuruusluokassa eli hintasuhde on 100 %. [...] Verkon normaalilla uusimistahdilla kaapelointi ei siten aiheuttaisi pienjänniteverkossa lisäkustannuksia”.¹²² Todellisuudessa maakaapeloinnin kustannus pienjänniteverkon osalta on sähköverkkoyhtiöiltä kerätyn tiedon perusteella¹¹¹ noin kaksinkertainen taajama-alueilla (18 000 €/km vs. 34 000 €/km) ja taajama-alueiden ulkopuolella noin 3 000 € tavallista verkkoa kalliimpi (18 000 €/km vs. 21 000 €/km) kilometriä kohti. Ero selittyy kaivuutyöhön liittyvillä kustannuksilla, jotka ovat taajamassa maaseutua korkeammat. Huolto- ja ylläpitokustannusten oletetaan olevan samat molemmissa ratkaisuisissa.

5.2 Hyötyjen määrittäminen

Tarkasteltavalla alueella tapahtuu keskimäärin 34 360 sähkökatkosta vuodessa ja keskimääräinen sähkökatkos koskee noin 107 asiakasta. Yhteensä kuluttajat kokevat siis vuosittain noin 3 642 000 sähkökatkosta. Tästä voidaan jyvittää kotitalouksille taulukon 5 mukaisesti 98,2 %. Tämä tekee vuodessa 3,3 säästä aiheutuvaa sähkökatkosta kotitaloutta kohti.

¹²³ Energiaviraston Sähköverkkotoiminnan tunnuslukuja -tilasto 2014

¹²⁴ Partanen ym., 2012

¹²⁵ Energiavirasto, 2015

Sähkökatkoista aiheutuva keskihaitta kotitaloutta kohti lasketaan kertomalla haitta/tunti (10,14 €/h) sähkökatkojen tuntimääräisellä kestolla ja lisäämällä siihen haitan laskennallisen mallin nollakohdan (9,87 €/kerta). Tämä voidaan tehdä, sillä haitta kasvaa kotitalouksien tapauksessa lineaarisesti ajan mukana liitteessä C esitetyn regressiomallin mukaisesti. **Koska emme voi olla varmoja, että kotitalouksille estimoitu haitta regressiomallissa on WTP-arvon mukainen, otamme vaihteluväliksi tunnin haitalle 50 % -100 % haitan estimoidusta arvosta.**

Hyötyjä arvioitaessa tehdään lisäksi seuraavat oletukset:

- taajama-alueilla säästä aiheutuva haitta tulee loppumaan kokonaan 100 prosenttisen maakaapelointiasteen seurauksena.
- taajama-alueiden ulkopuolella yli 36 tunnin kestäviä sähkökatkoksia ei enää tapahdu ja muiden sähkökatkojen frekvenssi puolittuu.

Tarkasteltavan alueen taajama-aste on kotitalouksien osalta mitattuna noin 85 %¹²⁶. Valtaosa sähköverkosta ja näin myös sähköjaketun keskeytyksistä tapahtuu kuitenkin haja-asutusalueilla – arviolta vain noin 30 % keski- ja pienjänniteverkosta sijaitsee taajama-alueilla. Lisäksi taajamissa maakaapelointiaste on jo valmiiksi korkeampi. Tästä syystä noin 20 % sähköjaketun keskeytyksistä tapahtuu taajama-alueilla ja 80 % taajama-alueiden ulkopuolella.¹²⁷

5.2.1 Kotitalouksien kokema haitta sähkökatkoksista

Näiden oletusten ja tietojen pohjalta voidaan laskea hyödyt sekä taajama-alueella että taajama-alueiden ulkopuolelle. **Taajama-alueen hyöty maakaapeloinnista tarkasteltavalla alueella on vuosittain 16–32 miljoonaa euroa.**

Taajama-alueiden ulkopuolella jaetaan sähköjaketun keskeytykset alle ja yli 36 tuntia kestäviin katkoksiin:

Hyödyt yli 36 tuntia kestävien katkojen vähenemisestä: Keskimäärin vuodessa tapahtuu 505 yli 36 tuntia kestävää sähköjaketun keskeytystä, joista ainakin 80 % eli noin 400 tapahtuu taajama-alueiden ulkopuolella. Todellisuudessa luku voi olla jopa lähellä 100:aa %, sillä taajamien sähkökatkot ovat harvoin yhtä pitkiä kuin taajama-alueiden ulkopuolella. Tätä ei kuitenkaan saa käytössä olevasta aineistosta eriteltyä. Pitkät katkot ylittävät 36 tunnin aikarajan keskimäärin 40 tunnilla. Keskimääräinen yli 36 tuntia kestänyt katkos koskee 34 käyttäjää. Näin saamme laskettua ylä- ja alarajan hyödyille, joka tulee siitä, että nämä kestot eivät voi enää kestää yli 36 tuntia. **Alaraja vuosittaiselle hyödyille on noin 3,7 miljoonaa euroa ja yläraja 7,4 miljoonaa euroa.**

Hyödyt alle 36 tuntia kestävien katkojen vähenemisestä: Lisäksi arvioimme, että muista katkoista vältetään puolet (50 %). Tämä on melko varovainen arvio, sillä maakaapelointiosuus haja-asutusalueilla yli kaksinkertaistuu, kuten kustannuksia määrittelevässä osuudessa raportoidaan. Lyhempien katkosten määrä taajama-alueen ulkopuolella on noin 27 000 katkosta vuodessa, ne koskevat keskimäärin 107 asiakasta, ja keskimääräinen katko-aika on noin 2 h 20 min. Kun hyödyt lasketaan yhteen pitkien katkosten ajan lyhentymisestä ja lyhyiden frekvenssin puolittumisesta, saamme ylä- ja alarajan taajamien hyödyille. **Näin laskettuna taajama-alueen ulkopuolella saatava hyöty tarkasteltavalla alueella on vuosittain 24–48 miljoonaa euroa.**

¹²⁶ Tilastokeskus, 2014

¹²⁷ Energiategollisuus, 2014, Sähköjaketun keskeytykset

5.2.2 Yrityksien kokema haitta sähkökatkoksista

Yrityksille aiheutuvan keskimääräisen haitan arvioiminen on huomattavasti vaativampaa kuin kotitalouksille aiheutuvan haitan. Energiavirasto käyttää taloudellisessa valvonnassaan liittymispistekohtaisesti laskettuja haitta-arvoja sähkönkeskeytyksille. Haitta-arvot lasketaan Fingridin ohjeistuksen mukaisesti kaavalla, jossa parametreina ovat liittymäpisteen tehokerroin, energiakerroin, häiriökeskeytyksen kesto, liittymispisteessä mitattu maksimiteho, vuodenaikakerroin ja vuorokaudenaikakerroin. Parametriarvoja on päivitetty viimeksi vuosina 2009¹²⁸ ja 2015¹²⁹.

Teollisuusalojen parametreja määriteltäessä on havaittu, että eri alojen yritysten haitat sähkönjakelun keskeytyksistä ovat riippuvaisia joko sähkönjakelukeskeytyksen frekvenssistä tai niiden kestosta. Esimerkiksi lyhyt kesto voi paperi- tai massateollisuudessa aiheuttaa tehtaan pysähtymisen ja vuorokauden kestävä ylösajon. Liikennesektorille lyhyt katkos ei toisaalta aiheuta juuri minkäänlaisia kustannuksia. Kemian teollisuudelle merkittävää taas on sähkökatkoksen kesto. Eri teollisuustypeille keskeytyksestä aiheutuvat haittakertoimet (KAH-kertoimet) on skaalattu sen mukaan, kuinka paljon tietty määrä energiaa saa keskimäärin aikaan tuotantoa ja kuinka suuri tuotannon arvo menetetään sähkökatkoksilla. Taulukossa 6 on esitetty osalle teollisuutta määritellyt arvot. Kerroin A kuvaa vahingon arvoa euroissa kilowattia (tehon suure) kohden ja arvo B vahingon arvoa euroissa kilowattituntia (kilowatin teho tunnin ajalta) kohden.

Taulukko 6. Uusimmat KAH-kertoimet eri teollisuudelle¹²⁷

Asiakkaan kulutuslaji	Odottamaton yli 1 s keskeytys		Odottamaton alle 1 s keskeytys (PJK)
	Kertoimen A arvo euroa / kW	Kertoimen B arvo euroa / kWh	Kertoimen A arvo euroa / kW
1 Kaivannaistoiminta	0,44	0,27	0,44
2 Paperiteollisuus	2,60	0,23	2,2
3 Kemianteollisuus	2,40	2,00	1,3
4 Metalliteollisuus	2,02	0,98	1,8
5 Liikenne	0,10	0,90	0,0
6 Jakeluverkot, kaupunki	1,90	16,10	1,5
7 Jakeluverkot, maaseutu	1,90	16,10	1,5

Tavallinen – ja usein myös lähimmäksi osuva arvio¹³⁰ – yritysten haitasta saadaan valitsemalla kultakin sektorilta edustava esimerkkiyritys ja laskemalla sille sähkökatkoista koitunut haitta. On myös huomioitava, että suuret ja keskisuuret yritykset saavat sähkönsä usein suurjänniteverkosta ja ovat tämän analyysin ulkopuolella. Tässä analyysissä tutkittu sähkön toimintusvarmuuden parantuminen koskee siis lähinnä pieniä teollisuusyrityksiä, palveluyrityksiä, pieniä ja keskisuuria elintarvikealan yrityksiä ja maatalousyrityksiä.

¹²⁸ Mäkinen ym., 2015

¹²⁹ Energiavirasto, 2015

¹³⁰ Munasinghe 1990

Keskimääräiselle maatilalle vuosittainen haitta sähkökatkoksista on noin 110 euroa. Tämä kerrottuna maatilojen määrällä saadaan vuosittaisen haitan arvoksi noin 600 000 euroa. Varovasti olettaen voimme jälleen arvioida, että frekvenssi laskee maaseudulla toimitusvarmuuden parantuessa noin puoleen, eli hyöty olisi vuodessa 300 000 €. Lisäksi epävarmuuden osalta on vielä huomioitava, että nyt käytetyt energiankulutusluokat ovat Tilastokeskuksen koko maan arvoja¹³¹. Koska energiankulutus ei välttämättä jakaudu tasaisesti koko maan osalta, arvioimme hyödyn olevan alueellamme 200 000–400 000 euroa.

Suurin osa Suomen yrityksistä on edelleen yrityksiä, joiden liikevaihto on alle 100 000 € vuodessa¹³². Näitä yrityksiä on kaikista maatalouden yrityksistä noin 99 %, eli tarkasteltavalla alueella noin 5 940. Käytämme Tilastokeskuksen keskimääräisiä kuluttajatyyppejä laskennassamme¹³³. Maataloudelle tuoreimmat KAH-kertoimet löytyvät Honkapuro ym. (2006) raportista, jossa odottamattoman keskeytyksen kertoimen A arvoksi on määritelty 0,45 €/kW ja kertoimeksi B 9,38 €/kWh¹³⁴. Maatilatalouden keskimääräinen energiantarve vuodessa on 10 000 – 30000 kWh (M1 ja M2 – maataloudet). Käytämme näiden keskiarvoa 20 000 kWh / vuosi, eli noin 2,3 kWh/h. Maatilan pääsulakkeeksi on määritelty 3 x 35 A; teho saadaan kertomalla virta jännitteellä (240 V), eli tehoksi voidaan laskea 25 kW. Keskimäärin maatilaa kohti tapahtuu vuosittain 3,3 keskeytystä, joiden keskimääräinen kesto on noin 3 tuntia 20 minuuttia.

Teollisuudelle sähkökatkoksista koituvia haittoja laskettaessa käytetään pienen (liikevaihto alle 100 000 €) ja keskisuuren teollisuustuotannon (liikevaihto alle 400 000 €) yrityksiä laskeissamme keskimääräisiä kustannuksia sähkökatkolle. Näitä on aineistossamme noin 45 % kaikista teollisuusyrityksistä, eli noin 3 000 kpl. Näistä yrityksistä noin 20 % edustaa kemian teollisuutta, 10 % paperiteollisuutta, noin 50 % metalliteollisuutta ja 10 % kaivannaistoimintaa. Loput 10 % on yrityksiä, jotka eivät mahdu edes laveasti tulkittuna aiempiin määritelmiin. Kuluttajatyypinä käytämme Tilastokeskuksen kuluttajatyyppejä T2 eli pienteollisuus¹³¹, jonka tehon tarve on 200 kW ja vuosittainen energian käyttö 600 000 kWh.

Kokonaisuudessaan maatalouden ja teollisuuden hyödyt ovat vuositasolla siis noin 1,6–3,2 miljoonaa euroa. Ne jakautuvat teollisuudenalojen kesken seuraavasti:

Taulukko 7. Teollisuuden hyödyt

	Kemian teollisuus	Paperiteollisuus	Metalliteollisuus	Kaivannaistoiminta
Yritysten määrä	600 ¹	300 ²	1 500 ³	150 ⁴
Keskeytysten määrä / vuosi / yritys	3,3	3,3	3,3	3,3
Kesto / keskeytys (tuntia)	3,37	3,37	3,37	3,37
Vuosittainen haitta / yritys (€)	2 090	1 770	1 560	350
Vuosittainen haitta koko teollisuuden ala (€)	1 260 000	530 000	2 300 000	50 000
Vuosittaisen hyödyn odotusarvo Koko teollisuuden ala (€)	630 000	270 000	1 150 000	25 000
Hyödyn epävarmuushaarukka (€)	410 000–840 000	180 000–360 000	770 000–1 560 000	17 000–34 000

1 sisältää myös elintarvikejalostusyrityksiä, joille ei ole määritelty omia KAH-parametreja

2 sisältää myös muuta puunjalostukseen liittyvää toimintaa, sillä niille ei ole ilmoitettu omia KAH-parametreja.

3 sisältää myös konepajoja ja pidemmälle jalostettua metalliteollisuutta, sillä eri osasektoreille ei ole määritelty omia KAH-parametreja.

4 sisältää myös kaivannaistoimintaan liittyviä tukitoimintoja.

¹³¹ Tilastokeskus, 2014

¹³² Tilastokeskus, Yritysten rakenne 2014

¹³³ Tilastokeskus, Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin, 2014

¹³⁴ Honkapuro ym., 2006

Palvelut ja Rakentaminen -ryhmään kuuluville asiakkaille ei ole määritelty KAH-parametreja, joten ne jätetään pois analyysistä. Lisäksi voidaan olettaa, että palveluiden käyttöaste ja liikevaihto eivät kokonaisuudessaan vähene sähkökatkojen seurauksena, vaan ne vaihtavat aikaa tai paikkaa. Toisaalta rakentamisen osalta haittoja voi viivästysten ja työvoiman turhan ajankäytön seurauksena syntyä, mutta ne arvioidaan vähäisiksi kokonaisanalyysin kannalta.

Kokonaisuudessaan teollisuuden hyödyt ovat noin 5 % kokonaisyödyistä. Kansainvälisissä vertailuissa teollisuuden kokonaishaitat on arvioitu olevan noin 10 % sähkönjakelun keskeytysten kokonaishaitasta, esim. Yhdysvalloissa¹³⁵. Ero selittyy tässä tapauksessa sillä, että olemme ottaneet vain pienet ja keski-suuret teollisuusasiakkaat huomioon analyysissä, sillä analyysissä oletetaan, että isot yritykset ovat suurjänniteverkossa ja niiden sähkön saannille ei aiheudu säästä johtuvia katkoksia.

5.3 Kustannusten määrittäminen

Kokonaisuudessaan **taajamissa** vaadittavat investointikustannukset sähkökatkosten välttämiseksi olisivat 350–400 miljoonaa euroa, sillä keskijänniteverkon (KJ) nostaminen 100 %:n maakaapelointiasteeseen maksaisi taajamissa noin 160–182 miljoonaa euroa ja pienjänniteverkon (PJ) kaapeloinnin noin 197 miljoonaa euroa.

Tähän päädyttiin käyttämällä seuraavia tietoja ja oletuksia taajamien sähköverkosta:

- Keskijänniteverkon maakaapelointiaste on tällä hetkellä noin 50–60 %¹³⁶.
- Keskijänniteverkkoa on noin 8 500 km, josta maakaapeloitavaksi tulisi 40–50 %.
- Lisäksi oletetaan, että vuoden 2030 aikarajan saavuttamiseksi 50 % verkosta on muutenkin uusittavaa ja 50 % joudutaan uusimaan ennenaikaisesti¹³⁷.
- Pienjänniteverkkoa on noin 40 % sen kokonaispituudesta eli noin 39 000 km¹³⁸. Tämän hetkinen PJ-kaapelointiaste on arvioitu olevan taajamissa noin 70 % eli kaapeloitavaksi tulisi noin 30 %, joka vastaa noin 12 000:ta km.
- Pienjänniteverkon osalta oletetaan myös, että aikarajan 2030 saavuttamiseksi 50 % verkosta on muutenkin uusittava ja 50 % joudutaan uusimaan ennenaikaisesti.

Kokonaisuudessaan **taajamien ulkopuolella** kustannuksien vaihteluväli on 550–1150 miljoonaa euroa, sillä keskijänniteverkon kustannukset olisivat 40 %:n asteella (ja olettaen että 50 % on muutenkin uusittavaa ja 50 % joudutaan uusimaan ennenaikaisesti) 620 miljoonaa euroa, ja 80 %:n asteella 1 450 miljoonaa euroa. Pienjänniteverkon kustannukseksi tulisi 40 %:n maakaapelointiasteella (vastaavilla oletuksilla) 70 miljoonaa euroa, ja 80 %:n maakaapelointiasteella 350 miljoonaa euroa. Näin kustannusten alarajaksi pienjänniteverkon osalta on 350 miljoonaa euroa ja keskijänniteverkon osalta 200–800 miljoonaa euroa. Todennäköisesti oikea kustannustaso on tämän vaihteluvälin keskivälin tienoilla. Suuri vaihteluväli selittyy keskijänniteverkon vaadittavan maakaapelointiasteen epävarmuudella.

¹³⁵ LaCommare ym. 2004

¹³⁶ arvioitu tarkastelemalla Energiaviraston tunnuslukua (2014) ja Energiateollisuuden julkaiseman Sähkönjakelun keskeytyksiä (2014) tilaston avulla

¹³⁷ Partanen ym., 2012

¹³⁸ Energiateollisuus, 2014; Sähköverkkoliiketoiminnan tunnusluvut, 2014

Tähän päädyttiin käyttämällä seuraavia tietoja ja oletuksia sähköverkosta taajamien ulkopuolella:

- Keskijänniteverkon maakaapelointiaste on keskimäärin 10–11 %¹³⁹.
- Keskijänniteverkkoa on noin 45 000 km, josta maakaapeloitavaksi tulisi 40 %:n maakaapelointiasteella 13 500 km ja 80 %:n kaapelointiasteella 31 500 km.
- Pienjänniteverkkoa on noin 60 % sen kokonaispituudesta eli noin 58 000 km.
- Tästä nähdään, että taajamien ulkopuolella on selvästi halvempaa kasvattaa pienjänniteverkon kuin keskijänniteverkon maakaapelointiastetta. Siksi keskijänniteverkon maakaapelointiaste on optimissa jätetty niin alhaiseksi kuin mahdollista kasvat- taen samalla pienjänniteverkon maakaapelointiastetta.

Käytännössä kuviosta 8¹⁴⁰ huomataan, ettei pienjänniteverkon maakaapelointiasteen kasvat- taminen yli 80 %:n enää kompensoi keskijänniteverkon maakaapelointiastetta. Tämän vuoksi oletamme, että pienjänniteverkko maakaapeloidaan 80 %:iin asti. Vaihteluväli keskijännite- verkolta vaadittavalle maakaapelointiasteelle on tällöin – jättäen alin ja ylin havainto pois ku- vasta – noin 20–50 %.

5.4 Herkkyysanalyysi

On valitettavaa, ettei tuoreimmassa suomalaisessa raportissa¹⁴¹ ole eritelty *Willingness-to-pay* (WTP) ja *Willingness-to-accept* (WTA) arvoja, sillä kuten edellä on mainittu, on yleinen havainto, että WTP-arvot ovat sähkönjakeluhäiriöiden osalta huomattavasti pienemmät kuin WTA-arvot. Koska pohjatutkimuksessa ei ole määritelty tarkkaan, kumpaa arvoa kysytään, on mahdollista, että arvot ovat korkeammat kuin WTP-arvot olisivat. Tämän vuoksi arvoihin so- velletaan herkkyysanalyysiä, eli tulokset arvioidaan käyttämällä 50 ja 100 %:n vaihteluväliä tunnin haitalle tutkimuksen arvoista.

Eri ajankohtina saadut hyödyt ja kustannukset muutetaan nykyarvoonsa diskonttaami- sen avulla. Sekä hyödyt että kustannukset tulevat lopulta kuluttajan maksettaviksi. Kuluttaja saa hyödyn asennetusta maakaapeliyksiköstä heti investoinnin tapahduttua, ja hyöty jatkuu, kunnes maakaapelin pito-aika on kulunut. Kustannus tapahtuu toisaalta yrityksen kannalta heti, mutta kuluttajalle kustannus jakautuu poistojen kautta (usein tasapoisto, 40 vuotta) ja in- vestointiin käytetyn pääoman tuoton kautta. Siksi kuluttajan hyödyn pitäisi ylittää vähintään sa- maan kuin vaadittu pääoman tuottoaste. Vuonna 2014 määritetty reaalin keskipainotettu pääoman kustannus (WACC) on verojen jälkeen sähkön jakeluverkkotoiminnalle 3,2–4,5 %.^{142,143} Tämän jälkeen vieraan pääoman kustannus on laskenut noin 0.5–1 %¹⁴⁴. **Pääoman diskonttokorkona käytetään 3:a %.** Toisaalta myös kuluttaja arvottaa lähitulevaisuudessa maksettavaksi tulevia kustannuksia eri tavalla kuin osittain vasta myöhemmin maakaapeloin- nista tulevia hyötyjä. Näiltä osin myös korkeampi diskonttokorko on perusteltu, joten **kustan- nus-hyötyanalyysi tehdään myös 5 %:n diskonttokorolle.**

¹³⁹ Arvioitu tarkastelemalla Energiaviraston tunnuslukua (2014) ja Energiateollisuuden julkaiseman Sähkönjakelun keskeytyksiä (2014) tilaston avulla

¹⁴⁰ Partanen ym. 2012

¹⁴¹ Matschoss 2014

¹⁴² Äijälä ym. 2014

¹⁴³ Energiavirastolle Ernest & Young

¹⁴⁴ Bloomberg, 2016

5.5 Tulokset

Edellisissä kappaleissa lasketut hyödyt ja kustannukset on kerätty taulukkoon 8 niin, että ne on diskontattu ja eri vuosina tulevat hyötyvirrat on laskettu yhteen. Aikahorisonttina on käytetty 60 vuotta, mutta aikahorisontin jatkaminen vielä eteenpäin ei muuttaisi tuloksia enää merkittävästi, sillä diskonttokorko on laskenut 60. vuoden kohdalla tulevan hyödyn jo varsin pieneksi. Kustannukset ovat samat eri diskonttokoroille, sillä olemme ottaneet diskonttokoron jo huomioon hyötyjä määrittäessä.

Taulukko 8. Kustannus-hyötyanalyysin tulokset

	Taajama 3 %	Taajama 5 %	Haja- asutus 3 %	Haja- asutus 5 %	Maatalous & teollisuus 3 %	Maatalous & teollisuus 5 %	Yht. 3 %	Yht. 5 %
Hyödyt (milj. €)	440–880	300–600	660– 1 230	450–910	40–90	30–60	1 140– 2 200	780– 1 570
Kustannukset (milj. €)	350–400	350–400	550– 1 150	550– 1 150	-	-	900– 1 550	900– 1 550

5.6 Johtopäätökset

Käytettäessä 3 %:n diskonttokorkoa näyttäisi, että kustannus-hyötylaskelma antaa positiivisen nettohyödyn lakimuutoksen vaatimille maakaapelointi-investoinneille, eli hyödyt maakaapeloinnista ovat suuremmat kuin siitä aiheutuvat kustannukset. Toisaalta 5 % diskonttokorkoa käytettäessä tulee negatiivinen nettohyöty, eli kustannukset investoinneista ovat suuremmat kuin toimitusvarmuuden parantumisesta kuluttajille tulevat hyödyt. Tämä osoittaa, että lakimuutoksen kustannustehokkuus riippuu analyysissä käytetyistä oletuksista, erityisesti ihmisten arvioidusta haitasta ja sen ajoituksesta ja diskonttotekijästä.

Kustannukset ja hyödyt sähkömarkkinalain muutoksesta jakautuvat suurelta osin haja-asutusalueelle. Suuri vaihteluväli kustannuksissa selittyy sillä, että keskijänniteverkolta edellytettävä maakaapelointiaste haja-asutusalueilla on 20 ja 50 %:n välillä, mutta tarkka aste eri sähköverkoille riippuu myös muista tehdyistä toimenpiteistä. Kustannusten odotusarvo on ääripäiden välissä eli noin 1,25 miljardia euroa. Hyötyjen osalta vaihteluvälin selittää kuluttajien sähkökatkon rahassa mitattuun haittaan liittyvä epävarmuus. Todennäköisesti odotusarvo hyödyille on kansainväliseen vertailuun viitaten vaihteluvälin alarajan tuntumassa. Lisäksi käytetty diskonttokorko – eli tulevaisuuden korkokehitys – ja kuluttajien aikapreferenssi ovat myös tärkeitä tekijöitä lopputulosten kannalta.

Lakimuutoksen vaikutuksia arvioitiin monesta eri näkökulmasta ennen lain muuttamista¹⁴⁵, mutta tässä esitetyn kaltaista kustannus-hyötyanalyysiä ei toteutettu. Myös Partanen ym. (2006 ja 2012) toteaa, että varsinkin 24 tunnin aikarajan asettaminen haja-asutusalueelle, joka oli lakia valmisteltaessa esillä, on taloudellisesti kestävämpi kuin laissa nyt oleva 36 tunnin tavoite. 36 tunnin tavoite taas on taloudellisesti kestävä tietyillä parametriarvoilla, mutta realistisilla oletuksilla taloudelliset hyödyt voivat jäädä kustannuksia pienemmiksi. Koska lailla tavoitellaan myös muita tavoitteita, mm. investointivajeen paikkaamiseen ja huoltovarmuuteen liittyen, voi näiden tavoitteiden mukaan ottaminen muuttaa tuloksia siihen

¹⁴⁵ Partanen ym., 2006; Partanen ym., 2012, TEM, 2012

suuntaan, että 36 tunnin aikatavoite on perusteltu. Tulevaisuudessa nämäkin tavoitteet tulisi ottaa mukaan taloudelliseen tarkasteluun, esimerkiksi maksuhalukkuustutkimuksissa.

Ilmastonmuutoksen vaikutuksia myrskyjen voimistumiseen on arvioitu muun muassa EU:n seitsemännestä tutkimuksen ja innovaation puiteohjelmasta rahoitetussa RAIN-hankkeessa¹⁴⁶. Siinä arvioitiin vertailukauden 1971–2000 tuuliriskejä ns. uusanalyysillä ja niissä mahdollisesti tapahtuvia muutoksia jaksoille 2021–2050 ja 2071–2100 alueellisilla ilmastomalleilla. Analyysit perustuvat mallien arvioimaan tuulisuuteen 10 metrin korkeudessa. RAIN-hankkeen analyysin perusteella sellaisten tuulten nopeuksien, jotka vertailukaudella tapahtuivat kerran 50 vuodessa, eli niiden vuosittainen todennäköisyys oli 2 prosenttia, vuosittainen todennäköisyys nousee osassa tarkasteltua aluetta vuosien 2021–2050 aikana 2,5 prosenttiin. Siten ne esiintyisivät keskimäärin kerran 40 vuodessa. Vuodesta 2071 eteenpäin oletukset kasvihuonekaasujen kehityksestä vaikuttavat arvioituun todennäköisyyteen huomattavasti, mutta tämä on kustannus-hyötyanalyysin tarkastelujakson ulkopuolella.¹⁴⁷

Myrskyjen aiheuttamaan riskiin vaikuttavat merkittävästi myös metsänhoidolliset toimenpiteet, joiden vaikutuksia on Suomessa pystytty arvioimaan tilastollisesti viime vuosina sattuneiden voimakkaiden myrskyjen vuoksi. Esimerkiksi harvennusten tyyppi ja ajoitus vaikuttavat merkittävästi tuulisuuden aiheuttamaan myrskyriskiin^{148,149}. Tässä ELASTINEN-hankkeen kustannus-hyötyanalyysissä käytettyyn melko lyhyeen ajanjaksoon (2005–2014) osuu kaksi merkittävät tuhot aiheuttanut myrskyä. Kustannus-hyötyanalyysissä tarkastellaan siis ajanjaksoa, johon osui voimakkaita myrskyjä keskimääräisesti enemmän kuin tilastollisesti edustavaan pitkän aikavälin (useamman vuosikymmenen) ajanjaksoon. Koska tällaisten tuulten nopeuksien todennäköisyys ei kasva merkittävästi seuraavien 50 vuoden aikana, voidaan näiden huippuvuosien olettaa kuvaavan riittävällä tavalla myös ilmastonmuutoksen mahdollisesti aiheuttamaa kasvavaa riskiä.

Kuluttajien maksuhalukkuus sähkökatkojen vähentämisestä voi myös muuttua tulevaisuudessa. Tähän vaikuttavat ihmisten kulutustottumukset, preferenssit sekä käytettävissä olevat tulot. Näiden asioiden huomioiminen analyysissä on pitkän aikavälin epävarmuudesta johtuen vaikeaa. Esimerkiksi tulotason kehittymistä seuraavien vuosikymmenien aikana on hyvin vaikea ennustaa, mutta viime vuosina kotitalouksien käytettävissä olevat tulot Suomessa ovat laskeneet¹⁵⁰. Siten ei ole odotettavissa, että maksuhalukkuus muuttuisi ainakaan lähitulevaisuudessa. Lisäksi analyysia varten pitäisi olla tiedossa se, miten tulotason muutos vaikuttaa maksuhalukkuuteen, eli ns. maksuhalukkuuden tulojousto. Tätä ei Suomessa ole tässä yhteydessä tutkittu.

Kustannus-hyötyanalyysiä varten tarvittava aineisto ja sen puutteet vaikuttavat merkittävästi analyysiin. Kuten tässä esitetty kustannus-hyötyanalyysi osoittaa, vain diskonttokorkoa muuttamalla tulos kääntyy päinvastaiseksi. Siten voikin olla mahdollista, että joustavammilla politiikkakeinoilla ja vähemmän tiukoilla vaatimuksilla olisi saavutettu kustannustehokkaampi ratkaisu toimitusvarmuuden parantamiseksi.

¹⁴⁶ <http://rain-project.eu/>

¹⁴⁷ Groenemeijer ym., 2016 RAIN-projekti. Deliverable 2.5.

¹⁴⁸ Suvanto ym., 2016

¹⁴⁹ Pukkala ym., 2016

¹⁵⁰ http://www.stat.fi/til/tjt/2014/02/tjt_2014_02_2016-04-01_kat_002_fi.html

6 KANSAINVÄLISIÄ ESIMERKKEJÄ TALOUDELLISESTA ANALYYSISTÄ KAUPUNGEISSA

Riskienhallinta- ja sopeutumistoimenpiteiden laaja kirjo vaikuttaa siihen, että kaupunkisuunnittelussa koko kaupungin kattavia taloudellisia analyysejä ei ole juurikaan tehty. Riskejä voidaan usein tunnistaa erilaisilla haavoittuvuutta arvioivilla menetelmillä ja myös osallistavilla prosesseilla, joissa eri sektoreiden työntekijät tunnistavat mahdollisia toimenpiteitä omilta toimialoiltaan. Näin ollen sopeutumistoimien suunnittelussa ja toteutuksessa on usein mukana useita tahoja joiden kirjo on laaja. Suomessa Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä (HSY) toteutti yhteistyössä Cardiffin yliopiston kanssa sosiaalisen haavoittuvuuden analyysin pääkaupunkiseudulle¹⁵¹. Taloudellisten analyysimenetelmien käyttö Suomessa kaupunkisuunnittelussa on kuitenkin vielä käytännössä hyvin vähäistä (Ks. Luku 4.3).

ELASTINEN-hankkeessa valittiin tarkempaan tarkasteluun neljä sää- ja ilmatoriskien hallintaa tai ilmastonmuutokseen sopeutumista edistävää työkalua ja viisi tapausta, joissa on karotettu tavalla tai toisella taloudellisia tai muita hyötyjä ja kustannuksia. Ensimmäinen esimerkki New Yorkista on perinteinen kustannusvaikuttavuusanalyysi. Lontoon esimerkki havainnollistaa, kuinka lämpöaaltoihin sopeutuminen voi tuottaa erilaisia kustannuksia riippuen rakennuskannasta ja valituista sopeutusvaihtoehdoista. Rotterdamin esimerkki tuo esille ehkä tähän mennessä kattavimman yhteiskunnallisen kustannus-hyötyanalyysin, joka toteutettiin osana kaupungin sopeutumisstrategiaprosessia, ja Kööpenhaminan esimerkki kuvaa taloudellista analyysiä kaupungissa, jonka olosuhteet ovat lähellä Suomen kaupunkien, erityisesti Helsingin, olosuhteita. Vietnamin suurimman kaupungin Ho Chi Min Cityn esimerkki kuvaa monitahoisen joustavan (robustin) päätöksentekomallinnuksen ja -analyysin aasialaisessa suurkaupungissa.

6.1 Tapaus 1: New York - Myrskyn kustannusten mallintaminen

New Yorkin kaupungissa on käytetty mallinnustyökalua hurrikaani Sandyn kustannusten arviointiin. Tämä ei varsinaisesti ole kaupungin käyttämä työkalu, mutta hyvä esimerkki siitä, kuinka haasteellista myrskyjen taloudellisten vaikutusten mallintaminen on.

Hazards U.S. Multi-Hazard (HAZUS-MH) malli on Yhdysvaltain liittovaltion Federal Emergency Management Agencyssa (FEMA) kehitetty mallinnusmenetelmä, jonka avulla voidaan arvioida maanjäristyksiin, tulviin ja hurrikaaneihin liittyviä kustannuksia¹⁵². HAZUS-MH käyttää paikkatietoon sidottua aineistoa ja arvioi katastrofien fyysisiä, taloudellisia ja sosiaalisia vaikutuksia. Sen tuloksia voidaan esitellä erilaisilla karttapohjaisilla aineistoilla, ja sillä voidaan tuoda myös esille riskialttiita paikkoja.

HAZUS-MH mallia käytettiin arvioimaan hurrikaani Sandyn taloudellisia vaikutuksia, etenkin erilaisten tulvatorjunnan toimenpiteiden kannalta ottaen huomioon alueelle tyypilliset rakennukset ja tulvasuojelutavat¹⁵³. Mallinnus tehtiin yhteistyössä Yhdysvaltain Geologisen tutkimuskeskuksen kanssa (USGS).

¹⁵¹ HSY, 2015a ja 2015b

¹⁵² FEMA, 2016

¹⁵³ NYC, 2014

Mallinnuksessa tarkasteltiin rakennuksille aiheutuneita kustannuksia kolmena eri ajankohtana (Sandyn tapahtuessa, sekä kaksi viikkoa ja kolme kuukautta myrskyn jälkeen) ja sitä vasten tarkasteltiin Sandy-hurrikanin intensiteettiä, jota mitattiin sensoreilla ja muilla menetelmillä myrskyn aikana. Kahden ensimmäisen ajankohdan väliset kustannukset vaihtelivat suuresti, mutta kolmen kuukauden jälkeen arvio oli paremmin jäsentyneenä, sillä tietoa oli paremmin saatavilla. Kaiken kaikkiaan mallinnuksen jälkeen nousi esille erilaisen tiedon tärkeys, ennen ja jälkeen katastrofin. Luonnollisesti, jos tietoa on kerätty ennen luonnononnettomuutta, on helpompaa arvioida sen aiheuttamia kustannuksia. Mallissa arvioidaan, että yksistään New Yorkin alueella vahingot ovat nousseet noin USD 23 miljardiin, ja laajempaa maantieteellistä aluetta tarkastellessa kustannukset tietysti kasvavat.

Tällä hetkellä USGS on ajamassa samankaltaista mallia New Jerseyyn kaupungille. Tarkoituksena on tutkia merenpinnan korkeuksia nousuveden aikaan myrskytilanteessa ja verrata niitä historiallisiin tilastoihin, sekä myös saada käsitys mahdollisista kustannuksista.

Tätä mallinnustyökalua ei ole tarkoitettu kaupunkien käyttöön vaan sitä sovelletaan lähtökohdaisesti tutkimuksessa. Mallin avulla voidaan arvioida vaaratekijöistä aiheutuvia kustannuksia ja se ottaa huomioon erilaisia rakennustapoja ja muita muuttujia, joiden avulla voidaan tarkastella sopeutumisen vaikutuksia vaaratekijästä aiheutuviin kustannuksiin. Mallilla ei varsinaisesti saada tietoa siitä, mitä sopeutumistoimenpiteitä tulisi tehdä, eikä se auta vertailemaan eri toimenpiteiden välisiä kustannuksia tai hyötyjä.

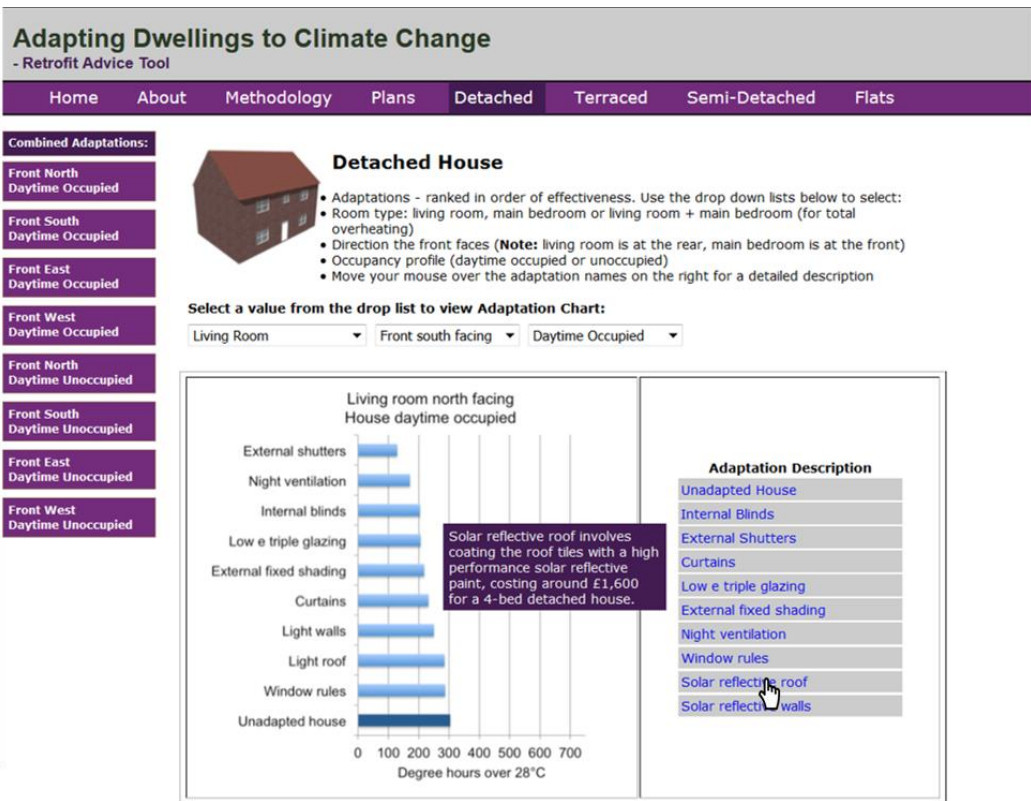
6.2 Tapaus 2: Lontoo – kustannus-vaikuttavuustyökalu lämpöaaltoihin sopeutumiseen rakennetussa ympäristössä

Käytännön työkalusta esimerkkinä on Lontooseen kehitetty verkkopohjainen työkalu, jonka avulla voidaan tarkastella lämpöaaltoja, eri talotyyppejä ja niiden muokkaukseen liittyviä kustannuksia¹⁵⁴. Työkalun tulokset perustuvat vuoden 2003 lämpöaalttoon, jonka seurauksena Isossa-Britanniassa kuoli yli 2 000 ihmistä.

Työkalun avulla voidaan tarkastella neljän eri talotyypin: omakoti-, rivi-, pari- ja kerrostalon sopeuttamista vuoden 2003 lämpöaalttoon. Talotyypin lisäksi työkalussa voi valita, miten talo on sijoittunut (ikkunat pohjoiseen jne.) ja onko talo päivisin käytössä. Tämän jälkeen työkalu arvioi erilaisten passiivisten (ei energiaa kuluttavien) sopeutumistoimenpiteiden vaikutuksia asetuntien¹⁵⁵ määrään verrattuna perustapaukseen esitettynä niille jaksoille, kun talo on asuttu. Kuvio 10 näyttää esimerkin työkalun näkymästä, jossa on listattu omakotitalolle soveltuvia sopeutumistoimia ja toimien vaikuttavuus lämpöaalttoon sopeutumiseen.

¹⁵⁴ <http://www.extreme-weather-impacts.net/toolkit/>

¹⁵⁵ Asetuntia kuvaa tietyn raja-arvon ylittävän lämpötilan ja ajan tuloa. Esimerkiksi 1,5 °C:een raja-arvon ylitys kolmen tunnin ajan vastaa 4,5 asetuntia. (YM asetus). Isossa-Britanniassa The Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE) on määritellyt 26 °C:een raja-arvon makuuhuoneisiin ja 28 °C:een raja-arvon muille tiloille.



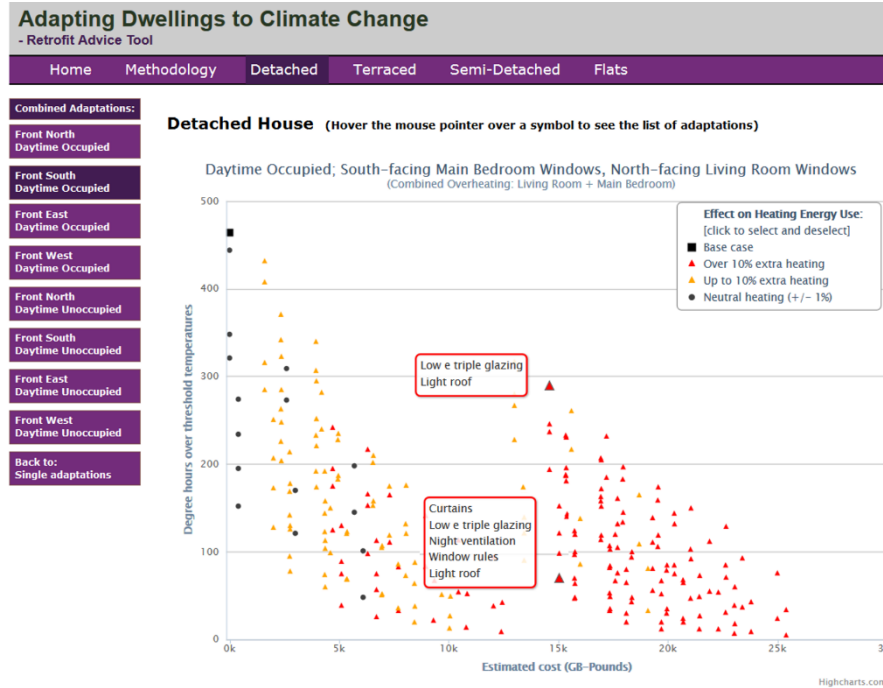
Kuvio 10. Sopeutumistoimet omakotitalolle listattu vaikuttavuusjärjestys

sessä¹⁵⁶ Y-akselilla kuvataan toteuttamisen vaikutusta yllämpenemiseen eli astetunteihin raja-arvon yläpuolella, ja erimuotoisilla ja -värisillä kuvioilla kuvataan toimenpiteiden vaikutusta vuosittaiseen lämmitysenergiankulutukseen. Keltaisella ja punaisella kolmiolla merkityt toimenpideyhdistelmät lisäävät vuosittaista lämmitysenergian kulutusta, ja mustalla ympyrällä merkittyjen vaikutus on vähäinen. Kuviossa on korostettu esimerkinomaisesti kaksi samanhintaista ratkaisua, joiden viilentämistehokkuus eroaa toisistaan.

Eri sopeutumistoimien yhtäaikaisen toteuttamisen kustannuksia ja vaikuttavuutta on työkalussa esitetty kuvion 11 mukaisesti sirtontakuviona. Vaaka-akselilla kuvatut sopeutumistoimien kustannukset on kerätty useista lähteistä ja esimerkiksi erilaisten materiaalien kustannukset voivat vaihdella suuresti toimittajasta riippuen, joten niiden yleistäminen on vaikeaa. Työkalu mahdollistaa parhaan sopeutumisstrategian (vähentää sekä yllämpenemistä että energiankulutusta) valitsemisen tietyllä kustannuksella.¹⁵⁷ Lisääntynyt lämmitysenergian kulutus tulee esimerkiksi kuviossa 10 esille nostetun aurinkoa heijastavan katon käytöstä, koska talvella ne vähentävät auringon lämmittävää vaikutusta ja siten lisäävät lämmityskustannuksia.

¹⁵⁶ IESD, 2016

¹⁵⁷ Porritt ym., 2013



Kuvio 11. Omakotitalon sopeutumistoimien kustannukset ja vaikuttavuus¹⁵⁸

Lontoon pormestari on kehottanut yksityisiä vuokranantajia käyttämään työkalua suunnitteleessaan sopeutumistoimia lämpöaaltoja varten¹⁵⁹. Työkalua voisivat käyttää myös yksityiset talonmestajat, sillä sopeutumistoimenpiteet ovat kohtalaisen helposti toteutettavissa ja niiden kustannukset ovat jokseenkin alhaisia. Sen sijaan laajemmin kaupunkisuunnitteluun työkalusta tuskin on. Tämän työkalun lisäksi olisikin hyvä kiinnittää huomiota myös yleisen tietoisuuden lisäämiseen kaupungeissa, jotta sopeutumistoimiin ryhdyttäisiin myös yksittäisten asukkaiden taholta.

6.3 Tapaus 3: Kööpenhamina - yhteiskunnallinen kustannus-hyötyanalyysi

Kööpenhaminan kaupunki on hyvä esimerkki siitä, kuinka merkittävät toteutuneet vahingot ovat johtaneet eri sopeutumistoimien toimeenpanon analyttiseen tarkasteluun. Kööpenhaminan sopeutussuunnitelmassa vuonna 2011 arvioitiin, että seuraavan sadan vuoden aikana vahingot äärimmäisistä sadeilmiöistä nousisivat 16 miljardiin Tanskan kruunuun (yli 2 miljardia euroa) ilman mitään riskienvähentämis- ja sopeutumistoimia. Kuitenkin vain neljässä vuodessa, vuoteen 2015 mennessä, viisi äärimmäistä tapausta oli aiheuttanut jo 9 miljardin kruunun (n. 1,2 miljardin euron) vahingot.

Yhteiskunnallisen kustannus-hyötyanalyysin (*social cost benefit analysis SCBA*) ensimmäisessä vaiheessa matemaattisella valuntamallilla arvioitiin tulvariskin kasvu sadannan kasvassa ja niistä aiheutuvat kustannukset seuraavan sadan vuoden aikana ilman mitään toimia, eli niin sanottu perusvaihtoehto. Tämän lisäksi arvioitiin sekä pelkästään sadevesiputkiin perustuvan ratkaisun että sadevesiputkien ja muiden keinojen yhdistelmästä aiheutuvat rakennus- ja ylläpitokustannukset. Muita keinoja on erilaiset vettä pidättävät ratkaisut, esimerkiksi

¹⁵⁸ näkymää muokattu, IESD 2016.

¹⁵⁹ City of London 2011

puistot ja pienemmät vihreät pinnat.^{160,161} Taloudellinen arvio perustuu siihen, että tulevaisuuden sadanta on epävarmaa. Sen vuoksi arviossa otetaan huomioon myös muita ratkaisuja, sillä sadevesiputkien ei oleteta riittävän muuttuvassa ilmastossa. Arvio kustannuksista ja hyödyistä tehtiin olettaen, että erilaiset toimet toteutetaan seuraavan kahdenkymmenen vuoden aikana. Maanpäällisille ratkaisuille oletetaan 1 %:n vuosittainen ylläpitokustannukset, ja maanalaisille ratkaisuille 0,5 %:n vuosittaiset kustannukset. Kustannus-hyötyanalyysi, eli vaihtoehtoisten ratkaisujen vertailu perusvaihtoehtoon, jossa mitään toimia ei tehdä, osoittaa että yhdistelmä putkia ja muita ratkaisuja tuottaa suurimman nettohyödyn (Taulukko 9).

Taulukko 9. Kustannus-hyötyanalyysi. Kaksi eri lukua eri hallintatoimenpiteiden yhdistelmä-sarakkeessa viittaa kahteen eri analyysissä käytettyyn diskonttotekijään. Ensimmäinen luku on saatu 3 prosentin diskonttokorolla, ja toinen luku Tanskan valtiovarainministeriön diskonttausohjeiden mukaisesti. Ohjeiden mukaan tehdyssä diskonttauksessa myöhemmin tulevat vähennykset vahinkokustannuksissa saavat korkeamman painoarvon kuin 3 prosentin diskonttokorolla tehdyssä laskuissa.

	Sadevesiputkiin perustuva ratkaisu – 3 % diskonttokorko	Eri hallintatoimenpiteiden yhdistelmä – 3 % diskonttokorko	Eri hallintatoimenpiteiden yhdistelmä – Ministeriöiden ohjeiden mukainen diskonttaus
Vahinkokustannukset ilman toimenpiteitä (miljardia DKK)	16	16	18
Toimenpiteiden kustannukset (miljardia DKK)	20	13	12
Vahinkokustannusten väheneminen toimenpiteiden vuoksi (miljardia DKK)	16	16	17
Nettohyöty (miljardia DKK)	-4	3	5

Kustannus-hyötyanalyysi osoittaa, että vain sadevesiputkiin perustuva ratkaisu johtaa korkeiden kustannusten vuoksi negatiivisiin nettohyötyihin, eli pelkkiin sadevesiputkiin perustuvaa ratkaisua ei kannata toteuttaa. Eri hallintatoimenpiteiden yhdistelmä johtaa kuitenkin positiivisiin nettohyötyihin, joten toimenpiteiden toteuttaminen kannattaa.

6.4 Tapaus 4: Rotterdam – yhteiskunnallinen kustannushyötyanalyysi

Rotterdamissa, Alankomaissa toteutettiin yhteiskunnallinen kustannus-hyötyanalyysi osana vuonna 2014 julkaistua sopeutumisstrategiaa. Tämä on ensimmäinen kerta kun sosiaaliset tekijät yhdistettiin kustannus-hyötyanalyysiin kaupungin sopeutumisstrategian yhteydessä¹⁶². Analyysiä kehittivät yhteistyössä Rotterdamin kaupunki, konsulttiyritys Rebel, insinööritoimisto Royal Haskoning DHV ja riippumaton tutkimusinstituutti Deltares.

Analyysissä tarkastelun kohteena olivat eri sopeutumistoimien ja -investointien kustannukset ja niistä saatavat hyödyt. Lähtökohdaksi otettiin kaksi eri skenaariota: skenaario, jossa so-

¹⁶⁰ <http://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/case-studies/the-economics-of-managing-heavy-rains-and-storm-water-in-copenhagen-2013-the-cloudburst-management-plan>

¹⁶¹ Ramboll, 2013

¹⁶² Pohl ym., 2014

peutumista ei tapahtunut (nolla vaihtoehto) ja skenaario, jossa sopeutumisprojekti toimeenpantiin (projektiskenaario). Näiden vaihtoehtojen vertailu paljastaa sopeutumisen yhteiskunnalliset vaikutukset.

Selvityksessä valittiin ensin yksinkertaisella tehokkuusarvioinnilla laajasta 200 sopeutumistoimenpiteen joukosta 43, jotka kategorisoitiin viiden teeman alle. Nämä viisi teemaa olivat lämpörasitus, hulevesitulvat, jokitulvat, kuivuus ja saavutettavuus. Sen jälkeen valituille 43 toimenpiteelle tehtiin tarkempi kustannushyötyanalyysi, jossa keskityttiin niiden tuomiin hyötyihin. Tämän jälkeen tulokset siirrettiin päätöksentekoa auttavaan viitekehykseen, jonka avulla niitä voitiin vertailla keskenään. Tämän jälkeen toimenpiteiden kustannusten ja hyötyjen vaikutuksia ja niiden jakautumista tarkasteltiin yhteiskunnassa.

Haasteena tällaisessa arvioinnissa on, että koko hankkeen vaikutukset kaikilla sektoreilla on ymmärrettävä. Rotterdamissa tähän käytettiin osallistavaa menetelmää, koska sillä saatiin asiaan useita eri näkemyksiä yhteiskunnan eri sektoreilta. Sopeutumistoimien yksiselitteisiä vaikutuksia on hankala tunnistaa, kun tarkastellaan koko kaupunkia, joten useiden näkökulmien yhdistämisellä saadaan laajempi kuva tulkittavasta ilmiöstä.

Analyysiä käytettiin Rotterdamin sopeutumisstrategian toimeenpanossa ja sen jälkeen tarkempia case-tapauksia on tehty kaupungin alueilta Kop van Feijenoer ja Bergepolder Zuid, joissa on otettu mukaan joki- ja hulevesitulvia, lämpörasitus ja kuivuus. Suurin osa aiheeseen liittyvistä laskelmista on tehty arvioimalla jotain yksittäistä ilmastonmuutokseen liittyvää vaikutusta, esimerkiksi tulvaa tai lämpöaaltoja, jonka jälkeen on arvioitu niistä aiheutuvia kustannuksia ja joissain tapauksissa myös kartoitettu hyötyjä.

Mielenkiintoista on, että osallistavan prosessin avulla saatiin myös tarkempaa ymmärrystä siitä, miksi taloudellisesti kannattavia ja houkuttelevia toimenpiteitä ei aina valita: ne eivät ole välttämättä sosiaalisesti kestäviä tai hyväksyttäviä. Tarkastelun tuloksena nähtiin, että toimenpiteet, jotka on otettu aikaisessa vaiheessa mukaan suunnitteluun, saivat parhaat tulokset:

Taulukko 9. Rotterdamin sopeutumistoimien hyödyt.¹⁶³

	Rotterdam kaupunki	Omistajat/ rakennuttajat	Aukkaat/ yritykset	Vakuutusyhtiöt	Lisähuomioita
Terveystieto	Rakennus- ja ylläpitokustannukset		Lämpörasituksen alentuminen	Lämpöstressin riskin alentuminen	
Viheralueet	Rakennus- ja ylläpitokustannukset	Kiinteistön arvonnousu	Lämpörasituksen alentuminen ulkona	Lämpörasituksen alentuminen	
Eristys		Rakennus- ja ylläpitokustannukset	Lämpörasituksen alentuminen Energiansäästö	Lämpörasituksen alentuminen	Päästövähennys
Heijastavat katon		Rakennus- ja ylläpitokustannukset	Lämpörasituksen alentuminen	Lämpörasituksen alentuminen	
Vesirakentaminen	Rakennus- ja ylläpitokustannukset	Kiinteistön arvonnousu Hulevesitulvasuoja	Hulevesitulvasuoja	Lämpörasituksen alentuminen	
Korotettu katukivetyt	Rakennus- ja ylläpitokustannukset	Hulevesitulvasuoja	Kiinteistön arvonnousu Hulevesitulvasuoja		
Viherkatot		Rakennus- ja ylläpitokustannukset	Lämpöstressin riskin alentuminen Hulevesitulvasuoja	Lämpörasituksen alentuminen	Ilmanlaadun parantaminen
Läpäisevä katukivetyt	Rakennus- ja ylläpitokustannukset Viheralueet	Hulevesitulvasuoja Katujen kuivuus	Hulevesitulvasuoja		
Läpäisevät puutarha-alueet		Rakennus- ja ylläpitokustannukset Hulevesitulvasuoja	Viheralueet		

6.5 Tapaus 5: Ho Chi Minh City – robusti päätöksenteko

Ho Chi Minh Cityssä (HCMC) Vietnamissa tulvariski on suuri sekä normaaleissa ilmasto-oloissa että tulevassa ilmastossa, mutta myös ääri-ilmiöiden kuten trooppisten myrskyjen ja taifuunien takia. Tulviin sopeutumistoimiksi on suunniteltu suuria salaojituksia ja kaivantoja, joilla on tarkoitus sulkea HCMC ohjaamalla tulvia, sadevettä ja korkeaa vuorovettä pois kaupungista. Myös muita ilmastomuutokseen sopeutumistoimia on suunniteltu toteutettavaksi eri sektoreilla.¹⁶⁴

¹⁶³ Pohl ym., 2014

¹⁶⁴ ADB, 2010.

Alueen ilmastomuutokseen ja sosioekonomiseen kehitykseen liittyy paljon syvää epävarmuutta, minkä takia tulvariskien hallintasuunnitelmaa on arvioitu esimerkin omaisesti robustin (joustavan) päätöksenteon avulla Nhieu Loc-Thi Nghe -kanaalin valuma-alueella¹⁶⁵. Robustin päätöksenteon avulla huomattiin, että pian valmistuva tulvasuojeluinfrastruktuuri voi parhaimmissa tulevaisuuksissa vähentää riskiä, mutta se ei tee näin kaikissa mahdollisissa tulevaisuuksissa. Analyysin mukaan valittu sopeutumistoimi ei siis ole robusti. Taulukossa 10 on esitetty analyysissä huomioidut tekijät:

Taulukko 10. Robustissa päätöksenteossa käytetyt pääelementit

<p>Ulkoiset epävarmuudet Päätöksentekijän kontrollin ulkopuolella, mutta jotka saattavat vaikuttaa päätöksentekijän kykyyn tai toimintaan tämän tavoitteiden saavuttamiseksi lähitulevaisuudessa.</p>	<p>Poliittiset keinot Lähitulevaisuudessa tapahtuvia toimia (sääntelyä tms.), jotka päätöksentekijän on otettava huomioon osana päätöksentekoprosessiaan.</p>
<p>Vaaratekijään liittyvät epävarmuudet</p> <ul style="list-style-type: none"> Sademäärän intensiteetin kasvu Saigon-joen suhteellinen korkeus <p>Altistumiseen liittyvät epävarmuudet</p> <ul style="list-style-type: none"> Väestö Väestön maantieteellinen jakautuminen Köyhysaste Keskimääräinen vuosittainen talouskasvu Taloudellisen varallisuuden jakautuminen <p>Haavoittuvuuteen liittyvät epävarmuudet</p> <ul style="list-style-type: none"> Väestön haavoittuvuus Taloudellinen haavoittuvuus 	<p>Infrastruktuurin perustaso</p> <p>Staattisesti ja adaptiivisesti parannettu infrastruktuurin perustaso</p> <ul style="list-style-type: none"> Altistumista vähentämällä (pohjaveden kertyminen, sadeveden kerääminen, haavoittuvien alueiden uudelleensijoitus) Haavoittuvuutta vähentämällä (rakennusten nostaminen)
<p>Vaikutussuhteet ja mallit robustissa päätöksenteossa käytettyjä työkaluja, jotka kuvaavat kuinka poliittiset keinot toimivat ja vaikuttavat erilaisten ulkoisten epävarmuuksien vallitessa. Toimintaa voidaan kuvata erilaisilla <i>mittareilla</i>.</p>	<p>Mittarit suorituskyvyn standardeja, joiden avulla arvioidaan saavutetaanko tietyllä poliittisella keinolla tietyn päätöksentekijäryhmän tavoitetaso (ts. hyväksytty riskitaso).</p>
<p>SWMM malli ArcGis malli Integrated Analytica -riskimalli</p>	<p>Riski köyhille Riski ei-köyhille Taloudellinen riski</p>

Valitun sopeutumistoimen joustavuutta (robustisuutta) eri tulevaisuuksissa voidaan kuvata esimerkiksi kuvion 12 avulla, joka esittää, kuinka köyhiin ja ei-köyhiin kohdistuva riski vähenee Saigon-joen eri korkeuksilla ja sademäärän intensiteetin kasvun eri voimakkuuksilla ja näiden yhdistelmänä. Mikäli joen korkeus nousee enintään 45 cm ja sädemäärä kasvaa enintään kuusi prosenttia, kuvion mukaan saavutetaan köyhiin ja ei-köyhiin kohdistuva riskin vähentämistavoite. Kuitenkin alueelle tehtyjen keskivoimakkaiden ja voimakkaiden sademääräennusteiden mukaan sateen intensiteetti voi kasvaa jopa 20–35 %. Samoin veden pinta voi nousta jopa 75 cm. Tästä johtuen sopeutumistoimen voidaan katsoa olevan riittämätön.

¹⁶⁵ Lempert ym., 2013, s. 12

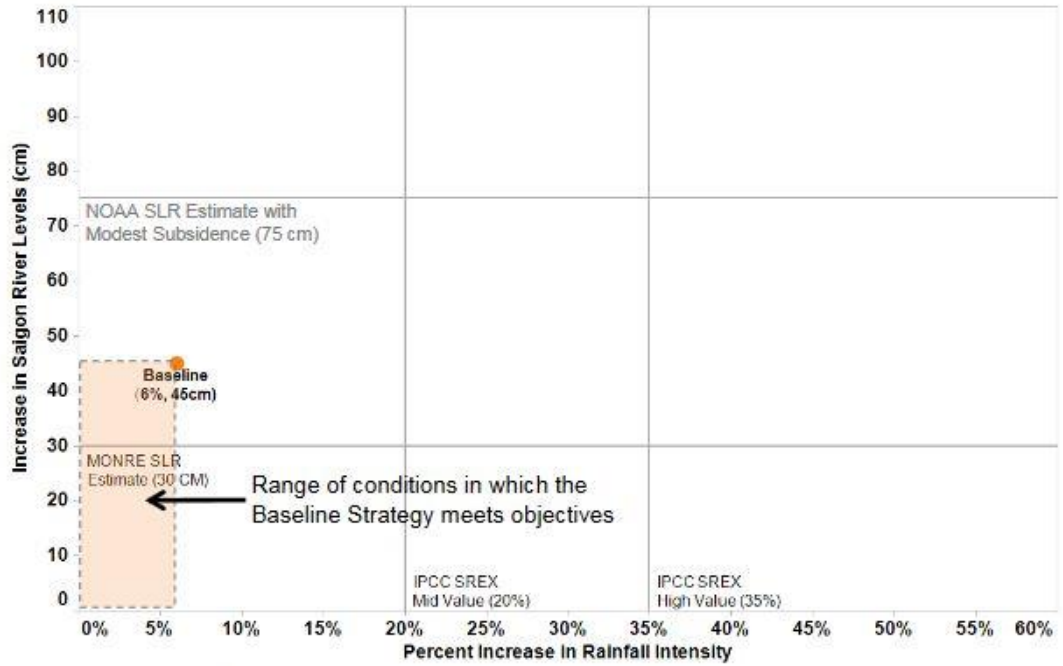


Figure 5.4. Range of future conditions in which the Baseline strategy meets decision makers' objectives, defined as reducing risk for the poor and non-poor.

Note: Vertical lines over rainfall intensity estimates show IPCC SREX mean and high projections for extreme precipitation events in Southeast Asia in 2045-2065. Horizontal lines over Saigon River levels show recent estimates of eustatic sea level rise and eustatic sea level rise with subsidence.

Kuvio 12. Köyhiin ja ei-köyhiin liittyvien tavoitteiden täyttyminen eri tulevaisuuksissa¹⁶⁶

¹⁶⁶ Lempert ym., 2013, s. 24

7 YHTEENVETO JA SUOSITUKSET

Riskienhallinta- ja sopeutumistoimien tarpeen kasvaessa on tärkeää kiinnittää huomiota yhä enemmän toimien kustannuksiin ja vaikuttavuuteen. Erityisesti julkisella sektorilla toimien taloudellisen tehokkuuden pitäisi olla tärkeä kriteeri päätöksenteossa. Taloudelliset arviointimenetelmät edesauttavat toimien laittamista tärkeysjärjestykseen sektorikohtaisesti tai koko yhteiskunnan tasolla ja auttavat määrittelemään joustavia (robusteja) toimia.

ELASTINEN-hankkeessa käytiin läpi 16 tulvariskien hallintasuunnitelmaa, vesihuoltoa riskienhallinnan näkökulmasta käsitelleet taloudelliset analyysit sekä tehtiin asiantuntijahaastatteluita taloudellisten menetelmien käytöstä kaupunkisuunnittelussa pääkaupunkiseudulla. Laadukkaiden taloudellisten analyysien teko riskienhallinta- ja sopeutumistoimista on Suomessa varsin harvinaista ja tyypistyy hyötyjen ja kustannusten karkeaan erotteluun. Käytännössä ainoa käytetty menetelmä on kustannus-hyötyanalyysi, jota on käytetty osana monitavoitearviointia nimenomaan tulvariskien hallintasuunnitelmissa. **Ensisijaisesti tulisi siis lisätä päätöksentekijöiden tietoisuutta siitä, että sopeutumistoimista päätettäessä yhtenä kriteerinä käytettäisiin taloudellista tehokkuutta ja toimien priorisointiin taloudellisen arvioinnin tarjoamia mahdollisuuksia.** Toimien taloudellisen tehokkuuden ja joustavuuden arviointi tuo tärkeän näkökulman sää- ja ilmatoriskien hallintaan ja ilmastomuutokseen sopeutumiseen, mutta toimien toteuttamiseen vaikuttavat myös niiden sosiaalinen kestävyys ja hyväksyttävyyt.

Tiedon lisääminen toimijoiden keskuudessa ei välttämättä johda taloudellisten arviointimenetelmien hyödyntämiseen, minkä takia **eri työkaluja, kuten sää- ja ilmatoriskien vaikutustietokantaa ja kustannusten ja hyötyjen tietopankkia, täytyy kehittää ja resursseja antaa kansallisen tason järjestelmän kehittämiseen ja ylläpitämiseen.** Vaikutustietojen puute on merkittävä tekijä eri toimien arvioinnissa, sillä se lisää vältettyjen vahinkojen arviointiin liittyviä epävarmuuksia. Vaikutustietojen tallentaminen keskitetysti kansalliseen järjestelmään palvelee kaikkia yhteiskunnan tahoja. Esimerkiksi kunnat saavat tällä hetkellä tulvatietojärjestelmästä tiedot alueen tulvariskeistä ja tapahtuneista tulvista vahingoineen. Tällaiset järjestelmät palvelevat myös tiedon kokoamispaikkana ja mahdollistavat vertailun muihin toimijoihin ja alueisiin.

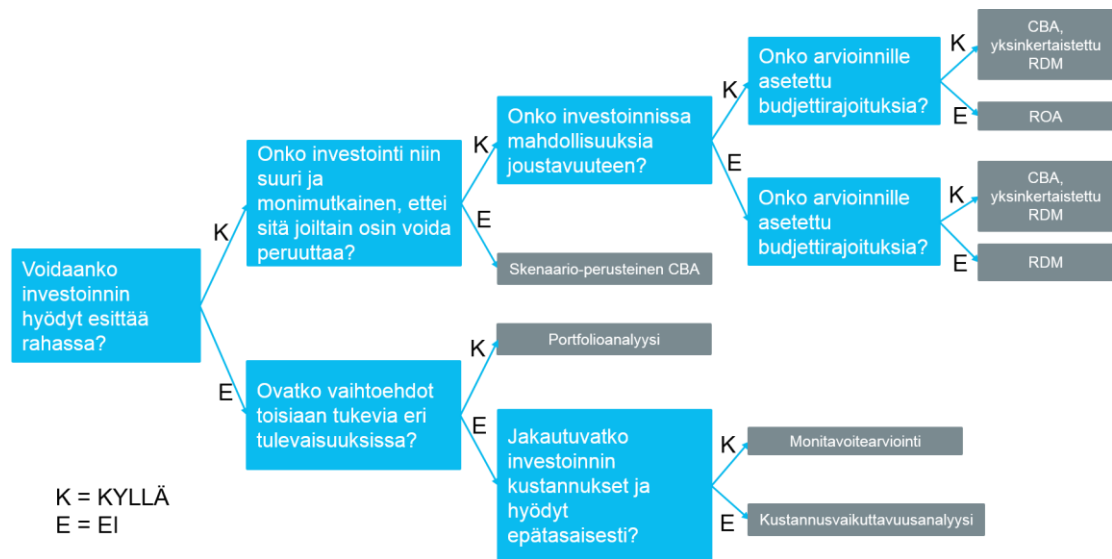
Monilla sää- ja ilmatoriskien hallintatoimilla, esimerkiksi viheralueilla, on lisäksi myös markkinattomia hyötyjä, joita pitäisi arvioida systemaattisemmin niiden arviointiin kehitetyillä menetelmillä. Lisäksi ei-rakenteellisten, esimerkiksi virkatyönä tehtävien toimien hyötyjä tulisi arvioida kokonaisvaltaisen taloudellisesti tehokkaan riskienhallinnan arvioimiseksi.

Huolella tehdyt raportit taloudellisten arviointimenetelmien käytöstä helpottaisivat arvioiden toteuttamista laajemmin. Kööpenhaminan esimerkki rankkasadetulvasuunnitelman luomisesta on hyvä inspiraation lähde, ja tämän kaltainen arvio kannattaisi toteuttaa ennen ensimmäisiä mittavia vahinkoja. Kustannus-hyötyanalyysin käyttö, erityisesti osana monitavoitearviointia, on askel kohti taloudellisesti tehokasta sää- ja ilmatoriskien hallintaa ja ilmastomuutokseen sopeutumista. Työkaluja, eri toimien markkinattomien hyötyjen ja ei-rakenteellisten toimien arviointia sekä huolellisesti raportoituja arvioita voitaisiin tuottaa ja hyödyntää esimerkiksi vuoteen 2021 mennessä päivitettäviä tulvariskien hallintasuunnitelmia varten.

Kaupungeissa käytetyt työkalut on usein kehitetty projektiyhteistyönä tutkimussektorin kanssa, ja niiden soveltamisesta ei juurikaan ole vielä tarkempaa tietoa. Näin ollen

on tärkeää tukea erilaisia yhteistyömahdollisuuksia tutkimussektorin ja kaupunkien välillä. Tähän katsaukseen valikoituneet kaupunkisuunnittelun työkalut eivät ole keskenään yhteismitallisia, ja niiden kehittäjätahot osaltaan selittävät niiden sovellettavuuden, joka on aina kontekstikohtaista. Tämän lisäksi on tärkeää huomata, että eri työkalujen lähtökohdat ongelmanmäärittelyssä, mallinnuksessa ja käytettävyydessä kaupunkitasolla vaihtelevat suuresti.

On hyvä pitää mielessä, että sää- ja ilmatoriskeihin liittyy kiinteästi epävarmuus, joka korostuu ilmastonmuutoksen edetessä. Ilmastoskenaarioihin ja erityisesti sään ääri-ilmiöissä tapahtuviin muutoksiin liittyvä epävarmuus vaikuttaa myös eri sopeutumistoimien tehokkuuteen ja toteutuksen ajoitukseen. Eri taloudelliset arviointimenetelmät huomioivat nämä epävarmuudet eri tavalla, ja arviointimenetelmä tulisi valita tilanteen mukaan epävarmuuksien suuruudesta ja laadusta sekä sopeutumisinvestoinnin tyypistä ja suuruudesta riippuen. Lisäksi eri toimenpiteiden kustannuksilla ja hyödyillä voi olla hyvin erilaiset aikajänteet, joten niiden vertailu ilman tarkempaa ja systemaattista analyysiä on usein hankalaa. **Suomessa olisi syytä luoda ohjekirja sää- ja ilmatorisken hallintakeinojen ja ilmastonmuutoksen sopeutumiskeinojen taloudellisen arvioinnin tekoon ja arviointien tarkkuuden parantamiseen (mm. eri menetelmien soveltuvuus, aikajänne, diskonttokorot).** Tämä raportti voi toimia pohjana opaskirjan luomiseen. Isossa-Britanniassa suositeltavaksi käytettävän menetelmän valintaa ohjeistetaan kuvion 13 avulla ¹⁶⁷.



Kuvio 13. Analyysimenetelmän valinta. CBA= Kustannus-hyötyanalyysi. Skenaarioperustainen tarkoittaa, että kustannukset tai hyödyt riippuvat epävarmasta tulevaisuudesta, joka ilmaistaan todennäköisyyksin¹⁶⁷. ROA=Reaaliopioanalyysi, RDM=Robust Decision Making (joustava päätöksenteko). Lisätietoja menetelmistä luvussa 3.

Taloudelliset arviot eri sektoreilla Suomessa ovat kuitenkin niin alkutekijöissään, että työläämpien menetelmien käyttö ei välttämättä tässä vaiheessa ole vielä perusteltua. Päätöksenteon tukena olisi hyvä käyttää vähintään arvioita riskienhallinta- ja sopeutumistoimien kustannuksista ja hyödyistä. Isojen, monimutkaisten investointien kohdalla olisi hyvä harkita tässä raportissa esiteltyjä taloudellisia arviointimenetelmiä tai vähintään huolellista kustannus-hyötyanalyysiä. Kustannus-hyötyanalyysi sähkömarkkinalain muutoksesta osoittaa, että lakimuutoksen kustannustehokkuus riippuu analyysissä käytetyistä oletuksista, erityisesti ihmisten arvioimista sähkökatkoksen aiheuttamasta haitasta ja diskonttotekijästä. Nämä olisi pitänyt selvittää tarkemmin ennen lakimuutosta, sillä tietyillä

¹⁶⁷ Graham, 1981

realistisilla oletuksilla lakimuutoksen hyödyt jäivät kustannuksia pienemmiksi, ja lakimuutoksen voidaan katsoa olevan liian voimakas toimi sää- ja ilmatoriskien hallinnassa. Kaupunkisuunnittelussa, jossa eri toimet ovat jo tunnistettu, kannattaisi harkita portfolioanalyysin käyttöä. Se pitäisi varmastikin toteuttaa tutkimus- ja koulutuslaitosten välisenä yhteistyönä, sillä portfolioanalyysi vaatii eri alojen osaamista. Vesihuoltosektorilla ilmastonmuutoksen vaikutusten arviointi ja toimien kustannusten ja hyötyjen arviointi on myös tärkeää.

Tarve taloudellisten analyysien tekemiselle sää- ja ilmatoriskien sekä ilmastonmuutoksen hallitsemisen parantamiseksi on tunnistettu monissa tapauksissa jo aiemmin. Kuten tässä raportissa on todettu, osaamista taloudellisten analyysien tekemiseen Suomesta löytyy. **Päätöksenteossa tulisikin ohjata resursseja systemaattisempaan taloudellisten arvioiden tekoon.**

LÄHTEITÄ JA TAUSTA-AINEISTOJA

ADB (2010). Ho Chi Minh City: Adaptation to Climate Change. Summary Report, Asian Development Bank. Saatavilla: <http://www.adb.org/sites/default/files/publication/27505/hcmc-climate-change-summary.pdf>

Arrow, Kenneth, Solow, Robert, Portney, Paul, Leamer, Edward, Radner, Roy, Schuman, Howard. 1993. Report of the NOAA Panel on Contingent Valuation.

BHP Billiton (2015). Climate Change: Portfolio Analysis. Saatavilla <http://www.bhpbilliton.com/~media/5874999cef0a41a59403d13e3f8de4ee.ashx>

Bloomberg, 2016. Bloomberg guide WACC. Tilasto saatavilla: <http://businesslibrary.uflib.ufl.edu/c.php?g=114612&p=746562>

Boardman, A. E., Greenberg, D. H., Vining, A. R., & Weimer, D. L. (2006). Cost-benefit analysis: concepts and practice (Vol. 3). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

Brown T.C & Gregory R. (1999) Why the WTA–WTP disparity matters. *Ecological Economics* 28, 323–335

City of London (2011) Managing risks and increasing resilience. The Mayor's climate change adaptation strategy. City of London. Pdf: https://www.london.gov.uk/sites/default/files/gla_migrate_files_destination/Adaptation-oct11.pdf

ECA (Economics of Climate Adaptation Working Group) (2009). *Shaping Climate-Resilient Development: a framework for decision-making*.

Energiatallisuus, 2014. Sähkön keskeytystilasto 2014. Tilasto saatavilla: <http://energia.fi/tilastot-ja-julkaisut/sahkotilastot/sahkon-keskeytystilastot>

Energiavirasto. 2015. Sähköverkkotoiminnan teknisiä tunnuslukuja. Tilasto saatavilla: <https://www.energiavirasto.fi/tunnusluvut2014>

Energiavirasto. 2015. Valvontamenetelmät, 30.11.2015.

Energiavirasto, 2016. Sähkön käyttö maakunnittain. Tilasto saatavilla: <http://energia.fi/tilastot-ja-julkaisut/sahkotilastot/sahkonkulutus/sahkon-kaytto-maakunnittain>

Energiavirasto, 2016. Sähkönjakeluverkon verkkokomponentit ja yksikköhinnat 2016-2023. Tilasto saatavilla: <https://www.energiavirasto.fi/verkkokomponentit-ja-yksikkohinnat-2016-2023>

Euroopan komissio (2013). EU:n strategia ilmastonmuutokseen sopeutumiseksi. Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle ja alueiden komitealle. Bryssel 16.4.2013 COM(2013) 216 final <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52009DC0147>

Euroopan Komissio, Vihreä kirja COM(2013) 213). Vihreä kirja luonnonkatastrofeja ja ihmisen aiheuttamia katastrofeja koskevista vakuutuksista. Strasbourg 16.4.2013. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:52013DC0213&from=EN>

FEMA 2016. Hazus. Department of Homeland Security. <http://www.fema.gov/hazus>

Field, C. B. (toim.). (2012). *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation: special report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press. Fischbach, 2010

Frontier Economics, (2013). The economics of climate resilience: appraising flood management initiatives — a case study CA0401. A Report Prepared for DEFRA and the Devolved Administration.

Gaia Consulting Oy, 2008. Loppuraportti: Porvoon kaupungin vesijärjestelmien ilmastonmuutoksen riskien ja sopeutumistoimien arviointi. Saatavilla: http://www.finessi.info/ISTO/files/Porvoon_vesijarjestelmien_ilmastoriskit_loppuraportti_2008_final.pdf

Graham, D.A., 1981. Cost-benefit analysis under uncertainty. *The American Economic Review* 71, 715–725.

Groenemeijer ym., 2016 RAIN-projekti. Deliverable 2.5. Present and future probability of meteorological and hydrological hazards in Europe. http://rain-project.eu/wp-content/uploads/2016/09/D2.5_RE-PORT_final.pdf

Haapala, A., & Järvelä, E. (2014). Helsingin ilmastomuutokseen sopeutumisen toimenpiteiden priorisointi. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 11/2014.

Hautala & Leviäkangas (2007) Ilmatieteen laitoksen palveluiden vaikuttavuus: Hyötyjen arviointi ja arvottaminen eri hyödyntäjämarkkinoilla. VTT Publications 665.

Heikkilä, J. (2008). Etelänjauhaisten suoja-alueen kustannushyötyanalyysi. *MTT: n selvityksiä*, 170, 1–70.

Heikkilä, J., & Kettunen, M. (2014). Paljonko maksaa jättiputkiremontti? Noudettu osoitteesta [http://viera-slajit.fi/sites/default/files/HAVINA_Kustannusohje_final%20\(2\).pdf](http://viera-slajit.fi/sites/default/files/HAVINA_Kustannusohje_final%20(2).pdf)

HKR (2008) Helsingin kaupungin hulevesistrategia. Helsingin kaupungin rakennusviraston julkaisu 2008:9 / Katu- ja puisto-osasto ISBN 978-952-223-306-6 Helsinki 2008 http://www.hel.fi/static/hkr/julkaisu/2008/hulevesistrategia_2008_9.pdf

Helsingin Sanomat. Yksi kuollut myrskyn takia, sähköjen palautuminen vienee päiviä. <http://www.hs.fi/kotimaa/a1305552090736>

Honkapuro, Samuli ym., 2006. DEA-mallilla suoritettavan tehokkuusmittauksen kehittäminen. Tilaustutkimusraportti, Lappeenranta 2006

HSYa (Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä HSY) (2015). Ilmastolähtöinen sosiaalinen haavoittuvuus pääkaupunkiseudulla. <https://www.hsy.fi/sites/Esitteet/EsitteetKatalogi/Raportit/HSY-II-mastolahtoinen-sosiaalinen-haavoittuvuus.pdf>

HSYb (Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä HSY) (2015). Analysis of social vulnerability to climate change in the Helsinki Metropolitan Area https://www.hsy.fi/sites/Esitteet/EsitteetKatalogi/Raportit/Social-vulnerability-to-climate-change-Helsinki-metropolitan-area_2.pdf

Häkkinen, S., & Palopäälystöliitto (2010). Pelastustoimen tutkimuksen ja kehittämisen mitattavuus.

IESD (2016) Adapting Dwellings to Climate Change - Retrofit Advice Tool Institute of Energy and Sustainable Development, De Montfort University, Leicester, UK. <http://www.iesd.dmu.ac.uk/crew/index.htm>

IPCC, (2012). Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA.

Jämsen, 2013. Kustannus-hyötyanalyysin ja monitavoitearvioinnin yhteiskäyttö ympäristövaikutusten arvioinnissa: Esimerkitapauksena Tampereen Rantaväylä. Pro Gradu -tutkielma, ympäristöekonomia. Helsingin yliopisto.

Jääskeläinen A. 2007. Talousveden riskienhallinnan kustannus-hyötyvertailu, esiselvitys. Savonia-ammattikorkeakoulun julkaisusarja D 4/2007, Savonia-ammattikorkeakoulu, Kuopio. Saatavilla: http://portal.savonia.fi/pdf/julkaisutoiminta/Talousveden_riskienhallinta.pdf

Jääskeläinen, T., Kautto, P., & Similä, J. (2013). Menetelmiä ja tietolähteitä politiikkatoimien vaikutusten arviointiin. Ympäristöministeriön raportteja 16/2013.

Kahneman D., Knetsch J.L. & Thaler R.H., (1991) The Endowment Effect, Loss Aversion, and Status Quo Bias. *Journal of Economic Perspectives* 5(1), 193-206

Karjalainen, T. P., Rytönen, A. M., Marttunen, M., Mäki-Petäys, A., & Autti, O. (2011). Monitavoitearviointi lijoen vaelluskalakantojen palauttamisen tukena. Suomen Ympäristö 11/2011.

Karttunen, Ville, Vanhanen, Juha, Partanen, Jarmo, Matschoss, Kaisa, Bröckl, Marika, Haakana, Juha, Hagström, Markku, Lassila, Jukka, Pesola, Aki ja Vehviläinen Iivo. 2014. Laatukannustimen kehitys –

Selvitys laatukannustimen toimivuudesta ja kehitystarpeista 2016-2023. Gaia Consulting Oy, Nestra Oy, Kuluttajatutkimuskeskus.

Kind, J.M. (2014). Economically efficient flood protection standards for the Netherlands. *Journal of Flood Risk Management* 7, 103–117. DOI: 10.1111/jfr3.12026

Küfeoğlu, S., 2015, Economic Impacts of Electric Power Outages and Evaluation of Customer Interruption Costs, DOCTORAL DISSERTATIONS 131/2015, Aalto University publication series. <https://aalto-doc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/17867/isbn9789526063737.pdf?sequence=1>

LaCommare, Kristina, Joseph, Eto. 2004. Understanding the cost of power interruptions to U.S. Electricity Customers. pdf saatavilla: <https://escholarship.org/uc/item/1fv4c2fv#page-3>

Leary (1999). A framework for benefit-cost analysis of adaptation to climate change and climate variability. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 4(3-4), 307-318.

Lehtoranta V., Parjanne, A., Juvonen, J. (2011). Selvitys vesienhoidon ja tulvariskien hallinnan toimenpiteiden hyödyistä ja hyötyjen arviointimenetelmistä. Suomen ympäristökeskus 31.8.2011. <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B1E156E5A-BED1-4D55-B4F6-30DCDB0F878E%7D/77511>

Lempert and Groves, 2010. Identifying and evaluating robust adaptive policy responses to climate change for water management agencies in the American west. *Technological Forecasting & Social Change*, 77, 960-974.

Lempert, R., Popper, S., & Bankes, S. (2012). Robust decision making. In *HDGC Seminar, February*. Retrieved from https://www.gfdrr.org/sites/gfdrr.org/files/2_Robust_Decision_Making.pdf

Lempert, R., Kalra, N., Peyraud, S., Mao, Z., Tan, S.B., Cira, D., Lotsch, A., (2013). Ensuring robust flood risk management in Ho Chi Minh City. World Bank Policy Research Working Paper.

Lempert, R.J. (2014). Embedding (some) benefit-cost concepts into decision support processes with deep uncertainty. *Journal of Benefit-Cost Analysis* 5, 487–514.

Li, J., Mullan, M., Helgeson, J., (2014). Improving the practice of economic analysis of climate change adaptation. *Journal of Benefit-Cost Analysis* 5, 445–467.

London Economics. 2013. The value of lost Load (Voll) for electricity in Great Britain. Final report for OFGEM and DECC.

Maa- ja metsätalousministeriö. 2012. Miten väistämättömään ilmastonmuutokseen voidaan varautua?. Helsinki.

Maa- ja metsätalousministeriö. 2014. Kansallinen ilmastonmuutokseen sopeutumissuunnitelma 2022. Valtioneuvoston periaatepäätös 20.11.2014. Maa- ja metsätalousministeriö, Helsinki. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 5/2014. 39 s. http://mmm.fi/documents/1410837/1720628/2014_5_Ilmaston_muutos.pdf/8a446702-2960-44b8-9e02-c21598a472de

Marttunen, M., Sammalkorpi, I., Hagman, A. M., Lehtoranta, V., Serenius, K., Harjula, H., & Vääriskoski, J., (2008a). *Monitavoitearviointi järvikunnostushankkeiden vertailussa. Menetelmän kuvaus ja testaus Mäntsälän ja Uudenmaan järvillä*. Suomen ympäristökeskus.

Marttunen, M., Mustajoki, J., Verta, O. M., & Hämäläinen, R. P., (2008b). *Monitavoitearviointi vuorovaihteisessa ympäristösuunnittelussa—Menetelmä ja sen soveltamisesimerkkejä vesistöjen käytössä ja hoidossa*. Suomen ympäristökeskus.

Marttunen, M., Grönlund, S., Hokkanen, J., Jantunen, J., Karjalainen, T. P., Luodemäki, S., Mustajoki, J., Neste, J., Saarikoski, H., Vallius, E., Vartia, M., Vehmas, A., Vienonen, S. (2015). Hyviä käytäntöjä ympäristövaikutusten arvioinnissa-IMPERIA-hankkeen yhteenveto. Suomen Ympäristökeskuksen raportteja 39/2015.

Markandya, A., & Watkiss, P. (2009), Potential costs and benefits of adaptation options: a review of existing literature. In Technical paper prepared for the United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC, Bonn, Germany.

Meyer, V., Becker, N., Markantonis, V., Schwarze, R., van den Bergh, J. C. J. M., Bouwer, L. M., Bubeck, P., Ciavola, P., Genovese, E., Green, C., Hallegatte, S., Kreibich, H., Lequeux, Q., Logar, I., Papyrakis, E., Pfurtscheller, C., Poussin, J., Przulski, V., Thieken, A. H. and Viavattene, C. (2013) 'Review article: Assessing the costs of natural hazards – state of the art and knowledge gaps', *Natural Hazards and Earth System Science*, Vol. 13, no.5, pp. 1351–1373

Michael. 2012. The value of supply energy: the costs of power outages to Austrian households, Firms and the Public Sector. TUW.

Miettinen, A., Alanen, E.-L., Hyytiäinen, K. & Kuussaari, M. 2012. Peltoluonnon monimuotoisuutta edistävät toimenpiteet edullisuusjärjestykseen. Maataloustieteen päivät 2012.

Munasinghe, Mohan. 1990. Electric Power Economics. Butterworth publishing

Mäkinen, Antti, Bastman, Juhani, Järventausta, Pertti, Verho, Pekka ja Repo, Sami. 2009. Sähkönsiirtoverkon häiriökeskeytysten aiheuttaman haitan arvioinnissa käytettävien parametrien päivittäminen, Tampereen Teknillinen YliopistoKuismin L.2010. Ilmastonmuutoksen vaikutukset viemärointiin ja jätevesien käsittelyyn. DI-työ. Aalto-yliopisto, Espoo.

Nelimarkka, J., Ahopelto, L. (toim.), (2013). Salon keskusta-alueen tulvasuojelu: Tulvasuojelutoimenpiteiden mitoitus ja arviointi. Varsinais-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus Raportteja 102 | 2013.

Nurmi & Marttunen, (2012). Pielisen juoksutusvaihtoehtojen kokonaisvaltainen arviointi - Monitavoitearviointiin perustuvien haastattelujen tulokset. Suomen Ympäristökeskus, 49s.

Nurmi V., Votsis A., Perrels A. & Lehvävirta S., (2013) Cost-benefit analysis of green roofs in urban areas: case study in Helsinki. Ilmatieteen Laitos, Helsinki.

NYC. 2014- The City of New York Hazard Mitigation Plan 2014. New York City.

Oinonen ym., 2015, Merenhoitosuunnitelman toimenpideohjelman tausta-asiakirja 2: kustannusten ja vaikutusten analyysi.

Onnettomuustutkintakeskus, 2010 Heinä-elokuun 2010 rajuilmat. Tutkintaselostus. Onnettomuustutkintakeskus. http://www.turvallisuustutkinta.fi/material/attachments/otkes/tutkintaselostukset/fi/muutonnettomuudet/2010/s22010y_tutkintaselostus/s22010y_tutkintaselostus.pdf

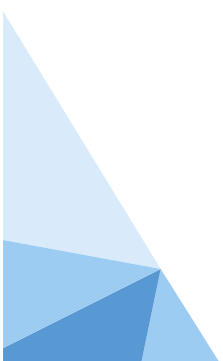
Parry M, Arnell N, Berry P, Dodman D, Fankhauser S, Hope C, Kovats S, Nicholls R, Satterthwaite D, Tiffin R, and T Wheeler (2009) Assessing the Costs of Adaptation to Climate Change: A Review of the UNFCCC and Other Recent Estimates, International Institute for Environment and Development and Grantham Institute for Climate Change, London.

Paunio M. (2014). Miksi olemme kehitysmaita paremmin suojassa ilmastonmuutokselta? Ympäristö ja Terveys-lehti 6, 2014.

Parjanne, A., & Huokuna, M. (toim.), (2014). Tulviin varautuminen rakentamisessa-opas alimpien rakentamiskorkeuksien määrittämiseksi ranta-alueilla. Ympäristöopas 2014, Suomen ympäristökeskus, Ilmatieteen laitos, Ympäristöministeriö, Maa- ja metsätalousministeriö.

Partanen J., Lassila J., Kaipia T., Matikainen M., Järventausta P., Verho P., Mäkinen A., Kivikko K., Pylvänäinen J., Nurmi V-P. (2006) Sähköjakeluverkkoon soveltuvat toimitusvarmuuskriteerit ja niiden raja-arvot sekä sähköjakelun toimitusvarmuudelle asetettävien toiminnallisten tavoitteiden kustannusvaikutukset. Tilaustudkimusraportti. Lappeenrannan teknillinen yliopisto & Tampereen teknillinen yliopisto.

Partanen, J., Lassila, J., Kaipia, T., Haakana, J.. (2012). Sähköjakelun toimitusvarmuuden parantamiseen sekä sähkökatkojen vaikutusten lieventämiseen tähtäävien toimenpiteiden vaikutusten arviointi. Lappeenrannan teknillinen yliopisto 2012. <http://www.lut.fi/documents/10633/138922/S%C3%A4hk%C3%B6jakelun+toimitusvarmuuden+parantamiseen+sek%C3%A4%20s%C3%A4hk%C3%B6+katkojen+vaikutusten+lievent%C3%A4miseen+t%C3%A4ht%C3%A4vien+toimenpiteiden+vaikutusten+arviointi/bf021a58-24fc-47bd-a893-1804ad813f08>



Pilli-Sihvola, K., Nurmi, V., Perrels, A., Harjanne, A., Bösch, P., Ciari, F., 2016. Innovations in weather services as a crucial building block for climate change adaptation in road transport. *European Journal of Transport and Infrastructure Research* 16, 150–173.

Pohl, I. Schenk, S., Rodenburg, A., Vergroesen, T. Buijs, S. (2014). CBA Rotterdam Climate Adaptation Strategy Case: Bergpolder Zuid. Rebel and City of Rotterdam, Office for Sustainability and Climate Change.

Porthin, M., Rosqvist, T., Perrels, A., Molarius, R., 2013. Multi-criteria decision analysis in adaptation decision-making: a flood case study in Finland. *Regional Environmental Change* 13, 1171–1180. doi:10.1007/s10113-013-0423-9

Pukkala, T., Laiho, O., Lähde, E., 2016. Continuous cover management reduces wind damage. *For. Ecol. Manage.* 372, 120–127. doi:10.1016/j.foreco.2016.04.014

Punttila, 2014. Cost-benefit analysis of municipal water protection measures Environmental benefits versus costs of implementation. Publications by City of Helsinki Environment Centre 21/2014. Helsingin Kaupunki, Ympäristökeskus.

Raitalampi ym., 2015a, Kyrönjoen vesistöalueen tulvariskien hallintasuunnitelma vuosille 2016 – 2021, Raportteja 110/2015, Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus.

Raitalampi ym., 2015b. Laihianjoen vesistöalueen tulvariskien hallintasuunnitelma vuosille 2016–2021. Raportteja 112/2015, Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus.

Raitalampi ym., 2015c. Lapuanjoen vesistöalueen tulvariskien hallintasuunnitelma vuosille 2016–2021. Raportteja 116/2015, Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus.

Ramboll, 2013 <http://www.ramboll.com/~media/files/rm/rapporter/cloudburst%20cost-benefit%20analysis%20oct.%202013.pdf>

Rantala, L., Karjalainen, T. P., & Rossi, P. (2014). Oulun vedenhankinnan monitavoitearviointi: Loppuraportti. Oulun yliopisto, Thule-instituutti ja vesi- ja ympäristötekniikan tutkimusryhmä. Saatavilla <http://www.ouluvesi.fi/monitavoitearviointi> (Ladattu 26.4.2016).

Rantanen, A., Saarivuo, E., Nurminen, M: ja Herkkola, H. 2012. Pääkaupunkiseudun ilmastomuutokseen sopeutumisen strategia. Toimenpidelinjausten vaikutusten arviointi. Ramboll Finland Oy.

Rogers, D. and Tsirkunov, V. (2010) Costs and benefits of early warning systems. Global Assessment report on Disaster Risk Reduction (GAR 2011). ISDR and the World Bank

Rosenzweig, Cynthia, William D. Solecki, Stephen A. Hammer, and Shagun Mehrotra, (toim.) (2011). Climate change and cities: first assessment report of the Urban Climate Change Research Network. Cambridge University Press, 2011.

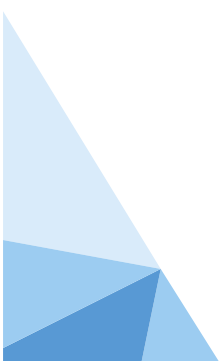
Rytkönen & Marttunen, 2013. Monitavoitearviointiopas tulvaryhmille. Suomen Ympäristökeskus. 43s.

Rytkönen, A., Marttunen, M., Timonen, M., Verta, O., Suomalainen, M., Seppälä, R. ja Muilu, T., 2012a. Tulvariskien hallinnan suunnittelun monitavoitearviointi. Kokemäenjoen pilottihankkeen loppuraportti. Saatavilla: http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Tulviin_varautuminen/Tulvariskien_hallinta/Tulvariskien_hallinnan_suunnittelu/Tulvariskien_hallinnan_suunnittelun_materiaalia

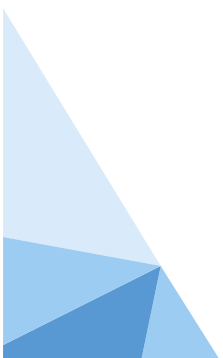
Rytkönen, A., Marttunen, M., Alaraudanjoki, T., Kurkela, A., Karjalainen, N. ja Kämäräinen, J., 2012b. Tulvariskien hallinnan suunnittelun monitavoitearviointi. Rovaniemen pilottihankkeen loppuraportti. Saatavilla: http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Tulviin_varautuminen/Tulvariskien_hallinta/Tulvariskien_hallinnan_suunnittelu/Tulvariskien_hallinnan_suunnittelun_materiaalia

Shreve, C.M. & Kelman, I., 2014. Does mitigation save? Reviewing cost-benefit analyses of disaster risk reduction. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 10, 213-235.

Silander 2010, Vedenpidättämisen taloudellinen merkitys tulvariskien vähentäjänä - koalueena Pori. SYKE. Ladattavissa: http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Tulviin_varautuminen/Tulvariskien_hallinta/Tulvariskien_hallinnan_toimenpiteet/Tulvavesien_pidattaminen_valumaalueella%288436%29



- Silvast, Antti, Heine, Pirjo, Lehtonen, Matti, Kivikko, Kimmo, Mäkinen, Antti, Järventausta, Pertti. 2005. Sähköjaketun keskeytyksestä aiheutuva haitta. Tampereen teknillinen Yliopisto Schmidthaler,
- Suvanto, S., Henttonen, H.M., Nöjd, P., Mäkinen, H., 2016. Forest susceptibility to storm damage is affected by similar factors regardless of storm type: Comparison of thunder storms and autumn extra-tropical cyclones in Finland. *Forest Ecology and Management* 381, 17–28.
doi:10.1016/j.foreco.2016.09.005
- Sähkömarkkinalaki 588/2013 <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130588>
- Taloussanomat. 2016. Suomen isoin sähkönsiirtäjä nostaa hintoja: +27 % ja +22 %. Lehtiartikkeli saatavissa <http://www.taloussanomat.fi/energia/2016/01/20/suomen-isoin-sahkonsiirtaja-nostaa-hintoja-27-ja-22-/2016733/12>
- Tekniikan Akateemiset TEK. 2014. Insinöörien ilmasto-ohjelma. Ilmastomuutokseen sopeutuminen. Saatavilla <http://www.tek.fi/fi/cmisis/browser?id=workspace%3A//SpacesStore/61f4b441-8f7a-4999-ba00-5e3c8f8411b5%3B1.0T>
- TEM (Työ- ja elinkeinoministeriö) 2012. Muistio. Työ- ja elinkeinoministeriön ehdotus toimenpiteistä sähköjaketun varmuuden parantamiseksi sekä sähkökatkojen vaikutusten lievittämiseksi. 16.3.2012
- THL (Terveysten ja hyvinvoinnin laitos), 2016. Hyvinvointi- ja terveyserot: Seuranta ja vaikuttavuus: Vaikuttavuus ja kustannukset (Nettijulkaisu, viitattu 25.4.2016) <https://www.thl.fi/fi/web/hyvinvointi-ja-terveyserot/seuranta-ja-vaikuttavuus/vaikuttavuus-ja-kustannukset>
- Tilastokeskus, 2015. Yritysten rakenne- ja tilinpäätöstilasto. Tilasto saatavilla: <http://www.stat.fi/til/yrti/>
- Tilastokeskus, 2016. Väestörakenne. Tilasto saatavilla. <http://www.stat.fi/til/vaerak/index.html>
- Tilastokeskus, 2016. Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin, Energian hinnat. Tilasto saatavilla: <http://www.stat.fi/til/yrti/>
- UNFCCC 2011. Assessing the costs and benefits of adaptation options: An overview of approaches. The Nairobi Work Programme on Impacts, Vulnerability and Adaptation to Climate Change. Available at http://unfccc.int/adaptation/knowledge_resources/publications/items/6997.php
- Watkiss, P. and Hunt, A., 2013. Method Overview: Decision Support Methods for Adaptation, Briefing Note 1. Summary of Methods and Case Study Examples from the MEDIATION Project. Funded by the EC's 7FWP
- Watkiss, P., Hunt, A., Blyth, W., Dyszynski, J. (2014). The use of new economic decision support tools for adaptation assessment: A review of methods and applications, towards guidance on applicability. *Climatic Change*. doi:10.1007/s10584-014-1250-9
- Veijalainen, N., Jakkila, J., Nurmi, T., Vehviläinen, B., Marttunen, M., & Aaltonen, J. (2012). Suomen vesivarat ja ilmastomuutos–vaikutukset ja muutoksiin sopeutuminen. WaterAdapt-projektin loppuraportti.
- Verta, O. & Marttunen, M., 2010. Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) in the evaluation of the flood risk management alternatives – the Kokemäenjoki River Basin case. CIS Working Group F Thematic Workshop "Floods and Economics: appraising, prioritizing and financing flood risk management measures and instruments", Ghent 25-26 October 2010.
- Wethli, K., 2014. Benefit-Cost Analysis for Risk Management: Summary of Selected Examples. The World Bank, Background paper for the World Development Report 2014.
- Vienonen ym.2012 Ilmastomuutoksen vaikutukset ja sopeutumistarpeet vesihuollossa. Suomen Ympäristö 24, 2012 <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/38739>
- Virenius, O. (2014). Reaaliopintomenetelmän hyödyntäminen aluerakentamisprojektien investointien ohjauksessa. Diplomityö, Aalto Yliopisto, Insinöörityö, Kiinteistöjohtaminen.



Virta, H., Rosqvist, T., Simola, A., Perrels, A., Molarius, R., Luomaranta, A. & Honkatukia, J. (2011). Ilmastomuutoksen ääri-ilmiöihin liittyvän riskienhallinnan kustannus-hyötyanalyysi osana julkista päätöksentekoa. IRTORISKI-hankkeen loppuraportti. Ilmatieteen laitoksen raportteja 2011:3.

<https://helda.helsinki.fi/handle/10138/26744>

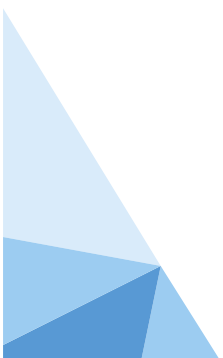
World Bank Group, Global Facility for Disaster Reduction and Recovery, United States, & Agency for International Development. (2015). Valuing weather and climate: economic assessment of meteorological and hydrological services.

Votsis A (2016). Planning for green infrastructure: the spatial effects of parks, forests, and fields on Helsinki's apartment prices, Ecological Economics, DOI: 10.1016/j.ecolecon.2016.09.029

Yrjölä & Viinanen 2012, Keinoja ilmastonmuutokseen sopeutumiseksi Helsingin kaupungissa, Helsingin Kaupungin Ympäristökeskuksen julkaisuja 2/2012. Saatavilla: <http://www.hel.fi/static/ymk/julkaisut/julkaisu-02-12.pdf>

Äijälä, Mikko, Kemppinen, Olli, Kauppila, Antti. 2014. Kohtuullisen tuottoasteen määrittäminen sähkö- ja maakaasuverkko toimintaan sitoutuneelle pääomalle. Loppuraportti Energiavirastolle, pdf saatavilla:

https://www.energiavirasto.fi/documents/10179/0/EY_kohtuullinen_tuotto_WACC_loppuraportti.pdf/65533364-df15-4c0c-96ae-ad3d8a4268eb



LIITTEET

A Tulvariskien hallintasuunnitelmat

Toimitus	Nimi	Tekijä	ELY-keskus	Julkaisu- sarja
Höytämö, J. ja Luoma-aho, M. 2015	Haminan ja Kotkan rannikkoalueen tulvariskien hallintasuunnitelma vuosille 2016–2021	Haminan ja Kotkan rannikkoalueen tulvaryhmä	Kaakkois-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus	Raportteja 69/2015
Jaakonaho, O., Jussila, T. ja Rantakokko, K. 2015	Helsingin ja Espoon rannikkoalueen tulvariskien hallintasuunnitelma vuosille 2016–2021	Helsingin ja Espoon rannikkoalueen tulvaryhmä	Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus	Raportteja 97/2015
Kettunen, K. 2015	Iijoen vesistöalueen tulvariskien hallintasuunnitelma	Iijoen vesistöalueen tulvaryhmä	Pohjois-Pohjanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus	Raportteja 119/2015
Kurkela, A. ja Karjalainen, N. 2016	Ivalojoen vesistöalueen tulvariskien hallintasuunnitelma vuosille 2016–2021	Ivalojoen tulvaryhmä	Lapin elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus	Raportteja 7/2016
Kettunen, K. 2015	Kalajoen vesistöalueen tulvariskien hallintasuunnitelma	Kalajoen vesistöalueen tulvaryhmä	Pohjois-Pohjanmaan ELY	Raportteja 118/2015
Kurkela, A. ja Karjalainen, N. 2016	Kemijoen vesistöalueen tulvariskien hallintasuunnitelma vuosille 2016–2021	Kemijoen tulvaryhmä	Lapin elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus	Raportteja 8/2016
Varsinais-Suomen ELY-keskus 2015	Kokemäenjoen vesistöalueen tulvariskien hallintasuunnitelma vuosille 2016–2021	Kokemäenjoen vesistöalueen tulvaryhmä	Varsinais-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus	Raportteja 104/2015
Höytämö, J., Luoma-aho, M. ja Sokka, T. 2015	Kymijoen vesistöalueen tulvariskien hallintasuunnitelma vuosille 2016–2021	Kymijoen vesistöalueen tulvaryhmä	Kaakkois-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus ja Keski-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus	Raportteja 68/2015
Raitalampi, E. ym. 2015	Kyrönjoen vesistöalueen tulvariskien hallintasuunnitelma vuosille 2016–2021	Kyrönjoen vesistöalueen tulvaryhmä	Etelä-Pohjanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus	
Raitalampi, E. ym. 2015	Laihianjoen vesistöalueen tulvariskien hallintasuunnitelma vuosille 2016–2021	Laihianjoen vesistöalueen tulvaryhmä	Etelä-Pohjanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus	
Raitalampi, E. ym. 2015	Lapuanjoen vesistöalueen tulvariskien hallintasuunnitelma vuosille 2016–2021	Lapuanjoen vesistöalueen tulvaryhmä	Etelä-Pohjanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus	
Jaakonaho, O., Jussila, T. ja Rantakokko, K. 2015	Loviisan rannikkoalueen tulvariskien hallintasuunnitelma vuosille 2016–2021	Loviisan rannikkoalueen tulvaryhmä	Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus	Raportteja 99/2015
Karjalainen, N. ja Kurkela, A. 2016	Tomionjoen-Muonionjoen vesistöalueen tulvariskien hallintasuunnitelma vuosille 2016–2021	Tomionjoen tulvaryhmä	Lapin elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus	Raportteja 9/2016

Varsinais-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus 2015	Turun, Raision, Naantalin ja Rauman rannikkoalueen tulvariskien hallintasuunnitelma vuosille 2016–2021	Turun, Raision, Naantalin ja Rauman rannikkoalueen tulvaryhmä	Varsinais-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus	Raportteja 105/2015
Varsinais-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus 2015	Uskelanjoen vesistöalueen tulvariskien hallintasuunnitelma vuosille 2016–2021	Uskelanjoen vesistöalueen tulvaryhmä	Varsinais-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus	Raportteja 107/2015
Suomalainen, M., Seppälä, R. ja Jaakonaho, O. 2015	Vantaanjoen vesistöalueen tulvariskien hallintasuunnitelma vuosille 2016–2021	Vantaanjoen vesistöalueen tulvaryhmä	Hämeen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus	Raportteja 92/2015

B Haastatellut asiantuntijat

Kaija Jyrki, Helsingin Seudun ympäristöpalvelut

Kankaanpää Susanna, Helsingin Seudun ympäristöpalvelut

Nurmi Paula, Helsingin kaupungin rakennusvirasto

Parjanne Antti, Suomen ympäristökeskus

Tani Alpo Kaupunkisuunnitteluvirasto

Urho Aninka, Helsingin Seudun ympäristöpalvelut

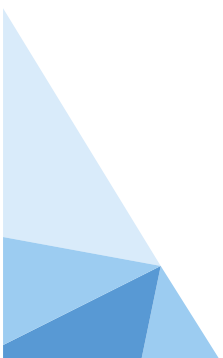
Viinanen Jari, Helsingin kaupungin ympäristökeskus

C Regressiomalli

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	9.8702	5.3269	1.853	0.101
KestoTuntia	10.1395	0.3138	32.314	9.17e-10

Vakio (*intercept*) ei ole tilastollisesti merkitsevä 0.05 merkitsevyystasolla, mutta 0.1 merkitsevyystasolla sen voidaan sanoa olevan. Tätä analyysiä varten se on riittävä tilastollinen merkitsevyys.





VALTIONEUVOSTON
SELVITYS- JA TUTKIMUSTOIMINTA

tietokayttoon.fi

ISSN 2342-6799 (pdf)
ISBN 978-952-287-301-9 (pdf)

