



ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

RAPORTTEJA
RAPPORTER
REPORTS
2011:3

Ilmastomuutoksen ääri-ilmiöihin liittyvän
riskienhallinnan kustannus–hyötyanalyysi
osana julkista päätöksentekoa
IRTORISKI-hankkeen loppuraportti

HANNA VIRTA
TONY ROSQVIST
ANTTI SIMOLA
ADRIAAN PERRELS
RIITTA MOLARIUS
ANNA LUOMARANTA
JUHA HONKATUKIA

**RAPORTTEJA
RAPPORTER
REPORTS
No. 2011:3**

**303.423, 303.433.2, 330.101.52:303.725,
330.341:556.166 (480), 502.31, 519.81,
551.583.15:551.588.74**

Ilmastomuutoksen ääri-ilmiöihin liittyvän riskienhallinnan kustannus–hyötyanalyysi osana julkista päätöksentekoa

IRTORISKI-hankkeen loppuraportti

**Hanna Virta¹
Tony Rosqvist²
Antti Simola³
Adriaan Perrels¹
Riitta Molarius²
Anna Luomaranta¹
Juha Honkatukia³**

**¹ Ilmatieteen laitos IL, ² Valtion teknillinen tutkimuskeskus VTT, ³ Valtion
taloudellinen tutkimuskeskus VATT**

**Ilmatieteen laitos
Meteorologiska Institutet
Finnish Meteorological Institute**

Helsinki 2011

ISBN 978-951-697-743-3 (nid.)
ISBN 978-951-697-744-0 (pdf)
ISSN 0782-6079

Yliopistopaino
Helsinki 2011



Julkaisija Ilmatieteen laitos (Erik Palménin aukio 1)
PL 503
00101 Helsinki

Julkaisun sarja, numero ja raporttikoodi
Raportteja 2011:3

Julkaisu-aika 2011

Tekijät Hanna Virta, Tony Rosqvist, Antti Simola, Adriaan Perrels, Riitta Molarius, Anna Luomaranta, Juha Honkatukia	Projektin nimi Ilmastonmuutoksen ääri-ilmiöihin liittyvän riskienhallinnan kustannus- hyötyanalyysi osana julkista päätöksentekoa (IRTORISKI)
	Tilaaaja Ilmastonmuutoksen sopeutumistutkimusohjelma ISTO

Nimeke
Ilmastonmuutoksen ääri-ilmiöihin liittyvän riskienhallinnan kustannus-hyötyanalyysi osana julkista päätöksentekoa.
IRTORISKI-hankkeen loppuraportti.

Tiivistelmä

IRTORISKI-hankkeessa tutkittiin, miten kustannus-hyötyanalyysin käyttöä ilmastonmuutoksen sopeutumis suunnittelussa voitaisiin helpottaa niin, että sitä pystyttäisiin hyödyntämään kustannustehokkaasti sekä ilmastonmuutokseen liittyvien vaarojen priorisoinnissa että ennaltaehkäisevien toimenpiteiden vertailussa. Tutkimuksessa käytettiin esimerkkitapauksina jokitulvaa ja rankkasateiden aiheuttamaa tulvaa kaupunkiolosuhteissa. Tapahtumapuuanalyysia laajennettiin siten, että siitä käyvät ilmi sekä suorat vahingot että lopulliset makrotaloudelliset vaikutukset. Arviot suorista taloudellisista vahingoista perustuivat aikaisempiin tutkimuksiin, kun taas makrotaloudellisia vaikutuksia simuloitiin yleisen tasapainon mallin avulla. Tapaustutkimusten valinnasta, tapahtumapuun käytöstä, sen laajennusosasta sekä lasketuista makrotaloudellisista vaikutuksista keskusteltiin sidosryhmien edustajien kanssa kolmessa asiantuntijaistunnossa.

Julkaisijayksikkö

Ilmastonmuutos (ILM)

Luokitus (UDK) 303.423, 303.433.2, 330.101.52:303.725, 330.341:556.166 (480), 502.31, 519.81, 551.583.15:551.588.74	Asiasanat sopeutuminen, ilmastonmuutos, kustannus-hyötyanalyysi, päätöksenteon tuki, tapahtumapuuanalyysi, äärimmäiset sääilmiöt, luonnononnettomuudet, alueelliset taloudelliset vaikutukset
--	--

ISSN ja avainnimitykset

0782-6079 Raportteja – Rapporter – Reports

ISBN ISBN 978-951-697-743-3 (nid.) ISBN 978-951-697-744-0 (pdf)	Kieli Suomi (tiivistelmä ja laajennettu tiivistelmä myös englanniksi)
---	---

Myynti Ilmatieteen laitos PL 503 00101 Helsinki	Sivumäärä 97 Hintaa Lisätietoja
--	------------------------------------



FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

Published by Finnish Meteorological Institute
P.O. Box 503 (Erik Palménin aukio 1),
FIN-00101 Helsinki, Finland

Series title, number and report code of publication
Reports 2011:3

Date 2011

Authors
Hanna Virta, Tony Rosqvist, Antti Simola, Adriaan Perrels,
Riitta Molarius, Anna Luomaranta, Juha Honkatukia

Name of project
Cost-benefit analysis of climate change
induced extreme events as part of public
decision making (IRTORISKI)

Commissioned by
Climate Change Adaptation Research
Programme ISTO

Title
Cost-benefit analysis of climate change induced extreme events as part of public decision making. Final project report
of IRTORISKI.

Abstract

The study IRTORISKI investigates how the use of cost benefit analysis in climate change adaptation planning can be streamlined such as to be useful both for initial prioritisation of natural hazards according to their risk and for initial comparison of measures regarding a particular hazard, while avoiding complex model exercises. The study uses examples cases for urban flooding caused by river flooding and extreme downpours respectively. Event tree analysis is extended such as to show both direct damage cost and eventual macroeconomic impacts. Direct damage estimates were based on earlier studies, while the macroeconomic impacts were simulated by means of a CGE model. Case selection, event tree use and extension, and calculated impacts were discussed with stakeholder representatives in three deliberative sessions.

Publishing unit
Climate change (ILM)

Classification (UDK)
303.423, 303.433.2, 330.101.52:303.725,
330.341:556.166 (480), 502.31, 519.81,
551.583.15:551.588.74

Keywords
adaptation, climate change, cost benefit
analysis, decision support, event tree analysis,
extreme weather events, natural hazards, regional
economic effects

ISSN and series title
0782-6079 Raportteja – Rapporter – Reports

ISBN
ISBN 978-951-697-743-3 (nid.)
ISBN 978-951-697-744-0 (pdf)

Language
Finnish (abstract and extended abstract also in
English)

Sold by
Finnish Meteorological Institute
P.O. Box 503
FIN-00101 Helsinki, Finland

Pages 97 Price

Note

Sisältö

Laajennettu tiivistelmä	7
Extended abstract	15
1. Johdanto	23
2. Tapahtumapuu: Periaate ja soveltaminen	24
2.1 Tapahtumapuu vaikutusketjujen mallinnuksessa.....	24
2.1.1 Tapahtumapuun vaiheiden tai esteiden kuvaus.....	27
2.1.2 Välittömien ja välillisten kustannuksien esittäminen.....	28
2.1.3 Tiivistelmä	31
2.2 Asiantuntijoiden antama palaute tapahtumapuumallista.....	31
2.2.1 Tapahtumapuun vaihe	31
2.2.2 Tapahtumapuun parametrit ja kustannukset	34
2.2.3 Tapahtumapuun laajennusosa	35
2.2.4 Tapahtumapuun sovellettavuus.....	35
3. Sään ääri-ilmiöiden kokonaistaloudelliset vaikutukset ja niiden arviointi	37
3.1 Ääri-ilmiöiden vaikutuksien taloudellinen mallinnus.....	37
3.2 Vahingot ja vaikutukset	41
3.3 Asiantuntijapalaute kokonaistaloudellisesta mallista.....	42
4. Tapaustutkimukset	43
4.1 Määrittely ja valinta	43
4.2 Määrittely kokonaistaloudellisia malliajoja varten	44
4.3 Tulokset ja tulkinta.....	46
4.3.1 Uusimaa	47
4.3.2 Satakunta	51
4.3.3 Koko maan tulokset	56
4.3.4 Välittömien kustannuksien ja kokonaistaloudellisten vaikutuksien suhde	60
4.3.5 Johtopäätökset taloudellisista vaikutuksista.....	63
4.4 Asiantuntijapalaute tapaustutkimuksista.....	64
4.4.1 Ilmiöiden ja tapauksien määrittely	64
4.4.2 Annetut lähtötiedot.....	65
4.4.3 Kokonaistaloudelliset vaikutukset	65
5. Yleinen asiantuntijapalaute	67
5.1 Yleinen asiantuntijapalaute tulvariskien hallinnasta.....	67
5.1.1 Kaavoitus ja maankäytön suunnittelu	67
5.1.2 Viranomaisten sääntely vs. markkinaohjaus tulvariskialueelle rakentamisessa	67
5.1.3 Hulevesien hallinta.....	67
5.1.4 Tulvavahinkojen ja tulvariskien hallintakeinojen rahoitus	68
5.1.5 Tulvariskien merkittävyyden arvioiminen	69
5.2 Yleinen asiantuntijapalaute vastatoimenpiteiden valinnasta.....	69

5.3	Muu asiantuntijapalaute	70
6.	Synteesi: Menetelmän toimivuus	71
6.1	Laajennetun tapahtumapuun käyttö	71
6.2	Sopeutuva johtaminen.....	73
7.	Johtopäätökset ja suositukset	75
	Lähteet.....	77
A	Tutkimuksen rakenne, kulku ja aikataulu	79
B	Tutkimuksen ohjausryhmä	80
C	VERM-mallin muut tulokset.....	81
D	Asiantuntijaistuntoihin osallistuneet.....	86
E	Asiantuntijaistuntojen ohjelmat	88
F	Rankat sateet Suomessa.....	91
F.1	Rankkasateen määritelmä	91
F.2	Rankkasateet nykyilmastossa.....	92
F.3	Kesäsateet Helsingissä (Kaisaniemi)	95
F.4	Rankkasateet tulevassa ilmastossa	96

Laajennettu tiivistelmä

IRTORISKI-hankkeessa tutkittiin, miten kustannus–hyötyanalyysin käyttöä ilmastonmuutoksen sopeutumissuunnittelussa voitaisiin helpottaa niin, että sitä pystyttäisiin hyödyntämään kustannustehokkaasti sekä ilmastonmuutokseen liittyvien vaarojen priorisoinnissa että ennaltaehkäisevien toimenpiteiden vertailussa.

Tutkimuksen pääpiirteet

Tutkimuksessa tarkasteltiin, miten *tapahtumapuuanalyysi* voitaisiin yhdistää sosioekonomiseen kustannus–hyötyanalyysiin siten, että suorien vahinkojen lisäksi voitaisiin tarkastella myös epäsuoria makrotaloudellisia vaikutuksia alueellisella tai koko maan tasolla. Tarvittaessa tarkastelua tulisi voida laajentaa myös muihin, esimerkiksi kansanterveydellisiin, vaikutuksiin. Tapahtumapuu (kuva S1) kuvaa, millaisia tapahtumaketjuja alkuperäisestä tapahtumasta voi seurata, millaisilla todennäköisyyksillä tietyt tapahtumat sattuvat ja millaisia vahinkoja tapahtumista aiheutuu. Alkutapahtumaa seuraavat vaiheet kuvaavat esteitä tai vastatoimenpiteitä, joiden tarkoituksena on pysäyttää alkutapahtuman vaikutusten eskaloituminen. Esteen toimintaan liittyvää epävarmuutta käsitellään tapahtumapuussa siten, että vastatoimenpiteen tulos määritellään kaksitasoisena: onnistuu tai epäonnistuu¹. Tästä syystä alkuperäisen vaikutuksen aiheuttamat tapahtumaketjut haarautuvat jokaisen esteen kohdalla. Polkujen haarat on järjestetty tapahtumapuussa suorien vahinkojen mukaan pienimmästä (ylin polku) suurimpaan (alin polku). Jokaista polkua voidaan luonnehtia

- tapahtumistodennäköisyydellä, joka saadaan tapahtumapolun haarautumistodennäköisyyksien tulona, ja
- arviolla tapahtumapolkuun liittyvistä suorista aineellisista vahingoista, jotka voidaan ilmaista rahallisena arvona ja/tai fyysisinä yksiköinä, esimerkiksi vahingoittuneena pinta-alana ja/tai uhrien määränä.

Tutkimuksessa kiinnitettiin erityisesti huomiota suorista vahingoista aiheutuviin epäsuoriin taloudellisiin vaikutuksiin. Tämän vuoksi käytettiin VERM-aluemallia, joka on Suomen taloutta kuvaava dynaaminen yleisen tasapainon malli. Mallissa on kuvattu 20 Suomen maakuntaa 46 toimialan jaolla. Tutkimuksessa käytettiin yksinkertaistettuja esimerkkitapauksia, joiden vuotuiset todennäköisyydet² ja niiden aiheuttamat välittömät vahingot perustuvat aiempiin empiirisiin tutkimuksiin ja simulointitutkimuksiin. Näissä tapauksissa arvioitiin sekä alueellisia että koko maan tason taloudellisia vaikutuksia. Vaikutuksia selvitettiin jonkin verran myös sektoreittain.

Tapahtumapuuanalyysin ja kokonaistaloudellisen analyysin lisäksi olennaisen osan tutkimusta muodostivat asiantuntijaistunnot, joissa annettiin palautetta pääosin tietokoneavusteisesti ThinkTank-ryhmätyöohjelman avulla. Kolmessa asiantuntijaistunnossa keskusteltiin mm. esimerkkitapauksien valinnasta, tutkimuksessa hahmotellun analyysikehikon kehityssuunnista sekä suorien ja erityisesti epäsuorien sosioekonomisten vahinkojen arvioimisesta. Asiantuntijaistunnoissa oli edustajia mm. vakuutussektorilta, ministeriöistä, ympäristöhallinnosta, verkkoyhtiöistä, pelastusorganisaatioista, kuntasektorilta ja teknisestä turvallisuudesta vastaavilta tahoilta.

¹ Tulos voisi olla myös monitasoisempi.

² vuotuinen todennäköisyys = toistuvuus

Tapaustutkimusten tuloksia

Tutkimuksessa päätettiin keskittyä jokitulviin ja rankkasateiden aiheuttamiin kaupunkitulviin. Tapaustutkimuksina tarkasteltiin Kokemäenjoen tulvimista Porissa (malliajoissa Satakunta) ja rankkasateiden aiheuttamia kaupunkitulvia Helsingissä (malliajoissa Uusimaa). Jokitulvatapauksissa tutkittiin tulvia, joiden vuotuinen todennäköisyys on 2 % ja 0,4 % (jatkossa tapauksiin viitataan merkinnöillä R50 ja R250 tulvien toistumisajan mukaan). Valinta tehtiin aikaisemmista tutkimuksista saatuun aineistoon perustuen. Rankkasateiden aiheuttamien kaupunkitulvien vuotuisiksi todennäköisyyksiksi valittiin 10 % ja 1 % (jatkossa R10 ja R100 toistumisajan mukaan) perustuen rankkasateiden tilastolliseen tarkasteluun Etelä-Suomessa. Vahinkojen arviot pohjautuivat kaikissa tapauksissa aiempiin tutkimuksiin ja todellisten tapausten tarkasteluihin.

Porissa suorien vahinkojen on arvioitu kohoavan noin 115 miljoonaan euroon tapauksessa R50 ja 335 miljoonaan euroon tapauksessa R250. Helsingissä suorat vahingot on arvioitu 26 miljoonan euron suuruisiksi tapaukselle R10 ja 110 miljoonan euron suuruisiksi tapaukselle R100. Lisäksi tulva-alueet kärsivät siitä, että alueelle pääsy on hankaloitunut tai estynyt tulvan seurauksena. Tämä rajoitetun pääsyn jakso vaihtelee tapaustutkimuksissa neljästä viikosta (R10) kahteentoista viikkoon (R100 ja R250). Rajoitettu pääsy aiheuttaa ylimääräisiä kuluja tuotannon keskeytysten ja viivästysten takia.

Pienien tulvatapausten (R50-jokitulva Porissa ja R10-kaupunkitulva Helsingissä) vaikutukset alueelliselle taloudelle ovat hyvin pieniä huomattavista suorista vaikutuksista huolimatta. Suurilla tulvatapauksilla alueellinen bruttokansantuote (BKT) alenee 0,9 % (Helsinki R100) ja 1,7 % (Pori R250) ensimmäisenä vuonna tapahtuman jälkeen. Jo kymmenen vuoden jälkeen tulvan aiheuttama BKT:n alenema on pienentynyt merkittävästi elpymisen seurauksena (taulukko S1). Mielenkiintoista on, että jos Porissa ja Helsingissä tapahtuu suorilta vaikutuksiltaan yhtä tuhoisa tulva, koko maan tasolle heijastuvat taloudelliset vaikutuksen jäävät Porin tapauksessa huomattavasti pienemmiksi. Tämä korostaa sitä, että talouden rakenteet ja alueen integroituminen muihin alueisiin vaikuttavat olennaisesti suorista vahingoista aiheutuviin kokonaistaloudellisiin vahinkoihin.

Taloudellisilla rakenteilla ja erilaisilla talouden lähtötilanteilla (esim. korkeampi työttömyys Satakunnassa Uuteenmaahan verrattuna) on vaikutusta alueiden palautumiseen. Mallitulosten mukaan Satakunnan aluetaloudesta tulisi tulvavahingosta elpymisen jälkeen aiempaa vähemmän pääomavaltainen, ja lisäksi työllisyys näyttäisi paranevan. Nämä tulokset antavat viitteitä siitä, että talous muuttuisi tulvavahingon seurauksena aiempaa palveluvaltaisemmaksi.

Malliajojen perustapauksissa tulvasta toipuminen jätettiin toimialojen itsensä rahoitettavaksi. Perustapausten lisäksi tutkittiin kolmea vaihtoehtoista tapaa toipua tulvan aiheuttamista tuhoista:

- 1) pääomatuhojen täysimääräinen korvaaminen valtion maksamalla kertakorvauksella tuhoalueelle;
- 2) pääomatuhojen päätyminen vakuutussektorin täysimääräisesti korvattavaksi; ja
- 3) pääomatuhojen korvaaminen vakuutussektorin kautta, mutta valtio korvaa vakuutussektorin kokemat tappiot.

Taulukossa S1 on esitetty yhteenveto malliajojen tuloksista. Taulukossa on esitetty alueellisten makrotaloudellisten tunnuslukujen tasoja eri rahoitusvaihtoehdoissa perusuraan³ verrattuna

³ Perusura kuvaa talouden kehitystä siinä tapauksessa, että tulvaa tms. ääri-ilmiötä ei olisi sattunut.

kymmenen vuotta tulvatapahtuman jälkeen. Vaihtoehdolla, jossa valtio korvaa pääomatuhot, näyttäisi olevan makrotalouden kannalta pääosin suotuisa vaikutus Satakunnassa, kun taas Uudellamaalla ero perustapaukseen on pääosin negatiivinen mutta hyvin pieni. Koska valtion maksamia korvaukseen tarkoitettuja varoja ei ole korvamerkitty, niitä käytetään myös muihin menoihin kuin korjaustoimenpiteisiin. Vakuutussektorin korvaukset on suunnattu ainoastaan tulvavahinkojen korvauksiin, mikä ylikuumentaa joitakin talouden osia korjausbuumin takia. Ylikuumentaminen puolestaan nostaa kaikkien investointien kustannuksia. Tämän seurauksena makrotaloudelliset vaikutukset ovat selvästi negatiivisempia siinä tapauksessa, että vakuutussektori korvaa tulvavahingot, kuin siinä tapauksessa, että valtio tai kukin sektori itse (perustapaus) huolehtii tulvavahinkojen korjaamisesta. Jos sekä valtio että vakuutusyhtiöt osallistuvat korvauksiin, tulokset ovat samansuuntaisia kuin siinä tapauksessa, että vakuutussektori korvaa kaikki vahingot.

Taulukko S1. *Alueellisten makrotaloudellisten tunnuslukujen tasoja eri rahoitusvaihtoehdoissa perusuraan (ei tulvaa tms. ääri-ilmiötä) verrattuna kymmenen vuotta tulvatapahtuman jälkeen.*

Helsinki (Uusimaa)	R100 Perustapaus	R100 Valtio	R100 Vakuutus	R100 Valtio + vakuutus
BKT	-0,04 %	-0,05 %	-0,14 %	-0,19 %
Pääomakanta	-0,14 %	-0,15 %	-0,21 %	-0,21 %
Työllisyys	0,03 %	0,01 %	-0,07 %	-0,12 %
Investoinnit	0,71 %	0,72 %	-0,85 %	-0,83 %
Kotitalouksien kulutus	0,00 %	0,00 %	-0,06 %	-0,10 %
Tuonti	0,10 %	0,10 %	-0,15 %	-0,20 %
Vienti	-0,07 %	-0,13 %	-0,11 %	-0,31 %

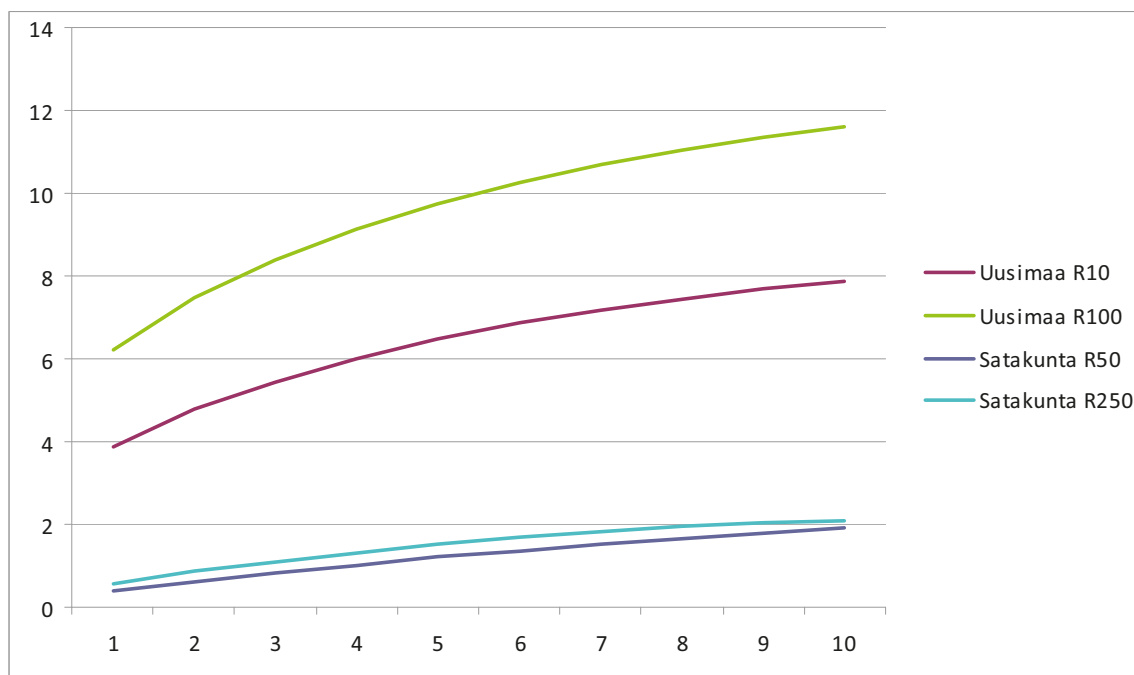
Pori (Satakunta)	R250 Perustapaus	R250 Valtio	R250 Vakuutus	R250 Valtio + vakuutus
BKT	-0,21 %	-0,15 %	-1,78 %	-2,00 %
Pääomakanta	-1,96 %	-2,02 %	-1,88 %	-2,00 %
Työllisyys	0,67 %	0,75 %	-1,27 %	-1,56 %
Investoinnit	19,20 %	20,72 %	-29,22 %	-29,43 %
Kotitalouksien kulutus	-0,80 %	-0,47 %	-0,96 %	-1,04 %
Tuonti	1,14 %	1,34 %	-2,32 %	-2,60 %
Vienti	-0,87 %	-1,02 %	-0,51 %	-1,14 %

Koska korjausbuumin aiheuttama ylikuumentaminen vaikuttaa haitallisesti koko makrotalouteen, ne olisi hallittava mahdollisimman tehokkaasti. Hallinta voi tarkoittaa tässä tapauksessa sitä, että korjausbuumin tuomaa ylimääräistä työvoiman ja materiaalien kysyntää yritetään jakaa suuremmalle alueelle ja että korjausten aikataulua pyritään tasaamaan piikkien välttämiseksi. Nopea korjaaminen voi myös johtaa laadun heikkenemiseen, kun taas hitaammalla aikataululla tehdyt korjaukset mahdollistavat nykyaikaisen teknologian käyttämisen suoraviivaisen korvaamisen sijaan.

Makrotaloudellinen tappio (tai voitto) voidaan arvioida vertailemalla talouden kehitystä perusuraan verrattuna. Kun diskontatut erot lasketaan yhteen, voidaan arvioida syntyneiden tappioiden kokonaismäärää. Tässä tapauksessa kokonaisvaikutusten arvioimiseen on käytetty kymmenen

vuoden periodia. Vertaamalla diskontattuja vaikutuksia alkuperäisiin suoriin vahinkoihin voidaan määrittellä nk. kerroinvaikutukset. Kuvassa S2 esitetään näiden kertoimien kumulatiivista kehittymistä kymmenen vuoden ajalta kaikille mallinnetuille perustapauksille. Diskonttauskorkona on käytetty 5 %:a. Tässä tapauksessa kerroinvaikutuksina on tarkasteltu koko Suomen talouteen kohdistuneita vaikutuksia, joita kuvataan BKT:n kehityksellä perusturana verrattuna. Nämä epäsuorat vaikutukset näyttäisivät tulosten mukaan olevan vähintään kaksinkertaiset suoriin vahinkoihin verrattuna. Tässä tarkasteltuja suoraa ja epäsuoraa vaikutuksia ei lasketa yhteen, koska suorat vaikutukset kuvaavat vaikutuksia varastosuureisiin, kun taas epäsuorat vaikutukset kuvaavat vaikutuksia vuosusuureisiin (BKT). Pääkaupunkiseudun keskeinen asema Suomen kansantaloudessa näyttäisi tulosten valossa johtavan siihen, että pääkaupunkiseudulla sattuvan vahingon kerroinvaikutukset olisivat huomattavasti suuremmat kuin Satakunnan alueella tapahtuvan vahingon kerroinvaikutukset. Saattaa kuitenkin olla, että todellisuudessa kerroinvaikutusten ero ei ole niin suuri kuin mitä tämän tutkimuksen tulosten perusteella voisi päätellä. Kun sopeutumissuunnittelussa pohditaan haavoittuvuutta vähentävien investointien kannattavuutta, tulosten valossa investointilaskelmissa olisi kuitenkin perusteltua ottaa huomioon myös kokonaistaloudelliset vaikutukset. Tämä luultavasti pääosin parantaisi sopeutumisinvestointien kannattavuutta.

Jos asumisolosuhteet huononevat väliaikaisesti tulvan seurauksena, kuluttajien kokema hyvinvointi vähenee. Tämä hyvinvoinnin menetys saa aikaan korjausbuumin. Mallitulosten mukaan korjausbuumin hintana on, että tulevaisuudessa hyvinvointi on hiukan pienempi kuin se olisi ilman korjausbuumia. Käytännön esimerkit osoittavat, että kuluttajien näkökulmasta nopea korjaaminen on kuitenkin paras vaihtoehto. Taloudellisten simulointitulosten mukaan taas tällainen korjausbuumi olisi kokonaistaloudellisesti tarkasteltuna haitallinen sellaisiin vaihtoehtoihin verrattuna, joissa vahinkojen korjaaminen tapahtuu maltillisessa aikataulussa. Simuloinneissa käytetyn mallin tuotantoon perustuvat tunnusluvut eivät siten ota riittävästi huomioon kuluttajien kokemaa hyvinvoinnin vähenemistä.



Kuva S2. Vahinkojen kerroinvaikutusten kumulatiivinen kehittyminen perustapauksissa. Kertoimet on laskettu nykyarvoistetuista summista. Diskonttauskorkona on käytetty 5 %:a.

Asiantuntijaistuntojen palaute

Sidosryhmien edustajat pitivät laajennettua tapahtumapuuanalyysia kiinnostavana ja potentiaalisesti käyttökelpoisena, mikäli käytännön sovellusten näkökohtia otetaan huomioon riittävästi. Useimmat osallistujat pitivät alueellisen tai paikallisen sopeutumissuunnittelun päätöksenteon kannalta tärkeänä ja käyttökelpoisena sitä, että vaikutusanalyysissa otettiin huomioon myös aiheutuneet kokonaistaloudelliset vaikutukset. Yhteinen näkemys kuitenkin oli, että tällainen laajennus ei saisi monimutkaistaa suunnittelussa tehtäviä arviointeja ja menettelytapoja. On myös olennaista raportoida aiheutuneet taloudelliset vaikutukset kattavalla ja läpinäkyvällä tavalla yhdessä muiden vaikutusten, esimerkiksi terveysten- ja ympäristövaikutusten, kanssa.

Monilla osallistujilla oli varauksellinen suhtautuminen porrastettujen kaavamääräysten käyttöön tulvaherkillä alueilla. Porrastettu kaavamääräys tarkoittaisi, että kohtuullisen tulvariskin alueilla jotkut toiminnot ja rakennukset voitaisiin sallia edellyttäen, että investoijat ymmärtävät riskit ja ovat halukkaita ja kykeneviä ryhtymään tarvittaviin varotoimiin (esim. suojele, vakuutus jne.). Pelkona oli, että vahinkotilanteessa tämä saattaisi johtaa riitatilanteisiin vastuukysymyksissä. Toisaalta, mikäli tiukat maankäyttörajoitukset ovat yleisiä, ne voivat johtaa epäsuotuisaan kaupunkialueiden tilankäyttöön, millä puolestaan voi olla haitallisia vaikutuksia myös kestävän kehityksen näkökulmasta.

Asiantuntijat korostivat omavastuuta tulvavahinkojen korvaamisessa. Rahoitusvaihtoehdot, joissa valtio ja/tai vakuutusyhtiöt kattaisivat vahinkokustannuksia, pitäisi jättää vain poikkeuksellisiin ja suuria kustannuksia aiheuttaviin tilanteisiin. Vakuutukset voivat toisaalta myös vähentää riskejä, mikäli esimerkiksi vakuutusmaksut ovat alempia sellaisille kiinteistönomistajille, jotka investoivat haavoittuvuutta vähentäviin ratkaisuihin. Tällä tavalla nk. moraalikadon⁴ vaikutukset voitaisiin minimoida. Tästä huolimatta haitallista valikoitumista voi tapahtua: vakuutuksen ottavat muita herkemmin sellaiset tahot, joilla on keskimääräistä korkeampi riski joutua alttiiksi vahingolle. Siksi riittävä informaatio eri vahingonvaarojen alueellisesta jakautumisesta on tärkeää.

Kaikki asiantuntijat olivat sitä mieltä, että sekä yksityisten että julkisten päätöksentekijöiden on tärkeää saada tietoa erilaisten riskien alueellisesta jakautumisesta. On myös tärkeää, että tämä tieto on helposti saatavilla. Todettiin, että eri riskien yhdistetty arviointi paikallisilla tai alueellisilla tasoilla on vielä alkutekijöissään. Internet-pohjaiset riskikarttasovellukset Belgiassa ja Hollannissa tarjoavat esimerkkejä lupaavista kehitysmahdollisuuksista. Jos riskeistä on saatavilla laadukasta tietoa kattavasti, oman vastuun korostamista ja valtion tukien vähentämistä on helppo perustella. Taloudelliset mallisimulaatiot osoittivat, että laaja tukeutuminen vakuutuksiin saattaisi olla kokonaistaloudelliselta kannalta tehoton vaihtoehto. Lopputulos riippuu kuitenkin myös muista käytössä olevista tukitoimista.

Asiantuntijoiden keskuudessa vallitsi yksimielisyys siitä, että ensisijaisesti pitäisi pyrkiä tuhojen ennaltaehkäisyyn. Sopeutumissuunnittelun ja ilmastonmuutoksen lisäämien onnettomuusriskien huomioonottamisen pitäisi olla kokonaisvaltaista, ja liian kapeaa alueellista tai toimialakohtaista keskittymistä tulisi välttää. Esimerkiksi jokien tulvariskien hallinnassa pitäisi ottaa huomioon koko valuma-alue. Samaan tapaan kaupunkialueiden sopeutumissuunnitteluun tulisi ottaa mukaan kaikki ne kunnat, joiden yli suunnittelun kohteena oleva alue ulottuu.

⁴ Engl. *moral hazard*. Moraalikato syntyy, jos esimerkiksi vakuutussopimuksella siirretään vakuutuksenottajan riski vakuutusyhtiölle, ja tämä riskin siirto vakuutuksenarjoajan kannettavaksi muuttaa vakuutuksenottajan käytöstä verrattuna tilanteeseen, jossa vakuutuksenottaja kantaa riskin kokonaisuudessaan.

Asiantuntijoiden mukaan kaupunkialueiden kehityssuunta on ollut sellainen, että yhä suurempi osa maapinta-alasta peitetään vettä läpäisemättömillä materiaaleilla. Tämä vaikeuttaa huomattavasti hulevesien käsittelyä ja pahentaa paikallisia tulvariskejä äärimmäisissä rankkasadetilanteissa. Viimeaikainen tutkimus ja ulkomaiset kokeet osoittavat, että kaupungin viheralueiden tarjoamien ekosysteemipalveluiden, tässä erityisesti vedenpidätyskyvyn, järkevä käyttö voi paitsi alentaa hulevesien käsittelykustannuksia myös parantaa virkistysarvoa tavanomaisiin viemäri- ja lasku-alueisiin verrattuna.

Johtopäätökset

Arvioinnit osoittivat, että jo melko tavalliset rankkasateet (vuotuinen todennäköisyys 10 %) voivat aiheuttaa miljoonien eurojen paikallisia vahinkoja kaupunkialueilla. Harvinaisemmat rankkasateet ja jokitulvatapaukset (vuotuinen todennäköisyys noin 1 % tai vähemmän) voivat aiheuttaa todella huomattavia, jopa 100 miljoonan euron vahinkoja.

Äärimmäisten sääilmiöiden aiheuttamat suorat vahingot heijastuvat paitsi aluetalouteen myös koko maan talouteen. Alustavien arvioiden perusteella suorat kustannukset helposti kaksinkertaistuvat, kun makrotaloudellisia kokonaisvaikutuksia verrataan suoriin vaikutuksiin. Mitä merkittävämpi tuhoja kärsinyt alue on kansantalouden kannalta, sitä suuremmaksi edellä kuvattu kerroinvaikutus voi muodostua. Myös alueellisen talouden tila ja sen rakenne tuhon sattumishetkellä vaikuttavat siihen, miten palautuminen sujuu. Tässä tarkasteltuja suoraa ja epäsuoraa vaikutuksia ei lasketa yhteen, koska suorat vaikutukset kuvaavat vaikutuksia varastosuureisiin, kun taas epäsuorat vaikutukset kuvaavat vaikutuksia vuosusuureisiin (BKT).

Tässä tutkimuksessa arvioitiin yksittäisiä ääritapahtumia. Yhteiskunnan haavoittuvuuden ymmärtämiseksi olisi tärkeää tarkastella integroidusti kaikkia onnettomuusriskejä ja niiden mahdollisia yhteisvaikutuksia. Kuten edellä mainittiin, myös talouden tila ja sen rakenne vaikuttavat talouden elpymiseen. Näin ollen onkin ilmeistä, että ilmastonmuutokseen liittyvä sopeutumisen ja onnettomuusriskien hallinnan suunnittelu pitäisi tehdä yhdessä muun strategisen suunnittelun kanssa.

Mallisimulaatiot tuottavat tuotantoon perustuvia tunnuslukuja. Ne eivät kuitenkaan ota riittävästi huomioon katastrofin aiheuttamaa kuluttajien hyvinvoinnin menetystä: onnettomuuden seurauksena asumisolosuhteet huononevat merkittävästi, mikä vähentää kuluttajien kokemaa hyvinvointia. Tämä hyvinvoinnin menetys saa aikaan korjausbuumin, joka havaitaan yleensä pian katastrofin jälkeen. Mallitulosten mukaan korjausbuumin hintana kuitenkin on, että tulevaisuudessa hyvinvoinnin kasvu on hiukan hitaampaa kuin se olisi ilman korjausbuuria.

Koska korjausbuurien aiheuttama ylikuumeneminen vaikuttaa haitallisesti koko makrotalouteen, ne olisi hallittava mahdollisimman tehokkaasti. Hallinta voi tarkoittaa tässä tapauksessa sitä, että korjausbuurin tuomaa ylimääräistä työvoiman ja materiaalien kysyntää yritetään jakaa suuremmalle alueelle, markkinoiden toimintaa edistetään katastrofialueella tarjoamalla tietoja vaihtoehtoisista toimittajista ja korjausten aikataulua pyritään tasaamaan piikkien välttämiseksi. Nopea korjaaminen voi myös johtaa laadun heikkenemiseen, kun taas hitaammalla aikataululla tehdyt korjaukset mahdollistavat nykyaikaisen teknologian käyttämisen suoraviivaisen korvaamisen sijaan.

Kun sopeutumis suunnittelussa pohditaan haavoittuvuutta vähentävien investointien kannattavuutta, tulosten valossa investointilaskelmissa olisi kuitenkin perusteltua ottaa huomioon myös kokonaistaloudelliset vaikutukset. Tämä luultavasti pääosin parantaisi sopeutumisinvestointien kannattavuutta.

Laajennettu tapahtumapuu soveltuu päätöksenteon apuvälineeksi sopeutumiskeinojen suunnittelussa, mutta menetelmän laaja käyttöönotto edellyttää vielä kehitystyötä, mm. paikkatietojärjestelmien hyödyntämistä (esim. vuorovaikutteiset riskikartat) ja sovellusesimerkkejä.

Laajennetun tapahtumapuun käytön yleistyminen voi olla sekä kustannustehokasta että päätöksenteon laatua parantavaa, mutta tämä edellyttää tietokannan luomista tapahtumapuun käytön tueksi. Tietokannan tulisi sisältää aikaisempiin tutkimuksiin perustuvia oletusarvoja, menetelmien käyttöohjeita ja toisten käyttäjien antamia kommentteja ja vinkkejä.

Tietokannan luomisen ja käytön lisäksi tarvitaan menetelmiä ja kannustimia, jotka edesauttavat laajennetun tapahtumapuun ja muiden apuvälineiden soveltamisen oppimista. Esimerkiksi Internet-portaali ja kurssit päätöksentekijöille voisivat madaltaa kynnystä uusien menetelmien käyttöönottoon. Samansuuntaisia ideoita on myös EU:n esittämässä Clearing House Mechanism -aloitteessa (Commission of the European Communities 2009).

Äärimmäisten ilmiöiden aiheuttamien vahinkojen kompensatiovaihtoehtojen kokonaistaloudellinen tarkastelu on haastavaa. Tällä hetkellä mallit pystyvät simuloimaan vain osaa vaikutuksista, joten esimerkiksi vakuutuksien mahdollista tehottomuutta kokonaistaloudellisesti arvioituna on tutkittava tarkemmin.

Teoreettisemmalla tasolla tutkimuksen tulokset myös tuovat esiin puutteita talousmallin perusuran taustaoletuksissa. Nykyisellään perusura antaa liian positiivisen kuvan talouden odotettavissa olevasta kehityksestä, koska sen laskemisessa ei oteta riittävästi huomioon, että kaikki taloudet ovat alttiita erilaisille riskeille, joista jotkut väistämättä realisoituvat pitkän ajan kuluessa. Tämä puute tulee ilmi erityisesti, jos pyritään vertailemaan vaihtoehtoisia ilmastonmuutoksen sopeutussuunnitelmia, koska eri sopeutumistoimenpiteiden tulisi vaikuttaa eri tavalla myös perusuran kehitykseen.

Extended abstract

The study IRTORISKI investigates how the use of cost benefit analysis in climate change adaptation planning can be streamlined such as to be useful both for initial prioritisation of natural hazards according to their risk and for initial comparison of measures regarding a particular hazard, while avoiding complex model exercises.

Outline of the study

The study explored how *event tree analysis* could be combined with social-economic cost-benefit analysis, in order to complement direct damage with induced national or regional macroeconomic effects (and if needed other effects, such as public health). An event tree (Figure S1) depicts how an initial extreme event culminates in a set of consequent effects following alternative pathways, what are the occurrence probabilities of particular consequences, and what kind of damages the consequences induce. The initial event is followed by barriers or counter-measures that aim to stop the escalation of the consequences. The uncertainty related to the functioning of the barriers is considered as a two-level result of the barrier: the result is either a success or a failure⁵. For this reason, the chains of events induced by an initial effect are branching out over a set of identified alternative pathways. The pathways are ordered according to the direct damages from the smallest damage (uppermost pathway) to the largest (lowest outermost pathway). Each pathway can be characterised by:

- an occurrence probability calculated as the product of the event tree branching probabilities, and
- estimated total direct physical damage expressed in value terms and/or physical terms, e.g. affected surface area, and/or number of casualties.

The study dedicated particular attention to the induced macroeconomic effects of the initial damage. To this end a regional dynamic general equilibrium model of the Finnish economy, VERM, was used. The model includes 20 provinces and 46 sectors. The study used simplified example cases, of which the annual occurrence probabilities⁶ and initial damage levels are based on earlier empirical and simulation studies. For the case study regions, both regional and national economic effects were reviewed, including some disaggregation by sectors.

A third element of the study was the embedding of the case study analyses in a deliberative framework built around structured feedback. The feedback was mainly given through ThinkTank, which is group decision making software. The selection of the example case studies, the orientation of the analytical framework and the assessment of direct and notably of induced social-economic damages was discussed in three consecutive meetings with specialists representing e.g. insurance sector, ministries, environmental administration, network companies, rescue organisations, the association of municipalities, and technical safety agencies.

⁵ A multi-level result could also be possible.

⁶ annual occurrence probability = 1/return period

Results of the case studies

Of the different types of extreme weather related hazards it was decided to focus on river flooding and extreme downpours in urban areas. The river flooding concerned the city of Pori (Satakunta in the model runs) and the extreme downpours the city of Helsinki (Uusimaa in the model runs). For the river flooding cases annual probabilities of 2% and 0.4% (from now on R50 and R250 according to the return times) were chosen based on data from earlier studies. For the extreme downpour annual probabilities of 10% and 1% (from now on R10 and R100 according to the return times) were chosen based on a statistical review of extreme rainfall in Southern Finland. Damage estimates were based on earlier studies and actual case reviews.

The total direct damage in Pori is estimated to amount to approximately € 115 million for the R50 case and € 335 million for the R250 case. For Helsinki, the direct damage is estimated at € 26 million for the R10 case and € 110 million for the R100 case. In addition the flooded areas suffer from limited access for some time ranging from four weeks (R10) to twelve weeks (R100 and R250), which causes extra costs due to production interruptions and delays.

The induced impact on the regional economy of a smaller event like the R10 extreme downpour in Helsinki is hardly noticeable, notwithstanding the significant direct damage. For the other – larger – events the regional GDP goes down by 0.9% (Helsinki R100) and 1.7% (Pori R250) in the first year after the event. Yet, the recovery sets in and after ten years the difference with the simulated GDP level in absence of an extreme event diminishes significantly (table S1 below). Interestingly, the national impact of an extreme event with a given amount of direct damage in Pori causes less national economic impact than the same sized event would cause in the Helsinki area. This underlines the significance of the economic structure and national integration of a region with respect to the induced macroeconomic impacts.

The different economic structure and the different initial conditions in the regional economies (e.g. more unemployment in Pori/Satakunta) have their influence on the eventual recovery in the regions. Especially in Satakunta the regional economy shows signs of getting less capital intensive, while employment improves, thereby hinting at a somewhat more service oriented economy.

In the default cases of the model simulations, the direct damage is compensated by the sectors themselves, and no external support is given. In addition to these default cases, three alternative compensation options were studied:

- 1) full compensation of capital damage by a lump-sum state compensation;
- 2) full compensation of capital damage by insurance sector; and
- 3) compensation of capital damage by insurance sector but the state covers the losses to the insurance sector.

Table S1 shows a summary of the model simulation results. The table presents the levels of regional macroeconomic indicators in different compensation options compared with the baseline⁷ development ten years after the flood event. The state compensation option tends to have a positive effect on most, but not all, macroeconomic indicators in Pori/Satakunta, whereas in the Helsinki/Uusimaa case the difference with the default option is much smaller and mainly negative. As the compensation is not earmarked in the calculations it is leaking to all kinds of expenditures and not exclusively tied to repair efforts. In the insurance case this condition is however assumed, implying that the repair boom starts to overheat parts of the economy, thereby driving up costs for

⁷ The baseline describes the economic development in the case that no flood or any other extreme event occurs.

all investments. As a consequence the eventual macroeconomic results are clearly worse than in the default and state options. The mixed state-insurance option results in equally worsening effects.

Table S1. Levels of key regional macroeconomic indicators as percentage deviations from the baseline development (without an extreme event), ten years after the event.

Helsinki metropolitan area (Uusimaa province)	R100 Default	R100 State compensation	R100 Insurance	R100 State + Insurance
GDP	-0.04%	-0.05%	-0.14%	-0.19%
Capital stock	-0.14%	-0.15%	-0.21%	-0.21%
Employment	0.03%	0.01%	-0.07%	-0.12%
Investments	0.71%	0.72%	-0.85%	-0.83%
Private consumption	0.00%	0.00%	-0.06%	-0.10%
Import	0.10%	0.10%	-0.15%	-0.20%
Export	-0.07%	-0.13%	-0.11%	-0.31%

Pori (Satakunta province)	R250 Default	R250 State compensation	R250 Insurance	R250 State + Insurance
GDP	-0.21%	-0.15%	-1.78%	-2.00%
Capital stock	-1.96%	-2.02%	-1.88%	-2.00%
Employment	0.67%	0.75%	-1.27%	-1.56%
Investments	19.20%	20.72%	-29.22%	-29.43%
Private consumption	-0.80%	-0.47%	-0.96%	-1.04%
Import	1.14%	1.34%	-2.32%	-2.60%
Export	-0.87%	-1.02%	-0.51%	-1.14%

The lesson is that repair booms should be well managed in order to avoid or at least minimise their adverse effects. In this case managing may mean attempts to spread out the extra demand for labour and material over a larger supply area as well as trying to be selective in the scheduling of repairs. It should also be realised that quick repair may lead to lower quality, whereas staggered repair may entail opportunities to use up-to-date technologies instead of straightforward replacement.

The total induced macroeconomic loss (or gain) can be approximated by aggregating the differences from the baseline over a certain period. In this case ten years is applied. By comparing the resulting discounted sums with the initial damage in year 1 a so-called induced economic impact multiplier can be defined. Figure S2 shows the cumulative multiplier profiles for a period of ten years for the default cases. A discount rate of 5% is used. In this case multipliers for the entire Finnish economy are used. According to these results, the original damage is at least multiplied by 2 in terms of the induced cumulated economic damage. These figures should not be added to each other, as they represent stock and flow effects respectively. The key function of Helsinki metropolitan area in the national economy seems to lead to higher multipliers than in the Pori case, even though not necessarily as high as shown in these explorative results. Yet, in terms of pondering vulnerability reducing investments in adaptation planning the exercise shows that it makes sense to also consider the (estimated) induced macroeconomic effects. This will probably mostly result in lower thresholds for adaptation investments.

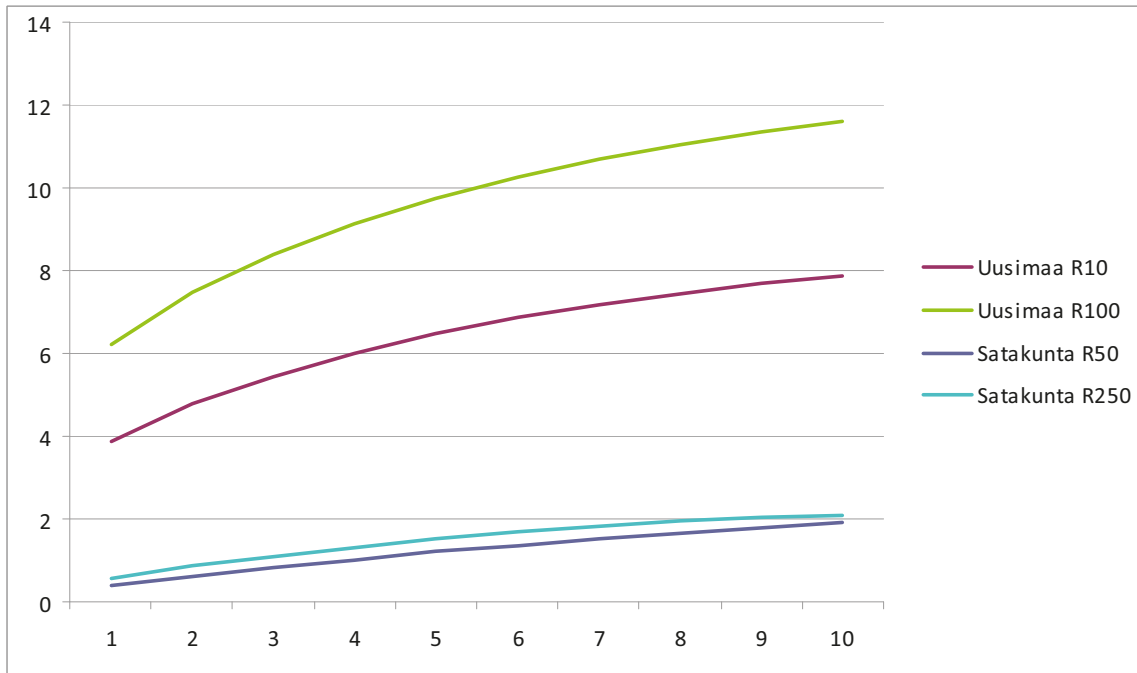


Figure S2. Temporal cumulative profiles of induced economic impact multipliers for the default cases. The multipliers are calculated from the discounted sums of the differences from the baseline over a 10-year period. A discount rate of 5% is used.

If the residence services from homes temporarily degrade because of a flood, the welfare experienced by the affected consumers decreases. This loss of welfare is obviously the driver behind the repair boom. On the other hand, the model results tell us that an – understandable – urge for quick repair comes at the cost of slightly less growth in welfare in the future. Practical experience however shows that from the consumers' point of view a quick repair is the best option. Yet, according to the model simulations, this kind of repair boom would be disadvantageous in comparison with options with a moderate repair timetable. Thus, the production based indicators of the model simulations do not sufficiently account for the loss of welfare of consumers.

Feedback from the deliberations

The stakeholder representatives regarded the extended event tree approach overall as interesting and potentially useful, provided that practical application aspects are sufficiently taken into account. The extension of the impact analysis regarding induced economic effects was considered by most participants as an important and useful addition to the decision making in local or regional adaptation planning. A general concern was, however, that such an extension should not complicate planning assessments and procedures. It is also essential to report induced economic effects in a comprehensible and transparent manner, *and* in conjunction with other effects such as effects on public health and the environment.

Many participants had reservations with respect to the possibilities to use a differentiated approach regarding imposition of land use limitations in flood prone areas. A differentiated approach would mean that in areas with limited flood risks (e.g. terms of water depth and health hazard) some activities and building could be allowed, provided the investors understand the risks and are willing and able to take appropriate precautions (protection, insurance, etc.). It was feared that in practice this may lead to conflicts on division of responsibilities, notably after damage would have occurred.

On the other hand abundant use of strict land use limitations may lead to a less favourable spatial lay-out of urban areas, which in turn may have adverse sustainability effects.

As regards the funding of damage compensation, the damaged parties' own responsibility was placed first. Compensation options, from the state and/or insurances should focus on more exceptional and high cost events. In particular insurances are also expected to incite risk reducing behaviour, e.g. premium reductions for real estate owners that invest in solutions reducing vulnerability. In this way, the so-called moral hazard⁸ effects could be minimized. Yet, adverse selection may remain a problem for insurances, if insurance is more likely taken by parties with a higher than average risk of being exposed to harm. Therefore sufficient information on the spatial distribution of specific hazards is important.

All were of the opinion that transparency on the spatial distribution of risks, regardless of natural or manmade hazards, and good access to such information for public and private decision makers (including households) is important. It was recognised that so-called integrated multi-risk assessment at local or regional levels is still at its infant stages. The Internet based risk mapping approaches in Belgium and the Netherlands provide indication of promising development options. If good risk information is available and accessible, the damaged parties' own responsibility can be more easily promoted as the prime policy approach while reducing the need for state support. In this respect it can already be mentioned that the economic model simulations indicated that extensive reliance on insurance may be less efficient from a macroeconomic perspective. However, this also depends on accompanying disaster relief measures.

Unanimity also existed regarding the notion that prevention should generally be regarded as the first option. Adaptation planning and the consideration of climate change reinforced hazards should be based on comprehensive planning, and should avoid a too narrow spatial or sectoral focus. For example, river flood risk management should for a start consider the entire river basin. Similarly adaptation planning in urban areas should involve all municipalities over which the urban area stretches out.

In relation to flood risk planning and urban planning it was also recognised that urban areas tend to get ever more covered with hard surfaces, which greatly affects the handling of storm water and exacerbates local flood risks in extreme downpour situations. Recent research and experiments abroad indicate that an intelligent use of ecosystem services, notably water retention potential, of urban green areas can simultaneously contribute to lower costs for storm water treatment and higher amenity value, compared with conventional sewer engineering dominated approaches.

Conclusions

The assessments indicated that even fairly common extreme downpours (annual occurrence probability 10%) can cause notable local damage in urban areas of millions of euros. More extreme downpours and river flooding events (annual occurrence probability 1% or lower) may cause truly substantial amounts of damage, even surpassing € 100 million per event.

⁸ Moral hazard occurs, for example, if risks are transferred to the insurance company by an insurance contract, and this transfer of the risks changes the behaviour of the insured party compared with the situation where the insured party is fully responsible for the risks.

The direct damage caused by extreme weather events reverberates through the regional and national economy. On the basis of preliminary assessments, a crude guideline is that the direct cost can be easily doubled in terms of overall macroeconomic impact and the more dominant the affected region is in the national economy the higher this multiplier effect can get. Also the state and structure of the regional economy at the time of the disaster affect the recovery trajectory. The direct damage and macro-economic effects should not be added to each other, as they represent stock and flow effects respectively.

This study assessed on single extreme events. For the understanding of the societal vulnerability of a region an integrated understanding of all hazards, and their possible interaction effects, is necessary. When also considering the previously mentioned impacts of economic structure and condition (including economic and demographic growth rates) it should be obvious that planning for climate change adaptation and related hazards should be carried out in conjunction with other strategic planning, i.e. regarding sectors, infrastructure, urban planning, rather than being a separate exercise.

The model simulation results are production based indicators and in the special circumstances of disasters do not (sufficiently) account for the loss of welfare of consumers, who effectively are consuming – at least for some time – degraded residence services from their homes. This loss of welfare is obviously the driver behind the repair boom, usually observed soon after a disaster. On the other hand, the model results tell us that an – understandable – urge for quick repair comes at the cost of slightly less growth in welfare in the future.

The lesson is that repair booms should be well managed in order to avoid or at least minimise their adverse effects. Managing in this case means among others attempting to spread out the extra demand for labour and material over a larger supply area, promoting market functioning by providing available alternative supplier information, and trying to be selective in the scheduling of repairs. It should also be realised that quick repair may lead to lower quality, whereas staggered repair may entail opportunities to use up-to-date technologies instead of straightforward replacement.

In terms of pondering vulnerability reducing investments in adaptation planning the exercise shows that it makes sense to also consider the (estimated) induced macroeconomic effects. This will probably mostly result in lower thresholds for adaptation investments.

The extended event tree is a suitable decision-making tool for adaptation planning but it still needs development work before it could be widely implemented. For example, geographic information systems should be utilized (e.g. interactive risk maps) and some implementation examples should be provided.

The increasing use of the extended event tree could both be cost-effective and improve the quality of decisions, but this requires the creation of a database to support the use of the event tree. The database should contain default values based on previous surveys, directions for methods, and comments and tips from other users.

In addition to database creation and use, methods and incentives are needed that further the learning process of implementing the extended event tree and other approaches. For example, an Internet portal and courses to decision-makers could lower the threshold for the introduction of new methods. Similar ideas are also mentioned in the initiative to establish a Clearing House Mechanism Initiative by EU (Commission of the European Communities 2009).

The macroeconomic simulations with different compensation options of natural disaster damages are methodologically challenging. For the time being models can capture only a part of the impacts. For example, the indicated ineffectiveness of the insurance option from the macroeconomic perspective must be more carefully studied.

At a more theoretical level, the study also illustrates some inadequacies in the underlying assumptions of the economic model baseline. In its present form, the baseline gives a too positive picture of the expected development of the economy because it is not sufficiently taken into account that all economies are vulnerable to various risks, some of which are inevitably realized over a long period. This shortcoming becomes apparent especially if alternative climate change adaptation plans are compared, since the different adaptation measures should affect the baseline development differently.

1. Johdanto

Ilmastonmuutoksen seurauksena tietyt äärimmäiset sääilmiöt voimistunevat ajan myötä (Jylhä ym., 2009). Niiden vaikutusten kustannuksia samoin kuin ilmastonmuutoksen sopeutumistoimenpiteiden kustannuksia on toistaiseksi selvitetty hyvin vähän. Päätöksentekijät kuitenkin tarvitsevat näitä tietoja lähitulevaisuudessa. Tämän tutkimuksen tavoitteena on luoda hyvä pohja johdonmukaista mutta mahdollisimman yksinkertaista kustannus–hyötyanalyysia varten.

Ääri-ilmiöiden talousvaikutusten arviointi koostuu kahdesta pääosasta: ääri-ilmiöiden ja niiden seurauksien todennäköisyyksien arvioimisesta sekä välittömien ja välillisten kustannusten arvioinnista. Taloudellisen mallin avulla voidaan tutkia tilannetta, jossa jokin ääri-ilmiö toteutuu. Mallinnuksen syöttötietoina käytetään arvioituja välittömiä vaikutuksia, ja tulokseksi saadaan arvio kokonaistaloudellisista vaikutuksista. Tässä tutkimuksessa alueellisena tasapainomallina käytettiin Valtion taloudellisen tutkimuskeskuksen kehittämää VERM-aluemallia (ks. luku 3). Lisäksi otettiin huomioon tutkitun ääri-ilmiön toistumisaika tai vuotuinen todennäköisyys⁹, jotta riski¹⁰ eli vahingon odotusarvo saatiin selvitettyä. Tässä tutkimuksessa ns. tapahtumapuumalliin yhdistetään alueellisen tasapainomallin tuloksia. Tällaisen yhdistelmän avulla voidaan periaatteessa esittää ääri-ilmiöiden erilaisien, tapahtuman kulusta riippuvien seurauksien todennäköisyydet, seurauksien välittömät kustannukset ja seurauksien välilliset kustannukset eli kokonaistaloudelliset vaikutukset. Tarvittaessa yhdistelmään voidaan lisätä muita vaikutuksia, esimerkiksi kansanterveysvaikutukset ja ympäristövaikutukset.

Tutkimuksessa selvitettiin edellä kuvatun yhdistelmän toimivuutta tapaustutkimuksien avulla. Tieteellisten ja mallitekniisten vaatimusten lisäksi on oleellista, että yhdistelmä palvelee eri käyttäjäryhmien tarpeita. Tästä syystä yhdistelmää ja sen kehitystyötä arvioitiin kolmessa eri asiantuntijaistunnossa. Asiantuntijaistuntoihin osallistui valtion, alueellisten ja kunnallisten viranomaisten sekä muutaman toimialan edustajia. Yhdistelmän soveltaminen tapaustutkimuksiin antoi myös mahdollisuuden alustavasti arvioida sen käyttökelpoisuutta todellisissa tilanteissa. Liitteessä A on esitetty tutkimuksen rakenne, kulku ja aikataulu.

Raportti koostuu seitsemästä luvusta ja useista liitteistä. Luvussa 2 esitellään tapahtumapuumenettely ja pohditaan sen soveltuvuutta äärimmäisten sääilmiöiden vaikutuksiin liittyvään kustannus–hyötyanalyysiin mm. hankkeessa pidetystä työpajasta saadun palautteen valossa. Luvussa 3 selvitetään lyhyesti, millaisia taloudellisia vaikutuksia äärimmäisten sääilmiöiden seurauksena voi esiintyä ja miten alueellinen tasapainomalli toimii. Lisäksi pohditaan alueellisen tasapainomallin tuloksien käyttökelpoisuutta (paikallisen) sopeutumispolitiikan valmisteluvaiheessa. Luvussa 4 esitetään tapaustutkimuksien määrittely, tulokset ja tulkinta sekä vaikutusten vähentämiseen tähtääviin vastatoimenpiteisiin liittyvä kustannus–hyötyanalyysi. Luvussa 5 käsitellään asiantuntijaistunnoissa saatua palautetta mm. tulvariskien hallinnasta ja vastatoimenpiteiden valinnasta. Luvussa 6 pohditaan lyhyesti yhdistelmän soveltuvuutta, kehitystarpeita ja toimintaympäristön ja muiden apuvälineiden merkitystä. Luvussa 7 listataan johtopäätökset ja suositukset.

⁹ Jos ilmiön toistumisaika on esimerkiksi 50 vuotta, sen vuotuinen todennäköisyys on 2 %. Laissa ja asetuksessa tulvariskien hallinnasta on käytetty tulvan vuotuista todennäköisyyttä, koska se kuvaa paremmin tulvaennustuksiin liittyvää epävarmuutta ja sillä voidaan ottaa huomioon ilmastonmuutoksen ennustetut vaikutukset tulevaisuudessa. Tässä tutkimuksessa käytetään kuitenkin pääsääntöisesti termiä toistumisaika.

¹⁰ tässä riski = vahingon odotusarvo = todennäköisyys x vaikutus

2. Tapahtumapuun Periaate ja soveltaminen

Tutkimuksen yhtenä tavoitteena oli arvioida tapahtumapuun (Event Tree) käyttökelpoisuutta vaikutusketjun mallintamisessa. Tapahtumapuun laadittiin esivaiheessa generiseksi sekä toimialan että äärimmäisen sääilmiön suhteen. Asiantuntijaistunnoissa tapahtumapuuta testattiin muutaman toimialan tulvasuojelun tarpeiden osalta. Testaus tarkoittaa tässä sitä, että toimialojen asiantuntijat arvioivat sekä tapahtumapuun rakennetta että siihen liittyvien todennäköisyysparametrien määrittelyä. Testaaminen tehtiin ThinkTank-ryhmätyöohjelmaa hyödyntäen. Asiantuntijat saivat esittää näkemyksensä samanaikaisesti ja pystyivät kommentoimaan toistensa esittämiä arvioita. Testauksen tuloksena saatiin indikaatioita siitä, kuinka generiseksi tapahtumapuumalli voidaan laatia, jotta se edelleen voi toimia lähtökohtana eri sovelluksissa. Mallin soveltaminen riippuu paitsi ääri-ilmiöstä myös kohteena olevasta teknistaloudellisesta järjestelmästä.

2.1 Tapahtumapuun vaikutusketjujen mallinnuksessa

Tutkimuksen lähtökohtana oli arvioida minkä tahansa sään ääri-ilmiön teknistaloudellisia vaikutuksia. Tutkimuksen alussa todettiin erityisen ajankohtaiseksi Suomen tulvatapahtumat ja niihin varautuminen. Vaikka seuraavassa tapahtumapuuta kehitetään tulvatapahtuman pohjalta, voidaan tapahtumapuuta soveltaa myös monille muille sään ääri-ilmiöille, esimerkiksi poikkeuksellisille lumisateille, pakkasille tai helteille.

Kuva 1 esittää asiantuntijaistunnoissa käsiteltyä ja niiden perusteella kehitettyä generistä tapahtumapuuta, jossa alkutapahtumana on vesistöihin tai hulevesiin liittyvä tulvatapahtuma, jonka vaikutuksia halutaan analysoida sekä välittömien että kokonaistaloudellisten vaikutusten suhteen. Taloudellisten vaikutusten lisäksi tapahtumapuuhun voidaan liittää myös muita seurauksia kuten terveysvaikutukset, sosiaaliset vaikutukset ja vaikutukset luontoarvoihin. Seuraavassa keskitytään välittömien ja kokonaistaloudellisten vaikutusten analysointiin. Näiden vaikutusten yhteismitallistaminen edellä mainittuihin muihin vaikutuksiin voidaan toteuttaa päätösanalyttisin keinoin (ks. esim. Molarius ym. 2008).

Mallinnusta toteutettaessa tapahtumapuun *alkutapahtumaksi* määritellään jokin äärimmäinen säätapauhtuma tai siitä aiheutuva äärimmäinen luonnossa esiintyvä tapahtuma. Esimerkiksi tulvatarkastelussa alkutapahtumaksi valitaan tulva, jonka voimakkuus ylittää mitoitustulvan tai muun tarkasteltavan kohteen kannalta relevantin tulvatason.

Alkutapahtumaa seuraavat vaiheet kuvaavat *esteitä* tai *vastatoimenpiteitä* (E1–E5), joiden tarkoituksena on pysäyttää alkutapahtuman vaikutusten eskaloituminen. Mitä aikaisemmin haittavaikutusten eteneminen saadaan estettyä, sitä alhaisemmat ovat vahinkokustannukset. Seuraukset mitataan yleensä välittöminä taloudellisina tappioina, jolloin vastatoimenpiteiden kustannus-hyötyanalyysi rajoittuu käytännössä välittömiin kustannusvaikutuksiin. Kokonaistaloudellisissa tarkasteluissa (ks. luku 3) pyritään kuitenkin ottamaan huomioon myös välilliset vaikutukset sekä vahingoittuneen talousalueen taloudellinen toipuminen. Oleellista tapahtumapuumallin soveltamisessa on yksilöidä olemassa olevien ja suunnittelun alla olevien esteiden kaikki ne tekniset ja organisatoriset tekijät, jotka hillitsevät vaikutuksen etenemistä.

Vain harvasta esteestä voidaan sanoa, että se toimii täysin varmasti tietyssä tilanteessa. Tätä esteen toimintaan liittyvää epävarmuutta käsitellään tapahtumapuussa siten, että määritellään vastatoimenpiteen tulos kaksitasoisena: *onnistuu* tai *epäonnistuu*. Tämä näkyy tapahtumapuun kaksihaaraisuutena.

Koska vastatoimenpiteiden onnistumistodennäköisyydet eivät yleensä ole tilastoista johdettavia, on käytännössä tehtävä asiantuntija-arvioita. Poikkeuksen muodostavat vastatoimenpiteet, jotka ovat yleisesti käytössä, kuten tilojen sprinklerisysteemit, ylijännitesuojat jne., joiden toiminnasta on mm. vakuutusyhtiöillä mittavat tilastot. Onnistumistodennäköisyyksien määrittelyä asiantuntija-arvioin voidaan tukea esimerkiksi viisiportaisella todennäköisyysasteikolla. Asiantuntijaistunnossa esitetty todennäköisyysasteikko on taulukossa 1.

Taulukko 1. Viisiportainen todennäköisyysasteikko vastatoimenpiteiden ja esteiden onnistumistodennäköisyyksien arvioimiseksi.

Onnistumistodennäköisyys	
0–5 %	erittäin epätodennäköinen
5–35 %	epätodennäköinen
35–65 %	fifty-fifty
65–95 %	todennäköinen
95–100 %	erittäin todennäköinen

Mikäli esteiden toimintaa kuvataan tapahtumapuussa siten, että esteen toimiessa edetään haarautumiskohdassa pitkin ylempää haaraa, kuten kuvassa 1, niin tällöin pahinta tapausta ("kauhuskenaario") kuvaa tapahtumapuun alin polku. Jokaisella polulla on oma esiintymistodennäköisyytensä ehdolla, että alkutapahtuma on toteutunut. Kuvan 1 esimerkkitapauksessa voidaan tunnistaa kuusi eri tulvan aiheuttamaa tapahtumaketjua, joista ylin edustaa seurauksiltaan lievintä tapausta ja muut alenevassa järjestyksessä vakavampia tapauksia.

Vahinkokustannusten kasvu ei ole lineaarista skenaarioiden vakavuuden suhteen, vaan pikemminkin eksponentiaalista. Useimmiten tavallinen kansalainen huomaa vaikutuksia vasta, jos peruspalveluiden tuotanto keskeytyy pitkäksi ajaksi (vaihe E5).

Kuvassa 1 esitetyt esteet E1–E5 hillitsevät tarkasteltavan mitoitustulvan (Q_R) ylittävien tulvien aiheuttamia vahinkoja. Todennäköisyysparametrit p_1 – p_5 kuvaavat vastaavasti esteiden E1–E5 toimimisen todennäköisyyttä. Esteiden toiminnan onnistuminen riippuu usein myös tulvan kestoajasta: esteen toiminnan pettäminen on sitä todennäköisempää, mitä kauemmin tulva kestää. Tulvan kestoa voidaan arvioida esimerkiksi neliportaisen aika-asteikon avulla (taulukko 2). Esteen toimivuutta voidaan sitten arvioida erikestoissa tulvatilanteissa. Tämän tarkastelun avulla voidaan saada kokonaisarvio tarkasteltavan esteen toimivuuden todennäköisyydestä.

Taulukko 2. Esimerkki tulvan keston ja esteen i toimimistodennäköisyyden arvioimisesta tulvan kestoa kuvaavan aika-asteikon avulla. Esteen i toimimisen todennäköisyys saadaan tulojen summana toisen ja kolmannen sarakkeen arvoista. Esimerkin tapauksessa $p_i = 50 \% \times 100 \% + 50 \% \times 50 \% = 75 \%$.

Aika-asteikko	Tulvan kesto	Todennäköisyys sille, että este i toimii
< pari tuntia	50 %	100 %
< vuorokausi	50 %	50 %
< viikko	0 %	0 %
< kuukausi	0 %	0 %
Esteen i toimimisen todennäköisyys p_i		75 %

2.1.1 Tapahtumapuun vaiheiden tai esteiden kuvaus

E1: Tulvavesien pidätys/ohjaus toimii

Tämän rakenteellisen esteen avulla pystytään pidättämään ja ohjaamaan tulvavesiä hallitusti. Rakenteellinen este voi olla esimerkiksi tulvavalli, pato, tekoallas tai imeytyskenttä, jolle tulvavedet voidaan ohjata vahinkoja aiheuttamatta. Tällaiset esteet on usein mitoitettu tietyn suuruisille tulville. Jos sattuva tulva on mitoitusta suurempi tai jos pidätys/ohjaus ei jostain muusta syystä onnistu (esim. rakenteen ennakoimaton hajoaminen), tulvavesien pidätys/ohjaus epäonnistuu. Tulvavesien ohjauksen onnistumisen todennäköisyys joudutaan käytännössä arviomaan. Todennäköisyysparametri p_1 kuvaa tulvavesien pidätyksen/ohjauksen onnistumisen todennäköisyyttä siinä tilanteessa, että tulva sattuu.

E2: Tulva-alueella ei kriittistä toimintaa

Aluesuunnittelulla ja kaavoituksella voidaan oleellisesti vaikuttaa tulvalle altistuvien kohteiden määrään ja laatuun. Kustannus–hyötyanalyysin kannalta voidaan tehdä yksinkertaistavia oletuksia sen mukaan, onko tulvavaara-alueella kriittistä toimintaa vai ei. Esimerkiksi puistoalue, veneiden säilytysalue tai urheilukenttä ei ole kriittinen kohde. Mikäli alueella on suuri määrä asuin- tai toimistotiloja, on tilanne toinen. Todennäköisyysparametri p_2 kuvaa ehdollista¹¹ todennäköisyyttä tilanteelle, jossa tulvivalla alueella ei ole kriittistä toimintaa. Käytännössä on usein epävarmuutta siitä, minne tulvavedet ajautuvat tai ovatko kohteet kriittisiä.

E3: Rakennusten suojaus toimii

Rakennusteknisillä ratkaisuilla voidaan vaikuttaa tulvan haittavaikutuksiin. Mikäli kellaritaso on vesieristetty ja läpiviennit tiivistetty huolella, voidaan olettaa, että kohde säilyy ilman vesivahinkoja vaarantumisestaan huolimatta. Epävarmuus suojauksen tehosta on yksinkertaisimmillaan mallinnettavissa kaksihaaraisena tulemana *toimii / ei toimi*. Rakennusten suojauksen toimimisen ehdollista¹² todennäköisyyttä kuvaa todennäköisyysparametri p_3 .

E4: Pelastustoiminnan onnistuminen

Mikäli aiemmat esteet eivät ole onnistuneet hillitsemään tulvavesien etenemistä, on pelastustoimen tehtävänä suojata tulvavesille altistuvia kohteita, mahdollisesti kohteita priorisoiden. Suojelun tehokkuuteen vaikuttavat henkilökunnan osaaminen, välineistö, yhteistyö kohteen omistajien/haltijoiden kanssa, olosuhteet jne. Pelastustoiminnan onnistumisen ehdollista¹³ todennäköisyyttä kuvataan todennäköisyysparametrilla p_4 .

E5: Palvelun/toimitusketjun häiriöttömyys

Palvelun/toimitusketjun rakenteesta riippuu, miten tulvan kesto vaikuttaa tuotantomerenetyksiin. Mikäli tulvalle altistunut kohde on esimerkiksi raaka-aine- tai puolivalmisteverasto, voidaan mahdollisesti toimittaa korvaavaa materiaalia muualta, eikä oleellisia toimitushäiriötä synny kuin vasta pitkittyneen tulvan sattuessa. Häiriöttömyyttä voidaan kuvata vastaavanlaisella aika-asteikolla kuin edellä (taulukko 2). Toimitushäiriön kesto riippuneepälineaarisesti tulvan kestosta: on oletettavaa, että tulvan kestolla on kynnyksarvo, jonka jälkeen toimitushäiriötä saattaa esiintyä. Epävarmuus voidaan esittää %-jakaumana aikaluokkien yli. Välittömät vahingot riippuvat siitä, kuinka pitkäksi häiriö muodostuu. Taulukossa 3 on esitetty tulvan keston, häiriöttömyyden ehdollisen¹⁴ todennäköisyyden p_5 ja häiriön keston arvioimista aika-asteikon avulla.

¹¹ ehto: tulva sattuu ja E1 ei toimi

¹² ehto: tulva sattuu ja E1, E2 eivät toimi

¹³ ehto: tulva sattuu ja E1–E3 eivät toimi

¹⁴ ehto: tulva sattuu ja E1–E4 eivät toimi

Taulukko 3. Esimerkki tulvan keston, häiriöttömyyden todennäköisyyden ja häiriön keston arvioimisesta aika-asteikon avulla.

Aika-asteikko	Tulvan kesto	Häiriöttömyyden todennäköisyys	Mahdollisen häiriön kesto
< pari tuntia	50 %	100 %	100 %
< vuorokausi	50 %	50 %	0 %
< viikko	0 %	0 %	0 %
< kuukausi	0 %	0 %	0 %
Häiriöttömyyden todennäköisyys p₅		75 %	

2.1.2 Välittömien ja välillisten kustannuksien esittäminen

Kuvassa 1 on tarkasteltu kolmea erilaisissa olosuhteissa sattuvaa tulvatapahtumaa kuvitteellisessa esimerkkitilanteessa:

- 1) tulvatapahtumaa HQ , jonka vuotuinen todennäköisyys on 2 % (toistumisaika 50 vuotta eli $HQ > Q_{50}$) nykyilmastossa ilman tulvasuojelun lisätoimenpiteitä (lihavoitu fontti),
- 2) tulvatapahtumaa HQ , jonka vuotuinen todennäköisyys on 10 % (toistumisaika 10 vuotta eli $HQ > Q_{10}$) ilmastossa vuonna 2025 ilman tulvasuojelun lisätoimenpiteitä (kursivoitu fontti) sekä
- 3) tulvatapahtumaa HQ , jonka vuotuinen todennäköisyys on 10 % (toistumisaika 10 vuotta eli $HQ > Q_{10}$) ilmastossa vuonna 2025 yhdellä tulvasuojelun lisätoimenpiteellä (alleviivattu fontti).

Ilmastonmuutoksen vaikutus näkyy siten, että nykyilmastossa keskimäärin kerran 50 vuodessa sattuvan tulvan $HQ > Q_{50}$ oletetaan vastaavan vuonna 2025 enää keskimäärin kerran 10 vuodessa sattuvaa tulvaa $HQ > Q_{10}$. Näin ollen alkuperäisen Q_{50} tulvan vuotuinen ylittymistodennäköisyys $P(HQ > Q_R)$ olisi ilmastonmuutoksen vaikutuksesta kasvanut viisinkertaiseksi (2 % \rightarrow 10 %).

Jokaisen tulvan tapahtumapolun loppuun on liitetty arvio rahamääräisistä välittömistä kustannusvaikutuksista (kuva 1). Rahamäärät ovat asiantuntija-arvioita, jotka voidaan kuitenkin osittain tai jopa pääsääntöisesti perustaa tulvavahinkotilastoihin ja/tai aiemmin tehtyihin tutkimuksiin. Esimerkissä jokaisen polun päässä on kolme rahamäärää, jotka vastaavat tarkasteltuja kolmea erilaisissa olosuhteissa sattuvaa tulvatapahtumaa. Tapahtumapuussa esitetyt esteiden toimintavarmuutta kuvaavat haarautumistodennäköisyydet ja kustannukset edustavat tapauksia, joissa kustannusten odotusarvo on koko esimerkkitilanteen kustannusten odotusarvo. Todelliset arvot riippuvat siitä, kuinka paljon tarkasteltava mitoitustulva, esimerkiksi Q_{50} , ylittyy tulvatilanteessa.

Välillisiä kustannuksia eli alueen tai koko maan kokonaistaloudellisia vaikutuksia voidaan arvioida joko kokonaistaloudellisen mallin avulla (ks. luvut 3 ja 4) tai soveltamalla kokonaistaloudellisia vaikutuskertoimia (ks. luku 4.3.4). Jälkimmäinen lähestymistapa on helppo mutta epätarkka, ja sen käyttö edellyttää soveltuvan tietokannan olemassaoloa (luku 6.1).

Kustannus-hyötyanalyysissä verrataan eri toimintavaihtoehtojen kustannuksia ja niiden tuomia kustannusvähennyksiä eli hyötyjä. Aluksi tarkastellaan vain välittömiä kustannuksia. Tarkastelussa otetaan huomioon toisaalta tilanne ilman lisäsuojauksia (perusvaihtoehto) ja toisaalta vaihtoehtoja, joissa investoidaan suojauksen parantamiseen. Perusvaihtoehdon kustannuksien yhteenlaskettu

odotusarvo on eri tapahtumahaarojen odotusarvojen summa¹⁵. Eri investointivaihtoehtojen odotusarvot lasketaan samalla tavalla, mutta kokonaiskustannuksissa otetaan huomioon lisäksi investointikustannukset ja mahdolliset ylläpitokustannukset. Investointi tulee valita siten, että investointivaihtoehdon kustannusten odotusarvo on korkeintaan yhtä suuri kuin perusvaihtoehdossa¹⁶. Tällöin investoinnin hyödyt ovat vähintään yhtä suuret kuin siitä aiheutuvat kustannukset. Investoinneissa pitäisi pyrkiä kustannustehokkuuteen, toisin sanoen olisi investoitava siten, että investoitavat varat tuottavat mahdollisimman suuren hyödyn.

Välillisiä kustannuksia eli kokonaistaloudellisia vaikutuksia voidaan analysoida, kun välittömät kustannukset on selvitetty. Jos halutaan käsitellä välittömät ja välilliset kustannukset samalla tavalla, on tärkeää, että välilliset kustannukset esitetään sopivasti mitoitettuina, esimerkiksi alueellisen tai valtakunnallisen bruttokansantuotteen erotuksena perusurasta¹⁷ tietyssä ajanjaksossa (esimerkiksi 10 vuoden jakso tapahtuman jälkeen). Valitun ajanjakson bruttokansantuotteen (BKT) erotuksen odotusarvo sisältää myös välittömät kustannukset ja on yleensä pelkkiä välittömiä kustannuksia suurempi (luku 4.3.4), toisin sanoen välilliset kustannukset ovat yleensä suuremmat kuin välittömät kustannukset. Tämän takia välillisten kustannuksien huomioon ottaminen kustannus-hyötyanalyysissä muuttaa suuremmat investoinnit ja korkeamman suojeleasteen kannattaviksi.

Formaali tiivistelmä tapahtumapuun lähestymistavasta

Tulvatarkastelussa alkutapahtumaksi valitaan tulva, jonka voimakkuus ylittää mitoitustulvan tai muun tarkasteltavan kohteen kannalta relevantin tulvatason. Tätä mitoitustulvaa merkitään Q_R :llä, missä R viittaa tulvan toistumisaikaan. Oleellinen lähtötieto on vuotuisten maksimitulvien HQ ¹⁸ kumulatiivinen todennäköisyysjakauma, jonka perusteella vuotuinen Q_R :n ylittymistodennäköisyys $P(HQ > Q_R)$ estimoidaan. Alkutapahtumaksi voidaan määrittellä myös yhdistelmä tapahtuma, esimerkiksi meritulvan ja rankkasateen yhteistilanne. Tällaisen tilanteen tarkastelu edellyttää tarkasteltavien ääritapahtumien kumulatiivisten todennäköisyysjakaumien yhdistämistä.

Toistumisajalla (return period) R tarkoitetaan keskimääräistä aikaväliä tietyn suuruisten tulvatapahtumien välillä. Tietyn suuruinen tulva Q_R ylittyy keskimäärin kerran R :ssä vuodessa, eli sen vuotuinen ylittymistodennäköisyys (probability of exceedence) on $P(HQ > Q_R) = 1/R$. Joissain tilanteissa on olennaista keskittyä tarkastelemaan vain tietynä vuodenaikana, esimerkiksi talvella sattuvia tulvatapahtumia. Tällöin ylivirtaamien kumulatiivinen todennäköisyysjakauma määritetään talven ylivirtaamien perusteella.

Tapahtumapuun haarojen ehdolliset todennäköisyydet kertovat, millä todennäköisyydellä vastatoimenpide onnistuu tai epäonnistuu: $\Pr\{\text{”onnistuu”}\} = 1 - \Pr\{\text{”epäonnistuu”}\}$. Näin ollen molempien haarojen todennäköisyyksien määrittämiseksi riittää vain toisen haaran todennäköisyyden arviointi. Myös useamman kuin kahden vaihtoehdon tulemat ovat mahdollisia: vastatoimenpiteen tulos voi olla esimerkiksi: *onnistuu, onnistuu osittain* tai *epäonnistuu*. Useampaa

¹⁵ haaran 1 todennäköisyys x haaran 1 välittömät kustannukset + haaran 2 todennäköisyys x haaran 2 välittömät kustannukset + ... + haaran N todennäköisyys x haaran N välittömät kustannukset

¹⁶ Tässä on oletettu, että päätöksentekijä on riskineutraali, toisin sanoen tekee päätöksensä investointivaihtoehtojen odotusarvojen perusteella. Laskelmissa otetaan lisäksi huomioon diskonttaus, jonka avulla esimerkiksi 20 vuoden investoinnin tuottoja ja kustannuksia voidaan vertailla nykyrahassa. Investointikustannukset eivät välttämättä kasva lineaarisesti tulvan suuruuden funktiona: tietyn rajan yli mentäessä kustannusten kasvu saattaa joko vaimentua tai kiihtyä, paikallisista olosuhteista riippuen.

¹⁷ Perusura kuvaa BKT:n kehitystä siinä tapauksessa, että tulvaa tms. ääri-ilmiötä ei olisi sattunut.

¹⁸ Merkintä HQ viittaa ylivirtaamaan eli suurimpaan virtaamaan, mutta tulvan suuruutta voidaan kuvata myös vedenkorkeuden avulla.

tulemaa koskevat todennäköisyydet esitetään diskreettinä todennäköisyysjakaumana tulemien yli. Arviointityö kasvaa kaksikaaraiseen tapaukseen verrattuna huomattavasti.

Kustannus-hyötyanalyysi

Kustannustehokkuuden kriteeriksi voidaan asettaa seuraava ehto: *ääri-ilmion haittojen vähentämisestä koituvien välittömien kustannussäästöjen odotusarvon nykyarvon on oltava vähintään yhtä suuri kuin diskontattu investointi uusiin vastatoimenpiteisiin (riskineutraali päätöksentekijä)*. Investoinnin kannattavuuden ehto voidaan esittää muodollisesti yhtälön (1) mukaisesti:

$$T \cdot P(HQ > Q_R) \cdot (\bar{c}(a_0) - \bar{c}(a_I)) \geq c_I \quad (1)$$

$P(HQ > Q_R)$	alkutapahtuman vuotuinen todennäköisyys
T	tarkastelu-aika / investoinnin pitoaika vuosina
a_0, a_I	investointivaihtoehdot: a_0 – 'ei uutta investointia', a_I – 'uusi investointi'
$\bar{c}(\cdot)$	tapahtumapuulla laskettujen nettokustannusten odotusarvon nykyarvo ¹⁹ (huom. investointipäätökset vaikuttavat mm. haarautumistodennäköisyyksiin). $\bar{c}(\cdot)$ edustaa koko tarkastelujaksoa T . Todellisuudessa eri hetkinä sattuneiden alkutapahtumien kustannusten nykyarvo vaihtelee mm. diskonttauksen takia.
c_I	investointikustannusten nykyarvo

Odotusarvo viittaa tässä tapahtumapuun eri haaroissa realisoituvista kustannuksista laskettuun odotusarvoon. Kun tarkastellaan jaksoa T , otetaan lisäksi huomioon alkutapahtumien lukumäärän odotusarvo: kustannusten odotusarvo jaksolla T on siten $T \cdot P(HQ > Q_R) \cdot \bar{c}(\cdot)$.

Päätöksentekijän tekemät investoinnit näkyvät kannattavuuslaskelmassa tulvaskenaarioiden todennäköisyyksissä, jotka puolestaan vaikuttavat nettokustannusten odotusarvoon. Vaikka investointi kohdistuisi vain yhteen esteeseen tai vastatoimenpiteeseen, kaikki tapahtumapuun todennäköisyydet muuttuvat tästä vaiheesta eteenpäin.

Kannattavuustarkastelussa on edellä oletettu, että kyseessä oleva kohdejärjestelmä vastaa kriittisestä palvelusta eli on osa kriittistä infrastruktuuria tai tuotantoa. Tällaisille kohteille on luonnollista perinteinen investointianalyysi. Sen sijaan jos kohde on markkinahyödyke, kuten asuin- ja liikerakennuksista koostuva rakennus- tai kiinteistömassa, on investoinnin tuottama hyöty vaikeammin mitattavissa. Asuinalueen turvallisuustason paraneminen oletettavasti nostaa asuntojen markkinahintoja alueella, mutta euromääräinen arvo on spekulatiivinen. Tässä yhteydessä voidaan myös todeta, että kannattavuusehto toteutuu helpommin, jos kyseessä on riskiä karttava päätöksentekijä. Tällöin yhtälön (1) vasemmalle puolelle voidaan ajatella lisättävän positiivinen, päätöksentekijästä riippuva riskipremio²⁰, joka nopeuttaa investoinnin kannattavuusrajan ylittymistä. Käytännössä institutionaalista päätöksentekoa voidaan kuitenkin pitää riskineutraalina.

¹⁹ Odotusarvo viittaa tässä tapahtumapuun eri haaroissa realisoituvista kustannuksista laskettuun odotusarvoon. Kun tarkastellaan jaksoa T , otetaan lisäksi huomioon alkutapahtumien lukumäärän odotusarvo: kustannusten odotusarvo jaksolla T on siten $T \cdot P(HQ > Q_R) \cdot \bar{c}(\cdot)$.

²⁰ Riskipremio on se summa, jonka riskinkarttaja on valmis maksamaan siitä, että hänen kokemansa epävarmuus vähenee.

2.1.3 Tiivistelmä

Tässä luvussa arvioitiin tapahtumapuun käyttökelpoisuutta vaikutusketjun mallintamisessa. Tapahtumapuu laadittiin esivaiheessa generiseksi sekä toimialan että äärimmäisen sääilmion suhteen.

Mallinnusta toteutettaessa tapahtumapuun *alkutapahtumaksi* määritellään jokin äärimmäinen säätapahtuma tai siitä aiheutuva äärimmäinen luonnossa esiintyvä tapahtuma. Alkutapahtumaa seuraavat vaiheet kuvaavat *esteitä* tai *vastatoimenpiteitä*, joiden tarkoituksena on pysäyttää alkutapahtuman vaikutusten eskaloituminen. Vastatoimenpiteet eivät yleensä toimi täysin varmasti. Tätä epävarmuutta kuvataan vastatoimenpiteiden ehdollisilla²¹ onnistumistodennäköisyyksillä, jotka ovat useimmiten asiantuntija-arvioita. Tulvan kestoaika on usein olennainen paitsi esteiden toiminnan onnistumisen myös seurausvaikutusten kannalta.

Kustannus–hyötyanalyysissä verrataan eri investointivaihtoehtojen kustannuksia ja niiden tuomia kustannusvähennyksiä eli hyötyjä. Investointi tulee valita siten, että investoinnin hyödyt ovat vähintään yhtä suuret kuin siitä aiheutuvat kustannukset. Koska välilliset kustannukset ovat yleensä suuremmat kuin välittömät kustannukset, niiden huomioon ottaminen muuttaa suuremmat investoinnit ja korkeamman suojeleasteen kannattaviksi.

Taloudellisten vaikutusten lisäksi tapahtumapuuhun voidaan liittää myös muita seurauksia kuten terveysvaikutukset, sosiaaliset vaikutukset ja vaikutukset luontoarvoihin.

2.2 Asiantuntijoiden antama palaute tapahtumapuumallista

Tapahtumapuumallin hyödyntämispotentiaalista kerättiin kommentteja kolmessa asiantuntija-istunnossa, jotka toteutettiin ThinkTank-ryhmätöyohjelman avulla. Liitteessä D on luetteloitu istuntoihin osallistuneet asiantuntijat ja liitteessä E on esitetty istuntojen ohjelmat. Ensimmäisessä istunnossa asiantuntijat jaettiin neljään ryhmään asiantuntijoiden taustan ja kiinnostuksen mukaan:

Ryhmä 1 rakennukset/kiinteistöt

Ryhmä 2 energia- ja teleinfrastruktuuri

Ryhmä 3 vesihuolto

Ryhmä 4 muut

Tässä luvussa esitellään asiantuntijoiden antama palaute tapahtumapuumallista ja yleisesti käsittelyssä olleesta tulvavaaratilanteesta.

2.2.1 Tapahtumapuun vaihe

Tulvatapahtuma

Osallistujat nostivat esiin, että päätöksenteon kannalta oleelliset toistumisajat riippuvat ennen kaikkea päätöksenteon aikajänteestä, vahinkopotentiaalista ja halutusta suojaustasosta. On myös seurattava ilmastonmuutoksen vaikutuksia, koska ilmastonmuutos saattaa muuttaa tietyn suuruisia tulvia useammin toistuviksi. Päätösten pohjaksi haluttiin lisäksi aikasarjoja tulvien esiintymisestä. Toisaalta kaivattiin myös määrittelyjä hyväksyttävälle jäännösriskille. Joissakin tapauksissa taas infrastruktuurin kannalta on oleellisinta tietoa siitä, millainen toistumisaika esimerkiksi kahden metrin tulvalla on tarkasteltavassa kohteessa.

Itse tulvatapahtuman määrittämiseksi kaivattiin tietoja sekä tulvan todennäköisyyksistä että seurauksista. Asiantuntijat arvioivat, että tulvatapahtuman määrittämiseksi tarvitaan hyviä

²¹ ehto: tulva sattuu ja edeltävät esteet eivät toimi

tulvakarttoja sekä tietoja haavoittuvien toimintojen sijainnista ja niiden korkeuksista²². Lisäksi tarvitaan arvioita tulvan kestoista ja nousunopeudesta²³.

Tulvavesien pidätyslohjaus (E1)

Tulvavesien pidätys riippuu tulvatyyppistä ja suojattavasta kohteesta. Lisäksi tulvavesien pidätykseen vaikuttavat ennaltaehkäisevät toimet. Vesistötulvissa oleellista on koko vesistöalueen huomioon ottaminen. Onnistuneella säännöstelyllä voidaan tehokkaasti ehkäistä tulvia.

Asiantuntijat toivoivat lisää säädöksiä varmistamaan tulvarakenteiden toimivuus. Ennakointi on tärkeää: jos tulvasta saadaan varoitus riittävän aikaisin, ehditään tehdä tarvittavat suojaukset.

Osa mitoituserusteista tulee erilaisten säädösten ja ohjeistusten kautta. Mitoituserusteita peilataan tapahtuman toistuvuuteen, mahdollisen vahingon suuruuteen ja vahingon sietokykyyn sekä vahingosta aiheutuviin taloudellisiin riskeihin ja henkilöriskeihin. Mitoitukseen vaikuttavat vahingon suuruuden lisäksi mm. teknistaloudelliset realiteetit. Haasteena ovat mm. olemassa olevat vanhat rakenteet, joiden sijoitus, mitoitus ja kunto eivät välttämättä ole riittäviä ja joiden uusiminen ei ole lyhyellä aikataululla mahdollista.

Epävarmuutta syntyy paitsi siitä, että ympäristön tilaa tai sen muutosta ei tunneta täsmällisesti, myös infrastruktuuriin ja laitteistoon liittyvistä mahdollisista häiriöistä. Esimerkiksi erilaisia veden kulkua rajoittavia esteitä ei välttämättä tunneta täsmällisesti, ja ne saattavat muuttua ajan kuluessa (esim. tiepenger). Ylipäättään veden kulkureitit ovat tulvan noustessa usein tuntemattomia. Virtaamien säännöstelyjen arvioinnissa epävarmuutta tuo oikea ajoittaminen, koska tulvan suuruutta tai sateen todellista rankkuutta on vaikea arvioida. Lisäksi ennen toteutumattomien tapahtumien ennakointi on hankalaa.

Ennakoimattomia ovat myös vanhojen rakenteiden kunto tai infrastruktuurin piilevät viat sekä muut tekniset toimintahäiriöt, kuten esimerkiksi viemärien tukkeutuminen. Lisäksi esimerkiksi varavoiman toimivuus/riittävyys tuo epävarmuutta.

Kriittiset toiminnot (E2)

Rakennukset/kiinteistöt-ryhmä katsoi kriittiseen infrastruktuuriin kuuluviksi sairaalat, terveyskeskukset, pelastuslaitokset, päiväkodit, vanhainkodit yms. Lisäksi mukaan luettiin vaarallisia aineita käyttävät kohteet. Energia- ja telepuolella kriittiset kohteet määritellään runkoverkon solmukohtien perusteella. Määrittelyyn vaikuttavat mm. Viestintäviraston vaatimukset asiakasvaikutuksen mukaan. Liikenteen osalta tärkeitä ovat keskeiset solmukohdat ja väylät sekä eroosiolle alttiit kohteet. Sähköverkon kannalta kriittisiä ovat kaikki veden alle jäävät jännitteiset osat kaapeleita lukuun ottamatta. Tunneleiden osalta kriittiset kohteet pääosin tunnetaan.

Kriittisten kohteiden määrittelyssä voidaan käyttää hyödyksi rakennus- ja huoneistorekisterin rakennustyyppitietoja²⁴. Kriittisiä kohteita voidaan tunnistaa myös vanhojen onnettomuustietojen ja vakuutustietojen perusteella. Kriittisten kohteiden tunnistamisessa käytetään apuna myös

²² Tulvakarttoja on saatavilla Internetistä osoitteesta <http://www.ymparisto.fi/tulvakartat>. Tulvakarttojen perusteella voidaan jonkin verran arvioida tulville alttiita kohteita.

²³ Tulvan kestoa ja nousunopeutta on erittäin vaikeaa arvioida etukäteen. Sadanta- ja valuntamalleilla ennustaminen on kuitenkin mahdollista lyhyellä aikajänteellä. Tulvan nousunopeus riippuu vesitilanteen lisäksi mm. jäätilanteesta.

²⁴ Rakennus- ja huoneistorekisteri ei sisällä rakennusten perustamistason tai alimman lattiatason tietoja, ja myös tiedot kellareista ovat vajaita. Käytännössä rakennuksen sijainti rakennus- ja huoneistorekisterissä eroaa jonkin verran todellisesta sijainnista. Lisäksi korkeusmallin tarkkuus aiheuttaa epätarkkuutta, mutta laserkeilauksen myötä tarkkuus kuitenkin paranee noin tasoon +/-30 cm. (Antti Parjanne, henkilökohtainen tiedonanto 5.8.2010)

tulvakarttoja, joita täydennetään rakennekohtaisilla mittauksilla ja arvioimalla tulvan vaikutuksia. Lisäksi tulvariskikartat ovat tärkeitä. Esiin nostettiin myös, että on olemassa yllättäviä kohteita, joissa poikkeukselliset ilmiöt voivat aiheuttaa vaaraa.

Kriittisten kohteiden operoijia on ohjeistettu tulvan varalta. Rakennukset/kiinteistöt-ryhmän mukaan kriittisille toimintoille on tehty pelastussuunnitelmat. Vesihuolto-ryhmä kertoi, että kriittisten kohteiden operoijille on annettu tiedot kriittisistä tulvakorkeuksista, joten he voivat itse seurata vesitilanteen kehittymistä ja ryhtyä tarvittaessa suojaustoimenpiteisiin.

Energia- ja teleinfrastrukturiryhmän mukaan kriittisissä kohteissa on panostettu varmistettuihin valvontajärjestelmiin. Kiinteistöhuollosta vastaaville toimijoille on annettu ohjeistukset turvautua ennaltaehkäiseviin toimenpiteisiin sekä tehostaa tarvittaessa mm. vedenpoistoa ylimääräisillä pumpuilla.

Eri alueiden haavoittuvuuden vertailussa tulee vastaajien mielestä nostaa etusijalle yhteiskunnan kannalta merkitykselliset alueet, kuten asutus- ja teollisuusalueet, sekä alueet, joilla sijaitsevat yhteiskunnan kannalta merkittävät toiminnot ja on suuri vahinkopotentiaali. Riskien alueellinen arviointi on tässä tarpeen. Vahinkopotentiaalia arvioitaessa on otettava mukaan myös muita kuin taloudellisia ja yhteiskunnan kannalta tärkeitä vaikutuksia. Alueiden vertailussa tulisi hyödyntää konkreettisia tietoja, esimerkiksi mahdollisen tulvariskialueen alueella olevien asukkaiden, asuntojen, kerrosalan, teollisuuden jne. määriä. Tulvakartoitusten lisäksi voidaan hyödyntää mm. vahinkofunktioita, erilaisia indikaattoreita tai tunnuslukuja kuvaamaan riskipotentiaalia.

Haavoittuvuuden vertailua ei pidetty yksinkertaisena asiana, sillä esimerkiksi rankkasadetulvien aiheuttamien mahdollisten vahinkojen vertailu on vaikeaa johtuen sateiden paikallisuudesta ja vaikeasta ennustettavuudesta pitkällä aikavälillä. Rankkasadetulvariskiä lisää kaupunkialueiden tiivistyvä rakentaminen, jolloin riski voi toteutua aiemmin riskittömänä pidetyllä alueella. Myös maankäytön ohjauksen ja kaavoituksen pitäisi tunnistaa riskialueet.

Toimialojen haavoittuvuustarkastelussa tulisi ottaa huomioon, miten yhteiskunta on kokonaisuudessaan varautunut riskiin ja miten sen kriittiset rakenteet kestävät häiriön. Vastaajat totesivat, että toimialojen tulee olla itse aktiivisia ja omatoimisia tulvariskien tunnistamisessa ja niihin varautumisessa. Todettiin, että tässä hankkeessa alustavasti kehitettävä työkalu voi olla siinä apuna.

Laitoskohtaisissa tarkasteluissa yleensä oletetaan, että kriittinen infrastruktuuri toimii häiriötilanteessa. Tarkasteluissa tulisi kuitenkin ottaa huomioon myös tietyn hyödykkeen, esimerkiksi sähkön ja veden, saatavuuden merkitys ja mahdollisista häiriöistä aiheutuvat seuraukset, esimerkiksi mahdollinen kemikaalivuoto.

Rakennusten suojaus (E3)

Rakennukset/kiinteistöt-ryhmän mukaan rakennustekniikkaa ei hyödynnetä riittävästi: rakennusten suojaaminen on heikkoa, eikä tulva-alueilla kiinnitetä tarpeeksi huomiota rakennusmateriaaleihin. Rakennusten perustamiskorkeuteen tulisi kiinnittää nykyistä enemmän huomiota.

Energiapuolella rakennustekniikassa otetaan huomioon laitteistojen herkkyys vedelle ja pyritään hyödyntämään kehittyvää automaatiota sekä tehokasta valvontaa. Vesihuoltoryhmä kommentoi, että tulvalle alttiit rakenteet suojataan huolellisesti ja suojausjärjestelmien toimivuutta testataan säännöllisesti. Tulvalle alttiille rakennuksen osille (kellarit) ei sijoiteta haavoittuvaa tekniikkaa.

Pelastustoiminta (E4)

Akuuttien tulvavahinkojen torjuntatoimien kannalta tärkeintä on kansalaisten turvallisuuden varmistaminen. Rakennukset/kiinteistöt-ryhmä arveli, että kohteiden pelastaminen tulvalta onnistuu vain yksittäisissä tapauksissa, koska valmius siihen on kokonaisuudessaan heikko. Pelastustoimi on kuitenkin tehnyt suunnitelmat merkittävien kohteiden evakuoimiseksi, ja pelastusharjoituksia on pidetty. Yhteistoiminnassa eri toimijoiden kesken on parantamisen varaa²⁵.

Energia- ja teleinfrastruktuuriryhmän mukaan pelastustoiminnasta on viestintäviranomaisen yleisohjeistus. Pelastustoiminnan resursseja arvioitiin olevan hyvin käytössä, jos tilanne on oikein ennustettu ja pelastusorganisaatioille on voitu osoittaa kriittiset kohteet etukäteen.

Vesihuoltoryhmä arvioi, että pelastustoiminnan onnistumiseen vaikuttavat etenkin käytettävissä oleva veden varastointitilavuus (varastoaltaat) ja tulvan viivyttäminen. Pelastusviranomaisen hoitaa tehtävät kiireellisyysjärjestyksessä, mutta tulvantorjuntaan on yleensä riittänyt resursseja.

Ryhmä muut nosti esiin tarpeen tietopankista, josta selviäisi pelastustoimen ja ylipäänsä kaikkien muiden toimijoiden resurssivaraukset. Kaivattiin myös koko Suomen kattavaa tietopankkia ja asiantuntijaverkostoa tulvantorjuntakokemusten jakamiseksi.

Palvelu-/toimitusketjun häiriöttömyys (E5)

Seurausvaikutusten kannalta tulvan kesto on olennainen²⁶. Joskus seurausvaikutukset ilmenevät vasta, kun tulva on jo ohi.

Rakennukset/kiinteistöt-ryhmä totesi koko palvelu-/toimitusketjun (vaihe E5) olevan häiriöaltis. Ketjun katkeaminen saattaa aiheuttaa epäsuoria vaikutuksia yhteiskunnalle ja muille toimintoille. Sen sijaan energia- ja teleinfrastruktuuriryhmä arvioi ketjun olevan tietoliikenteen osalta paikallisesti haavoittuvainen, mutta maanlaajuisesti lähes haavoittumaton laajan maantieteellisen jakauman johdosta.

2.2.2 Tapahtumapuun parametrit ja kustannukset

Tapahtumapuun parametrit

Todennäköisyysasteikkoa (taulukko 1) pidettiin käyttökelpoisena. Sen sijaan tapahtumapuun aika-asteikkoa (taulukko 3) pidettiin toisaalta hyvänä mutta myös avautumattomana. Energia- ja teleinfrastruktuuriryhmä arvioi, että aika-asteikon alkupäässä voitaisiin käyttää lyhyempiä aikoja, esimerkiksi yksi tunti. Toisaalta toivottiin, että asteikon rinnalla olisi jokin realistinen kuvaus seurauksineen, jotta asteikko olisi paremmin ymmärrettävä. Esitettiin, että aikaporrastus ottaisi huomioon myös vaikutusalueen. Vaihtoehtoisesti voitaisiin arvioida, kuinka suurta henkilömäärää tietyn pituinen häiriö koskettaa tai kuinka suuria taloudellisia tappioita häiriön eri kestot aiheuttavat.

Tulvan ja häiriön keston arviointiin liittyvä epävarmuus voidaan esittää (reuna)jakaumina jakamalla arvionvaraisesti 100 pistettä aika-asteikon eri tasoille. Asiantuntijat pitivät tätä menetelmää hyvänä.

²⁵ Merkittäviä tulvariskejä sisältävissä vesistöissä ja merialueilla viranomaisten yhteistyötä pyritään tiivistämään tulvariskien hallinnan lain ja asetuksen edellyttämän tulvaryhmän toiminnalla (Antti Parjanne, henkilökohtainen tiedonanto 5.8.2010).

²⁶ Myös tulvan nousunopeudella (ennakointi, evakuointi), virtausnopeudella (henkilöriski, rakennusten ja teiden sortuminen yms.), suolaisuudella (korroosioriski suurempi), ajankohdalla (esim. maatalousvahingot) ja saastuneisuudella (ympäristövahingot) voi olla merkitystä. Suomessa yleensä tulvan peittävyys ja vesisyvyys ovat merkittävimpiä tekijöitä. (Antti Parjanne, henkilökohtainen tiedonanto 5.8.2010)

Tapahtumapuun kustannukset

Tapahtumapuusta voi laskea tulvatapahtuman aiheuttamien kustannusten odotusarvon, ja sen avulla pystyy tarkastelemaan myös yksittäisessä tapahtumapolussa realisoituvia kustannuksia. Palautteen mukaan päätöksenteon kannalta merkittävimmät kustannukset riippuvat toimijasta. Eri tilanteissa taloudellinen vastuu siirtyy toimijalta toiselle, ja yksittäinen toimija saattaa tarkastella vain yhtä osaa puusta.

Pääsääntöisesti nähtiin, että tärkein määräävä kriteeri lienee kokonaiskustannusten odotusarvo yhteiskunnan kannalta, ja eri kustannusarvoja vertailemalla päästään kokonaistaloudellisesti parhaaseen lopputulokseen. Esiin nostettiin, että taloudellisten arvojen lisäksi on tärkeää huomioida kansalaisten turvallisuus- ja terveysriski. Lisäksi pitäisi selvittää, kenelle kustannukset kasaantuvat.

Tapahtumapuun parametrien ja kustannusten epävarmuus

Asiantuntijat olivat melko yksimielisiä siitä, että tapahtumapuussa tarvitaan jonkinlaista herkkyystarkastelua, esimerkiksi todennäköisyysjakaumia osoittamaan todennäköisyys- ja vahinkokustannusarvioiden epävarmuutta. Tästä olisi hyötyä erityisesti käytännön sovelluksissa, mutta myös mallin validoinnin ja uskottavuuden kannalta. Mallin käyttäjien olisi tärkeää tiedostaa epävarmuuksien suuruusluokat. Alkuvaiheessa kuitenkin riittäisi vain karkea arvio suuruusluokasta.

Asiantuntijat toivoivat herkkyysoanalyysia myös siitä, miten kokonaistaloudelliset vaikutukset kehittyisivät hieman erilaisilla todennäköisyyksillä. Lisäksi tulisi analysoida tulevaisuuden ilmastoon liittyvää tarkastelun epävarmuutta. Myös tapahtumapuun toimenpiteiden järjestyksen tai toimenpiteiden määrän vaikutuksia tuloksiin olisi hyvä havainnollistaa.

2.2.3 Tapahtumapuun laajennusosa

Tapahtumapuun laajennusosa (kuva 1) liitti tapahtumapuuhun myös muita kuin taloudellisia vaikutuksia. Laajennusosa jakoi vastaajien mielipiteitä voimakkaasti. Osa katsoi, että laajennusosassa mahdollistetaan vaikutusten erittely ja se on tarpeellinen, perusteltu ja ymmärrettävä. Etenkin toivottiin, että vaikutusanalyyseissa voitaisiin eritellä vaikutukset seurausten kärsijöille ja kustannusten maksajille. Laajennusosan otsikoinnit eivät saaneet välitöntä hyväksyntää, ja niiden ymmärrettävyyteen täytyy kiinnittää huomiota.

Osa vastaajista arvioi, että laajennusosa on monimutkainen, keskeneräinen ja vaatii kehittämistä. Menetelmän arveltiin menevän numeerisen kustannus-hyötyanalyysin ulkopuolelle, jolloin sosiaalisten vaikutusten arvottaminen nousee ongelmaksi. Toisaalta nostettiin esiin, että tärkeämpää kuin numeeriset arvot on se, että tapahtumapuun kautta päättäjät ymmärtävät, miten riskit syntyvät ja miten eri tekijät niihin vaikuttavat.

2.2.4 Tapahtumapuun sovellettavuus

Tapahtumapuun arvioitiin olevan kokonaisuudessaan käyttökelpoinen tapa tulvariskin arviointiin, eikä sen käytölle nähty olevan merkittäviä käytännön esteitä. Tapahtumapuun arvioitiin kuitenkin tarvitsevan yli organisaatorajojen menevää tarkastelua. Tapahtumapuu voitaisiin räätälöidä riskityyppi- tai aluekohtaisesti.

Jotta tapahtumapuuanalyysi olisi mielekäs, puun laatimisessa tulisi käyttää monipuolisesti eri asiantuntijoita. Vastaajat olivat lähes yhtä mieltä siitä, että tapahtumapuun haarojen todennäköisyydet tulee määrittää asiantuntijoiden avulla ja lisäksi käyttäen historiatietoja ja tilastoja ym. olemassa olevaa tutkittua tietoa tilanteesta. Tapahtumapuun laatiminen kannattaisi tehdä vaiheittain: ensin tehdään tapahtumaketju ja sitten eri istunnossa todennäköisyydet. Tehtävää tulisi

rajata myös siten, että eri sovelluskohteet käsiteltäisiin erikseen. Asiantuntijat arvioivat, että ryhmätyön tukijärjestelmästä (esim. ThinkTank) voisi olla hyötyä tapahtumapuun määrittämisessä.

Mielenkiintoinen havainto oli se, että toimenpiteiden järjestys tapahtumapuussa vaikuttaa lopputulokseen. Siksi toimenpiteiden järjestys tulisi miettiä tarkkaan ja tulisi miettiä, olisiko joissain tapauksissa järkevää laatia samalle tapahtumalle erilliset tapahtumapuumallit, joissa toimenpiteet olisivat eri järjestyksessä. Myös vaihtoehtoisten toimenpiteiden käyttämistä tapahtumapuussa tulisi kokeilla mallin epävarmuuksien haarukoimiseksi.

Menetelmän riskiksi nostettiin, että yhdelle tulvatilanteelle voi tulla kymmeniä tai satoja mahdollisia eri tapahtumaketjuja, ja lisäksi erilaiset tulvatilanteet voivat aiheuttaa samalle kohteelle erilaisia seurauksia. Menetelmää pyydettiin testaamaan vielä konkreettisesti case-tarkastelussa, jolloin päästäisiin yksityiskohtaisempaan tarkasteluun.

Asiantuntijat toivoivat, että yhdistelmä tapahtumien riskien arvioimiseksi voitaisiin kehittää oma lähestymistapansa. Tämä ottaisi huomioon erilaiset tulviin liittyvät äärimmäiset ilmiöt, jotka varsin pienillä todennäköisyyksillä tapahtuvat yhtä aikaa.

3. Sään ääri-ilmiöiden kokonaistaloudelliset vaikutukset ja niiden arviointi

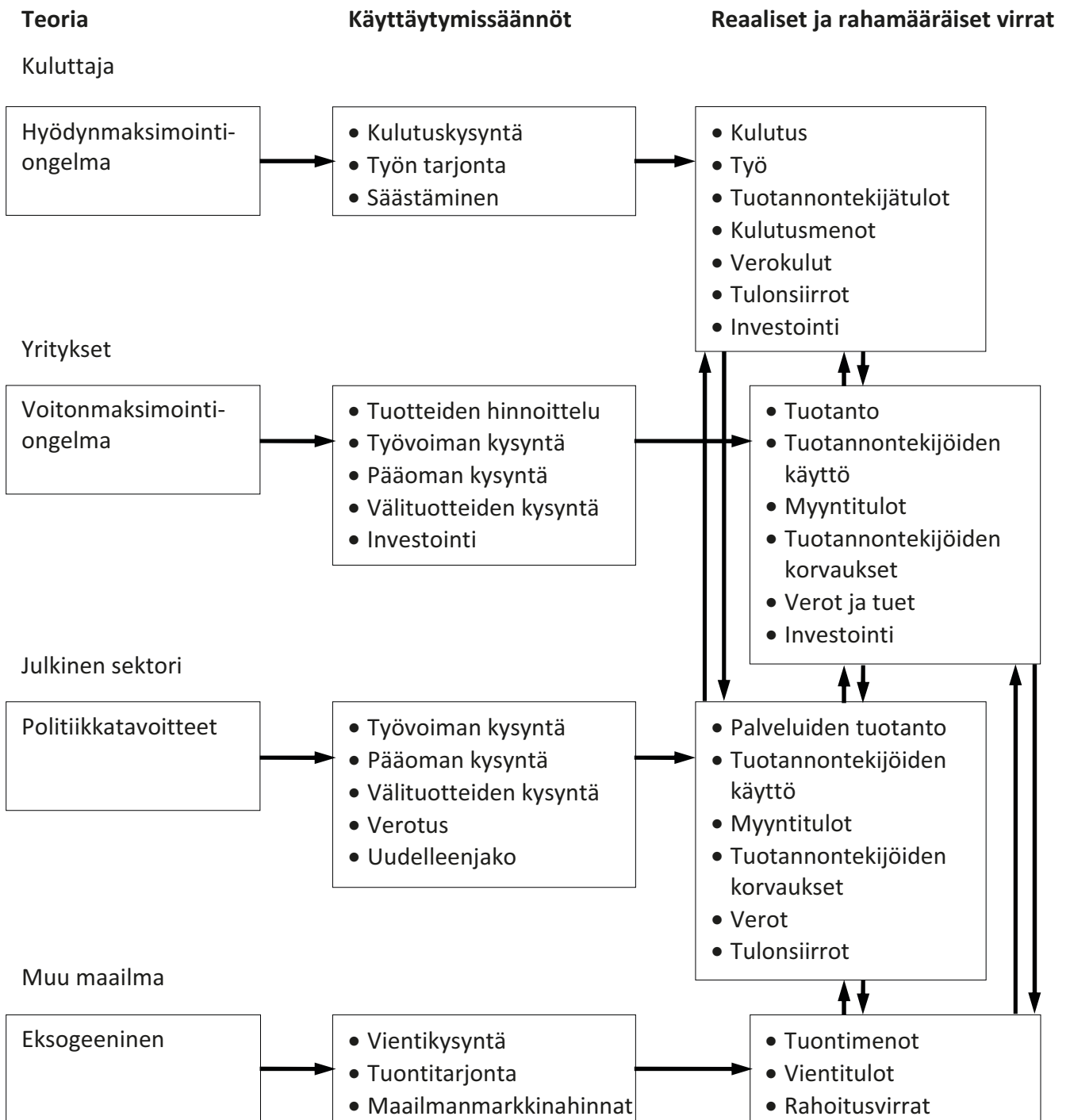
3.1 Ääri-ilmiöiden vaikutuksien taloudellinen mallinnus

Historiallisten tietojen ja paikkatietopohjaisten simulointimallien ansiosta ääri-ilmiöiden välittömien kustannuksien etukäteisarviointi voidaan suorittaa kohtuullisen hyvällä tarkkuudella. Toisaalta luonnonkatastrofien aiheuttamien *kokonaistaloudellisten* vaikutusten etukäteisarviointi on vaikeaa, sillä välittömien vaikutusten lisäksi tulisi pystyä arvioimaan myös lukuisat epäsuorat vaikutukset, jotka heijastuvat läpi koko kansantalouden. Toteutuneiden ääri-ilmiöiden kokonaistaloudellisia vaikutuksia on tähän mennessä tutkittu melko vähän. Myös luonnonkatastrofien kokonaistaloudellisten vaikutuksien etukäteisarviointi on ollut vähäistä, ja tutkimusta on alettu tehdä enemmän vasta aivan viime vuosina. Talousteorian näkökulmasta ääri-ilmiöiden vaikutukset ovat hyvin epätavallisia, ja siksi niiden kuvaaminen taloudellisissa malleissa ei ole aivan ongelmattonta. Esimerkiksi ääri-ilmiön aiheuttaman äkillisen pääoman tuhon jälkeen usein havaittu nopea pääoman korjaaminen ei pohjaudu kannattavuuden maksimointiin. Mallin tulisi myös pystyä erottamaan riittävästi erilaisia toimialoja. Alueellinen ulottuvuus on myös tärkeä, sillä luonnonkatastrofi iskee yleensä vain yhteen alueeseen. On olemassa myös pelkästään tätä tarkoitusta varten kehitettyjä taloustieteellisiä malleja (Steenge ja Bočkarjova 2007; Hallegatte 2005). Näillä malleilla on kuitenkin omat heikkoutensa, eivätkä ne ole helposti sovellettavissa Suomeen: malleissa sovelletut menetelmät ovat melko harvoin käytettyjä, joten tarvittavien perustietojen löytäminen ja mallien validointi Suomen talousolosuhteisiin olisi hankalaa.

Yleisen tasapainon mallien käyttö on muodostunut tärkeimmäksi tavaksi arvioida kokonaistaloudellisia vaikutuksia. Nämä mallit perustuvat tuotannon, kulutuksen ja julkisen sektorin yksityiskohtaisiin kuvauksiin. Malleissa oletetaan, että niin kuluttajat kuin yrityksetkin toimivat rationaalisesti. Kuluttajien ja yritysten valinnat kuvataan optimointiongelmina, joiden ratkaisuna saadaan erilaisten tuotteiden kulutuskysyntä tai vaikkapa työvoiman ja investointien kysyntä. Kaikki markkinat (hyödyke- ja panosmarkkinat) ovat tasapainossa (kysyntä on yhtä suuri kuin tarjonta), ja tasapaino saavutetaan suhteellisten hintojen muutosten kautta.

Malleilla voidaan tuottaa rahamääräisiä arvioita niin tarkoituksellisten politiikkatoimien kuin satunnaisilmiöidenkin, kuten esimerkiksi luonnonkatastrofien, aiheuttamista seurauksista. Tulvasta toipumisen arviointi puolestaan edellyttää yli ajan tarkastelua. Skenaariokäytössä mallin avulla voidaan tarkastella erilaisten rakenteellisten tekijöiden yli ajan tapahtuvan muutoksen aikaansaamaa kasvua ja tuotanto- ja kulutusrakenteen muutosta. Varsinaisista ennustemalleista tasapainomalleissa ei ole kysymys, vaan ne pikemminkin mahdollistavat erilaisia rakenteellisia tekijöitä koskevien ennusteiden ja näkemysten yhdistämisen johdonmukaisiksi kokonaistaloudellisiksi skenaarioiksi.

Talouden kuvauksen perustana malleissa on tietokanta, joka kuvaa talouden toimijoiden välisiä taloustoimia ja kunkin toimijan joko välituotteisiin tai lopputuotteisiin kohdistuvaa kysyntää. Tyypillinen toimialatietokanta on panos–tuotos-taulu, joka määrittelee talouden toimijoiden keskinäisen vaihdannan yhden vuoden aikana. Tämän lisäksi on määriteltävä tulojen lähteet ja saajat talouden eri sektoreilla. Esimerkiksi palkkatulojen lähteenä ovat yritykset ja julkinen sektori ja saajana kotitaloudet. Tällaisia tietoja panos–tuotos-aineisto ei sisällä, vaan ne on kerättävä muista lähteistä. Perustaltaan malli on suuri joukko kuluttajan ja yrityksen teoriasta johdettuja käyttäytymissääntöjä, kysyntä- ja tarjontafunktioita, jotka kattavat kaikki markkinat, niin tuotteet kuin tuotantotekijätkin, sekä kysynnän ja tarjonnan ja tulojen ja menojen kohdentumista koskevia tasapainoehtoja. Mallin rakentamista ja siinä esiintyviä vuorovaikutuksia havainnollistaa kuva 2.



Kuva 2. Yleisen tasapainon mallin rakenne (Honkatukia 2009).

Tässä hankkeessa tutkittiin tulvavahinkojen aiheuttamia kokonaistaloudellisia vaikutuksia dynaamisen yleisen tasapainon mallin avulla. Käytetty malli on Valtion taloudellisessa tutkimuslaitoksessa kehitetty VERM-aluemalli, jossa on kuvattuna 20 Suomen maakuntaa 46 toimialan jaolla. VERM on aito aluemalli, jossa kukin maakunta on kuvattu omalla alueellisella

mallillaan maakuntien linkittyessä toisiinsa tavaroiden ja tuotannontekijöiden välisin kauppavirroin. VERM-malli on aluelajennus VATTAGE-mallista, joka on kuvattu tarkemmin julkaisussa Honkatukia (2009). Tässä kuitenkin esitellään mallin peruseriaatteet lyhyesti.

Mallilla tehtävät arviot perustuvat tietokantaan ja talouden toimintaa kuvaavaan matemaattiseen malliin. Tyypillinen toimialatietokanta on panos–tuotos-taulu, joka määrittelee talouden toimijoiden keskinäisen vaihdannan yhden vuoden aikana. Tämän lisäksi on määriteltävä tulojen lähteet ja saajat talouden eri sektoreilla. Esimerkiksi palkkatulojen lähteenä ovat yritykset ja julkinen sektori ja saajana kotitaloudet. Tällaisia tietoja panos–tuotos-aineisto ei sisällä, vaan ne on kerättävä muista lähteistä.

Mallin tietokanta rakentuu koko maan tasolla hyvin yksityiskohtaisten tarjonta- ja käyttötaulukkojen pohjalle, joita on täydennetty kattavalla julkisten sektorien ja muun muassa vaihtotaseen kuvauksilla. Esimerkiksi aluetasolla aineisto on käytettävissä noin 100 hyödykkeen ja toimialan tasolla. Käytännössä aineisto aggregoidaan muutaman kymmenen hyödykkeen ja toimialan tasolle, mutta laajaa tausta-aineistoa voidaan erityiskysymyksissä aina hyödyntää myös tarkemman tason analyysissä. Tyypillisessä toimiala-aggregoinnissa pyritään säilyttämään esimerkiksi metsäteollisuuden keskeisten tuotelinjojen erilliset kuvaukset niiden suuren merkityksen vuoksi. Palvelujen osalta malli mahdollistaa julkisen ja yksityisen palvelutuotannon erillisen tarkastelun, joskaan tätä ominaisuutta ei ole toistaiseksi täysin hyödynnetty. Aluetasolla mallin aineisto kattaa lähtökohtaisesti maakuntatason, mutta erityissovelluksia varten tietokantaa voidaan hyödyntää myös seutukuntatasolla.

Mallin tietoaineistot ovat Tilastokeskuksen tuottamia. Yleisen tasapainon malleissa otetaan huomioon kaikki taloudellinen toiminta, joka vaikuttaa talouden eri toimijoiden väliseen vuorovaikutukseen. Vastaavasti kansantalouden tilinpito on tilinpitokehikko, jossa pyritään kuvaamaan koko kansantalous käsitteellisesti yhtenäisenä kokonaisuutena (ESA95 1996). Kansantalouden tilinpito on myös eräänlainen malli, jossa yleisesti määriteltyjen periaatteiden mukaan erilaiset taloudelliset tapahtumat, transaktiot, määritellään ja luokitellaan yhtenäisellä tavalla (Bos 2003, 51). Koska kansantalouden tilinpidolla ja numeerisilla yleisen tasapainon malleilla on selvästi yhtäläisyyksiä, kansantalouden tilinpito on käytännöllinen aineistokehikko ja luonnollinen lähtökohta yleisen tasapainon malleilla tehtäville tarkasteluille.

Malli jakautuu pääpiirteissään kuvan 2 mukaisesti teoreettisiin osiin, joissa kuvataan talouden toimijoiden käyttäytyminen. Toisen osan muodostavat tasapainoehdot, minkä lisäksi malli käsittää suurehkon määrän erilaisia simulointitulosten analyysia helpottavia raportointimuuttujia.

Kuluttaja kuvataan mallissa hyödynmaksimoijana, jonka hyvinvoinnin muutoksia mitataan kulutuksen kautta. Mallissa kulutuksen oletetaan seuraavan lineaarista menojärjestelmää²⁷, jonka joustoparametrit on estimoitu aikasarja-aineiston perusteella. Menojärjestelmän budjettiosuudet määräytyvät suoraan Tilastokeskuksen tarjonta- ja käyttötaulukkojen perusteella. Kuluttajan valintaa rajoittavat tuotannontekijätulot ja julkiselle sektorille maksetut verot sekä julkiselta sektorilta saadut tulonsiirrot. Kuluttajan säästöt kohdentuvat sekä kotimaisiin että ulkomaisiin vaateisiin²⁸, joiden osalta tietokanta kattaa toteutuneen historian useiden vuosien ajalta.

²⁷ Lineaarinen menojärjestelmä on yleisen tasapainon malleissa yleinen tapa kuvata kuluttajan käyttäytymistä. Siinä hyödykkeiden kulutus jaetaan ylläpito- ja ylellisyyskulutukseen. Hyödykkeillä on ylläpitokulutuksen määräämä vähimmäistaso, jonka täytyy täytyä joka tilanteessa. Ylläpitokulutuksen ylittävässä ylellisyyskulutuksessa hyödykkeet ovat joustavasti korvattavissa toisillaan.

²⁸ Kotimaiset ja ulkomaiset lainat, joilla investoinnit on rahoitettu.

Yritykset kuvataan voitonmaksimoijina, jotka toimivat vakioskaalatuottojen ja täydellisen kilpailun mukaisesti. Tuotantofunktiot noudattavat yleisen tasapainon malleissa yleisesti käytössä olevaa useampitasoista rakennetta, jossa välituotekäyttö muodostaa oman osansa. Tässä osassa suhteelliset hinnat eivät vaikuta eri panosten kysyntään, mutta primaarituotannontekijöiden välinen substituuatio on mahdollista. Mallissa oletetaan lisäksi, että energiahyödykkeet ja primaarituotannontekijät ovat korvattavissa keskenään. Pääoman ja työpanoksen väliseksi substituuatiojoustoksi on mallissa oletettu kirjallisuuden perusteella 0,5 (Jalava ym. 2005). Energiapanosten ja primaarituotannontekijöiden välinen substituuatiojousto noudattaa kansainvälisellä aineistolla tehtyä arviota (Badri ja Walmsley 2008). Tuotannontekijöinä mallissa ovat pääoma ja työvoima sekä maatalousmaa.

Investoinnit määräytyvät mallissa pääoman tuottoasteen mukaisesti. Investoinnit ohjautuvat niille toimialoille, joilla pääoman tuoton odotetaan olevan kasvussa. Pitkällä aikavälillä investointien tuoton odotetaan kuitenkin noudattavan trendiä, mikä tarkoittaa sitä, että (efektiivisen) työpanoksen ja pääoman suhde on pitkällä tähtäimellä vakio. Investointihyödykkeet on mallissa kuvattu toimialoittain kansantalouden tilinpidosta saatavien investointi- ja hyödyketietojen perusteella.

Julkinen sektori on VATTAGE- ja VERM-malleissa kuvattu varsin kattavasti. Julkista kysyntää on mahdollista tarkastella valtion, kuntasektorin ja sosiaaliturvarahastojen osalta erikseen, minkä lisäksi jokaisen sektorin keräämät verot ja maksut sekä verotuksen kautta maksetut tuet on mallinnettu erikseen. Malli kattaa myös tulonsiirrot julkisen ja yksityisen sektorin välillä sekä kuntasektorin, rahastojen ja valtion välillä. Tästä syystä erilaisten julkisen sektorin tilaa kuvaavien alijäämäkäsitteiden käyttö on mahdollista. Julkisen sektorin mallinnus perustuu kansantalouden tilinpitoon ja osittain sen lähdeaineistoihin. Julkisen sektorin menokehitystä voidaan kuvata eri tavoin, mutta pääpiirteissään menot riippuvat julkispalvelujen kysyntään vaikuttavien eri väestöryhmien kasvusta. Malli arvioi kustannuskehityksen julkispalveluja tuottavilla toimialoilla, kun taas siirtomenot voidaan esimerkiksi kytkeä hinta- ja palkkakehitykseen tai niitä voidaan kohdella päätösmuuttujina.

Sekä VATTAGE- että VERM-mallien keskeinen piirre on julkisten rahavirtojen kiertokulun yksityiskohtainen kuvaus. VATTAGE-mallissa julkisen sektorin tuloja ja menoja sekä niiden välisen eron vaikutuksia valtion velkaan on tarkasteltu erikseen koskien kolmea eri julkista alasektoria: keskushallintoa, paikallishallintoa ja sosiaaliturvarahastoja. VERM-mallia varten vastaavat tiedot on laskettu erikseen koskien jokaista maakuntaa niin, että sektoreiden ja alueiden väliset transaktiot tulee huomioida.

Koska tuotantoa kuitenkin tarkastellaan yksityiskohtaisen toimialarakenteen avulla ja koska julkisten tuotteiden tuotanto keskittyy pääasiassa muutamille toimialoille (esimerkiksi terveydenhuoltopalvelut, sosiaaliturvapalvelut jne.), on suurin osa julkisten palvelujen tuotannosta helposti identifioitavissa tarkastelemalla panos–tuotos-taulujen toimialarakennetta.

Muun maailman osalta VATTAGE-malli rajoittuu tarkastelemaan vientiä ja tuontia EU-maihin ja EU:n ulkopuoliseen maailmaan. Ulkomaankaupan lisäksi tietokanta käsittää maksutaseen. Sekä kotitalouksien että julkisen sektorin vaateet ja vastuut ulkomaille on mallinnettu eksplisiittisesti, samoin ulkomaisten omistukset Suomessa. Finanssi-investoinnit eivät ole mallin kannalta keskeinen kiinnostuksen kohde, mutta niillä on merkitystä hyvinvointivaikutusten arvioinnissa, jos esimerkiksi osa suomalaisyrityksiä koskevista vaikutuksista valuu ulkomaille. VERM-mallissa ulkomaankaupan tarkastelua ei ole jaettu EU-maiden ja EU:n ulkopuolisten maiden välillä.

Mallin **dynamiikkaan** liittyy kaksi keskeistä piirrettä. Ensimmäinen näistä koskee investointeja fyysiseen pääomaan ja arvopapereihin, toinen puolestaan palkkojen määräytymistä. Investoinnit jakautuvat toimialojen välillä pääoman odotetussa tuotossa tapahtuvien muutosten mukaisesti. Odotuksien sopeutumisen voidaan joko olettaa olevan hidasta tai sitten malli voidaan ratkaista rationaalisin odotuksin. Rahoitusvaateilla on siinä mielessä tärkeä osa mallin dynamiikassa, että ne kuvaavat talouden eri sektorien ja koko kansantalouden varallisuuden kehitystä. Palkkojen osalta malli mahdollistaa useita eri lähestymistapoja, joista yksi olettaa reaali-palkkojen jäykkyyden yli ajan. Reaali-palkkojen sopeutumisvauhti onkin yksi keskeisiä talouden sopeutumiseen vaikuttavia tekijöitä.

Mallin avulla voidaan arvioida, kuinka tulvatapaus vaikuttaa alueen ja koko maan talouteen ja kuinka tulvan aiheuttamiin vahinkoihin pystytään ajan myötä sopeutumaan. Mallitarkastelussa oletetaan tulvatapauksen sattuvan vuonna 2011 tietyllä paikkakunnalla. Tulvan aiheuttamat välittömät vahingot annetaan mallille syötteenä, ja malli tuottaa vahingoista aiheutuvat kokonaistaloudelliset muutokset. Mallin dynamiikka on polkuriippuvaista, ja esimerkiksi pääomakannan tuhoutuminen tietyllä toimialalla ja tietyllä periodilla vaikuttaa toimialan toimintaedellytyksiin myös seuraavilla periodeilla. Vaikutukset ulottuvat muille toimialoille esimerkiksi vapautuvan työvoiman kautta. Tämän tutkimuksen kannalta keskeisin piirre on investointien määräytyminen mallissa, sillä juuri lisääntyneiden investointien kautta talous sopeutuu pääomavahinkojen jälkeen. Tulvan aiheuttamat pääomavahingot korjataan uusilla investoinneilla. Pääoman tuhoutuessa tietyllä toimialalla sen pääomakanta laskee edeltävää tasapainotilannetta alhaisemmalle tasolle. Tällä tasolla kyseisen toimialan pääoman rajatuottavuus on tasapainotilannetta korkeampi, jolloin aiempaa voimakkaampi investoiminen on toimialalle kannattavaa ja investointikysyntä lisääntyy. Investointikysynnän lisääntymisellä on seurauksena vahinkoja kokeneen toimialan nopeampi palautuminen tasapainotilanteeseen ja investointihyödykkeitä tuottavien toimialojen (kuten rakentaminen) tuotannon kasvu. Toisaalta investoinnit kallistuvat lisääntyneen kysynnän seurauksena, jolloin muiden toimialojen investoiminen hidastuu. Kokonaistaloudellinen kasvu jää aiheutuneiden vahinkojen seurauksena aiempaa alhaisemmalle tasolle, ja investoinnit suuntautuvat voimakkaimmin vahinkoja kokeneille toimialoille.

3.2 Vahingot ja vaikutukset

Tämän tutkimuksen esimerkkitapauksina käsiteltyjen tulvien aiheuttamien vahinkojen arviointi perustuu TOLERATE-tutkimushankkeen tuloksiin. Näiden tapaustutkimusten lähtötiedot on kuvattu tarkemmin luvussa 4.2. Tiedot toimivat syötteinä mallilaskelmille. Tutkimuksessa otettiin huomioon neljä erillistä taloudellista vaikutusta, joista pääomalle koituvat vahingot on suurin yksittäinen vaikutus. Pääoman vahingot kohdistettiin viidelle toimialalle: asuntoihin, kaupallisiin palveluihin, julkisiin palveluihin, liikenneinfrastruktuuriin ja energiainfrastruktuuriin. Pääomakannan oletetaan supistuvan tulvan seurauksena näillä toimialoilla.

Toinen vaikutus kohdistuu tuotantoon, jolle koituu menetyksiä pääomalle aiheutuneiden vahinkojen ja niistä johtuvien tuotantoesteiden vuoksi. Esimerkiksi liikenneinfrastruktuurin kokemat vahingot aiheuttavat liikenteen tuottamien palveluiden vähenemisen, mistä kärsivät kaikki liikenteen palveluja käyttävät toimialat. Edellä mainitut vaikutukset määriteltiin tietyn suuruisiksi prosentuaaliseksi vähenemäksi tuotannossa kaikilla alueen toimialoilla.

Kolmas vaikutus on yksikkökustannusten nousu kuljetussektorilla rajoitetun pääsyn aikana. Neljäs vaikutus on kotitalouksien lisäkustannukset, jotka koituvat esimerkiksi tulvavahingoista kärsivien kotitalouksien tarvitessa väliaikaista majoitusta. Tämä vaikutus kohdistettiin lisääntyneenä kysyntänä hotelli- ja majoitusosalalle.

Kaikkia näitä vaikutuksia käsiteltiin mallissa suorina taloudellisina vaikutuksina, vaikka osa onkin tulvan aiheuttamia epäsuoria vaikutuksia. Malli tuotti tuloksen kokonaisvaikutuksista, jossa ovat mukana myös epäsuorat talousvaikutukset. Tulosten hajotelmasta voitiin arvioida suorien pääomavahinkojen ja niistä koituneiden epäsuorien haittojen tuottamien vaikutusten suhde. Hajotelman tulokset esitetään muiden tulosten jälkeen.

Mallin tuottamia tuloksia voidaan pitää hyvin suuntaa-antavina taloudellisen hyvinvoinnin kuvaajina. Taloudellisella hyvinvoinnilla tarkoitetaan tässä tapauksessa talouden tuottamien hyödykkeiden ja palveluiden arvoa. Tarkastelu tapahtuu makrotasolla, koko talouden toimintaa kuvaten. Tulvien ja muiden ääri-ilmiöiden tapauksessa yksittäisten toimijoiden hyvinvointi kuitenkin korostuu: tulvatuhoista kärsivän kotitalouden tai yrittäjän hyvinvoinnin kannalta välitön vahinkojen korjaus lienee monesti paras vaihtoehto. Tässä tutkimuksessa käytetyllä menetelmällä ei kuitenkaan voida ottaa huomioon yksittäisten toimijoiden hyvinvointia, vaan tarkastelun arvo on enemmänkin laajemman kokonaisuuden hahmottamisessa.

3.3 Asiantuntijapalautte kokonaistaloudellisesta mallista

Asiantuntijaistunnoissa pyydettiin kommentteja myös kokonaistaloudellisen mallin käytöstä. Suurin osa palautteesta koski tapaustutkimusten tuloksia. Näitä palautteita käsitellään luvussa 4.4.

Kokonaistaloudellisen mallin avulla ehdotettiin tutkittavaksi mm. seuraavien politiikkatoimien vaikutuksia: erilaiset tulvavahinkojen korvausjärjestelmät ja tulvariskien hallintakeinojen rahoitusjärjestelmät ja näihin liittyvät politiikkatoimet; vähintään maakuntatasolla merkittävät politiikkatoimet, myös politiikkatoimien erilliset vaikutukset; maankäyttöön ja kaavoitukseen liittyvät politiikkatoimet; rakennusmääräyksiin liittyvät politiikkatoimet; toimintatapojen ja -järjestyksen kustannustehokkuus, esimerkiksi onko kustannustehokkaampaa tehdä ensin riskiselvitys ja sen jälkeen kaavoitus riskiselvityksen pohjalta vai sallia vapaa kaavoitus, mutta maksaa tulvavahinkojen korvauksia.

Kommenteissa toivottiin, että malliin lisättäisiin kokonaisvaltaisen, kestävän ja valuma-aluelähtöisen rakentamisen vaihtoehtoja kustannuksineen. Jos malleissa olisi mukana erilaisten rakenteiden tuomat kokonaisyödyt ja -kustannukset, päästäisiin nykyistä parempaan kustannustehokkuuteen (esim. merkitys tulvien hallinnassa ja virkistysarvo mukaan).

4. Tapaustutkimukset

4.1 Määrittely ja valinta

Kokonaistaloudellisia malliajoja tehtiin Valtion taloudellisen tutkimuskeskuksen VERM-mallilla, joka kuvailtiin pääpiirteittäin luvussa 3. Mallilla tutkittiin kahta erityyppistä tulvatilannetta: rankkasadetapausta Helsingissä (malliajoissa Uusimaa) ja Kokemäenjoen tulvimista Porissa (malliajoissa Satakunta).

Vahinkoraporttien avulla arvioitiin, että vahingot saattavat olla merkittäviä, mikäli sademäärä ylittää noin 25–30 mm/vrk. Vahinkoja saattaa siten syntyä jo sateilla, joiden toistumisaika on 10 vuotta (ks. taulukko 4). Rankkasateiden osalta päädyttiin siksi tutkimaan melko usein toistuvaa tapausta R10 ja lisäksi harvinaisempaa tapausta R100. Rankkasateiden aiheuttamat vahingot riippuvat kuitenkin oleellisesti mm. siitä, mille alueelle rankkasade sattuu, kuinka laaja-alainen rankkasade on ja missä ajassa sademäärä kertyy. Esimerkiksi jos kaupunkialueelle sataa tunnin aikana 30 mm, vahingot ovat huomattavasti suuremmat, kuin jos sade kertyy tasaisesti vuorokauden aikana. Liitteessä F on selvitys Suomen rankkasateista.

Ilmastonmuutoksen vaikutusta toistuvuuteen on vaikea arvioida täsmällisesti. Karkeasti arvioiden taulukon 4 sademäärät kasvanevat noin 10–15 % seuraavien 50 vuoden aikana (Kirsti Jylhä, henkilökohtainen tiedonanto 12.8.2010). Muutos on todennäköisesti sitä suurempi, mitä harvemmin sattuvaa tapahtumaa tarkastellaan.

Jokitulvatapauksessa päädyttiin tutkimaan melko harvinaisia tulvatapauksia R50 ja R250. Aiemmin toteutetussa TOLERATE-hankkeessa²⁹ tarkasteltiin ilmastonmuutoksen vaikutusta jokitulvien toistuvuuteen. Hankkeen tulosten mukaan tulevassa ilmastossa tietyllä todennäköisyydellä sattuvat tulvat ovat luultavasti suurempia kuin nykyilmastossa. Kokemäenjoen virtaaman arvioitu kasvu tulvaolosuhteissa erilaisien kasvihuonekaasujen päästökehitysskenaarioiden mukaan on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 4. Vuorokauden sademäärän (mm) 10, 20, 50, 100 ja 500 vuoden toistumistasot. Taulukossa on esitetty paras arvio (ka) sekä rajat, joiden väliin jää 95 % tapauksista. R = toistumisaika (vuosina); Ka = keskiarvo; 2,5 (%), (tn) alaraja; 97,5 (%), (tn) yläraja. (Venäläinen ym. 2007)

R	Helsinki			Turku			Jokioinen			Utti			Jyväskylä		
	2,5	Ka	97,5	2,5	Ka	97,5	2,5	Ka	97,5	2,5	Ka	97,5	2,5	Ka	97,5
10	47	55	66	47	55	64	48	57	67	42	48	56	46	54	64
20	52	64	76	53	64	75	54	67	80	46	54	63	52	63	75
50	60	76	92	62	76	91	65	82	98	51	63	74	61	76	92
100	68	86	105	71	87	104	75	95	115	56	70	83	69	88	106
500	89	115	141	94	118	142	104	133	162	70	88	105	94	120	147

²⁹ Kohti äärimmäisten olosuhteiden edellyttämää sopeuttamisastetta (TOLERATE), <http://www.vatt.fi/en/research/projects/tolerate/fin/> (viitattu 6.10.2010)

Taulukko 5. Kokemäenjoen virtaaman arvioitu kasvu tulvaolosuhteissa erilaisten kasvihuonekaasujen päästökehitysskenaarioiden mukaan. Arviot on saatu sovittamalla Gumbel-jakauma simuloitujen päivittäisten virtaamien joukosta poimituihin vuotuisiin maksimiarvoihin jaksoille 1971–2000 ja 2020–49 ja vertailemalla tuloksia keskenään. Ka A1B viittaa 19 globaalista ilmastomallista laskettuun ilmaston keskiarvoskenaarioon, kun päästökehitysskenaarioksi on oletettu IPCC:n SRES³⁰-skenaario A1B. (Perrels ym. 2010)

Gumbel	Muutos jaksolla 2020–49 verrattuna jaksoon 1971–2000			
	Pienet muutokset säännöstelyssä	Suuret muutokset säännöstelyssä		
R	Ka A1B	Min	Max	Ka A1B
100	8,3 %	0,9 %	12,9 %	5,3 %
250	9,0 %	2,0 %	14,3 %	6,0 %

Malliajojen perustapauksissa tulvasta toipuminen jätettiin toimialojen itsensä rahoitettavaksi. Perustapausten lisäksi tutkittiin kolme vaihtoehtoista tapaa toipua tulvan aiheuttamista tuhoista:

- 1) pääomatuhojen täysimääräinen korvaaminen valtion maksamalla kertakorvauksella tuhoalueelle;
- 2) pääomatuhojen päätyminen vakuutussektorin täysimääräisesti korvattavaksi; ja
- 3) pääomatuhojen korvaaminen vakuutussektorin kautta, ja valtio korvaa vakuutussektorin kokemat tappiot.

Kaikki vertailtavat tapaukset ovat hypoteettisia vaihtoehtoja, ja niiden tarkoituksena on olla pohjana eri korvausvaihtoehtojen vertailulle. Esimerkiksi perustapauksista vastaavassa tilanteessa, jossa toimialat itse korjaavat vahingot, varsin suuri osa tulvavahingoista olisi todellisuudessa vakuutettu ja siten vakuutusalan korvattavissa.

4.2 Määrittely kokonaistaloudellisia malliajoja varten

Suorat vahingot eli välittömät kustannukset eriteltiin toimialoittain, jotta ne soveltuivat kokonaistaloudellisten malliajojen lähtötiedoiksi. Kuvassa 1 (luku 2) esitettyyn tapahtumapuuhun viitaten taulukoissa 6 ja 7 esitetyt luvut edustavat pahimman mahdollisen³¹ tapahtumapolun välittömiä kustannuksia. Nämä kustannukset kuvaavat odotusarvon mukaisia tapauksia. Todelliset arvot riippuvat siitä, kuinka paljon tarkasteltava mitoitustulva ylittyy tulvatilanteessa. Koska keskimäärin kerran 10 tai 20 vuodessa toistuva Helsingin alueen rankkasadetapaus on vielä melko tavallinen, voidaan olettaa, että esteet E4 ja E5 (kuva 1) toimivat lähes varmasti. Näin ollen näitä tulvatapauksia koskevat välittömät kustannukset voidaan liittää tapahtumapuun kolmanneksi alimpaan tapahtumapolkuun. Tulvatapaukset Helsinki R100, Pori R50 sekä Pori R250 edustavat kaikkein alinta tapahtumapolkua.

³⁰ Special Report on Emissions Scenarios (Nakićenović ja Swart 2000)

³¹ Kaikissa tilanteissa kaikki kuvassa 1 esitetyt polut eivät ole mahdollisia. Pahin mahdollinen tapahtumapolku viittaa tässä sellaiseen polkuun, jonka toteutumistodennäköisyys on suurempi kuin nolla.

Taulukko 6. *Helsingin rankkasadetapauksen lähtötiedot kokonaistaloudellista mallia varten.*

Helsinki, rankkasade	R10 tai R20	R100
Ilmiön kesto	1 vrk	1 vrk
Rajoitettu pääsy alueelle ja siivous: kesto ³²	1–2 viikkoa	1–3 kk
Pääomavahinkojen korjauksen/korvaamisen kesto ³²	3 kk	12 kk
Pääoman vahingot:		
○ asunnot	10 milj.	40 milj.
○ kaupalliset palvelut	5 milj.	20 milj.
○ julkiset palvelut	5 milj.	20 milj.
○ liikenneinfrastruktuuri	3 milj.	15 milj.
○ energiainfrastruktuuri	3 milj.	15 milj.
Tuotantomenetykset vahinkojen ja esteiden takia:		
○ menetettyjä tuotantopäiviä (ka)	4 viikkoa	12 viikkoa
○ menetetty tuotanto %-osuutena toimialan vuotuisesta alueellisesta tuotantoarvosta	0,1 %	0,6 %
Yksikkökustannuksien muutokset vahinkoalueella rajoitetun pääsyn aikana:		
○ kuljetus	20 %	40 %
○ energia	100 %	100 %
Kotitalouksien lisäkustannuksia/menomuutoksia	0 milj.	2 milj.

³² Tämän ajan kuluttua 90 % vahingoittuneesta alueesta tai pääomasta on käytössä tai korjattu. Periodi alkaa ääri-ilmion jälkeen.

Taulukko 7. Porin jokitulvatapauksen lähtötiedot kokonaistaloudellista mallia varten. Tiedot perustuvat TOLERATE-hankkeen tuloksiin.

Pori, jokitulva	R50	R250
Ilmiön kesto	15 vrk	25 vrk
Rajoitettu pääsy alueelle ja siivous: kesto ³²	1 kk	2–4 kk
Pääomavahinkojen korjauksen/korvaamisen kesto ³²	9 kk	15 kk
Pääoman vahingot:		
○ asunnot	100 milj.	240 milj.
○ kaupalliset palvelut	6 milj.	35 milj.
○ julkiset palvelut	8 milj.	45 milj.
○ liikenneinfrastruktuuri	1 milj.	10 milj.
○ energiainfrastruktuuri	0 milj.	5 milj.
Tuotantomenetykset vahinkojen ja esteiden takia:		
○ menetettyjä tuotantopäiviä (ka)	4 viikkoa	12 viikkoa
○ menetetty tuotanto %-osuutena toimialan vuotuisesta alueellisesta tuotantoarvosta	0,2 %	0,9 %
Yksikkökustannuksien muutokset vahinkoalueella rajoitetun pääsyn aikana:		
○ kuljetus	20 %	40 %
○ energia	0 %	100 %
Kotitalouksien lisäkustannuksia/menomuutoksia	10 milj.	13 milj.

4.3 Tulokset ja tulkinta

Mallisimulaatioiden tuottamat tulokset kuvattiin ensin perustapauksille alueittain ja sen jälkeen politiikkatoimille ainoastaan voimakkaamman tulvan tapauksessa. Toimialoittaiset vaikutukset työllisyyden osalta on esitetty erikseen omissa kuvaajissaan alueittaisten tulosten yhteydessä, ja liitteen C taulukkoon C1 on koottu alueellisten makrotaloudellisten tunnuslukujen tasoja perusuraan verrattuna kymmenen vuotta ääri-ilmion sattumisen jälkeen. Lopuksi vaikutuksia arvioitiin koko kansantalouden tasolla kolmen päämuuttujan, bruttokansantuotteen (BKT), pääomakannan ja työllisyyden osalta. Kuvaajissa on esitetty tasoero prosenttimuutoksena suhteessa perusuraan vuodesta 2010 vuoteen 2020. Ääri-ilmion tapahtumisvuodeksi on oletettu 2011.

Raportissa esitetyt tulokset koskevat vain taloudellisia menetyksiä, kuten BKT:ta, pääomakantaa, kulutusmenoja jne., ei kuluttajien välittömästi kokemaa hyvinvointia. Tulokset antavat viitteitä siitä, että vahinkojen korjaaminen mahdollisimman nopeasti voi olla taloudellisesti tehotonta. Silti yleensä toivotaan, että vahinkojen korjaaminen toteutettaisiin mahdollisimman pikaisesti, koska tämä lisää kuluttajien kokemaa välitöntä hyvinvointia.

Hyvinvointi

Hyvinvoinnilla tarkoitetaan yleensä hyvää elämää, joka koostuu monista eri tekijöistä, kuten esimerkiksi elintasosta ja terveydentilasta. Hyvinvointiin vaikuttavat paitsi mitattavat asiat kuten tulotaso, myös ihmisten arvostukset. Näin ollen hyvinvoinnin yksiselitteinen määrittäminen on mahdotonta.

Yksilön hyvinvoinnista käytetään taloustieteessä yleensä nimitystä hyöty, ja yhteiskunnan hyvinvointi muodostuu periaatteessa sen yksilöiden hyödyistä. Käytännössä yksilöiden kokemien hyötyjen yhdistäminen³³ on vaikeaa, koska yksilöiden hyödyt eivät ole yhteismitallisia eivätkä riippumattomia toisistaan.

Hyvinvoinnin arvioimiseen käytetään asiayhteydestä riippuen erilaisia mittareita. Yhteiskunnan hyvinvointia mitataan taloustieteissä usein bruttokansantuotteella – niin myös tässä tutkimuksessa. Bruttokansantuote ei kuitenkaan ota suoraan huomioon yksilön kannalta hyvinvointiin ratkaisevasti vaikuttavia tekijöitä, esimerkiksi asumisolosuhteita, vapaa-aikaa, ympäristön viihtyvyyttä jne. Tästä ristiriidasta johtuen yksilö saattaa näyttää toimivan bruttokansantuotteen näkökulmasta epärationaalisesti, vaikka hän todellisuudessa toimisikin rationaalisesti pyrkien maksimoimaan kokemaansa hyötyä.

Tulvatuhojen jälkeinen korjausbuumi on esimerkki edellä kuvatusta ristiriidasta: korjausbuumi heikentää bruttokansantuotteella mitattuna yhteiskunnan hyvinvointia pitkällä aikavälillä, mutta asumisolosuhteiden tilapäinen heikkeneminen tulvan seurauksena vähentää yksilön kokemia hyvinvointia niin merkittävästi, että mahdollisimman nopea tuhojen korjaaminen on rationaalista.

4.3.1 Uusimaa

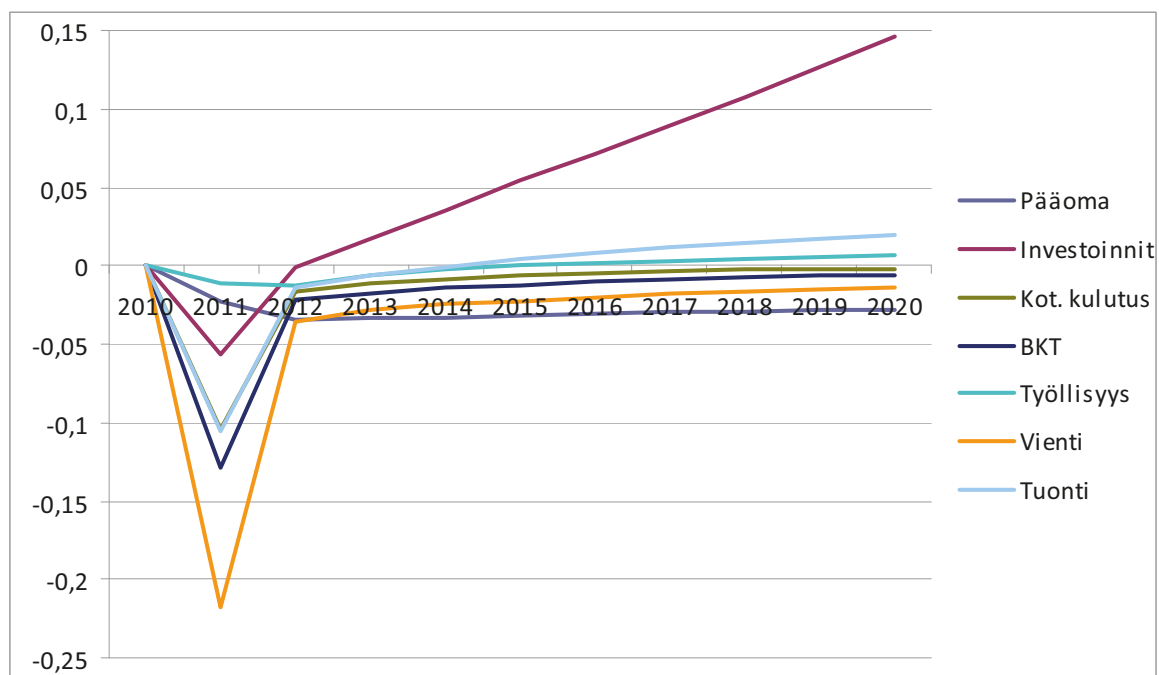
Kuvassa 3 on esitetty Uudenmaan tilanne keskimäärin kerran kymmenessä vuodessa tapahtuvan rankkasadetulvan tapauksessa. Tulvan sattuessa vuonna 2011 pääomakanta laskee 0,02 prosentilla samana vuonna. Tämä on suoraan selitettävissä pääomavahingoilla (yhteensä 26 miljoonaa euroa), jotka ovat varsin vähäiset suhteutettuna maakunnan koko pääomakantaan. Toisin sanoen tulvan aiheuttamat vahingot eivät poikkea oleellisesti Uudellamaalla vuosittain sattuvista suurehkoista onnettomuuksista, esimerkiksi tulipaloista.

Osa pääomakannan menetyksestä voidaan korvata lisäämällä työvoiman käyttöä, mutta myös työllisyys laskee vaikkakin pääoman laskua vähemmän. Suhteellisesti eniten laskee vienti. Tuonti laskee myös, mutta vientiä vähemmän. Kotitalouksien kulutus laskee suunnilleen tuonin laskun verran. Investoinnit laskevat myös johtuen investointihyödykkeiden tuotannon laskusta. Kaiken kaikkiaan ensimmäisen vuoden reaktiona BKT päättyy 0,13 % perusuraa alhaisemmalle tasolle.

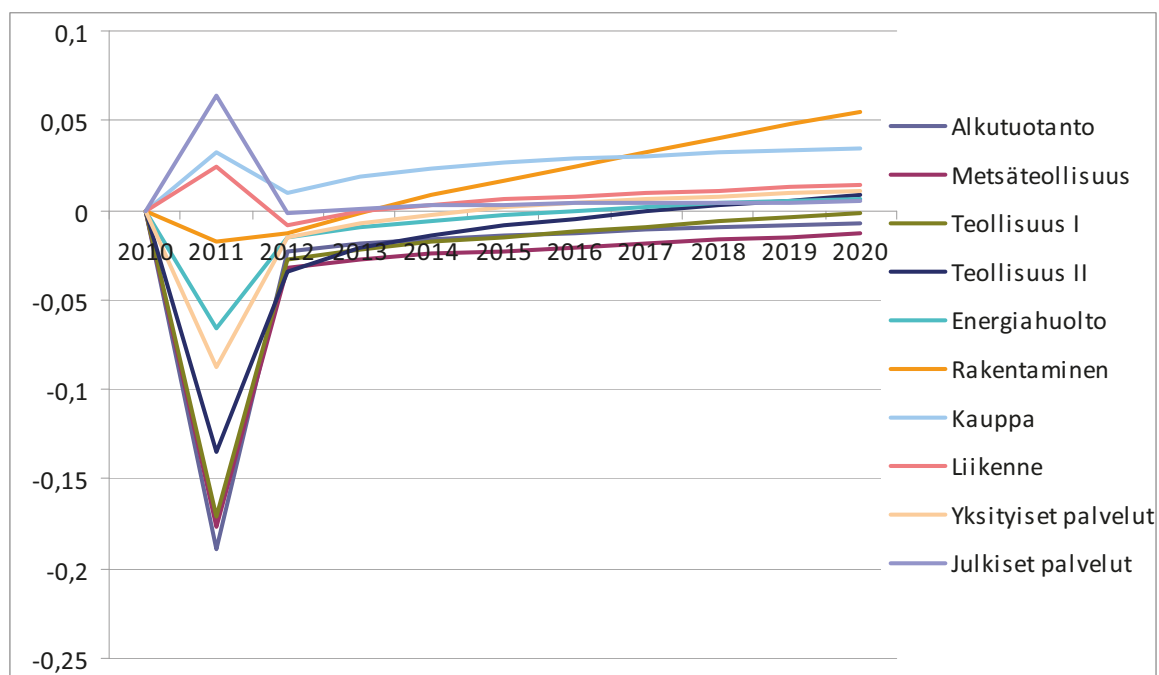
Toipuminen alkaa seuraavalla periodilla, jolloin alhainen pääomakanta lisää investointien kysyntää ja investoinnit lähtevät nousuun. Nousu jatkuu vielä vuoden 2020 jälkeenkin, eikä tulvaa edeltänyttä pääoman tasoa saavuteta. BKT jää perusurasta vuonna 2020 kuitenkin vain 0,006 %. Alueen tuotantorakenne muuttuu siten, että Uudestamaasta tulee hieman työvoimavaltaisempi tulvan seurauksena. Pääomakanta jää lopulta 0,03 % perusuran alapuolelle. Kulutus kasvaa ja sen myötä myös tuonti. Kuvassa 4 on esitetty, kuinka työllisyyden kehitys jakautuu eri toimialojen välillä. Tulvan sattuessa kauppa, liikenne ja julkiset palvelut lisäävät työvoiman käyttöönsä ja muut toimialat vähentävät. Vuoteen 2020 mennessä työllisyys on perusuraa korkeammalla tasolla muilla toimialoilla paitsi alkutuotannossa, metsäteollisuudessa ja alhaisemman jalostusasteen

³³ Yhdistäminen voidaan tehdä esim. laskemalla yhteen yksilöiden kokemat hyödyt. Asiayhteydestä riippuen voidaan käyttää myös muita yhdistämistapoja.

teollisuudessa (teollisuus I). Eniten työllisyys kasvaa rakentamisessa, jota tarvitaan tulvavahinkojen korjaamiseen.



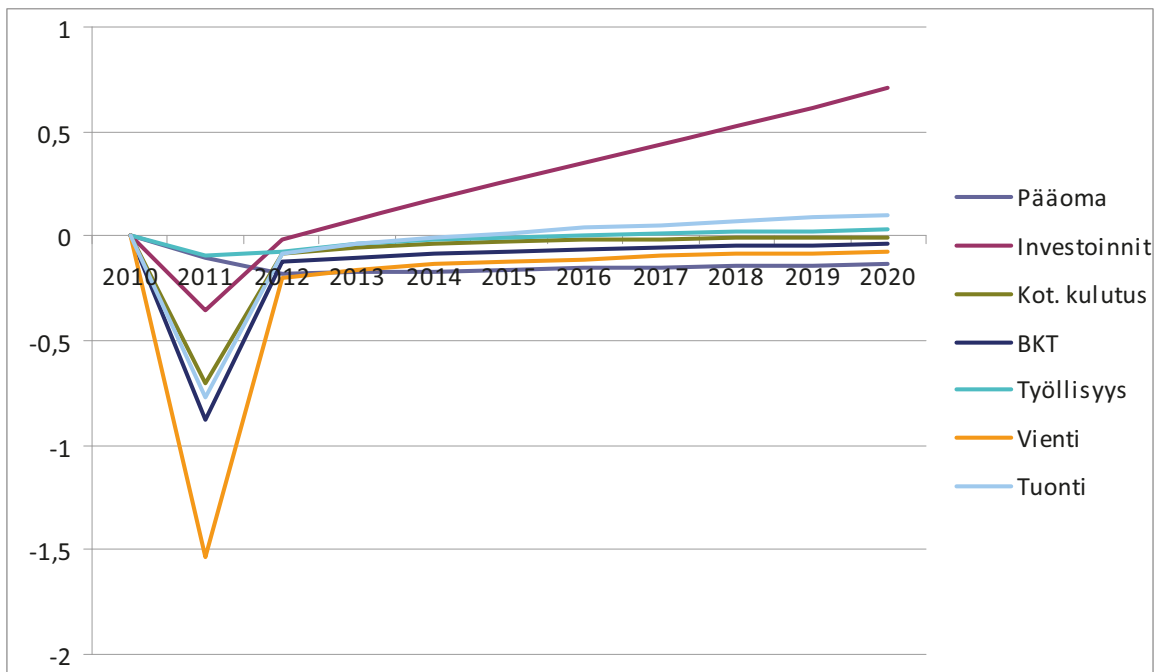
Kuva 3. Uusimaa R10 – ei politiikkatoimia. x-akselilla on esitetty aika vuodesta 2010 vuoteen 2020 ja y-akselilla taloudellisten muuttujien prosenttimuutos suhteessa perusuraan. Tulvan tapahtumisvuosi on 2011.



Kuva 4. Uusimaa R10 – ei politiikkatoimia, työllisyyden kehittyminen toimialoittain. x-akselilla on esitetty aika vuodesta 2010 vuoteen 2020 ja y-akselilla työllisyyden prosenttimuutos suhteessa perusuraan. Tulvan tapahtumisvuosi on 2011.

Kuvassa 5 on esitetty Uudenmaan reagoiminen voimakkaampaan, keskimäärin kerran sadassa vuodessa tapahtuvaan rankkasadetulvaan. Perusasetelma on vastaava kuin heikomman tulvan tapauksessa, mutta vaikutukset ovat nyt kokoluokaltaan suurempia. Kaiken kaikkiaan tässä tapauksessa vahinkojen laajuus poikkeaa oleellisesti Uudellamaalla vuosittain tapahtuvista suurehkoista onnettomuuksista, kuten esimerkiksi tulipaloista.

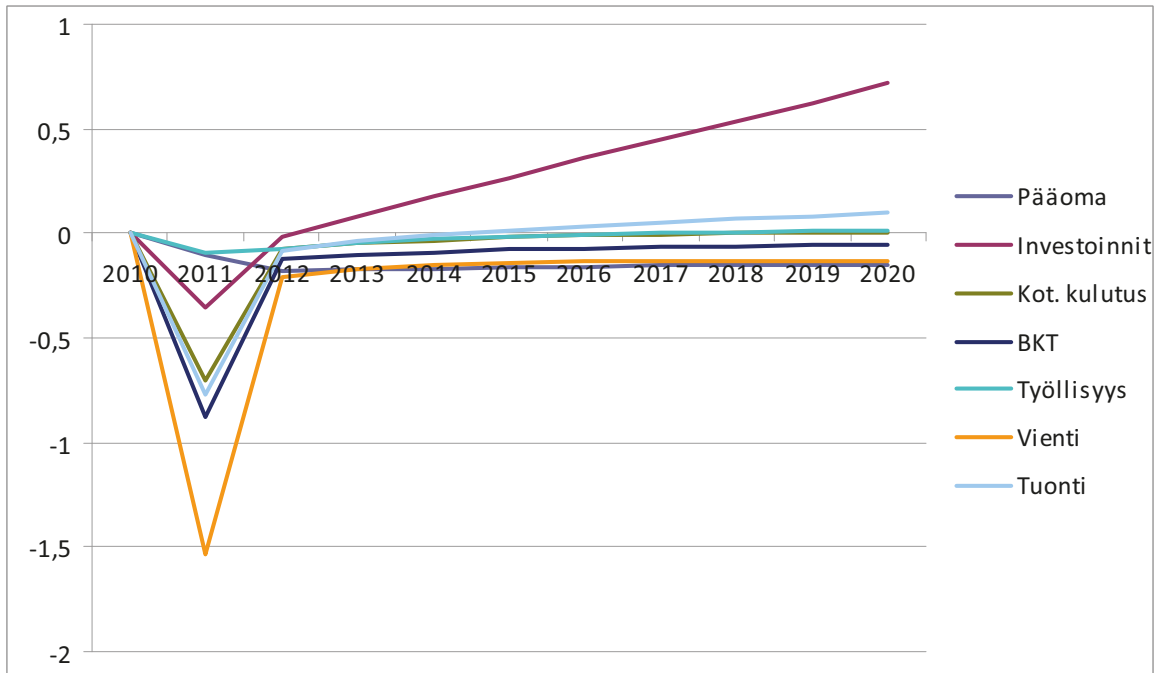
Pääomakannalle koituu yhteensä 110 miljoonan euron vahingot, ja se laskee ensimmäisenä vuonna 0,1 %. Työllisyys laskee suurin piirtein saman verran kuin pääoma. BKT puolestaan laskee miltei 0,9 %, eli suhteessa suoraan pääomavahinkoon BKT:n muutos on suurempi kuin R10-tulvassa. Toipuminen tulvasta noudattaa samaa kaavaa kuin edellisessä tapauksessa, ja BKT ja pääoma jäävät vielä vuonna 2020 perusuraa alhaisemmalle tasolle. Investoinnit jatkavat kasvuaan vielä vuonna 2020, mutta kasvu on silloin jo hidastuvaa. Työvoimavaltaisuuden lisääntyminen on nyt edellistä tapauksista voimakkaampaa, ja pääomakanta päättyy 0,14 % perusuran alapuolelle. Työvoiman jakautuminen toimialoittain on esitetty liitteen C kuvassa C1. Asetelma on hyvin samanlainen kuin edellisessä tapauksessa muutosten ollessa nyt suurempia.



Kuva 5. Uusimaa R100 – ei politiikkatoimia. x-akselilla on esitetty aika vuodesta 2010 vuoteen 2020 ja y-akselilla taloudellisten muuttujien prosenttimuutos suhteessa perusuraan. Tulvan tapahtumisvuosi on 2011.

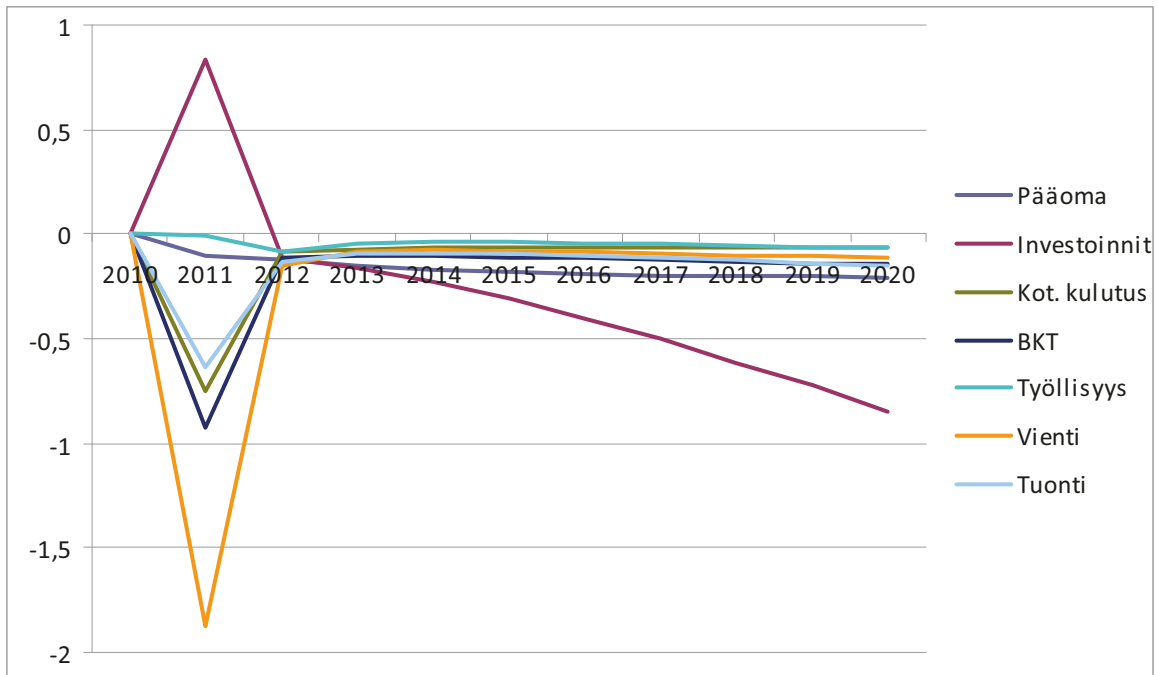
Kuvassa 6 on esitetty tilanne, jossa on otettu huomioon valtion maksaman avustuksen vaikutus voimakkaamman rankkasadetulvan tapauksessa. Oletuksena on, että valtiovalta antaa alueelle avustuksena suorien pääomamenetysten suuruisen summan, joka tässä tapauksessa on 110 miljoonaa euroa. Ensimmäisen vuoden reaktio on hyvin samanlainen verrattuna tilanteeseen ilman korvausta. Tämä johtuu siitä, että laskelmissa valtion avustusta ei ole korvamerkitty korjausmenoihin, vaan paikallishallinto voi käyttää sen parhaaksi katsomallaan tavalla. Investointeihin avustus vaikuttaa vasta pidemmän ajan kuluttua. Osa avustuksesta päättyy kulutukseen, josta osa tuodaan alueen ulkopuolelta. Verrattuna edelliseen tapaukseen, jossa avustusta ei annettu, voidaan vuonna 2020 nähdä pieniä muutoksia talouden rakenteessa. Kotitalouksien kulutus on nyt 0,004 % perusuran yläpuolella, kun se ilman avustusta oli 0,003 % sen alapuolella. Pääoma jää hivenen enemmän perusurasta, eikä työllisyys kasva yhtä paljon. BKT

jää 0,053 % perusuran alapuolelle (0,037 % ilman avustusta). Työllisyys kehittyy hiukan edellistä tapausta heikommin kaikilla toimialoilla lukuun ottamatta rakentamista, joka pystyy kasvattamaan työvoiman käyttöään avustuksen myötä (kuva C2).



Kuva 6. *Uusimaa R100 – valtio maksaa.* x-akselilla on esitetty aika vuodesta 2010 vuoteen 2020 ja y-akselilla taloudellisten muuttujien prosenttimuutos suhteessa perusuraan. Tulvan tapahtumisvuosi on 2011.

Kuvassa 7 lähtökohtana on keskimäärin kerran sadassa vuodessa tapahtuva rankkasadetulva sillä oletuksella, että vakuutus- ja rahoitussektori korvaa pääomalle koituvat vahingot toimialoille täysimääräisinä. Sektorin on oletettu toimivan koko maan tasolla, jolloin korvausvastuu ulottuu vahinkoalueen sijasta koko maahan. Vakuutuskorvaukset maksetaan vahinkoja kokeneiden toimialojen investoinneille, mikä selittää investointien kasvun heti ensimmäisenä vuonna. Investoinnit kuitenkin kallistuvat tämän seurauksena muilla toimialoilla, ja investointien kysyntä kääntyy nopeasti lasku-uralle, joka jatkuu tarkasteluajanjakson loppuun asti. Pääoma jää lopulta edellisiä skenaarioita alemmalle tasolle, 0,21 % perusuraa alhaisemmaksi. Vuonna 2020 ei olla millään osa-alueella perusuran yläpuolella ja BKT päättyy 0,14 % perusuran alapuolelle, mikä on alhaisempi kuin aiemmissa tapauksissa. Vakuutus- ja rahoitussektorin kustannukset nousevat, ja nousseet kustannukset vaikuttavat myös sektorin palveluja käyttävien muiden toimialojen toimintaan. Sektori toimii ikään kuin pullonkaulana, jota kautta vahinkojen korvaaminen tapahtuu. Vahingot tullaan korjaamaan nopeasti, mutta vaarana on, että investoinnit yliampuvat ja vaikeuttavat investointeja jatkossa. Epäselvää on vielä, kumpi vaikutuksista on vahvempi. Työllisyys (kuva C3) kasvaa tässä tapauksessa ensin eniten rakentamisessa, mikä johtuu investointien kasvusta. Rakentamisen työllisyyskehitys seuraa hyvin tarkasti investointien kehittymistä ja päättyy lopulta reilusti perusuraa alhaisemmalle tasolle. Vakuutus- ja rahoitussektorin kokemat tappiot näkyvät erityisesti yksityisissä palveluissa, joiden työllistyvyys jää perusuran alapuolelle ainoastaan tässä skenaariossa.

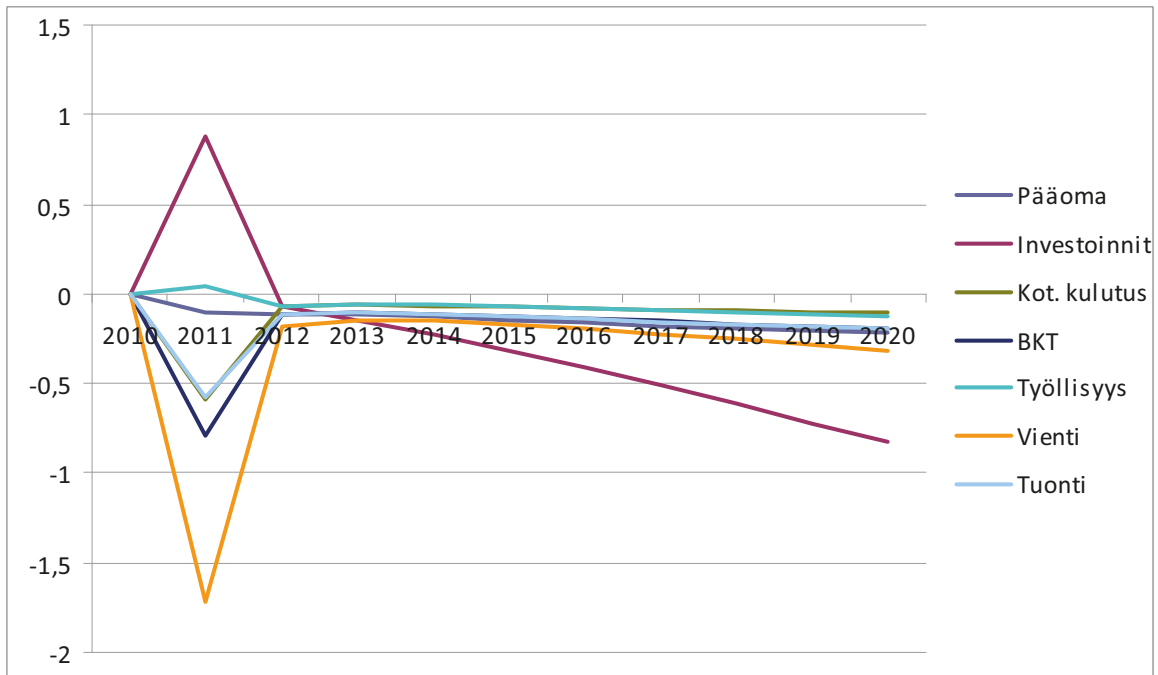


Kuva 7. Uusimaa R100 – vakuutus- ja rahoitussektori maksaa. x-akselilla on esitetty aika vuodesta 2010 vuoteen 2020 ja y-akselilla taloudellisten muuttujien prosenttimuutos suhteessa perusuraan. Tulvan tapahtumisvuosi on 2011.

Kolmannessa vaihtoehtoisessa korvaustapauksessa (kuvat 8 ja C4) valtio avustaa korvaukset tekevää rahoitus- ja vakuutussektoria. Tämä tapaus näyttäytyy kaikkein huonoimpana vaihtoehtona, ja se ei eroa merkittävästi edellisestä tapauksesta. Viimeisenä vuonna BKT jää 0,19 % perusuran alapuolelle. Tämä tulos näyttäisi viittaavan siihen, että investointien yliampumisella on selvästi haitalliset vaikutukset pitkällä aikavälillä.

4.3.2 Satakunta

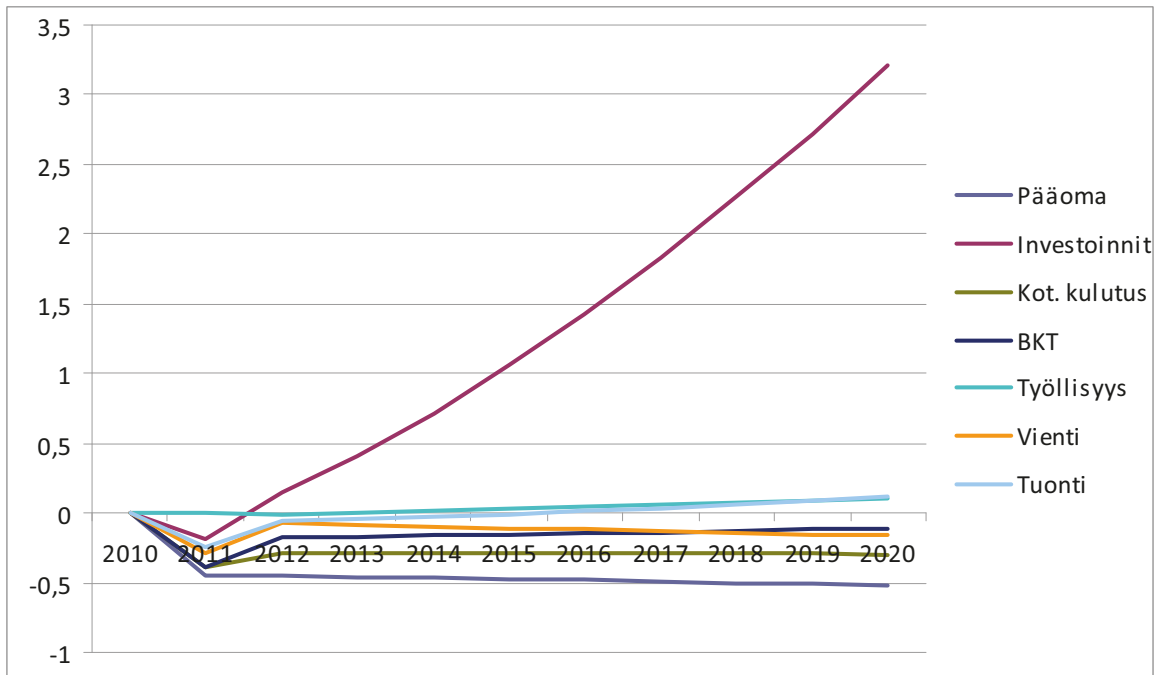
Kuvassa 9 on esitetty Kokemäenjoen tulvimisen vaikutukset Satakunnan aluetalouteen keskimäärin kerran 50 vuodessa sattuvan tulvan tapauksessa. Verrattuna edellä käsiteltyyn Uudenmaan keskimäärin kerran sadassa vuodessa tapahtuvaan rankkasadetulvaan Porin tulvassa kärsimät vahingot ovat absoluuttisesti ainoastaan hieman suuremmat (115 miljoonaa euroa), mutta alueen talouden kokoon suhteutettuna huomattavan paljon suuremmat. Pääoma putoaa Satakunnassa suhteessa eniten, mikä kannustaa voimakkaaseen investointien kasvuun seuraavalla periodilla. Investoinnit jatkavat kasvuaan vielä vuonna 2020, eikä pääoma ole saavuttanut perusuran tasoa. BKT laskee 0,39 % ensimmäisenä vuonna, mikä on pienempi lasku kuin Uudellamaalla. Työllisyys pysyy aluksi jokseenkin ennallaan, mikä osaltaan selittää BKT:n Uttamaata alhaisemman laskun. Satakunnassa palkkataso laskee enemmän kuin Uudellamaalla, sillä työtöntä työvoimaa on enemmän saatavilla. Tällöin pääoman menetystä voidaan joustavammin korvata lisäämällä työvoiman käyttöä. Alueen rakenteessa tapahtuu myös pitkällä aikavälillä Uttamaata suurempi muutos työvoimavaltaisempaan suuntaan. Kuvassa 10 nähdään työvoiman kehittyminen toimialoittain. Välittömästi tulvan jälkeen työvoiman käyttöä kasvattavat tässäkin tapauksessa kauppa, liikenne ja julkiset palvelut. Rakentaminen ja kauppa päätyvät kasvavien investointien myötä pysyvästi perusuraa korkeammalle tasolle. Myös palvelut kasvattavat työvoimaansa alhaisemman jalostusasteen toimialojen vähentäessä sitä.



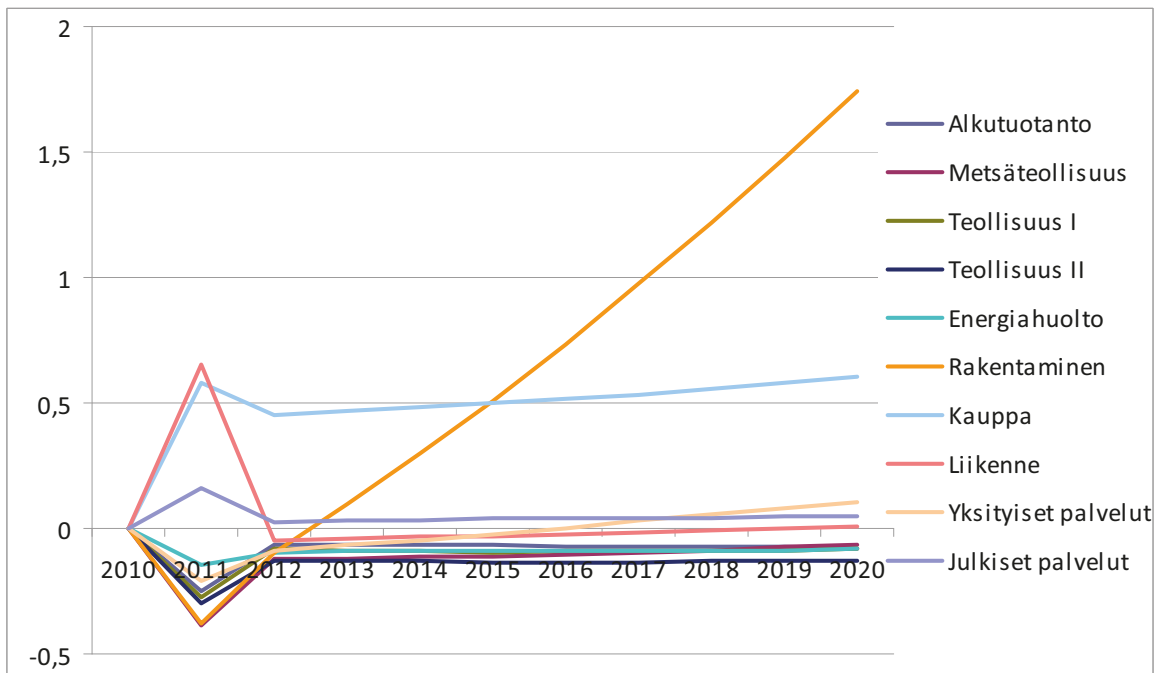
Kuva 8. Uusimaa R100 – valtion korvaus vakuutus- ja rahoitussektorin kautta. x-akselilla on esitetty aika vuodesta 2010 vuoteen 2020 ja y-akselilla taloudellisten muuttujien prosenttimuutos suhteessa perusuraan. Tulvan tapahtumisvuosi on 2011.

Kuvassa 11 esitetään vaikutukset edellistä tapausta harvinaisemman ja voimakkaamman tulvan sattuessa. Näin suuren tulvan sattumisen Porissa on arvioitu olevan todennäköistä keskimäärin kerran 250 vuodessa, ja sen aiheuttamat vahingot pääomalle ovat yhteensä 335 miljoonaa euroa. Vaikutukset ovat luonnollisesti suuremmat kuin edellisessä tapauksessa. Alueen pääomakanta putoaa tulvan sattumisvuonna 1,7 % ja BKT miltei saman verran. Työllisyys kasvaa hieman selittyen pääoman edellistä tapausta korkeammalla korvaustarpeella. Pääomakanta puolestaan jää pysyvästi noin 2 % perusuran alapuolelle. Alueen sopeuduttua vahinkoihin sen tuotantorakenne on muuttunut aikaisempaa työvoimavaltaisemmaksi. Lisäksi on havaittavissa kysynnän siirtyminen voimakkaammin tuontituotteisiin, sillä tuonti on vuonna 2020 1,1 % perusuraa korkeampi. Vuonna 2020 BKT jää vielä 0,2 % perusuran alapuolelle. Kuvassa C5 nähtävä työvoiman toimialoittainen kehitys on vastaava kuin edellisessä tapauksessa, mutta vaikutukset ovat suuremmat. Rakentamisen työllistävyys kasvaa jopa 8,1 % perusuraan nähden. Myös kaupan alalla työllisyyden kasvu on merkittävää, 3,8 % vuonna 2020.

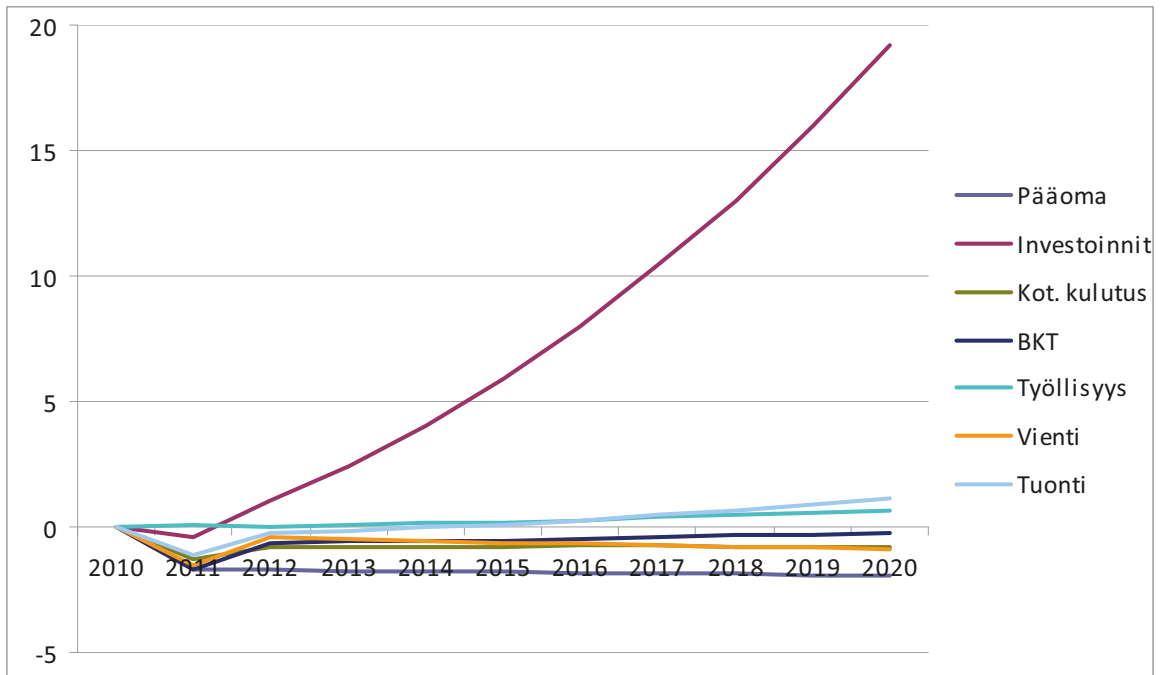
Kuvassa 12 on oletettu valtion korvaavan edellisen tapauksen pääomavahingot samaan tapaan kuin Uudenmaan tapauksessa. Valtion antama avustus päättyy Satakunnan tapauksessa vahvistamaan kulutusta jopa enemmän kuin Uudellamaalla. Tässä tapauksessa korvaus hyödyttää aluetta kokonaistaloudellisesti, sillä Uudenmaan tapauksesta poiketen päädytään BKT:n osalta lähemmäs perusuraa (-0,15 %) kuin ilman korvausta (-0,21 %) vuonna 2020. Työllisyys ja kulutus kasvavat reilusti avustuksen myötä, mutta pääoma laskee vain hieman enemmän avustuksen tapauksessa. Vuonna 2020 työllisyys on 0,75 % perusuran yläpuolella ja kulutus 0,47 % sen alapuolella. Työllisyyden toimialoittainen kehitys on esitetty kuvassa C6. Avustuksella nähdään olevan pieni eroja kärjistävä vaikutus, sillä vuonna 2020 kaikki työllisyyden toimialoittaisen kehityksen muutokset perusuraan verrattuna ovat absoluuttisesti hieman suurempia kuin ilman avustusta.



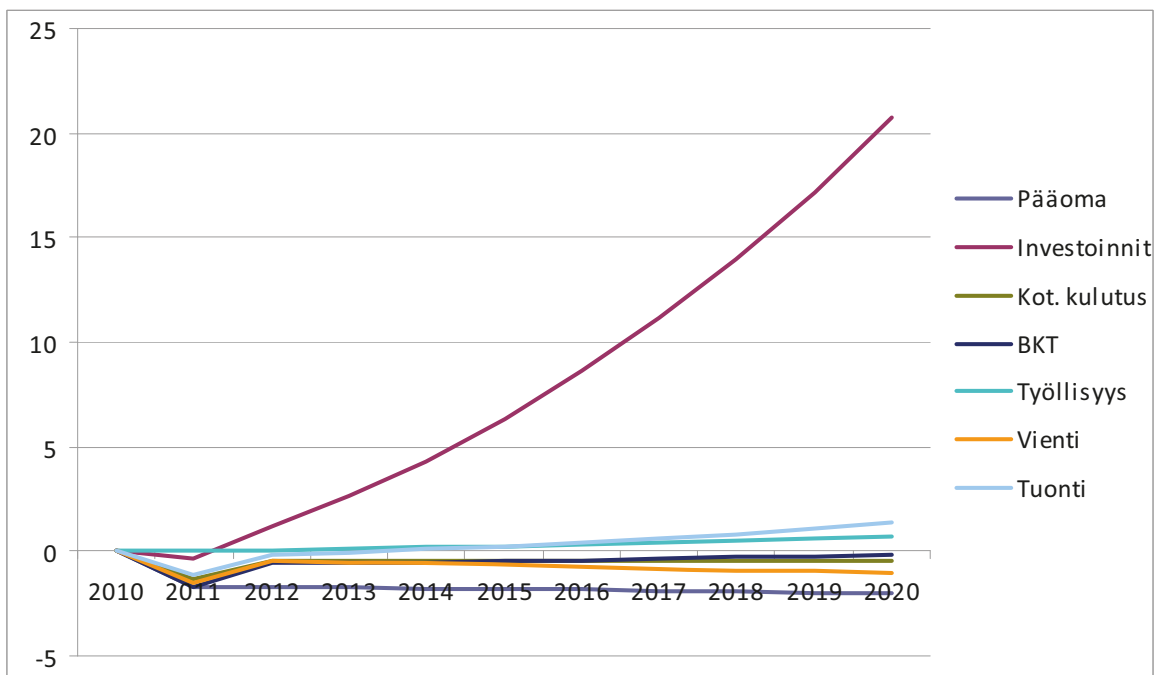
Kuva 9. Satakunta R50 – ei politiikkatoimia. x-akselilla on esitetty aika vuodesta 2010 vuoteen 2020 ja y-akselilla taloudellisten muuttujien prosenttimuutos suhteessa perusuraan. Tulvan tapahtumisvuosi on 2011.



Kuva 10. Satakunta R50 – ei politiikkatoimia, työllisyyden kehittyminen toimialoittain. x-akselilla on esitetty aika vuodesta 2010 vuoteen 2020 ja y-akselilla työllisyyden prosenttimuutos suhteessa perusuraan. Tulvan tapahtumisvuosi on 2011.

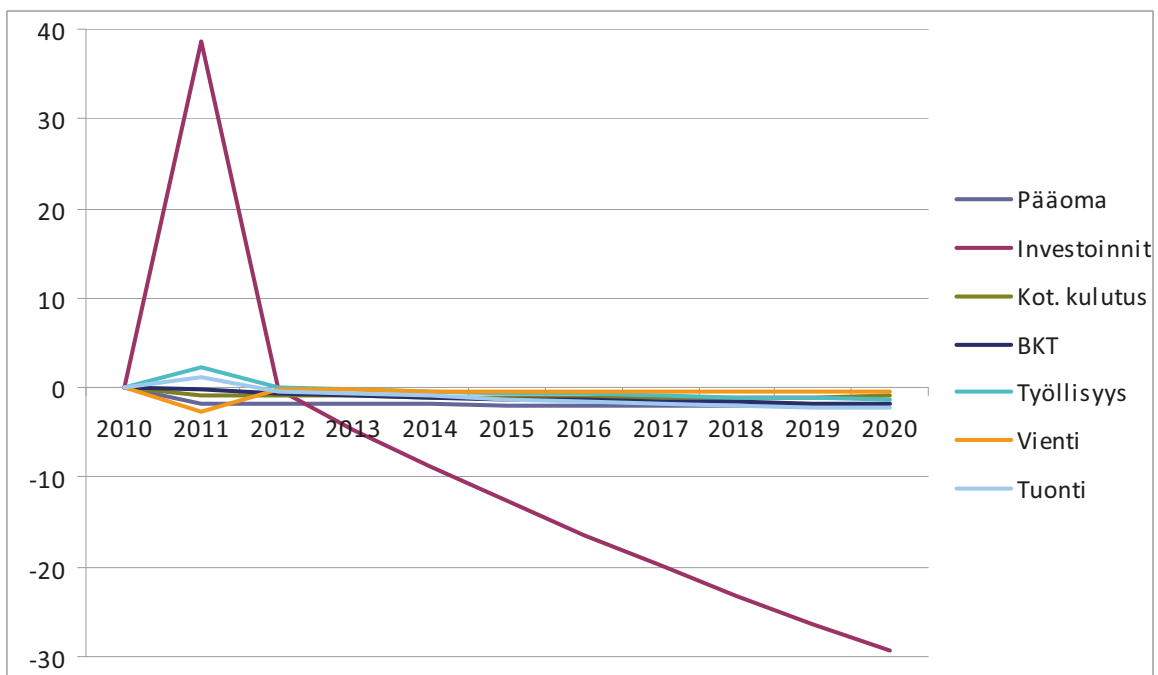


Kuva 11. Satakunta R250 – ei politiikkatoimia. x-akselilla on esitetty aika vuodesta 2010 vuoteen 2020 ja y-akselilla taloudellisten muuttujien prosenttimuutos suhteessa perusuraan. Tulvan tapahtumisvuosi on 2011.



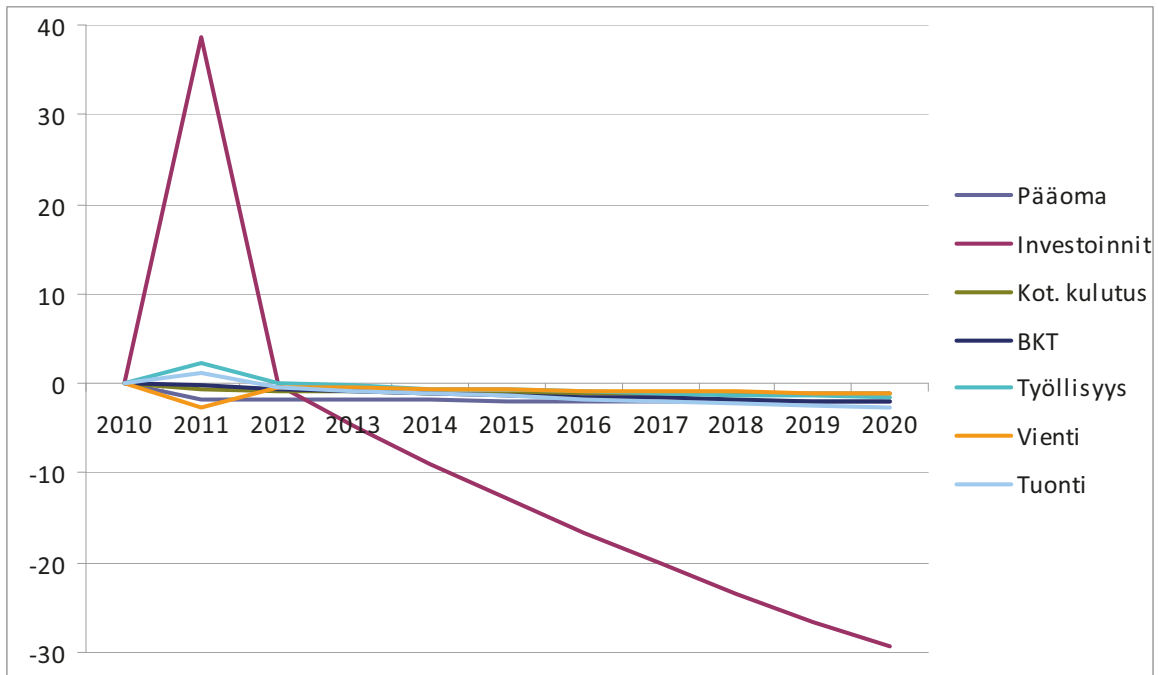
Kuva 12. Satakunta R250 – valtio korvaa. x-akselilla on esitetty aika vuodesta 2010 vuoteen 2020 ja y-akselilla taloudellisten muuttujien prosenttimuutos suhteessa perusuraan. Tulvan tapahtumisvuosi on 2011.

Kuvassa 13 esitetään, kuinka korvausten ohjaaminen vakuutus- ja rahoitussektorille vaikuttaa Satakunnan tapauksessa. Tässä tapauksessa rahoitus- ja vakuutussektori korvaa alueen kokemat pääomatappiot täysimääräisesti. Rahoitus- ja vakuutussektori toimii koko maan tasolla ja kerää maksamansa korvaukset kaikista maakunnista korkeampina vakuutusmaksuina. Vaikutus on erityisen suuri investoinneilla, joihin vakuutussektori kohdentaa korvauksensa. Pääomakanta laskee välittömästi tulvan jälkeen 1,7 %, jonka korvaamiseksi investoinnit nousevat miltei 39 %. Tämän jälkeen investoinnit lähtevät laskuun ja päättyvät lopulta selkeästi perusuraa alemmalle tasolle (-29 % vuonna 2020). BKT lähtee laskuun ja päättyy vuonna 2020 1,8 % perusuran alapuolelle. Lasku on kuitenkin lyhyellä aikavälillä loivempaa kuin muissa tapauksissa. Lopulta pääomakanta ja työllisyys päättyvät molemmat perusuran alapuolelle. Pääoma kuitenkin laskee enemmän, jolloin alueen tuotanto muuttuu pääomavaltaisemmaksi. Työllisyyden toimialoittainen kehitys on esitetty kuvassa C7. Kuten Uudenmaan tapauksessa, työllisyys nousee ensin voimakkaasti rakennusallalla investointien ajamana, mutta päättyy sitten huomattavasti perusuraa alhaisemmalle tasolle. Lopulta työllisyys on perusuraa heikompi useimmilla toimialoilla. Työpaikkoja katoaa erityisesti rakentamisesta, joka hyötyy ensin korvausinvestointien aiheuttamasta noususta, mutta häviää investointien kääntyessä laskuun tämän jälkeen. Lopulta rakentamisen työllisyys laskee Satakunnassa lähes 19 % perusuran alapuolelle. Rakentamisen jälkeen toiseksi suurin pudotus, 2,3 % koetaan yksityisissä palveluissa, mikä heijastaa vakuutus- ja rahoitussektorin kokemia tappioita. Kauppa puolestaan pystyy työllistämään 1,4 % perusuraa enemmän.



Kuva 13. Satakunta R250 – vakuutus- ja rahoitussektori maksaa. x-akselilla on esitetty aika vuodesta 2010 vuoteen 2020 ja y-akselilla taloudellisten muuttujien prosenttimuutos suhteessa perusuraan. Tulvan tapahtumisvuosi on 2011.

Kolmannessa vaihtoehdoisessa korvaustapauksessa valtio avustaa vakuutus- ja rahoitussektoria. Satakunnan tapaus vahvistaa Uudenmaan osalta tehdyn havainnon – investointien yliampuminen on pitkällä aikavälillä haitallista kokonaistaloudellisesti. Viimeisenä vuonna jäädytään BKT:n osalta 2 % perusuran alapuolelle, mikä on tutkituista vaihtoehdoista huonoin BKT:n lopputaso suhteessa perusuraan. Tulokset on esitetty kuvissa 14 ja C8.

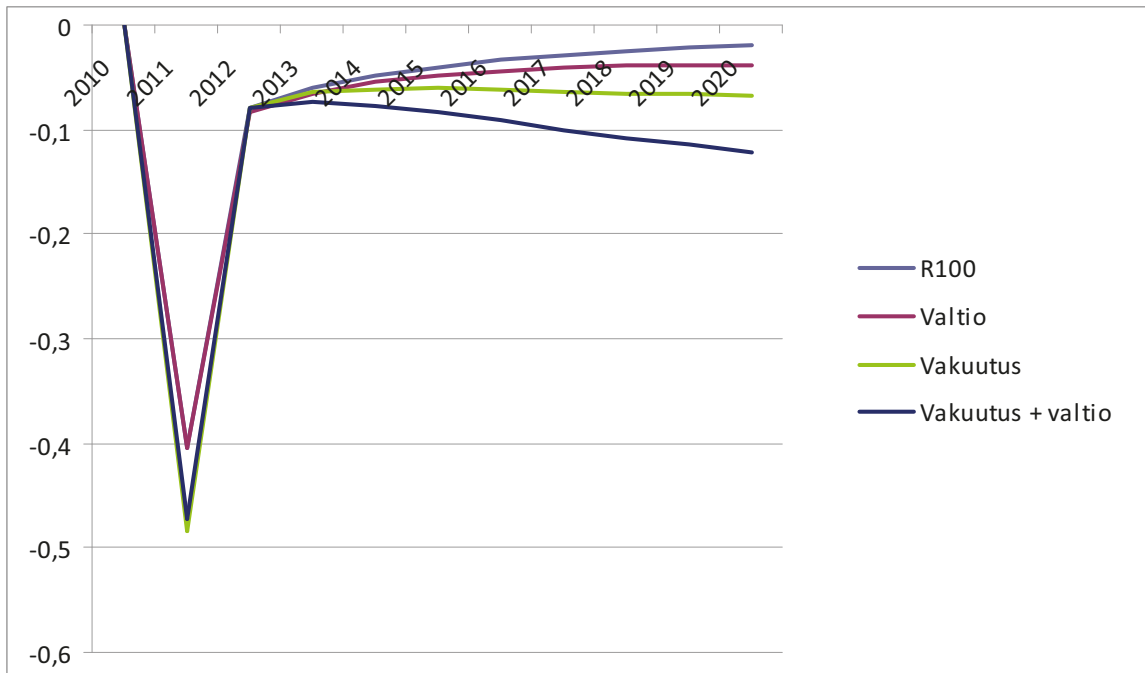


Kuva 14. Satakunta R250 – valtio avustaa vakuutus- ja rahoitussektoria. x-akselilla on esitetty aika vuodesta 2010 vuoteen 2020 ja y-akselilla taloudellisten muuttujien prosenttimuutos suhteessa perusuraan. Tulvan tapahtumisvuosi on 2011.

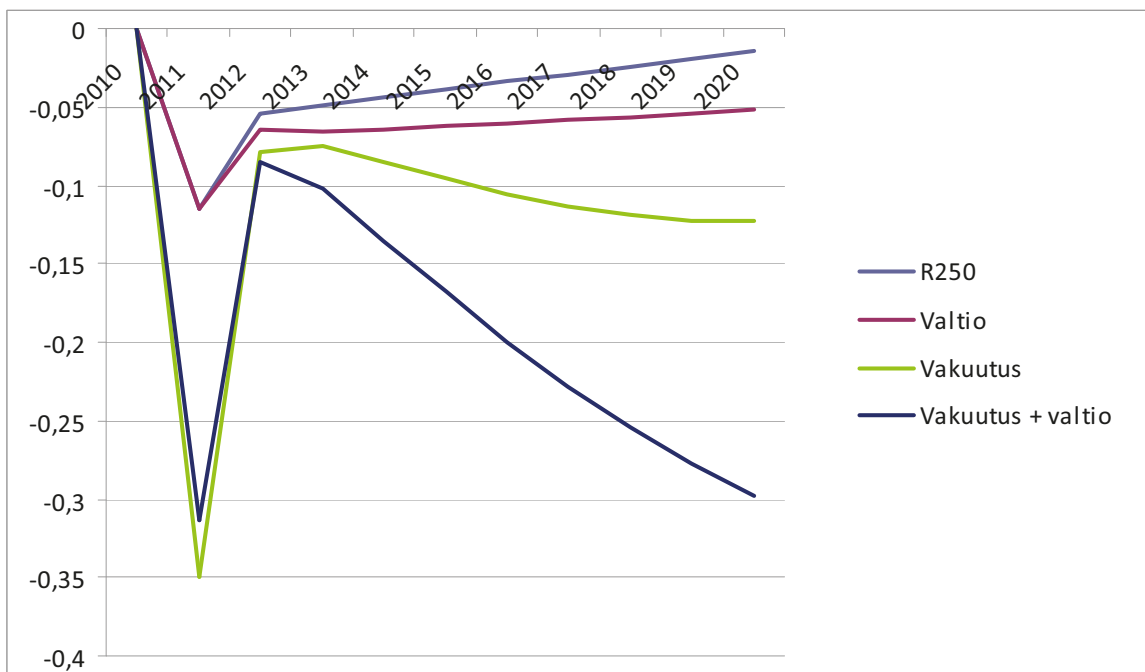
4.3.3 Koko maan tulokset

VERM-mallissa alueet ovat riippuvaisia toisistaan, ja yhden alueen kokemat vahingot vaikuttavat kauppavirtojen välityksellä myös muiden alueiden tilanteeseen. Esimerkiksi investointihyödykkeiden kohonnut kysyntä nostaa investointien hintaa ja vaikeuttaa investointeja kaikilla alueilla. Valtion yhdelle alueelle antama ylimääräinen avustus on pois muille alueille annettavista tulonsiirroista olettaen, että kokonaisbudjetti pysyy samalla tasolla. Seuraavaksi tarkastellaan, kuinka edellä kuvatut alueelliset vahingot vaikuttavat koko kansantalouden tasolla.

Kuvat 15 ja 16 esittävät BKT:n kehitystä Helsingin ja Porin tulvien jälkeen koko maan tasolla. Kuvioista voidaan nähdä, että ilman mitään toimia koko maan BKT laskee aluksi tulvan sattuessa, mutta palautuu ajan kuluessa lähemmäksi perusuran tilannetta. Valtion antamat avustukset heikentävät talouden kasvua koko maan tasolla enemmän, kuin mitä maakunnallisista tuloksista oli ennustettavissa. Avustus näyttäisi siis allokoivan resursseja tehottomasti. Molempien maakuntien tapauksessa yhdistelmäskenaario tuottaa suurimman pudotuksen BKT:ssa sekä lyhyellä että pitkällä aikavälillä. Vakuutusskenaarion vahinkojen lyhyen aikavälin vaikutuksia loiventava vaikutus näkyi ainoastaan Satakunnan tapauksessa Satakunnan alueella. Koko maan tasolla lyhyellä aikavälillä vaikutukset ovat negatiiviset, ja Satakunta pääsee hyötymään korvausvastuun jakautumisesta koko maan tasolle ainoastaan lyhyellä aikavälillä. Pitkällä aikavälillä korvausvastuun pitäminen toimialoilla on kummassakin tapauksessa paras ratkaisu. Mielenkiintoista on havaita, että Uudenmaan tulvan aiheuttamat vaikutukset ovat suuremmat koko maan tasolla kuin Satakunnan tulvan, vaikka välittömät tuhot ovat Uudellamaalla pienemmät. Osaltaan tähän vaikuttaa Satakunnan parempi taloudellinen sopeutumiskyky (pääomaa pystytään paremmin korvaamaan työvoimalla), mutta myös Uudenmaan talouden keskeinen asema koko kansantaloudessa, minkä vuoksi vaikutukset kertautuvat muihin maakuntiin voimakkaammin.



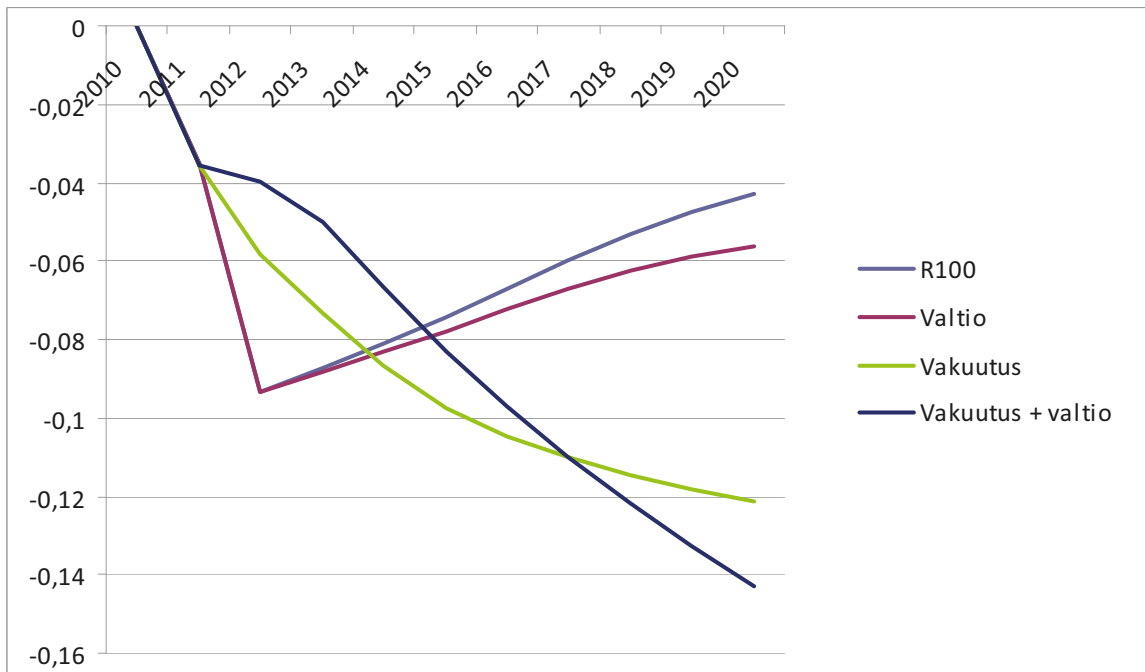
Kuva 15. BKT:n kehitys koko maan tasolla Uudenmaan rankkasadetulvan tapauksessa. x-akselilla on esitetty aika vuodesta 2010 vuoteen 2020 ja y-akselilla BKT:n prosenttimuutos suhteessa perusuraan. Tulvan tapahtumisvuosi on 2011.



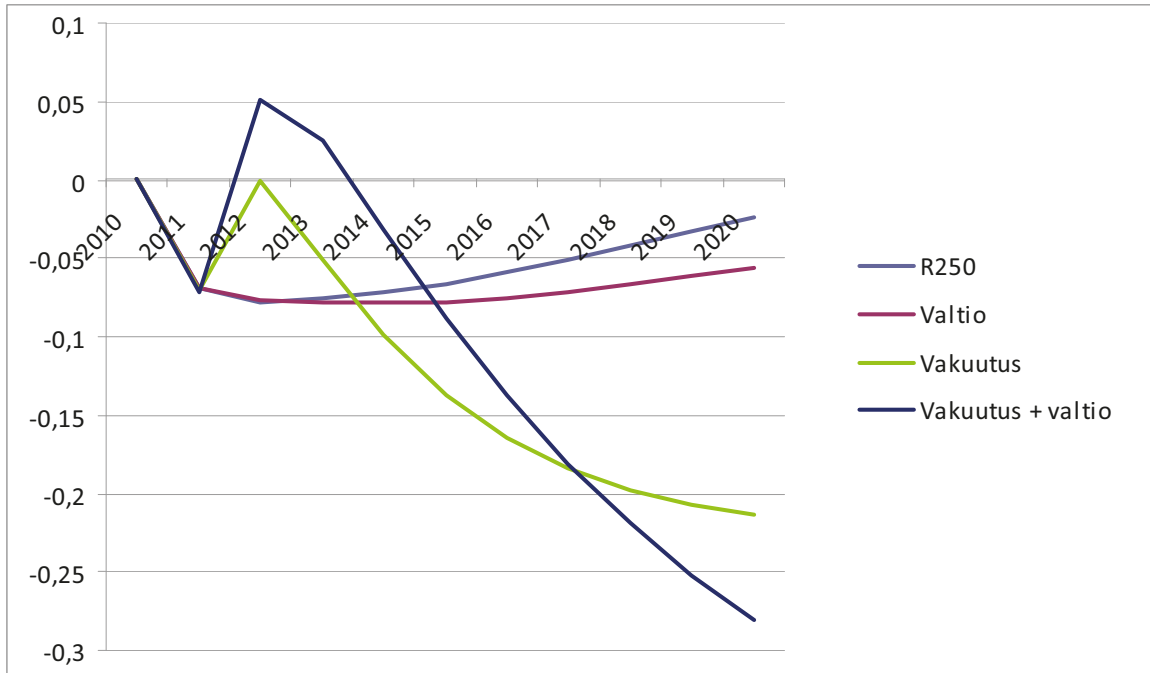
Kuva 16. BKT:n kehitys koko maan tasolla Satakunnan jokitulvan tapauksessa. x-akselilla on esitetty aika vuodesta 2010 vuoteen 2020 ja y-akselilla BKT:n prosenttimuutos suhteessa perusuraan. Tulvan tapahtumisvuosi on 2011.

Kuvat 17 ja 18 esittävät pääomakannan kehitystä koko maan tasolla. Myös tässä tapauksessa omalla korvausvastuulla päädytään lähimmäksi perusuraa pitkällä aikavälillä. Vakuutusyhtiöiden korvausvastuu lieventää vaikutuksia aluksi, mutta pääomakanta päätyy lopulta laskevalle uralle. Yhdistelmäskenaario on molemmissa tapauksissa huonoin vaihtoehto pitkällä aikavälillä. Vakuutusyhtiön korvausvastuun ja yhdistelmäskenaarion tilanteissa Satakunnan vaikutukset ovat koko maan tasolla Uttamaata suuremmat. Muissa tapauksissa Uudenmaan vaikutukset ovat suuremmat. Satakunnan tapauksessa nähdään selvä investointien yliampuminen vakuutustapauksissa, mikä korostuu erityisesti yhdistelmäskenaariossa.

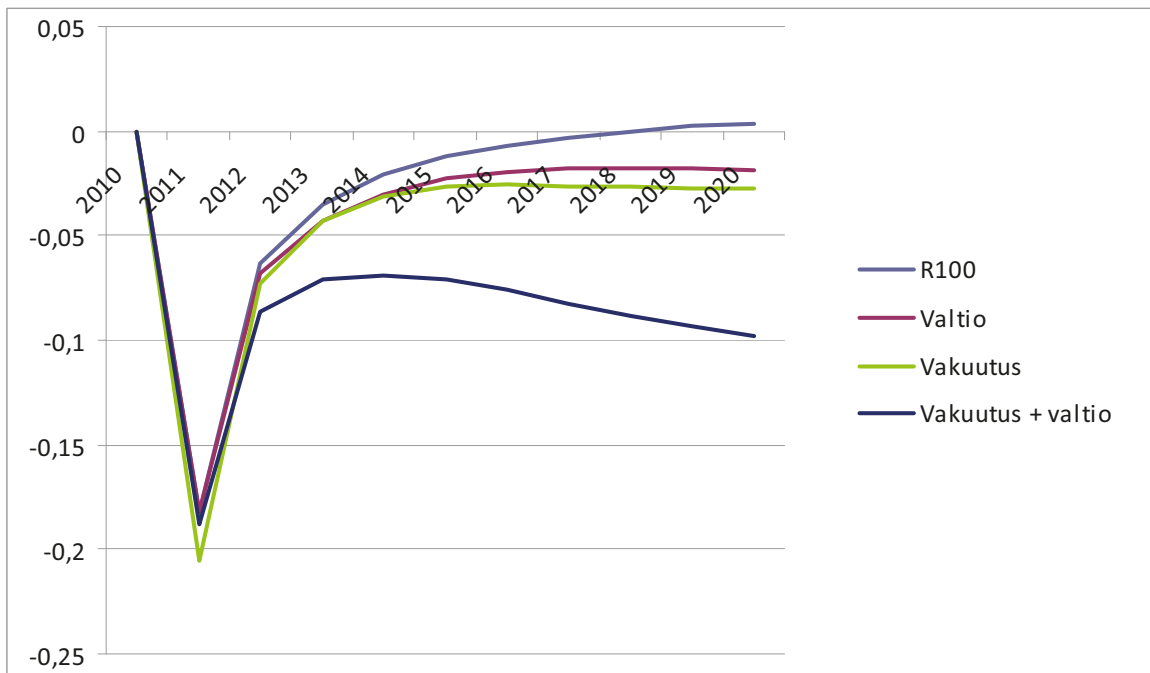
Kuvat 19 ja 20 esittävät työllisyyden kehitystä koko maan tasolla tulvatapauksissa Uudellamaalla ja Satakunnassa. Kuvista voidaan nähdä, että Uudellamaalla sattuva tulva vaikuttaa koko maan tilanteeseen tulvan tapahtumisvuonna enemmän kuin Satakunnan tulva, vaikka Satakunnan tulvan aineelliset vahingot ovat suuremmat. Ilman ylimääräisiä poliittisia toimia Uudellamaalla sattuvan tulvan tapauksessa päädytään perusuraa korkeammalle työllisyyden tasolle, mikä viittaisi tulvien aiheuttavan tuotantorakenteen siirtymisen työvoimavaltaisempaan suuntaan koko maan tasolla. Selkeästi huonoimman tuloksen tuottaa yhdistelmäskenaario.



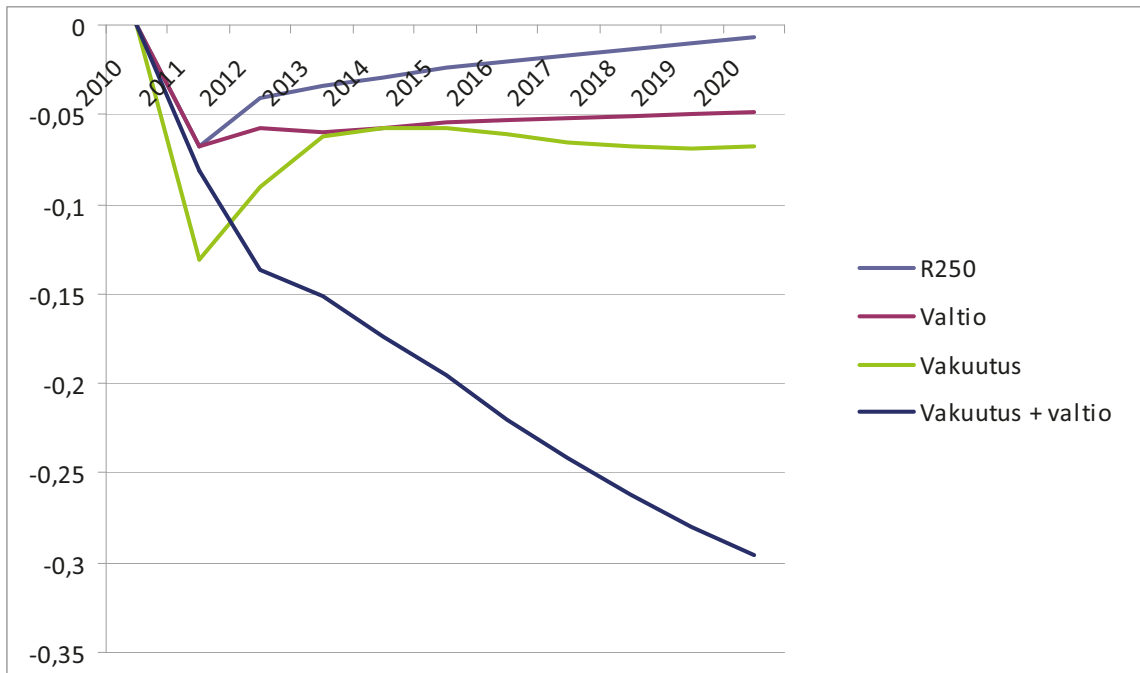
Kuva 17. Pääomakannan kehitys koko maan tasolla Uudenmaan rankkasadetulvan tapauksessa. x-akselilla on esitetty aika vuodesta 2010 vuoteen 2020 ja y-akselilla pääomakannan prosenttimuutos suhteessa perusuraan. Tulvan tapahtumisvuosi on 2011.



Kuva 18. Pääomakannan kehitys koko maan tasolla Satakunnan jokitulvan tapauksessa. x-akselilla on esitetty aika vuodesta 2010 vuoteen 2020 ja y-akselilla pääomakannan prosenttimuutos suhteessa perusuraan. Tulvan tapahtumisvuosi on 2011.



Kuva 19. Työllisyyden kehitys koko maan tasolla Uudenmaan rankkasadetulvan tapauksessa. x-akselilla on esitetty aika vuodesta 2010 vuoteen 2020 ja y-akselilla työllisyyden prosenttimuutos suhteessa perusuraan. Tulvan tapahtumisvuosi on 2011.



Kuva 20. Työllisyyden kehitys koko maan tasolla Satakunnan jokitulvan tapauksessa. x-akselilla on esitetty aika vuodesta 2010 vuoteen 2020 ja y-akselilla työllisyyden prosenttimuutos suhteessa perusuraan. Tulvan tapahtumisvuosi on 2011.

4.3.4 Välittömien kustannuksien ja kokonaistaloudellisten vaikutusten suhde

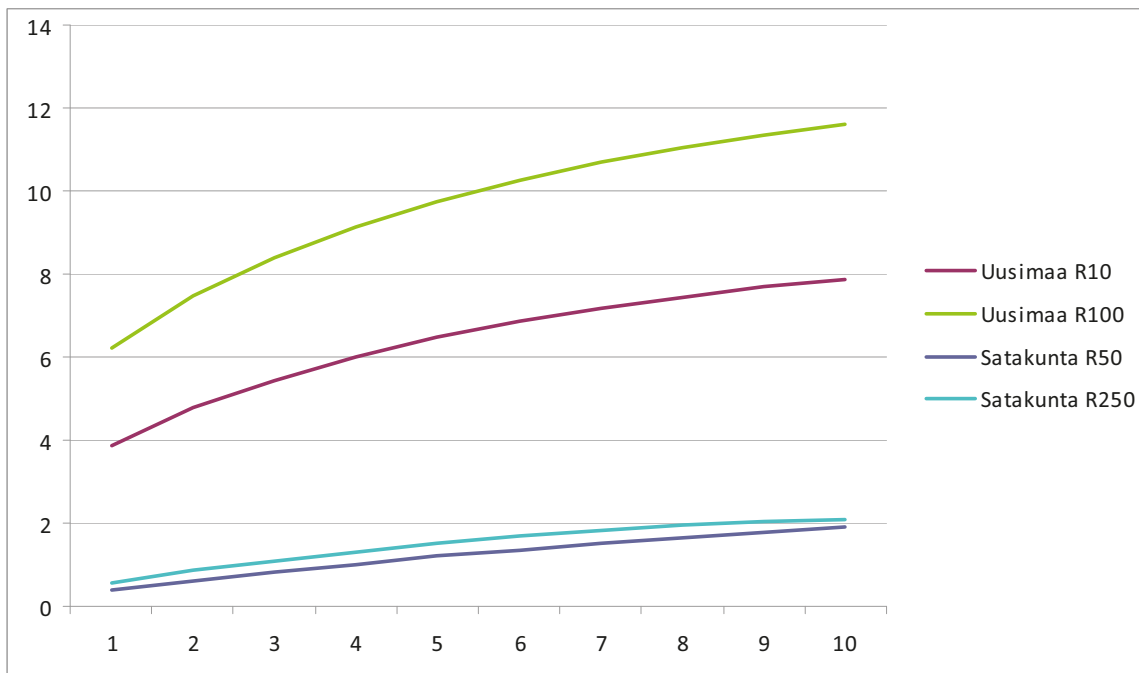
Tämän tutkimuksen yksi tavoite on selvittää, miten välittömät kustannukset (vahingot) heijastuvat kansantalouteen. Tässä yhteydessä on myös relevanttia tarkastella välittömien kustannuksien suhdetta kokonaistaloudellisiin vaikutuksiin. Usein jo melko pian äärimmäisen ilmiön jälkeen saadaan arvioita välittömistä vahingoista, kun taas kokonaistaloudellinen vaikutus on arvioitavissa vasta paljon myöhemmin. Tapaustutkimusten esimerkit osoittavat alkuperäisen vahingon vaikutuksen moninkertaistuvan. Tässä luvussa esitetään nämä ns. kerroinvaikutukset ja pohditaan, miten vaikutukset voivat vaihdella alueen taloustilanteesta riippuen.

Kuvassa 21 on kuvattu vahinkojen kerroinvaikutukset kaikissa perustapauksissa. Kertoimella tarkoitetaan tässä tapauksessa alkuperäisten pääomavahinkojen suhdetta lopulta koettuihin, koko maan tasolla mitattuihin BKT:n muutoksiin. Kertoimet on laskettu yli ajan diskonttaamalla korolla 5 %. Ensimmäisen vuoden arvo kertoo, kuinka välittömät vaikutukset suhtautuvat toisiinsa. Uudellamaalla tapauksessa R10 kerroin on 3,9 ja tapauksessa R100 6,2. Uudenmaan tulvavahingot siis aiheuttavat välittömästi pääomavahinkoja suuremman BKT:n aleneman. Satakunnalla vastaavat lukemat ovat 0,4 (R50) ja 0,6 (R250). Alle yhden arvo kertoo siitä, että pääomavahinkoja pystytään kompensoimaan muilla alueilla. Satakunnan tuhoutunut tuotantopääoma avaa siis uusia markkinoita muiden alueiden yrityksille, jotka pystyvät kasvattamaan kapasiteettiaan. Pääoman tuhoutumisesta koituvat vaikutukset kuitenkin jakautuvat pitkälle aikavälille, ja todellinen vaikutuskerroin voidaan arvioida kuvioista tasona, jota käyrät asympotoottisesti lähestyvät. Satakunnan tapauksessa päädytään lähelle kerrointa 2, jolloin todelliset vahingot ovat kaksinkertaiset koettuihin pääomatappioihin verrattuna. Uudenmaan tapauksessa päädytään välille 8–12 tulvatapauksen todennäköisyydestä riippuen. Uudenmaan suuri vaikutuskerroin kertoo maakunnan merkittävydestä muiden maakuntien talouksille. Tässä tarkasteltuja suoria ja epäsuoria vaikutuksia

ei lasketa yhteen, koska suorat vaikutukset kuvaavat vaikutuksia varastosuureisiin, kun taas epäsuorat vaikutukset kuvaavat vaikutuksia vuosuureisiin (BKT).

Tulosten hajotelma: Suorat ja epäsuorat vaikutukset

Suoriksi vaikutuksiksi laskettiin pääomalle koituneet vaikutukset ja epäsuoriksi kaikki muut pääoman tuhoutumisesta aiheutuneet esteet. Uudenmaan tapauksessa suorat vaikutukset muodostivat ensimmäisenä vuonna vain 7,6 % maakunnan BKT:n alenemasta ja 11,2 % koko maan työllisyyden laskusta. Satakunnan pääomavaltaisempi tuotantorakenne näkyy tuloksissa. Suorat vaikutukset muodostavat 43,5 % alueen BKT:n laskusta ja jopa 63,9 % vaikutuksista koko maan työllisyyden laskuun. Epäsuorat vaikutukset siis selkeästi dominoivat suoria vaikutuksia lyhyellä aikavälillä työvoimavaltaisella Uudellamaalla, mutta pääomavahinkojen vaikutus on huomattavasti suurempi teollisuusvaltaisemmassa Satakunnassa. Pitkällä aikavälillä pääomavahinkojen vaikutus kuitenkin korostuu. Viimeisenä vuonna Uudenmaan tapauksessa työllisyys päättyi lopulta positiiviseksi johtuen positiivisista epäsuorista vaikutuksista – työllisyys päättyi lopulta negatiiviseksi ilman epäsuoria vaikutuksia. Satakunnassa epäsuorat vaikutukset ovat lopulta positiiviset, mutta suorat vaikutukset pitävät kokonaistuloksen negatiivisena – suorat vaikutukset ovat 1,6-kertaiset epäsuoriin verrattuna. Myös BKT:n suhteen epäsuorilla vaikutuksilla on lievä positiivinen vaikutus. Uudenmaan tapauksessa epäsuorat vaikutukset ovat positiiviset ja 30 % negatiivisista suorista vaikutuksista. Sama kuvio toistuu Satakunnassa, jossa epäsuorat vaikutukset ovat positiiviset, mutta ainoastaan 14 % negatiivisista suorista vaikutuksista. Pääomakantaan suorilla vaikutuksilla on luonnollisesti suuri vaikutus. Uudenmaan tapauksessa ensimmäisenä vuonna 99,9 % pääomakannan laskusta johtuu suorista vaikutuksista. Viimeisenä vuonna osuus on enää 86,3 %, mikä kertoo talouden rakenteen siirtymisestä työvoimavaltaisempaan suuntaan. Satakunnassa epäsuorat vaikutukset yksinään tuottaisivat noin 0,5 % nousun pääomakannassa ensimmäisenä vuonna. Viimeisenä vuonna suorien vaikutusten osuus on vielä 89,3 %. Satakunnan talous muuttuu myös työvoimavaltaisempaan suuntaan kuten Uusimaa, mutta pääomakannan vaikutus pysyy jatkossakin voimakkaana.



Kuva 21. Vahinkojen kerroinvaikutukset perustapauksissa. Kertoimet on laskettu nykyarvoistetuista summista. Diskonttauskorkona on käytetty 5 %:a.

Tulosten integrointi laajennettuun tapahtumapuuhun

Kuvassa 22 esitetään kokonaistaloudellisia tuloksia tapahtumapuussa. Kuten luvussa 4.2 on selitetty, tapaukset Pori R250 ja Helsinki R100 edustavat pahinta mahdollista tapahtumapolkua, ja siksi näitä tapauksia koskevat kokonaistaloudelliset tulokset liitetään taulukon alimpaan tapahtumapolkuun. Välittömät kustannukset edustavat vahinkoja, jotka syntyvät ilmiön aikana tai heti sen jälkeen, joten ne toteutuvat ensimmäisen vuoden kuluessa. Välittömien vahinkojen syntymisen jälkeen alkavat tuhojen korjaus ja taloudellinen elpymis- ja sopeutusjakso. Laskelmissa rajoitettiin elvytys- ja sopeutusjakso kymmeneen vuoteen. Kymmenen vuoden aikana koko Suomen BKT:n kehitys on jonkin verran normaalitilannetta hitaampi, ja siksi koko jakson yhteenlaskettu BKT:n menetyksen nykyarvo³⁴ on Porin R250-tapauksessa noin 700 miljoona euroa ja Helsingin R100-tapauksessa vajaat 1300 miljoona euroa. Molemmat tapahtumat ovat melko epätodennäköisiä, ja siksi kokonaistaloudellisten vaikutusten odotusarvot kymmenen vuoden tarkastelujaksolle³⁵ (28 miljoona ja 122 miljoona euroa kuvan 22 mukaan) ovat huomattavasti pienempiä kuin edellä mainitut BKT:n menetyksen nykyarvot³⁶. Nämä odotusarvot toimivat referenssiarvoina, kun tarkastellaan vahinkojen vähentämiseen tähtääviä, yhteiskunnallisia investointivaihtoehtoja. Yksityisten investointien osalta referenssiarvona on välittömien kustannuksien odotusarvo.

Laajennettua tapahtumapuuta ei ole tarkoitettu vahinkojen kompensatiovaihtoehtojen (esim. valtion tuki ja vakuutus) vertailuun. Tällaista vertailua voidaan tehdä kokonaistaloudellisen ja monetaarisen analyysin avulla.

Kuvan 22 tuloksissa ovat mukana myös vaihtoehdot, joissa Porin (Satakunnan) ja Helsingin (Uudenmaan) kokonaistaloudelliset vaikutukset on laskettu toisen alueen vaikutuskertoimen avulla. Porin (Satakunnan) malliajojen perusteella laskettu kerroin on melko matala, kun taas Helsingin (Uudenmaan) kerroin on suhteellisen korkea. Näin ollen kertoimien käyttäminen ristiin antaa viitteitä kokonaistaloudellisten vaikutuksien mahdollisesta vaihteluvälistä. On syytä olettaa, että kertoimien erot johtuvat alueiden erilaisista rooleista kansantaloudessa, alueiden erilaisista taloudellisista rakenteista ja alueiden erilaisista taloudellisista kunnoista. Siksi Satakunnan kertoimen todellinen vaihteluväli ei välttämättä ole yhtenevä Uudenmaan kertoimen vaihteluvälin kanssa, vaan erityisesti Uudenmaan keskeinen rooli Suomen kansantaloudessa aiheuttaa sen, että alueen vaikutuskerroin on korkeampi kuin Satakunnan alueen vaikutuskerroin.

³⁴ Laskelmissa käytettiin 5 %:n diskonttaus korkoa.

³⁵ Varsinaisessa sopeutumis suunnittelussa kannattaa käyttää tätä pidempää ajanjaksoa, esimerkiksi 40–50 vuotta. Tässä tutkimuksessa on ollut tarkoitus tehdä vain esimerkkilaskelmia, ja siksi tarkastelut on tehty lyhyemmälle jaksolle. Sinänsä nykyisen ja tulevan vahinkoriskin tarkastelu tekijöittäin on tärkeä askel sopeutusstrategian tekemisessä (ks. Perrels ym. 2010).

³⁶ Todennäköisyys sille, että R100-tapahtuma toteutuu vähintään kerran kymmenen vuoden jaksossa, on noin 9,6 %, kun R250-tapahtumalle vastaava todennäköisyys on noin 3,9 %. Tässä oletetaan, että tapahtumat ovat täysin riippumattomia toisistaan. Molemmat tapahtumat huomioon ottava kokonaistaloudellinen riski on tapahtumien odotusarvojen summa.

TULVASKENAARIOT					YHTEISKUNNALLISIEN VAIKUTUKSIEN ANALYYSI						
Tulvatapahtuma (rankkasade, meritulva, jokitulva, ...) Mitoitustulvat: R50, R100, ...	Tulvavesien pidätys/ohjaus toimii E1	Tulva-alueella ei kriittistä toimintaa E2	Rakennusten suojaus toimii E3	Pelastustoiminnan onnistuminen E4	Palvelu-/ toimitusketjun häiriöttömyys E5	Välttömät kustannukset katastrofivuonna (miljoonaa euroa; % BKT:sta)	Kokonaistaloudelliset vaikutukset 10 vuoden jälkeen (miljoonaa euroa; % BKT:sta)	Kokonaistaloudellisten vaikutusten odotusarvo, tarkastelujakso 10 vuotta (miljoonaa euroa)			
Mitoitustulvan hydrologiset parametrit perustana tulvariskien hallinnassa	vallit, pato, tekoallas, ojaisto toimii (arvio vaatii kumulatiivisen todennäköisyysjakauman)	infrastruktuuri, asuinrakennukset	rakennustekniset ratkaisut	pelastusvälineiden käytettävyys ja kapasiteetti	tuotannon joustavuus/ siirrettävyys	Pori R250	Helsinki R100	Pori R250	Helsinki R100	Pori R250	Helsinki R100
$P(HQ > Q_R)$											
Kunkin tapauksen BKT:n muutos kahdella eri vaikutuskertoimella laskettuna: - oman alueen (lihavoitu fontti) ja - toisen alueen (kursiivi fontti)						335 0,20 %	110 0,07 %	704 3885 0,36 % 1,98 %	1276 231 0,65 % 0,12 %	28 153	122 22
						BKT:n muutoksien odotusarvot					

Kuva 22. Kokonaistaloudelliset vaikutukset ja niiden odotusarvon tulkinta tiivistettynä tapahtumapuussa. Kursiivilla esitetyt luvut kuvaavat tapausta, jossa kokonaistaloudellisten ja suorien vaikutusten välistä suhdetta kuvaavia kertoimia on käytetty alueittain ristiin: Porin kokonaistaloudelliset vaikutukset on laskettu käyttäen Helsingin kerroinvaikutusta, ja Helsingin kokonaistaloudelliset vaikutukset on laskettu käyttäen Porin kerroinvaikutusta. Kokonaistaloudellisten vaikutusten odotusarvot on laskettu kymmenen vuoden tarkastelujaksolle. Odotusarvot on laskettu kertomalla tulvasta koituvat kokonaistaloudelliset vaikutukset todennäköisyydellä, että tulva sattuu vähintään kerran kymmenen vuoden tarkastelujakson aikana.

4.3.5 Johtopäätökset taloudellisista vaikutuksista

Hankkeessa tarkasteltiin malliajajojen avulla sään ääri-ilmiöiden kokonaistaloudellisia vaikutuksia Suomessa kahden esimerkitapauksen valossa ja vertailtiin eri toimintavaihtoehtojen vaikutuksia vahingoista toipumiseen. VERM-mallissa BKT:n palautuminen perusuraan on talouden elpymistä ohjaava kriteeri. Näin ollen paras toimintavaihtoehto on sellainen, jossa alueen tuotantotaso palautuu alkuperäisen kehityksen mukaiseen tasoon tehokkaimmalla tavalla.

Valtion antama avustus aiheuttaa marginaalisia vaikutuksia alueilla itsellään, mutta mallin nykyisistä avustuskanavien luonteista johtuen kotitaloudet kuluttavat osan avustuksesta muihin tarkoituksiin kuin vahinkojen korjaamiseen, mikä viivästyttää vahinkojen korjausta ja perusuran saavuttamista näissä simuloinneissa. Satakunnassa saavutetaan kuitenkin korkeampi BKT:n taso, kuin mitä ilman avustuksia tapahtuisi. Koko maan tasolla avustukset kuitenkin vaikuttavat kansantalouden avainlukujen osalta haitallisesti. Äärimmäisessä tilanteessa avustuksen käyttö keskittyy korvausmenoihin, mutta valtion tuki voitaisiin myös korvamerkitä korvausmenoihin. Vakuutus- ja rahoitussektorin korvausvastuu vaikuttaisi kaikissa tapauksissa huonolta vaihtoehdolta pitkällä aikavälillä. Taustalla on korjausbuumin heijastusvaikutus kaikkien toimialojen investointikustannuksiin erityisesti investointitavaroiden hintojen ja palkkojen nousun kautta. Vakuutuskenaarioissa lyhyellä aikavälillä tapahtuva investointien äärimmäinen vauhdittaminen näyttäisi olevan haitallista pitkällä aikavälillä tarkasteltuna. Toisaalta ilman korjausbuumeja hyvinvoinnin palautuminen kestäisi pidempään, erityisesti huonontuneen asumislaadun takia. Malliajoissa ei ole myöskään otettu huomioon vakuutuksien ohjaavaa vaikutusta pääoman omistajan riskien välttämiseen: vakuutuksen ehtona voi olla riskiä vähentävien toimenpiteiden

toteuttaminen, tai vakuutus voi olla edullisempi, mikäli tällaisia riskiä vähentäviä toimenpiteitä on tehty³⁷.

Avustuksien aiheuttamia taloudellisia tappioita tulee kuitenkin verrata vahingoista aiheutuvan hyvinvoinnin menetyksen suuruuteen ja kestoon ja toisaalta ennaltaehkäisevien toimenpiteiden taloudellisiin vaikutuksiin. Päätöksenteon näkökulmasta mallituloksia ei tule tulkita siten, että vakuutukset olisivat huono vaihtoehto, vaan tulosten perusteella tulisi miettiä, millaisilla toimenpiteillä voitaisiin vaimentaa massiivisten äkillisten pääomankorjausten negatiivisia, kauaskantoisia vaikutuksia.

4.4 Asiantuntijapalaute tapaustutkimuksista

4.4.1 Ilmiöiden ja tapauksien määrittely

Asiantuntijat pitivät valittuja ilmiöitä, rankkasateen aiheuttamaa tulvaa ja jokitulvaa, relevantteina. Ilmiöiden vaikutusten todettiin kuitenkin olevan erityisesti rankkasateiden osalta hyvin tapauskohtaisia ja paikkariippuvaisia. Useat vastaajat toivat esiin, että myös meriveden nousun aiheuttamia tulvia olisi tärkeää ottaa mukaan tarkasteluun³⁸, koska erityisesti pääkaupunkiseudulla meritulvan aiheuttamat vahingot voivat olla merkittäviä. Lisäksi arveltiin, että olisi mielenkiintoista tarkastella rankkasateisiin yleensä liittyvän myrskytapahtuman tai muun myrskyn vahinkoja kokonaisuudessaan, jääpatojen³⁹ aiheuttamia tulvia länsirannikolla ja pohjoisessa, sekä erilaisten ilmiöiden yhteisvaikutuksia ja todennäköisyyksiä.

Valittuja alueita, rankkasadetulvan osalta Helsinkiä ja jokitulvan osalta Poria, pidettiin yleisesti relevantteina alueina tarkastelun kannalta. Lisäksi ehdotettiin jonkin sisämaan alueen tarkastelua Keski- tai Itä-Suomessa. Tulevaisuuden tulvariskikohteista toivottiin mukaan esimerkkejä suurien keskusjärvien ja Pohjois-Suomen isojen jokien alueilta. Todettiin myös, että olisi mielenkiintoista tarkastella tulvan vaikutusta pienen kunnan taloustilanteeseen ja kuntalaisten elämään. Esimerkiksi pienet kaupunkipurot voivat tulviessaan aiheuttaa huomattavia tuhoja alueilla, joita ei tavallisesti mielletä tulva-altiiksi (mm. Oravaisten tulva 2004). Meritulvien osalta myös muut rannikkokaupungit ovat relevantteja tarkastelukohteita.

Myös valittuja toistumisaikoja (rankkasadetulva: R10 ja R100; jokitulva: R50 ja R250) pidettiin relevantteina. Toisaalta tuotiin esiin, että esimerkiksi teollisuuden päätöksenteon näkökulmasta on tärkeää tietää, tapahtuuko jokin tulva investoinnin elinkaaren, tyypillisesti 30–40 vuoden, aikana. Näin ollen teollisuusinvestointien näkökulmasta myös erittäin harvinaisten⁴⁰ tulvien tarkastelu on oleellista. Lisäksi ehdotettiin, että tarkasteltavat toistumisajat valittaisiin korvausvastuiden jakautumisen mukaan.

³⁷ Vastakkainen vakuutuksiin liittyvä ilmiö on nk. moraalikato (engl. *moral hazard*). Moraalikato syntyy, jos esimerkiksi vakuutus sopimuksella siirretään vakuutuksenottajan riski vakuutusyhtiölle, ja tämä riskin siirto vakuutuksenottajan kannettavaksi muuttaa vakuutuksenottajan käytöstä verrattuna tilanteeseen, jossa vakuutuksenottaja kantaa riskin kokonaisuudessaan. Lisäksi saattaa tapahtua haitallista valikoitumista: vakuutuksen ottavat muita herkemmin sellaiset tahot, joilla on keskimääräistä korkeampi riski joutua alttiiksi vahingolle.

³⁸ Koska meritulvan aiheuttamat rahamääräiset vahingot ja vahinkotyyppit ovat samanlaisia kuin nyt tutkituissa tapauksissa, taloudellisten vaikutusten osalta ei tarvitse erikseen tarkastella meriveden nousun aiheuttamia tulvia. Tulvan tyyppi vaikuttaa kuitenkin tapahtumapuun todennäköisyyksiin.

³⁹ Asiantuntijat totesivat, että jääpatoriski pienenee ilmastonmuutoksen myötä.

⁴⁰ Oletetaan, että tulviin halutaan varautua siten, että 95 %:n todennäköisyydellä investoinnin elinkaaren aikana ei satu sellaista tulvaa, johon ei ole varauduttu. Tällöin 30 vuoden investoinnin yhteydessä pitäisi varautua keskimäärin kerran 585 vuodessa sattuviin tulviin ja 40 vuoden investoinnin yhteydessä keskimäärin kerran 780 vuodessa sattuviin tulviin.

4.4.2 Annetut lähtötiedot

Osa vastaajista piti annettuja lähtötietoja (taulukot 6 ja 7) hyvinä. Vastauksissa toivottiin, että lähtötiedoissa eroteltaisiin suorat ja epäsuorat vaikutukset: esimerkiksi tuotantomenetyksiä syntyy paitsi suoraan tulvan seurauksena myös esimerkiksi sähköverkon toimintahäiriön takia. Lähtötietoihin toivottiin myös muun infrastruktuurin ja verkostojen vahinkoja. Todettiin, että lähtötietojen arvioimiseksi kartta olisi tarpeellinen.

Vastaajien mielestä lähtötiedoissa pitäisi olla mukana myös seuraavia asioita: terveysvaikutukset, henkilövahingot, vaikutukset luonnonympäristöön, ympäristövaikutukset (esim. hiilijalanjälki), vaikutukset kulttuuriympäristöön, vaikutukset vesistöihin, pohjavesiin ja vesihuoltoon ja näiden vaikutusten vuodenaikaisriippuvuus, suoraan tai välillisesti seuraavat muut onnettomuudet sekä tulvien etenemis- ja/tai leviämisenusteat⁴¹. Toisaalta arveltiin, että välillisten vahinkojen ottaminen mukaan tarkasteluun voisi tehdä tarkastelusta turhan laajan ja monimutkaisen.

4.4.3 Kokonaistaloudelliset vaikutukset

Monet vastaajat kokivat, että esitettyjen kokonaistaloudellisten vaikutusten hahmottaminen ja arvioiminen oli hankalaa mm. siksi, että tulokset oli esitetty alueille, jotka eivät todellisuudessa toimi aluetaloudellisina yksikköinä. Arvioimisen helpottamiseksi ja kokonaisuuden hahmottamiseksi kaivattiinkin todellisia verrokkitapahtumia.

Vaikutuksia pidettiin yleisesti odotettua pienempinä ja lyhytaikaisempina. Vastauksissa pohdittiin, saattaisiko teollisuus siirtää tulvatapahtuman jälkeen tuotantonsa kokonaan toiselle paikkakunnalle.

Vastaajat esittivät, että kokonaistaloudellisten vaikutusten tarkastelu ulottuisi nykyistä pidemmälle aikavälille, esimerkiksi 50 vuoden päähän. Ennaltaehkäisevien toimien kokonaisvaikutusten mukaan ottamista pidettiin tärkeänä.

Monessa vastauksessa nostettiin esille, että korjaus- ym. kustannukset suuntaavat sekä julkista että yksityistä kulutusta, mikä saattaa vaikuttaa negatiivisesti joihinkin sektoreihin, alueisiin ja sosiaalisiin ryhmiin. Lisäksi todettiin, että tulvan aiheuttamalla varautumisen parantumisella voidaan vähentää tulvavahinkoja tulevaisuudessa, mutta toisaalta ihmisten muisti on yllättävän lyhyt: tulvatapahtuma muistetaan vain niillä alueilla, joissa tulvat ovat yleisiä.

Kokonaistaloudellisten vaikutusten arveltiin olevan tärkeitä erityisesti päätöksenteon ylätasolla mm. varautumis- ja suojautumistoimenpiteistä päätettäessä, kaavoituksessa, rakennusmääräysten kehittämisessä jne. Kokonaistaloudellisten vaikutusten arvioitiin tuovan uuden näkökulman tulvavahinkojen tarkasteluun. Koska tulviin varautumisessa ja tulvasuojelussa pyritään ensisijaisesti minimoimaan välittömiä seurauksia, kokonaistarkastelu ei kuitenkaan sovellu suunnittelun ohjenuoraksi. Lisäksi todettiin, että myös muut kuin taloudelliset vahingot tulisi ottaa huomioon.

Todettiin, että kokonaistaloudellisten ja välittömien vahinkojen välinen kerroin on viestinnällisesti hyvä apuväline, mutta se vaatii vielä lisätutkimusta. Kertaantumisvaikutuksia ja niiden alueellisia eroja pidettiin mielenkiintoisina. Myös mahdolliset pysyvät vaikutukset talouden rakenteisiin ovat tärkeää tietoa.

Kiinnostavana huomiona nostettiin esiin, että kokonaistaloudellisten tarkastelujen mukaan vakuutussektorille allokoitu korvausvastuu tulvien välittömistä vahingoista oli asiantuntijoille

⁴¹ Mainittiin myös tie- ja rataverkon toimivuus, mutta liikenneinfrastruktuuri oli jo mukana lähtötiedoissa.

esitetystä vaihtoehdoista kokonaistaloudellisten vaikutusten perusteella kaikkein huonoin⁴², kun taas valtion maksamat korvaukset osoittautuivat tarkasteluissa tätä huomattavasti tehokkaammaksi vaihtoehdoksi.⁴³ Huomio on mielenkiintoinen siksi, että uuden tulvavahinkolainsäädännön myötä korvausvastuuta ollaan siirtämässä vakuutusyhtiöille, kun ne tähän asti on korvattu valtion toimesta. Palautteessa kritisoitiin *valtio korvaa* -skenaariota epärealistisuutta, koska skenaariossa ei ollut korvamerkittyä valtion maksamia korvauksia investointeihin⁴⁴.

Kokonaistaloudellisesta analyysistä on hyötyä esimerkiksi rahoitusvaihtoehtojen vertailussa, rakentamismääräyksiä ja tulvasuojelua koskevaa lainsäädäntöä valmisteltaessa sekä lakien taloudellisten vaikutusten arvioinnissa. Monet vastaajat korostivat, että kokonaistaloudellisia vaikutuksia tärkeämpi tieto on kustannusten kohdentuminen. Tämä mm. selvittäisi eri sektoreiden haavoittuvuutta.

Useat vastaajat arvioivat, että oman toimialan kannalta suorat vaikutukset ovat päätöksenteossa tärkeämpiä kuin kokonaistaloudelliset vaikutukset. Vakuutussektori kuitenkin hyötyisi tulvavahinkojen kokonaistaloudellisten vaikutusten tuntemisesta, koska historiatietoa ei juuri ole käytettävissä.

⁴² Yhdistelmäskenaario on kokonaistaloudellisten tarkastelujen mukaan kaikkein huonoin vaihtoehto. Tämän skenaarion tarkastelu päätettiin kuitenkin toteuttaa vasta viimeisen asiantuntijaistunnon jälkeen.

⁴³ Kuten edellä on todettu, tulosta ei pidä tulkita siten, että vakuutukset olisivat huono vaihtoehto, vaan tulisi miettiä, millaisilla toimenpiteillä voitaisiin vaimentaa korjausbuumin negatiivisia vaikutuksia.

⁴⁴ Skenaario, jossa pääomatuhot korvataan vakuutussektorin kautta ja valtio korvaa vakuutussektorin kokemat tappiot, vastaa tilannetta, jossa valtion antamat avustukset on korvamerkitty investointeihin.

5. Yleinen asiantuntijapalaute

5.1 Yleinen asiantuntijapalaute tulvariskien hallinnasta

5.1.1 Kaavoitus ja maankäytön suunnittelu

Kaavoituksen ja maankäytön suunnittelulla on erittäin keskeinen rooli tulvariskien hallinnassa. Jo kaavoituksessa on otettava huomioon mahdolliset tulvariskit, ja sallittu toiminta on rajattava riskien mukaan.

Ulkomailta on esimerkkejä siitä, että hyvällä suunnittelulla päästään tasapainoiseen kaavoitukseen (esim. Hollanti ja Belgia; mm. <http://nederland.risicokaart.nl/>, Bouwer 2010, Koomen 2008). Esimerkiksi teollisuudelle on turvattava toimintaedellytykset osoittamalla soveltuvia paikkoja. Suunnittelun apuna voidaan myös käyttää raja-arvoja, joita ylittäviä riskejä ei enää hyväksytä tietylle toiminnolle. Belgiassa kaavaa ei hyväksytä, ennen kuin siitä on tehty turvallisuusselvitys. Tällaisen turvallisuusselvityksen tekeminen olisi tärkeää myös Suomessa.

Tällä hetkellä Suomessa ei maankäytön suunnittelulla erityisesti rajoiteta kosteikkojen, soiden yms. tuhoamista. Tällaisen luonnonmukaisen tulvanhallinnan tuhoaminen lisää tulvia, joita joudutaan torjumaan muilla keinoilla. Kokonaisvaltaisella suunnittelulla olisi mahdollista päästä nykyistä kustannustehokkaampiin ratkaisuihin.

5.1.2 Viranomaisten sääntely vs. markkinaohjaus tulvariskialueelle rakentamisessa

Suurin osa asiantuntijoista suhtautui markkinaohjaukseen varauksellisesti. Viranomaisten sääntelyn tarvetta perusteltiin mm. sillä, että kaikki tahot eivät toistaiseksi ymmärrä tulvariskiä riittävän hyvin ja että Suomessa on tilaa niin paljon, ettei tulvariskialueelle ole välttämätöntä rakentaa. Toisaalta tunnustettiin, että jonkinlainen porrastus maankäytön osalta riskitasosta riippuen saattaisi olla taloudellisesti hyödyllistä, mikäli vaihtoehtona on kaiken rakentamisen kieltäminen.

Osa asiantuntijoista oli valmis harkitsemaan osittaista markkinasääntelyä, mutta epäilyksiä esitettiin esimerkiksi keinottelun esiintymisestä. Tulvariskialueelle rakentamisella on seurannaisvaikutuksia myös muiden kuin kiinteistönomistajan riskinhallintaan: esimerkiksi rakennettua tulvariskialuetta ei enää voi käyttää imeyttämiseen. Lisäksi painotettiin, että mikäli tulvariskialueelle rakentaminen sallitaan, kiinteistönomistajan pitää itse kantaa tulvariski ja kiinteistönomistaja voitaisiin velvoittaa suojaamaan rakennusta tulvilta.

Toisaalta on tärkeää ymmärtää, miten maankäytön rajoitukset vaikuttavat kaupunkiseudun taloudelliseen toimivuuteen. Jos rakennuskielto koskee vain pientä aluetta, sen vaikutus ei todennäköisesti ole merkittävä. Laaja rakennuskielto saattaisi kuitenkin johtaa etäisyyksien kasvuun ja kiinteistöjen hintamuutoksiin.

5.1.3 Hulevesien hallinta

Hulevesien hallinnassa maaston tuntemus, joustavuus ja avoimuus ovat avaintekijöitä. Hallintaan liittyy kuitenkin monia ongelmia. Esimerkiksi kiinteistöjen piha-alueiden vettä läpäisemättömien pintojen merkitys on suuri hulevesien hallinnan kannalta, mutta tällä hetkellä ei kontrolloida pihojen pintamateriaaleja. Todettiin, että rakennetuimmille alueille tulisi rakentaa viivytyrakenteita, joista hulevedet johdetaan eteenpäin salaojaputkia pitkin.

Pieniä taajamatulvia voitaisiin usein helposti ehkäistä korjaavilla rakenteilla. Asiantuntijat ehdottivat, että rahoitusta suunnattaisiin tällaisiin toimenpiteisiin. Kommenteissa myös suositeltiin, että valuma-alueille tulisi rakentaa hajautetusti korjaavia tai kompensoivia rakenteita.

5.1.4 Tulvavahinkojen ja tulvariskien hallintakeinojen rahoitus

Asiantuntijoilta pyydettiin ehdotuksia tulvavahinkojen korvausjärjestelmiksi ja tulvariskien hallintakeinojen rahoitusjärjestelmiksi. Esitetyissä tulvavahinkojen korvausjärjestelmissä oli seuraavia piirteitä:

- omavastuu;
- korvauksia erityisesti odottamattomille, harvinaisen voimakkaille tulvatapauksille;
- vakuutuksen ehtojen riippuminen tulvariskistä; ja
- vakuutusyhtiöille ainakin osittainen takaus valtiolta, jos alueen tulvariski on erittäin suuri.

Monet asiantuntijat ehdottivat, että valtion rahoitusta vähennettäisiin tai se poistettaisiin kokonaan, ja vastaavasti lisättäisiin vastuuta ja korvausvelvoitteita suunnittelijoille ja toteuttajille esimerkiksi korvausjärjestelmän omavastuun kautta. Tämän arveltiin tehostavan paikallista sitoutumista: ihmiset varautuisivat tulviin itse ja tiedostaisivat riskejä nykyistä paremmin, eikä esimerkiksi riskialueille enää rakennettaisi. Arvioinnin edellytyksenä kuitenkin on, että tietoa on riittävästi saatavilla.

Tulvariskien hallintakeinojen rahoituksen järjestämiseksi ehdotettiin mm. seuraavia keinoja: rahoitus koostuisi sekä valtion tuesta että paikallisrahoituksesta; rahoitus perustuisi valtakunnalliseen rahastoon; tai rahoitusvastuuta kohdennettaisiin kunnille, mikä tehostaisi maankäytön ohjausta. Taajamatulvariskien hallintakeinojen rahoitukseen ehdotettiin sovellettavaksi *aiheuttaja maksaa* -periaatetta. Tässä mallissa tulvariskejä aiheuttavan rakentamisen tai maankäytön muutoksen tekijä kompensoisi haitan rahoittamalla ennaltaehkäisevien rakenteiden kustannukset. Velvollisuus kustantaa kompensatio kannustaisi kestävään ja ennaltaehkäisevään suunnitteluun ja toteutukseen kaikessa rakentamisessa. Ehdotettiin myös, että jos rakentamisessa ei ole otettu huomioon tiedossa olevaa rakentamisen aiheuttamaa tulvariskin lisäystä, tästä seuraisi korvausvelvoitteita.

Asiantuntijat olivat yksimielisiä siitä, että tulvavahinkojen korvausjärjestelmällä ja tulvariskien hallintakeinojen rahoitusjärjestelmällä on vaikutusta esimerkiksi tietoisuuteen tulvariskeistä, toimintatapoihin ja päätöksentekoon. Esimerkkinä mahdollisesta vaikutuksesta mainittiin nk. moraalikato-ongelma⁴⁵: jos korvausvastuun tiedetään olevan ulkopuolisella taholla, vahinkoihin ei varauduta optimaalisella tasolla.

Vastauksissa myös tuotiin esiin huomio, että vääränlaisia kannustimia syntyy helposti. Korvausjärjestelmä ei saa vain korvata vahinkoja, vaan sen pitää myös kannustaa yrityksiä ja kotitalouksia vähentämään riskiä. Esimerkiksi vakuutusmaksu voi perustua vahinkotapahtumien trendiin.

⁴⁵ Ks. alaviite 37.

5.1.5 Tulvariskien merkittävyyden arvioiminen

Osa asiantuntijoista piti lakia tulvariskien hallinnasta tulvariskin merkittävyyden arvioinnin osalta⁴⁶ riittävän kattavana. Lisäohjeita kuitenkin toivottiin erityyppisten vaikutusten vertailemiseksi, koska tällä hetkellä priorisointi on hankalaa.

Merkittävien hulevesitulvakohteiden nimeämistä sen sijaan pidettiin lähes mahdottomana tehtävänä, mutta lakitekstin muuttaminen ei auta tähän ongelmaan.

Kommenteissa nostettiin esille huoli kuntien osuudesta tulvariskien hallinnassa⁴⁷. Miten taataan yhtenäisyys kuntien välillä, ja miten lain ulkopuolelle jääviä ei-merkittäviä tulvia tulisi hallita kuntatasolla?

5.2 Yleinen asiantuntijapalautte vastatoimenpiteiden valinnasta

Vastatoimenpiteiden valinnan ensisijaisena kriteerinä tulisi olla ihmisille aiheutuvien vahinkojen, kuten kuolemantapausten ja loukkaantumisten, torjuminen. Valintatilanteessa pitäisi myös korostaa kokonaisvaltaista hallintaa: pitäisi ottaa huomioon koko vesistöalue ja toimenpiteen vaikutukset sen kannalta. Vastatoimenpiteiden valinta on monikriteeristä päätöksentekoa, jonka tulokseen vaikuttavat mm. riskin todennäköisyys, kustannus–hyöty-tarkastelu, toimenpiteen vaikutus käyttäjiin tai asiakkaisiin, toimenpiteen takaisinmaksuaika, budjetti ja toimenpiteen hyväksyttävyys yhteiskunnan kannalta. Varautuminen äärettömän harvoin toteutuvaan tapahtumaan ei ole useinkaan kustannustehokasta.

Vastatoimet tulisi valita mahdollisuuksien mukaan ennaltaehkäisevistä toimista. Mikäli näitä ei ole löydettävissä, pyritään etsimään toimia, jotka rajaavat mahdollisen vahingon tehokkaasti. Jotta vastatoimenpiteet pystytään mitoittamaan realistisesti, ne voidaan valita riskianalyyysien ja varautumissuunnitelmien pohjalta, ja jos niitä ei ole tehty, tulee tukeutua asiantuntijoiden arviointeihin. On myös tarpeen tehdä etukäteen laskelmia eri vaihtoehtojen soveltuvuudesta (toimivuus, kustannukset). Esiin nostettiin, että toimenpiteiden kirjo on paikkasidonnainen, jolloin paikallisten toimijoiden tehtävä olisi tuoda tarkasteluun oleelliset vaihtoehdot.

Vastaajat eivät pääsääntöisesti nähneet tulvan vastatoimenpiteiden aiheuttavan uusia riskejä. Toisaalta kuitenkin todettiin, että onnistunut torjunta yläjuoksulla voi johtaa katastrofiin

⁴⁶ ”8 § Merkittävät tulvariskialueet

Alue, jolla 7 §:ssä tarkoitetun arvioinnin perusteella todetaan mahdollinen merkittävä tulvariski tai jolla sellaisen riskin voidaan olettaa ilmenevän, nimetään merkittäväksi tulvariskialueeksi. Tulvariskin merkittävyyttä arvioitaessa otetaan huomioon tulvan todennäköisyys sekä seuraavat tulvasta mahdollisesti aiheutuvat yleiseltä kannalta katsoen vahingolliset seuraukset:

- 1) vahingollinen seurauksien ihmisten terveydelle tai turvallisuudelle;
- 2) välttämättömyyspalvelun, kuten vesihuollon, energihuollon, tietoliikenteen, tieliikenteen tai muun vastaavan toiminnan, pitkäaikainen keskeytyminen;
- 3) yhteiskunnan elintärkeitä toimintoja turvaavan taloudellisen toiminnan pitkäaikainen keskeytyminen;
- 4) pitkäkestoinen tai laaja-alainen vahingollinen seurauksien ympäristölle; tai
- 5) korjaamaton vahingollinen seurauksien kulttuuriperinnölle.

Tulvariskin merkittävyyttä arvioitaessa otetaan huomioon myös alueelliset ja paikalliset olosuhteet.

Maa- ja metsätalousministeriö nimeää vesistöalueen ja merenrannikon merkittävät tulvariskialueet elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen ehdotuksesta. Ministeriön päätökseen ei saa hakea erikseen muutosta valittamalla.” Laki tulvariskien hallinnasta (620/2010, 8 §)

⁴⁷ Tulvariskien hallinnasta annetun lain (620/2010) mukaan kunta

- tekee alustavan arvioinnin hulevesitulvista aiheutuvista tulvariskeistä, nimeää hulevesitulvien merkittävät tulvariskialueet ja laatii alueille tulvavaarakartat ja tulvariskikartat; ja
- laatii hulevesitulvan vuoksi merkittäväksi tulvariskialueeksi nimetyille alueelle tulvariskien hallintasuunnitelman.

alajuoksulla ja myös väärin ajoitettu torjunta voi pahentaa tilannetta. Vastaajat pohtivat myös esimerkiksi jäteveden sekoittumista sadeveeteen ja esittivät, että vesilaitosten tulisi huomioida nykyistä paremmin putkistojen toiminta tulvatilanteessa. Etenkin mitoitusperusteita ja viemäriverkoston turvalaitteita tulisi kehittää tulvien varalle. Esiin nostettiin myös mielenkiintoinen näkökulma: voiko tulvasuojauksen rakentaminen vähentää ihmisten tietoisuutta tulvariskeistä ja sitä kautta lisätä suurelle tulvalle altistuvan omaisuuden määrää?⁴⁸

Asiantuntijat ehdottivat käytettäväksi 5 %:n diskonttauskorkoa vastatoimenpiteiden kannattavuustarkasteluissa. Tämä on mm. EU-maissa tavallisesti käytetty taso.

5.3 Muu asiantuntijapalautte

Asiantuntijat painottivat, että kokonaisvaltainen, kestävä suunnittelu on tärkeää myös tulvariskien hallinnan kannalta. Lisäksi korostettiin johdonmukaisen viestinnän merkitystä. Todettiin, että tulvavahinkojen korvaamiseen ja tulvariskien ennaltaehkäisyyn liittyvistä vastuusuhteista pitäisi viestiä johdonmukaisesti kaikilla tasoilla.

Vastaajat toivat esiin, että nykyinen säädäntökäytäntö ei tue riittävästi asuinrakennusten ja kriittisen infrastruktuurin suunnittelua tulvaa vastaan. Toivottiinkin, että viranomaiset antaisivat selkeät raja-arvot, jotka määrittelisivät, miten erilaisiin ääri-ilmiöihin tulisi varautua.

Ilmastonmuutoksen arveltiin lisäävän tarvetta viranomaisten yhteistyöhön, koska onnettomuusriski kasvaa. Tarvitaan lisää resursseja ennakointiin ja mahdollisten uhkakuvien määrittelemiseen. Toiminnan tehostamista ja yhteistyön lisäämistä tarvitaan sekä operatiivisessa että strategisessa toiminnassa. On kuitenkin erittäin vaikeaa erottaa ilmastonmuutoksesta johtuvia seurauksia yhteiskunnan muutoksen tuomista vaikutuksista.

Loppukeskustelussa ehdotettiin seuraavia jatkotutkimusaiheita: toivottiin pienimittakaavaisia tarkasteluja⁴⁹, toimintatapojen vertailua – esimerkiksi onko kannattavampaa toimia yhdessä vai yksittäin – ja selvitystä suojausjärjestelmien hinnoista ja niiden rahoituksesta.

⁴⁸ Kansainvälisestä kirjallisuudesta tiedetään, että ns. 'yhteiskunnallinen muisti' toimii kohtuullisen hyvin, jos ilmiön toistumisaika on riittävän lyhyt. Jos väestön rakenne on hyvin dynaaminen (paljon muutosta tai voimakas kasvu), yhteiskunnallinen muisti toimii huonosti, kun taas pysähtyneessä yhteiskunnassa muisti ulottuu pitkälle historiaan. Modernissa yhteiskunnassa, jossa suojatoimet ovat yleensä tehokkaita ja väestön dynamiikka on merkittävä, kansalaiset eivät saa mahdollisuuksia oppia kokemuksista. Tämän takia myös tietoisuus tulvariskeistä vähenee.

⁴⁹ 3. asiantuntijaistunnossa esitetty kustannus–hyötyanalyysiesimerkki (ks. kuva 1) vie tarkastelua toivottuun pienimittakaavaisempaan suuntaan.

6. Synteesi: Menetelmän toimivuus

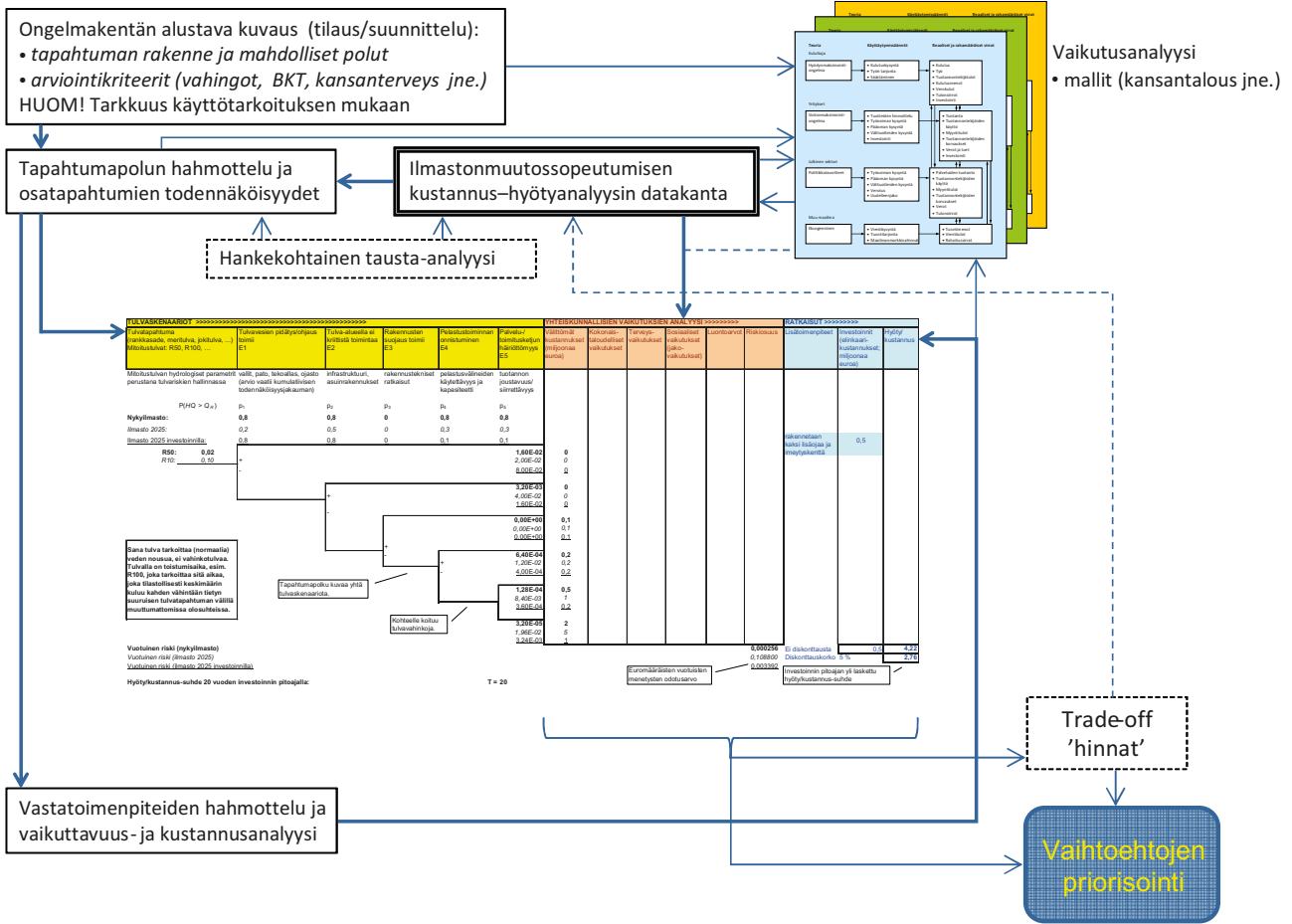
6.1 Laajennetun tapahtumapuun käyttö

Laajennettu tapahtumapuu soveltuu sekä strategisen päätöksenteon apuvälineeksi että konkreettisen sopeutumiskäytännön suunnittelun apuvälineeksi. Tapahtumapuu auttaa ongelmakentän hahmottamisessa ja soveltuu siksi strategisella tasolla käytettäväksi. Lähestymistapa ohjaa systemaattisesti kartoittamaan riskit ja tunnistamaan erilaiset tekijät. Todennäköisyystietojen ja vaikutustietojen saatavuudesta riippuen strategisen tason sovelluksessa on mahdollista identifioida tärkeimmät riskitekijät ja erilaisten tapahtumien taloudellisten vaikutuksien suuruusluokat. Lisäksi voidaan päätellä, mistä asioista tiedetään toistaiseksi liian vähän, ja voidaan näin identifioida tutkimustarpeet.

Mikäli laajennettua tapahtumapuuta halutaan käyttää konkreettisen sopeutumiskäytännön suunnittelussa, tietojen saatavuuden on oltava hyvä. Tämä tarkoittaa, että tiedot ovat jo olemassa tai että tiedot saadaan analyysin puitteissa. Tietojen saatavuuden parantamiseksi olisi järkevää luoda tietokanta, johon kerätään tutkimuksista peräisin olevia tietoja⁵⁰. Tällainen tietokanta alentaisi analyysin kustannuksia merkittävästi. Tietokannan luominen ja täydentäminen edellyttää, että kaikkien analyysien tulokset syötetään tietokantaan riittävän laatuarkastelun jälkeen. Tietojen kulku esitetään kuvassa 23. Kuvassa oletetaan, että tietokanta on vielä melko suppea, ja siksi taustanalyysi, mallien käyttö mukaan lukien, on vielä välttämätöntä. Uusien tutkimusten myötä tietokanta kasvaa, eikä uusissa selvityksissä enää välttämättä tarvita laajaa taustanalyysiä. Tällöin välittömien ja kokonaistaloudellisten kustannuksien arvioimiseksi voidaan käyttää tietokannan arvoihin perustuvia oletusarvoja ja kertoimia.

Laajennetun tapahtumapuun käyttö koostuu erilaisista arviointisovelluksista. Osa näistä käytettiin tässä tutkimuksessa ja lisäksi viitattiin joihinkin muihin mahdollisuuksiin (kuva 24). Oikean arviointisovelluksen valinta riippuu tarkasteltavasta päätöstilanteesta. Jos riskit ovat kokonaisuudessaan pieniä, laajaa analyysiä ei kannata tehdä. Mikäli edellisistä tutkimuksista ja muista lähteistä kerättyjä tietoja pystytään hyödyntämään tehokkaasti, analyysien toteuttaminen yksinkertaistuu ja muuttuu käyttökelpoiseksi vaihtoehdoksi myös pienemmille kunnille ja organisaatioille. Tästä syystä edellä mainitun tietokannan perustaminen ja ylläpitäminen ovat tärkeitä. Tietokannan kanssa rinnakkain voitaisiin kehittää vuorovaikutteinen Internet-portaali, jossa olisivat mukana ääri-ilmiöiden teknistaloudellinen hallinta, varautumistoiminta ja siihen liittyvät rahoitusasiat.

⁵⁰ EU:ssa on suunnitteilla tietokanta (Clearing House Mechanism), johon koottaisiin tietoja ilmastomuutoksen vaikutuksista, haavoittuvuudesta ja sopeutumisen parhaista toimintatavoista (Commission of the European Communities 2009).



Kuva 23. Laajennetun tapahtumapuun käyttö sopeutissuunnittelussa.

	Ääri-ilmiöiden tunnistaminen	Haavoittuvuus-analyysi	Välittömät taloudelliset seuraukset ja vastatoimenpiteet	Välilliset taloudelliset seuraukset ja ohjauspolitiikat	Vaikutukset luontoarvoihin	Sosiaaliset vaikutukset	Kokonaisvaikutus	Sopeutumis-analysien ja -investointien rahoitusmalli
Päätöksentekotaso ja analysitavat	tapahtumahistoria / ilmiön todennäköisyyden kertymäfunktio	tapahtumapuumalli	kustannus-hyöty-analyysi (CBA)	dynaaminen alueellinen tasapainomalli; mukautettu alueellinen panos-tuotos-malli	ekosysteemimallit; GIS-sovellukset	ostovoiman jakauma; palvelujen saavutettavuus	riski-/arvoanalyysi	valtion-taloudelliset (finanssi)mallit
Kokonaisvaltaiset analyysimenetelmät			kokonaistaloudellinen kustannus-hyötyanalyysi (SCBA)		multikriteerianalyysi (MCA)			(SCBA)
Valtio								X
Kuntaliittymä/kaupunki	X	X	X	X	X	X	X	X
Pieni kunta	X	X	X		(X)	(X)	X	X
Sektori/yritys	X	X	X	(X)	(X)	(X)	X	X
Vakuutusyhtiö								X
→ kotitalous	X	X	X					X

Käytetty tässä tutkimuksessa

Viitattu tässä tutkimuksessa

Kuva 24. Arviointimenetelmien valikoima ja soveltuvuus eri käyttäjille.

6.2 Sopeutuva johtaminen

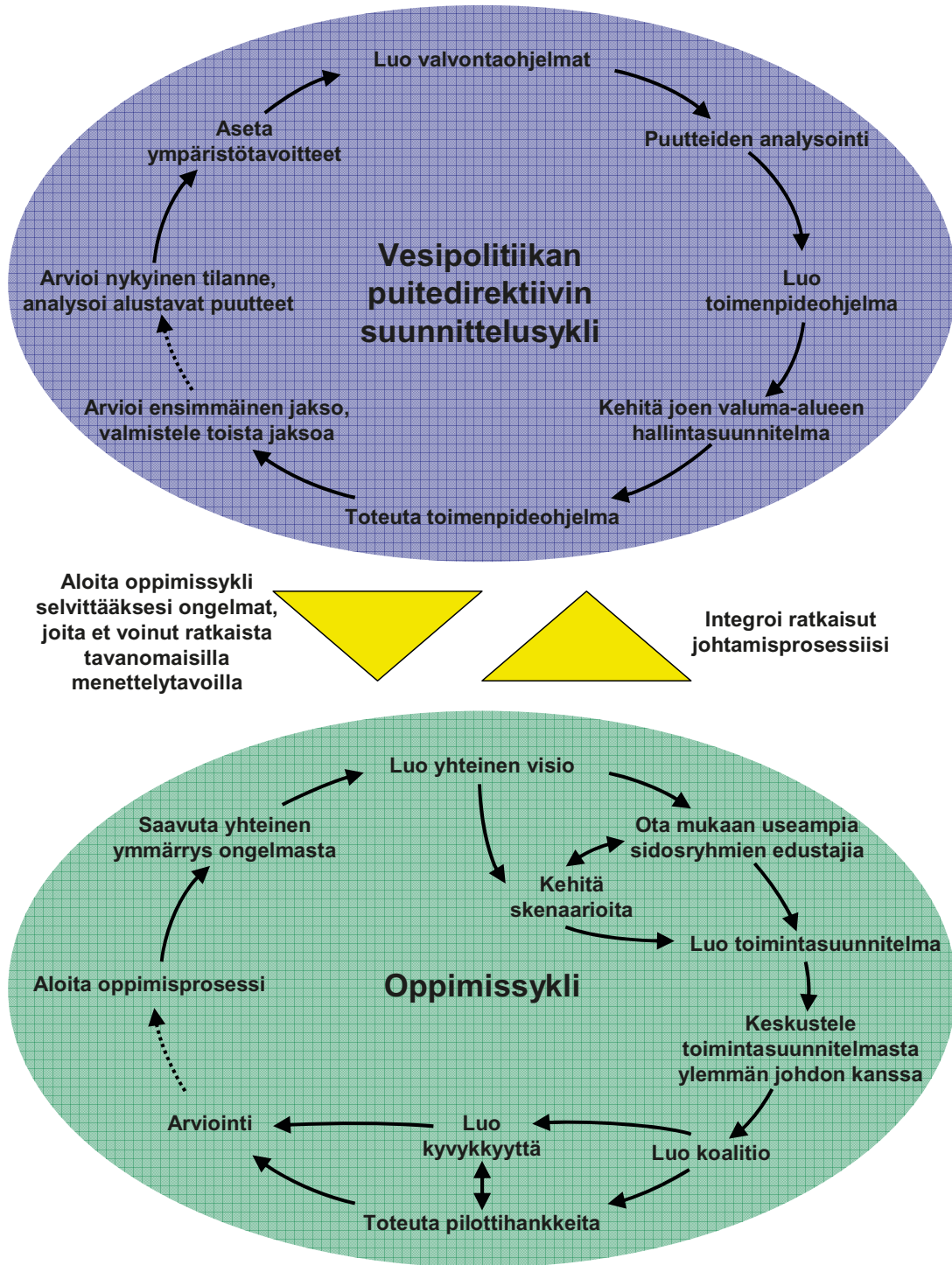
Sopeutumispolitiikassa ja siihen liittyvässä tutkimuksessa yhä suositumpi johtamisteoria on *adaptive management* eli *sopeutuva johtaminen*⁵¹. Se on kehitetty sellaiselle suunnittelutilanteelle, jossa

- päämäärä on kauaskantoinen (esim. kaikki kestävän kehityksen edellytykset täydellisesti täyttävä kaupunkialue);
- päämäärään liittyvät tavoitteet ovat vaikeasti määritettäviä ja ne vaativat joskus uudelleenpohdintaa;
- tilanteeseen liittyy paljon epävarmuutta; ja
- eri ratkaisuvaihtoehdot vaikuttavat merkittävästi yhteiskunnan toimintatapoihin, ja jokaisella ratkaisuvaihtoehdolla on omanlaisiaan etuja ja haittoja.

Sopeutuvan johtamisen lähestymistapa korostaa oppimista, mikä edellyttää hyvin järjestettyä ja läpinäkyvää tiedonkulkua ja monitorointia (kuva 25). Oppiminen koskee kaikkia intressiryhmiä. Muun muassa tästä syystä lähestymistapaan kuuluu osallistuva päätöksentekoprosessi. Jotta voitaisiin ymmärtää riskien kehittymistä ja ratkaisujen toimivuutta tulevaisuudessa, siihen kuuluu usein myös skenaariokehitystä tai olemassa olevan skenaarion soveltamista. Sopeutuva johtaminen ei ole projektijohtamista, vaan pikemmin *prosessijohtamista*. Projekti on huonosti sopiva organisaatiomuoto sopeutumisstrategialle, koska projektissa mm. resurssien käytön tehokkuus ja tuloksellisuus suhteessa tavoitteisiin ovat keskeiset ohjausmittarit, kun taas sopeutumisstrategiassa oppiminen ja joustavuus ovat keskeisimmät tekijät. Vasta valittujen ratkaisujen toteuttamisvaiheessa siirrytään projektijohtamiseen. Sopeutuvaan johtamiseen liittyy siten useita projekteja (kuva 25).

Joiltakin osin edellä mainitut näkökohdat tulivat esiin myös tässä hankkeessa. Laajennetun tapahtumapuun käyttö edellyttää vuorovaikutuksellista lähestymistapaa sekä intressiryhmien että analyysimenetelmien osalta. Toisaalta laajennettu tapahtumapuun on melko joustava sovellus, joka pystyy ottamaan vastaan erilaisia tietoja ja jossain määrin myös erilaatuisia tietoja. Kuten luvussa 6.1 esitettiin, laajennettuun tapahtumapuuhun voidaan syöttää myös aikaisempiin tietoihin perustuvia oletusarvoja ja vaikutuskertoimia, mikä yksinkertaistaa tapahtumapuun käyttöä. Mikäli tällaisia valmiita tietoja on käytössä, myös pienet kunnat ja organisaatiot pystyvät hyödyntämään tapahtumapuuta. Jotta tapahtumapuun käyttö olisi mahdollisimman kustannustehokasta, oppiminen ja tietojen jakaminen on erittäin tärkeää (tietokanta, luku 6.1). Tehokkaasti käytettynä tapahtumapuun soveltaminen sopeutuvan johtamisen puitteissa säästää resursseja ja parantaa päätöksenteon laatua.

⁵¹ Erityisesti vesihuollosta on jo paljon sovelluksia. EU:n rahoittama NeWater-hanke tuotti paljon materiaalia (ks. <http://www.newater.info/index.php?pid=1063>).



Kuva 25. Sopeutuvan johtamisen suunnittelu- ja oppimissyklit vesipolitiikan puitedirektiivin (2000/60/EY) tapauksessa (<http://www.wise-rtd.info/>).

7. Johtopäätökset ja suositukset

Arvioinnit osoittivat, että jo melko tavalliset rankkasateet (vuotuinen todennäköisyys 10 %) voivat aiheuttaa miljoonien eurojen paikallisia vahinkoja kaupunkialueilla. Harvinaisemmat rankkasateet ja jokitulvatapaukset (vuotuinen todennäköisyys noin 1 % tai vähemmän) voivat aiheuttaa todella huomattavia, jopa 100 miljoonan euron vahinkoja.

Äärimmäisten sääilmiöiden aiheuttamat suorat vahingot heijastuvat paitsi aluetalouteen myös koko maan talouteen. Alustavien arvioiden perusteella suorat kustannukset helposti kaksinkertaistuvat, kun makrotaloudellisia kokonaisvaikutuksia verrataan suoriin vaikutuksiin. Mitä merkittävämpi tuhoja kärsinyt alue on kansantalouden kannalta, sitä suuremmaksi edellä kuvattu kerroinvaikutus voi muodostua. Myös alueellisen talouden tila ja sen rakenne tuhon sattumishetkellä vaikuttavat siihen, miten palautuminen sujuu. Tässä tarkasteltuja suoria ja epäsuoria vaikutuksia ei lasketa yhteen, koska suorat vaikutukset kuvaavat vaikutuksia varastosuureisiin, kun taas epäsuorat vaikutukset kuvaavat vaikutuksia vuosuureisiin (BKT).

Tässä tutkimuksessa arvioitiin yksittäisiä ääritapahtumia. Yhteiskunnan haavoittuvuuden ymmärtämiseksi olisi tärkeää tarkastella integroidusti kaikkia onnettomuusriskejä ja niiden mahdollisia yhteisvaikutuksia. Kuten edellä mainittiin, myös talouden tila ja sen rakenne vaikuttavat talouden elpymiseen. Näin ollen onkin ilmeistä, että ilmastonmuutokseen liittyvä sopeutumisen ja onnettomuusriskien hallinnan suunnittelu pitäisi tehdä yhdessä muun strategisen suunnittelun kanssa.

Mallisimulaatiot tuottavat tuotantoon perustuvia tunnuslukuja. Ne eivät kuitenkaan ota riittävästi huomioon katastrofin aiheuttamaa kuluttajien hyvinvoinnin menetystä: onnettomuuden seurauksena asumisolosuhteet huononevat merkittävästi, mikä vähentää kuluttajien kokemaa hyvinvointia. Tämä hyvinvoinnin menetys saa aikaan korjausbuumin, joka havaitaan yleensä pian katastrofin jälkeen. Mallitulosten mukaan korjausbuumin hintana kuitenkin on, että tulevaisuudessa hyvinvoinnin kasvu on hiukan hitaampaa kuin se olisi ilman korjausbuumia.

Koska korjausbuumien aiheuttama ylikuumeneminen vaikuttaa haitallisesti koko makrotalouteen, ne olisi hallittava mahdollisimman tehokkaasti. Hallinta voi tarkoittaa tässä tapauksessa sitä, että korjausbuumin tuomaa ylimääräistä työvoiman ja materiaalien kysyntää yritetään jakaa suuremmalle alueelle, markkinoiden toimintaa katastrofialueella edistetään tarjoamalla tietoja vaihtoehtoisista toimittajista ja korjausten aikataulua pyritään tasaamaan piikkien välttämiseksi. Nopea korjaaminen voi myös johtaa laadun heikkenemiseen, kun taas hitaammalla aikataululla tehdyt korjaukset mahdollistavat nykyaikaisen teknologian käyttämisen suoraviivaisen korvaamisen sijaan.

Kun sopeutumis suunnittelussa pohditaan haavoittuvuutta vähentävien investointien kannattavuutta, tulosten valossa investointilaskelmissa olisi kuitenkin perusteltua ottaa huomioon myös kokonaistaloudelliset vaikutukset. Tämä luultavasti pääosin parantaisi sopeutumisinvestointien kannattavuutta.

Laajennettu tapahtumapuuväline soveltuu päätöksenteon apuvälineeksi sopeutumiskeinojen suunnittelussa, mutta menetelmän laaja käyttöönotto edellyttää vielä kehitystyötä, mm. paikkatietosysteemien hyödyntämistä (esim. vuorovaikutukselliset riskikartat) ja sovellusesimerkkejä.

Laajennetun tapahtumapuun käytön yleistyminen voi olla sekä kustannustehokasta että päätöksenteon laatua parantavaa, mutta tämä edellyttää tietokannan luomista tapahtumapuun käytön tueksi. Tietokannan tulisi sisältää aikaisempiin tutkimuksiin perustuvia oletusarvoja, menetelmien käyttöohjeita ja toisten käyttäjien antamia kommentteja ja vinkkejä.

Tietokannan luomisen ja käytön lisäksi tarvitaan menetelmiä ja kannustimia, jotka edesauttavat laajennetun tapahtumapuun ja muiden apuvälineiden soveltamisen oppimista. Esimerkiksi Internet-portaali ja kurssit päätöksentekijöille voisivat madaltaa kynnystä uusien menetelmien käyttöönottoon. Samansuuntaisia ideoita on myös EU:n esittämässä Clearing House Mechanism -aloitteessa (Commission of the European Communities 2009).

Äärimmäisten ilmiöiden aiheuttamien vahinkojen kompensatiovaihtoehtojen kokonaistaloudellinen tarkastelu on haastavaa. Tällä hetkellä mallit pystyvät simuloimaan vain osaa vaikutuksista, joten esimerkiksi vakuutuksien mahdollista tehottomuutta kokonaistaloudellisesti arvioituna on tutkittava tarkemmin.

Teoreettisemmalla tasolla tutkimuksen tulokset myös tuovat esiin puutteita talousmallin perusuran taustaoletuksissa. Nykyisellään perusura antaa liian positiivisen kuvan talouden odotettavissa olevasta kehityksestä, koska sen laskemisessa ei oteta riittävästi huomioon, että kaikki taloudet ovat alttiita erilaisille riskeille, joista jotkut väistämättä realisoituvat pitkän ajan kuluessa. Tämä puute tulee ilmi erityisesti, jos pyritään vertailemaan vaihtoehtoisia ilmastonmuutoksen sopeutumissuunnitelmia, koska eri sopeutumistoimenpiteiden tulisi vaikuttaa eri tavalla myös perusuran kehitykseen.

Lähteet

- Aaltonen, J., Hohti, H., Jylhä, K., Karvonen, T., Kilpeläinen, T., Koistinen, J., Kotro, J., Kuitunen, T., Ollila, M., Parvio, A., Pulkkinen, S., Silander, J., Tiihonen, T., Tuomenvirta, H. ja Vajda, A. 2008. Rankkasateet ja taajamatulvat (RATU). *Suomen ympäristö* 31/2008, Luonnonvarat. Suomen ympäristökeskus (SYKE). 123 s.
- Badri, N.G. ja Walmsley, T.L. (toim.) 2008. *Global Trade, Assistance, and Production: The GTAP 7 Data Base*. Center for Global Trade Analysis, Purdue University.
- Bos, F. 2003. *The national accounts as a tool for analysis and policy; past, present and future*. Dissertation, University of Twente. 311 p. <<http://doc.utwente.nl/38706/>> (viitattu 15.3.2011).
- Bouwer, L.M. 2010. *Disasters and climate change: Analyses and methods for projecting future losses from extreme weather*. Dissertation, Free University of Amsterdam. 129 p.
- Commission of the European Communities 2009. Adapting to climate change: Towards a European framework for action. COM(2009) 147 final. <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2009:0147:FIN:EN:PDF>> (viitattu 7.1.2011).
- ESA95 1996. *European system of accounts*. <<http://circa.europa.eu/irc/dsis/nfaccount/info/data/esa95/en/esa95en.htm>> (viitattu 8.2.2011).
- Hallegatte, S. 2005. Accounting for Extreme Events in the Economic Assessment of Climate Change. *Nota di lavoro* 2005.001, Fondazione Eni Enrico Mattei. 28 p.
- Honkatukia, J. 2009. VATTAGE – A dynamic, applied general equilibrium model of the Finnish economy. *VATT Research Reports* 150, Government Institute for Economic Research (VATT). 164 p.
- Jalava, J., Pohjola, M., Ripatti, A. ja Vilmunen, J. 2005. Biased Technical Change and Capital-Labor Substitution in Finland, 1902–2003. *Topics in Macroeconomics*, Vol. 6, Issue 1, Article 8.
- Jylhä, K., Ruosteenoja, K., Räisänen, J., Venäläinen, A., Tuomenvirta, H., Ruokolainen, L., Saku, S. ja Seitola, T. 2009. The changing climate in Finland: estimates for adaptation studies. ACCLIM project report 2009. *Reports* 2009:4, Finnish Meteorological Institute. 102 p.
- Kilpeläinen, T., Tuomenvirta, H. ja Jylhä, K. 2008. Climatological characteristics of summer precipitation in Helsinki during the period 1951–2000. *Boreal Environment Research* 13: 67–80.
- Koomen, E. 2008. *Spatial analysis in support of physical planning*. Dissertation, Free University of Amsterdam. 118 p.

- Molarius, R., Perrels, A., Porthin, M. ja Rosqvist, T. 2008. Testing a flood protection case by means of a group decision support system. *VATT Discussion Paper 449*, Government Institute for Economic Research (VATT). 44 p.
- Nakićenović, N. ja Swart, R. (toim.) 2000. *IPCC Special Report on Emissions Scenarios*. Cambridge University Press. 570 p.
- Perrels, A., Veijalainen, N., Jylhä, K., Aaltonen, J., Molarius, R., Porthin, M., Silander, S., Rosqvist, T., Tuovinen, T., Carter, T. ja Fronzek, S. 2010. The implications of climate change for extreme weather events and their socio-economic consequences in Finland. *VATT Research Reports 158*, Government Institute for Economic Research (VATT). 133 p.
- Steenge, A.E. ja Bockarjova, M. 2007. Thinking about Imbalances in Post-catastrophe Economies: An Input-Output based Proposition. *Economic Systems Research*, Vol. 19, Issue 2, pp. 205–223.
- Venäläinen, A., Jylhä, K., Kilpeläinen, T., Saku, S., Tuomenvirta, H., Vajda, A. ja Ruosteenoja, K. 2009. Recurrence of heavy precipitation, dry spells and deep snow cover in Finland based on observations. *Boreal Environment Research* 14: 166–172.
- Venäläinen, A., Saku, S., Kilpeläinen, T., Jylhä, K., Tuomenvirta, H., Vajda, A., Ruosteenoja, K. ja Räisänen, J. 2007. Sään ääri-ilmiöistä Suomessa. *Raportteja 2007:4*, Ilmatieteen laitos. 81 s.

A Tutkimuksen rakenne, kulku ja aikataulu



B Tutkimuksen ohjausryhmä

Tutkimuksen ohjausryhmään kuuluivat seuraavat henkilöt:

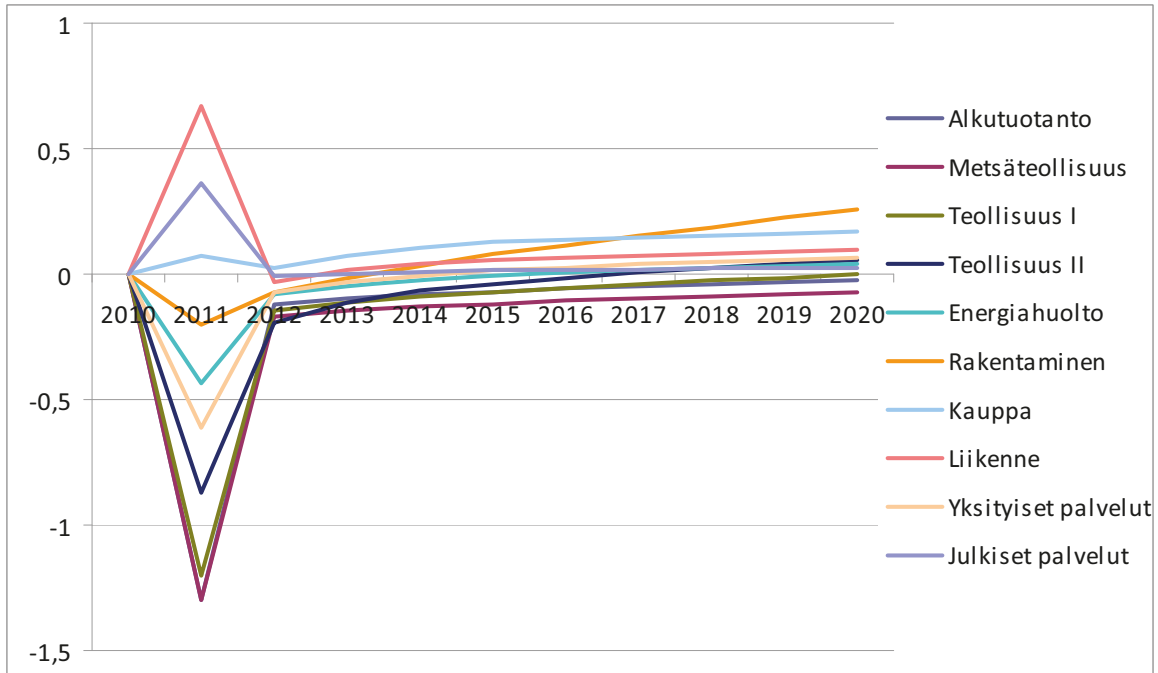
Tiia Yrjölä	Maa- ja metsätalousministeriö
Ville Keskinen	Maa- ja metsätalousministeriö (31.8.2010 saakka)
Tapani Valanto	Turvatekniikan keskus
Seppo Pekurinen	Finanssialan Keskusliitto
Esko Kaukonen	Pelastusopisto
Markku Haiko	Kuntaliitto

sekä tutkimusorganisaatioiden edustajina

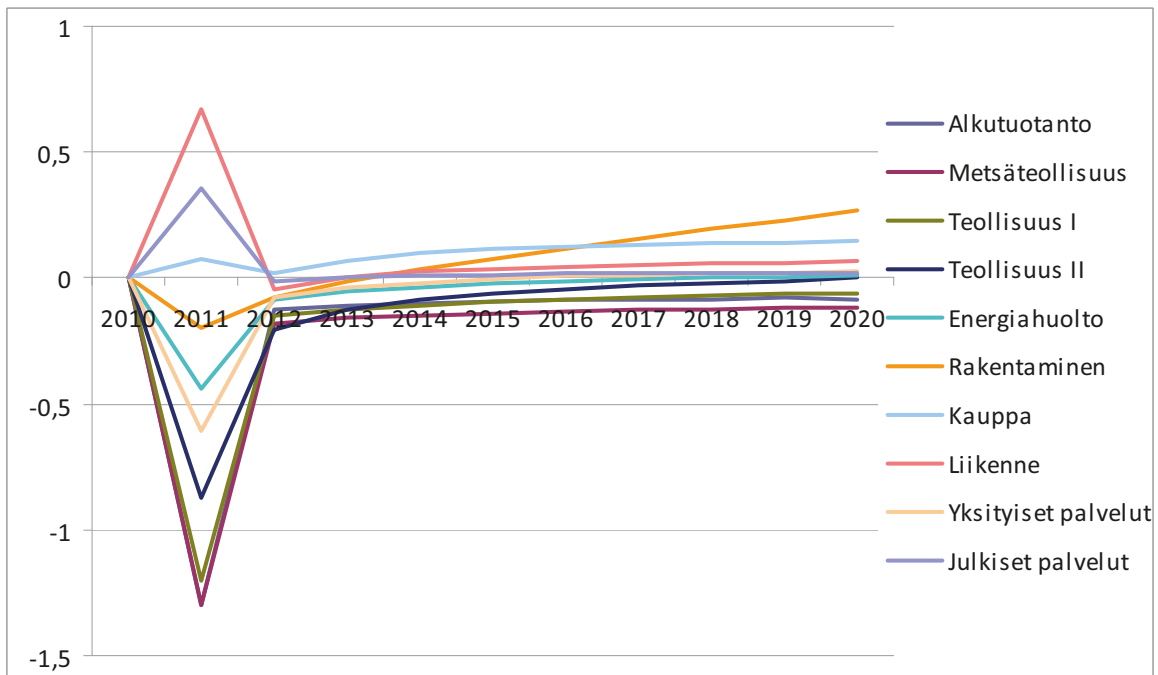
Adriaan Perrels	Ilmatieteen laitos
Helena Kortelainen	Valtion teknillinen tutkimuskeskus
Kimmo Marttila	Valtion taloudellinen tutkimuskeskus (15.8.2010 saakka)
Antti Simola	Valtion taloudellinen tutkimuskeskus (16.8.2010 alkaen)

Hankkeen tutkijat kiittävät ohjausryhmän tuesta ja palautteesta.

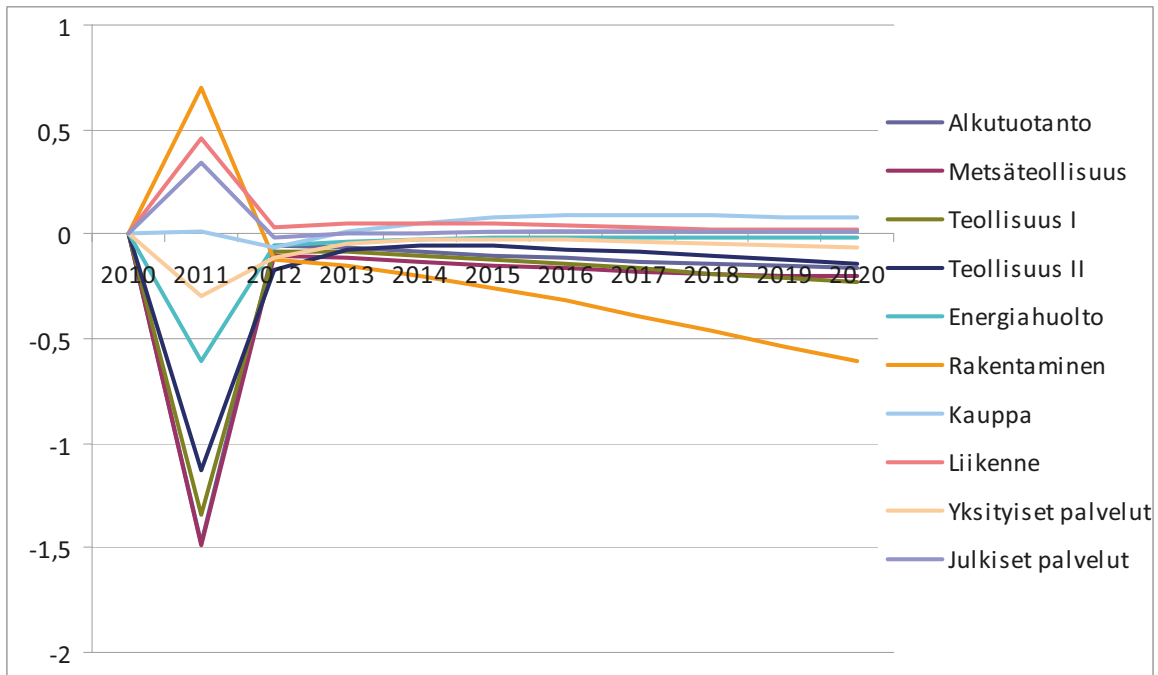
C VERM-mallin muut tulokset



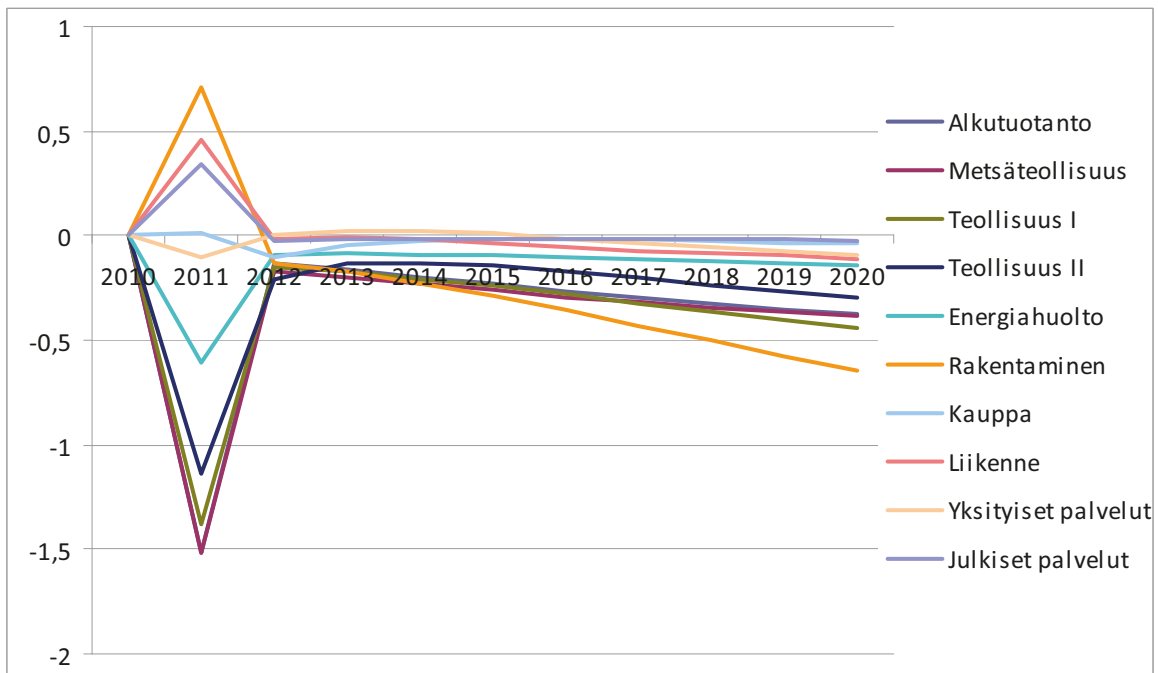
Kuva C1. Uusimaa R100 – ei politiikkatoimia, työllisyyden kehittyminen toimialoittain. x-akselilla on esitetty aika vuodesta 2010 vuoteen 2020 ja y-akselilla työllisyyden prosenttimuutos suhteessa perusuraan. Tulvan tapahtumisvuosi on 2011.



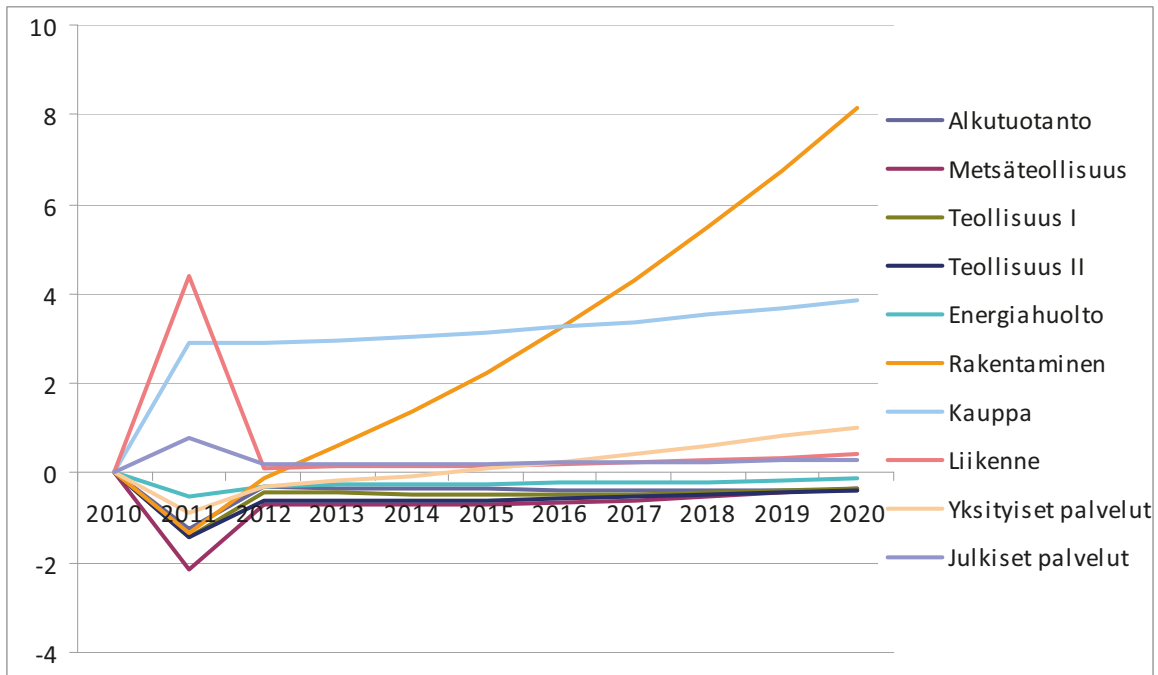
Kuva C2. Uusimaa R100 – valtio maksaa, työllisyyden kehittyminen toimialoittain. x-akselilla on esitetty aika vuodesta 2010 vuoteen 2020 ja y-akselilla työllisyyden prosenttimuutos suhteessa perusuraan. Tulvan tapahtumisvuosi on 2011.



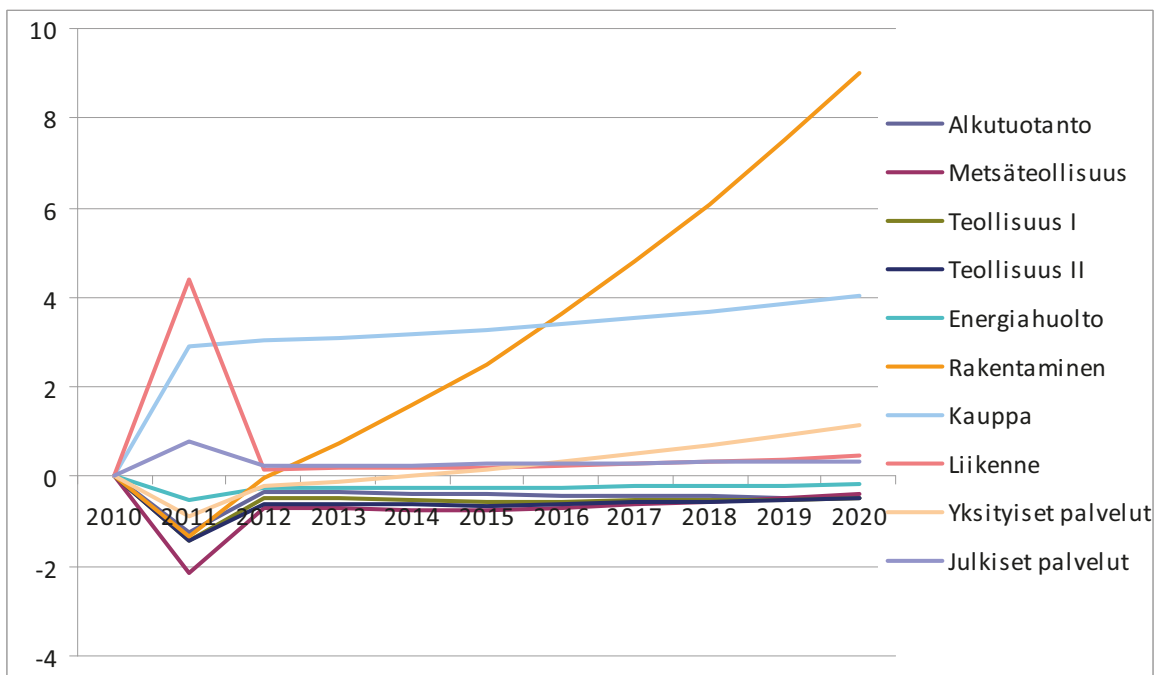
Kuva C3. Uusimaa R100 – vakuutus- ja rahoitussektori maksaa, työllisyyden kehittyminen toimialoittain. x-akselilla on esitetty aika vuodesta 2010 vuoteen 2020 ja y-akselilla työllisyyden prosenttimuutos suhteessa perusuraan. Tulvan tapahtumisvuosi on 2011.



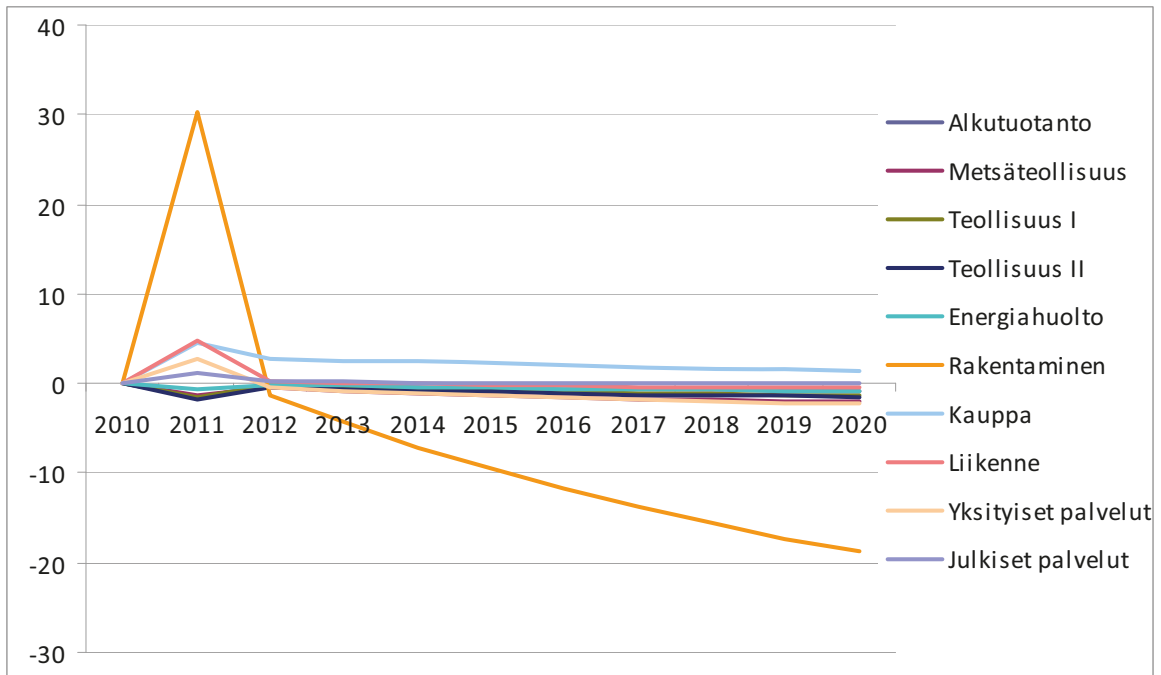
Kuva C4. Uusimaa R100 – valtion korvaus vakuutus- ja rahoitussektorin kautta, työllisyyden kehittyminen toimialoittain. x-akselilla on esitetty aika vuodesta 2010 vuoteen 2020 ja y-akselilla työllisyyden prosenttimuutos suhteessa perusuraan. Tulvan tapahtumisvuosi on 2011.



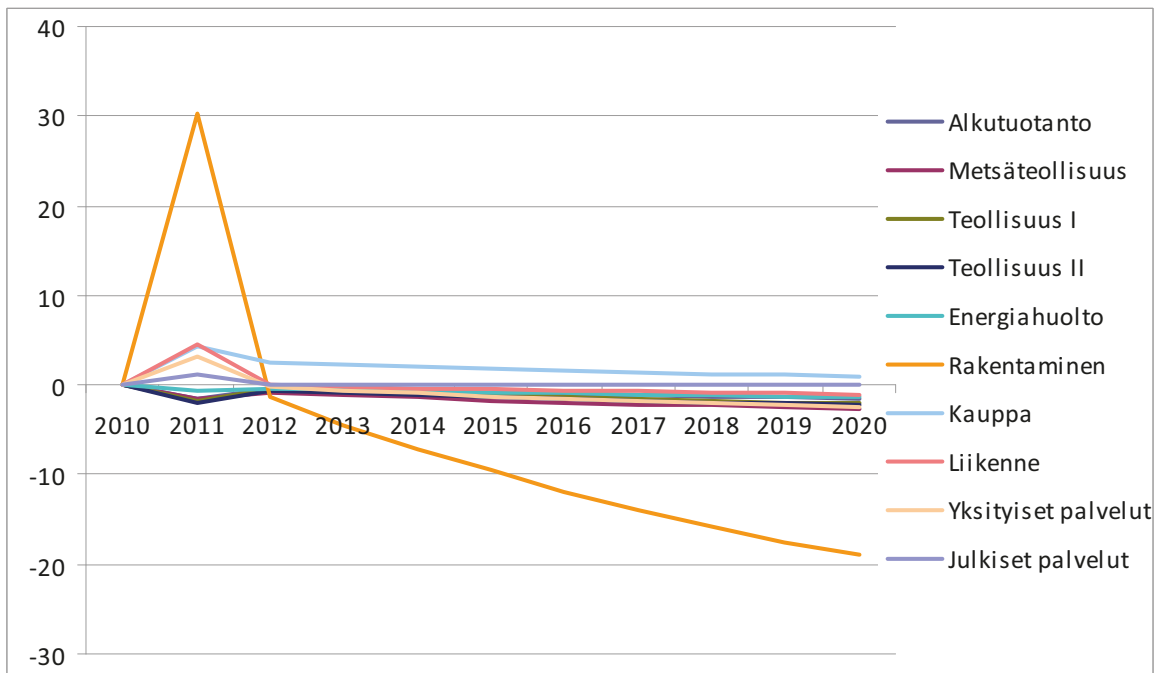
Kuva C5. Satakunta R250 – ei politiikkatoimia, työllisyyden kehittyminen toimialoittain. x-akselilla on esitetty aika vuodesta 2010 vuoteen 2020 ja y-akselilla työllisyyden prosenttimuutos suhteessa perusuraan. Tulvan tapahtumisvuosi on 2011.



Kuva C6. Satakunta R250 – valtio korvaa, työllisyyden kehittyminen toimialoittain. x-akselilla on esitetty aika vuodesta 2010 vuoteen 2020 ja y-akselilla työllisyyden prosenttimuutos suhteessa perusuraan. Tulvan tapahtumisvuosi on 2011.



Kuva C7. Satakunta R250 – vakuutus- ja rahoitussektori maksaa, työllisyyden kehittyminen toimialoittain. x-akselilla on esitetty aika vuodesta 2010 vuoteen 2020 ja y-akselilla työllisyyden prosenttimuutos suhteessa perusuraan. Tulvan tapahtumisvuosi on 2011.



Kuva C8. Satakunta R250 – valtion korvaus vakuutus- ja rahoitussektorin kautta, työllisyyden kehittyminen toimialoittain. x-akselilla on esitetty aika vuodesta 2010 vuoteen 2020 ja y-akselilla työllisyyden prosenttimuutos suhteessa perusuraan. Tulvan tapahtumisvuosi on 2011.

Taulukko C1. Alueellisten makrotaloudellisten tunnuslukujen tasoja eri rahoitusvaihtoehtoissa perusuraan (ei tulvaa tms. ääri-ilmiötä) verrattuna kymmenen vuotta tulvatapahtuman jälkeen.

Helsinki (Uusimaa)	R10 Perustapaus	R100 Perustapaus	R100 Valtio	R100 Vakuutus	R100 Valtio + vakuutus
BKT	-0,01 %	-0,04 %	-0,05 %	-0,14 %	-0,19 %
Pääomakanta	-0,03 %	-0,14 %	-0,15 %	-0,21 %	-0,21 %
Työllisyys	0,01 %	0,03 %	0,01 %	-0,07 %	-0,12 %
Investoinnit	0,15 %	0,71 %	0,72 %	-0,85 %	-0,83 %
Kotitalouksien kulutus	0,00 %	0,00 %	0,00 %	-0,06 %	-0,10 %
Tuonti	0,02 %	0,10 %	0,10 %	-0,15 %	-0,20 %
Vienti	-0,01 %	-0,07 %	-0,13 %	-0,11 %	-0,31 %

Pori (Satakunta)	R50 Perustapaus	R250 Perustapaus	R250 Valtio	R250 Vakuutus	R250 Valtio + vakuutus
BKT	-0,11 %	-0,21 %	-0,15 %	-1,78 %	-2,00 %
Pääomakanta	-0,52 %	-1,96 %	-2,02 %	-1,88 %	-2,00 %
Työllisyys	0,11 %	0,67 %	0,75 %	-1,27 %	-1,56 %
Investoinnit	3,22 %	19,20 %	20,72 %	-29,22 %	-29,43 %
Kotitalouksien kulutus	-0,30 %	-0,80 %	-0,47 %	-0,96 %	-1,04 %
Tuonti	0,11 %	1,14 %	1,34 %	-2,32 %	-2,60 %
Vienti	-0,16 %	-0,87 %	-1,02 %	-0,51 %	-1,14 %

D Asiantuntijaistuntoihin osallistuneet

OR = ohjausryhmän jäsen; TUT = tutkimustiimin jäsen; UA = ulkopuolinen asiantuntija

K = on osallistunut ThinkTank-keskusteluun; E = ei ole osallistunut ThinkTank-keskusteluun

Nimi	Tehtävä	Organisaatio	Rooli	Istunnot	Keskustelu
Aalto Outi	Vakuutusasiantuntija	Finanssialan Keskusliitto	UA	3	K
Haanpää Simo	Tutkija	Yhdyskuntasuunnittelun tutkimus- ja koulutuskeskus YTK, Aalto-yliopisto	UA	2	K
Haiko Markku	Kehittämispäällikkö	Kuntaliitto	OR	1	K
Heikkilä Jouko	Tutkija	Valtion teknillinen tutkimuskeskus	TUT	3	E
Hypänen Jari	Problem Manager	Elisa Oyj	UA	1, 2	K
Kankaanpää Susanna	Ilmastoasiantuntija	HSY Seutu- ja ympäristötieto	UA	2	K
Kaukonen Esko	Erikoistutkija	Pelastusopisto	OR	2, 3	K
Kekki Risto	Pelastusylitarkastaja	Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto	UA	1	K
Keskisarja Ville	Vesiyli tarkastaja	Maa- ja metsätalousministeriö	OR	1, 2	K
Kupi Eija	Tutkija	Valtion teknillinen tutkimuskeskus	TUT	1, 2	E
Luomaranta Anna	Tutkija	Ilmatieteen laitos	TUT	2	E
Marttila Kimmo	Tutkija	Valtion taloudellinen tutkimuskeskus	TUT, OR	1	K
Molarius Riitta	Tutkija	Valtion teknillinen tutkimuskeskus	TUT	1	K
Parjanne Antti	Kehitysinsinööri	Suomen ympäristökeskus	UA	1, 2, 3	K
Pekurinen Seppo	Vahingontorjunta-päällikkö	Finanssialan Keskusliitto	OR	1, 2	K
Perrels Adriaan	Tutkimusprofessori	Ilmatieteen laitos	TUT, OR	1, 2, 3	K
Pirinen Jussi	Projektipäällikkö	HSY Vesi	UA	1	K
Rantakokko Kari	Yksikön päällikkö	Uudenmaan ELY	UA	1, 2	K
Rauhala Jenni	Meteorologi	Ilmatieteen laitos	UA	1	K
Rosqvist Tony	Erikoistutkija	Valtion teknillinen tutkimuskeskus	TUT	1, 2, 3	E
Salminen Outi	Yliopistotutkija	Helsingin yliopisto	UA	3	K
Simola Antti	Tutkija	Valtion taloudellinen tutkimuskeskus	TUT, OR	3	K
Triipponen Juha-Pekka	Vesivarayksikön päällikkö	Varsinais-Suomen ELY	UA	3	K
Uola Timo	Turvallisuus-asiantuntija	Helen Sähköverkko Oy	UA	1	K

Valanto Tapani	Yli-insinööri	Turvatekniikan keskus	OR	1, 2, 3	K
Vilkman Jorma	Yksikön päällikkö	HelenTunnelit	UA	1	K
Virta Hanna	Erikoistutkija	Ilmatieteen laitos	TUT	1, 2, 3	E
Yrjölä Tiia	Koordinaattori	Maa- ja metsätalousministeriö	OR	1, 2, 3	K

E Asiantuntijaistuntojen ohjelmat

1. ASIANTUNTIJAISTUNTO

Aika: 7.5.2010 klo 10–13

Paikka: Ilmatieteen laitos, Dynamicum, kokoustila Aura, Erik Palménin aukio 1, 00560 Helsinki

Ohjelma:

Aika	Aihe	Esittäjä
10:00	<i>Tarjolla kahvia ja teetä</i>	
10:15	Avaus: projektin tavoitteet, asiantuntijaistunnot ja aikataulu	Adriaan Perrels / IL
10:30	Äärevän sääilmion vaikutuspolun ja haavoittuvuuden mallintaminen - Tapahtumapuumallin esittely	Tony Rosqvist / VTT
11:00	Asiantuntijoiden ryhmätyöt ja palaute: valittujen kohteiden tulvaskenaariot yleisellä tasolla i) Jakautuminen 3–4 ryhmään & tauko (yht. 10 min) <i>Ryhmät muodostetaan seuraavan jaottelun mukaan:</i> Ryhmä 1 rakennukset/kiinteistöt Ryhmä 2 energia- ja teleinfrastruktuuri Ryhmä 3 vesihuolto Ryhmä 4 liikenne (jää pois, mikäli vain 3 ryhmää) ii) Yleisten tulvaskenaarioiden laadinta ryhmittäin tapahtumapuumallin avulla <i>Ryhmät pohtivat yleistä tapahtumapuumallia eri vaikutuskohteiden näkökulmista em. jaottelun mukaisesti.</i> iii) Tulvaskenaarioiden esittely iv) Palaute tapahtumapuumallin sovellettavuudesta Kommentointi tapahtuu ryhmäpäätöksenteko-ohjelmaa ThinkTank hyödyntäen.	Eija Kupi / VTT
12:10	Loppukeskustelu ja toimintasuunnitelma	
12:30	<i>Tilaisuuden päätös / Lounas</i>	

2. ASIANTUNTIJAISTUNTO

Aika: 18.8.2010 klo 10–13

Paikka: Ilmatieteen laitos, Dynamicum, kokoustila Aura, Erik Palménin aukio 1, 00560 Helsinki

Ohjelma:

Aika	Aihe
10:00	<i>Tarjolla kahvia ja teetä</i>
10:15	Avaus: ohjelman esittely, osallistujien esittely
10:20	Rankkasateet ja jokitulvat muuttuvassa ilmastossa
10:30	Esimerkkitapaukset
10:40	1. palautekeskustelu – ThinkTank
11:10	Kokonaistaloudelliset vaikutukset
11:25	2. palautekeskustelu – ThinkTank
12:00	Kytkeä tapahtumapuuhun
12:15	3. palautekeskustelu – ThinkTank
12:55	Tilaisuuden päätös
13:00	<i>Lounas</i>

3. ASIANTUNTIJAISTUNTO

Aika: 17.11.2010 klo 10–15:15

Paikka: Ilmatieteen laitos, Dynamicum, kokoustila Aura, Erik Palménin aukio 1, 00560 Helsinki

Ohjelma:

Aika	Aihe	Esittäjä
10:00	<i>Tarjolla kahvia ja teetä</i>	
10:15	Avaus	Hanna Virta / IL
	- osallistujien esittely	
	- ohjelman esittely	
	- projektin tavoitteet ja edistyminen	
10:30	Valuma-aluelähtöinen hulevesien hallinta taajamatulvien ennaltaehkäisyn menetelmänä	Outi Salminen / HY
10:50	1. palautekeskustelu	
11:05	Kokonaistaloudelliset vaikutukset: uudet tulokset	Antti Simola / VATT
11:30	Tapahtumapuumallin käyttö: tulvan vastatoimenpiteen kustannus-hyötylaskenta – esimerkki	Tony Rosqvist / VTT
11:55	2. palautekeskustelu – ThinkTank	
12:30	<i>Lounas</i>	
13:25	Tulvariskien hallinta ja lainsäädäntö	Antti Parjanne / SYKE
13:55	3. palautekeskustelu – ThinkTank	
14:30	Viestit muista maista (NONAM) ja hankkeen loppuvalmistelu	Adriaan Perrels / IL
14:50	4. palautekeskustelu: loppukeskustelu	
15:15	Tilaisuus päättyy	

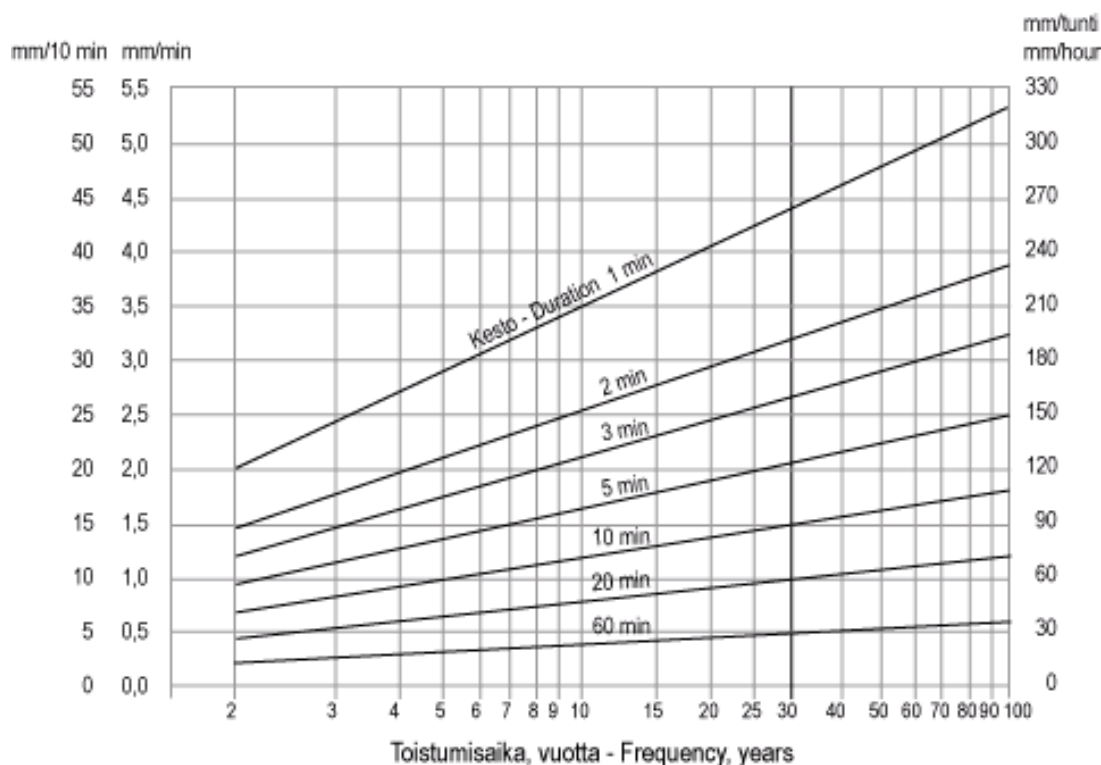
F Rankat sateet Suomessa

F.1 Rankkasateen määritelmä

Sadekuurojen ja sateen paikallisen rankkuuden tilastollista todennäköisyyttä on Suomessa tutkittu piirtävien sademittareiden avulla. Taulukossa F1 on esitetty Ilmatieteen laitoksessa käytettävät rankkasateen raja-arvot. Tällaiset sateen intensiteetit voivat kuitenkin toistua yhdessä mittauspisteessä muutaman kerran kesässä, joten ne eivät ole harvinaisia. Harvinaisten ja poikkeuksellisten sateiden toistumisaika yhdessä mittauspisteessä on esitetty kuvassa F1.

Taulukko F1. Ilmatieteen laitoksessa käytettävät rankkasateen raja-arvot (Ilmatieteen laitos, Ilmastokeskus).

Aika	Sademäärä (mm)
5 min	2,5
30 min	5,5
60 min	7,0
4 h	10
12 h	15
24 h	20



Kuva F1. Eripituisten sateiden rankkuus ja paikallinen toistumisaika Suomessa. Esimerkiksi jos kymmenen minuutin aikana sataa vettä 10 mm, on samanlaisen sateen sattumisen todennäköisyys samassa paikassa vain keskimäärin kerran viidessä vuodessa. Jos sadetapahtuman toistumisaika on 10–30 vuotta (n. 12 mm / 10 min), kyseessä on harvinainen sadetapahtuma. Jos sadetapahtuma toistuu keskimäärin harvemmin kuin kerran 30 vuodessa, voidaan puhua poikkeuksellisesta tapahtumasta. (Ilmatieteen laitos, Ilmastokeskus)

F.2 Rankkasateet nykyilmastossa

Venäläinen ym. (2007, 2009) arvioivat rankkasateiden toistumisaikoja 12 havaintoasemalla nykyilmastossa. Käytettävissä olevat vuorokausisademäärien havaintoaikasarjat ovat tyypillisesti runsaan 50 vuoden mittaisia (taulukko F2). Kuuden tunnin sademääriä oli käytössä ainoastaan kahdelta asemalta, Jokioisista ja Sodankylästä. Nämä havainnot kattavat vuodet 1991–1998. Muutaman vuosikymmenen pituisten mittausten avulla on vaikea arvioida luotettavasti hyvin pitkien toistumisaikojen tasoisia sadetapahtumia. Esitetyt toistumistasojen lukuarvot etenkin yli 100 vuoden toistumisajoille tuleekin ottaa enemmän suuntaa antavina kuin numeroarvoiltaan ehdottoman oikeina. Eteläisten asemien toistumistaso on tyypillisesti hieman korkeampi kuin pohjoisten asemien, sillä vuotuinen keskimääräinen sademäärä vähenee pohjoista kohti mentäessä.

Taulukko F2. Viiden vuorokauden, yhden vuorokauden ja kuuden tunnin sademäärän havaintoajanjaksot eri asemilla (Venäläinen ym. 2007).

	Helsinki	Turku	Jokioinen	Utti	Jyväskylä	Kauhava
5 vrk	1958–2006	1950–2006	1959–2006	1959–2006	1950–2006	1959–2006
1 vrk	1958–2006	1950–2006	1959–2006	1959–2006	1950–2006	1959–2006
6 h			1991–1998			

	Joensuu	Oulu	Kuusamo	Sodankylä	Muonio	Ivalo
5 vrk	1947–1999	1961–2006	1959–1999	1947–2006	1959–2006	1957–2000
1 vrk	1947–1999	1961–2006	1959–1999	1947–2006	1959–2006	1957–2006
6 h				1991–1998		

Viiden vuorokauden sademäärien 10 vuoden toistumistasot vaihtelevat Oulun 58 mm:n (53–66 mm) ja Helsingin 85 mm:n (75–100 mm) välillä (taulukko F3). Vuorokauden sademäärien tapauksessa (taulukko F4) selkeää eroa Etelä- ja Pohjois-Suomen välillä ei ole tämän aineiston perusteella (vrt. Aaltonen ym. 2008). Alhaisin 10 vuoden toistumistaso on Sodankylän 39 mm (35–45 mm) ja korkein Jokioisten 57 mm (48–67 mm). Kuitenkin esimerkiksi Ivalossa 10 vuoden taso on 53 mm (43–64 mm), joka on korkeampi kuin Utin 48 mm (42–56 mm). Oulun viiden vuorokauden sademäärän 10 vuoden toistumistaso 58 mm (53–66 mm) on likipitään sama kuin Jokioisten vuorokauden sademäärän toistumistaso. Yhden vuorokauden sademäärän 12 aseman 10 vuoden toistumistason keskiarvo on 50 ± 8 mm.

Kuuden tunnin sademäärissä ero Jokioisten ja Sodankylän välillä on suuri (taulukko F5). Jokioisten 10 vuoden toistumistaso 44 mm (31–56 mm) on samansuuruinen kuin Sodankylän 500 vuoden toistumistaso 43 mm (30–57 mm). Tulokset selittynevät paitsi sadeilmaston erilaisuudella myös käytettävissä olleen havaintoaikasarjan lyhyydellä.

Taulukossa F6 on esitetty yhden tunnin ja yhden vuorokauden sademäärän 100 vuoden toistumistasot eri osissa Suomea. Vuorokauden pistesadannan toistuvuus eri vyöhykkeissä on arvioitu niissä sijaitsevien pitkäaikaisten sadehavaintoasemien mittauksista (Venäläinen ym. 2007). Yhden tunnin pistearvot sekä aluearvot perustuvat RATU-projektin loppuraportissa esitettyihin tuloksiin (Aaltonen ym. 2008).

Kuvassa F2 on lisäksi esitetty vuorokauden sadannan toistumisajat Kokemäenjoen valuma-alueella perustuen jakson 1961–2007 havaintoihin.

Taulukko F3. Viiden vuorokauden sademäärän (mm) 10, 20, 50, 100 ja 500 vuoden toistumistasot. Taulukossa on esitetty paras arvio (ka) sekä rajat, joiden väliin jää 95 % tapauksista. R = toistumisaika (vuosina); Ka = keskiarvo; 2,5 (% , tn) alaraja; 97,5 (% , tn) yläraja. (Venäläinen ym. 2007)

R	Helsinki			Turku			Jokioinen			Utti		
	2,5	Ka	97,5	2,5	Ka	97,5	2,5	Ka	97,5	2,5	Ka	97,5
10	75	85	100	72	80	91	70	79	65	74	76	83
20	85	97	126	80	90	111	78	90	124	79	82	92
50	96	112	160	89	102	142	89	106	154	84	87	105
100	103	122	179	95	110	157	96	119	178	87	90	116
500	116	144	219	105	125	186	110	149	235	91	95	127

R	Jyväskylä			Kauhava			Joensuu			Oulu		
	2,5	Ka	97,5	2,5	Ka	97,5	2,5	Ka	97,5	2,5	Ka	97,5
10	72	76	83	64	74	90	72	82	96	53	58	66
20	77	82	94	73	86	118	82	94	119	58	64	78
50	83	90	113	84	103	148	93	107	156	64	71	98
100	87	94	124	93	117	172	100	116	172	67	75	106
500	93	101	137	110	151	233	111	133	203	71	82	121

R	Kuusamo			Sodankylä			Muonio			Ivalo		
	2,5	Ka	97,5	2,5	Ka	97,5	2,5	Ka	97,5	2,5	Ka	97,5
10	63	65	69	57	63	72	60	67	78	62	72	89
20	66	68	75	63	71	89	66	75	97	71	83	117
50	68	71	84	71	82	111	74	86	120	82	97	148
100	70	72	73	77	91	126	80	94	134	88	107	166
500	72	74	75	87	109	159	90	112	165	98	128	205

Taulukko F4. Vuorokauden sademäärän (mm) 10, 20, 50, 100 ja 500 vuoden toistumistasot. Taulukossa on esitetty paras arvio (ka) sekä rajat, joiden väliin jää 95 % tapauksista. R = toistumisaika (vuosina); Ka = keskiarvo; 2,5 (% , tn) alaraja; 97,5 (% , tn) yläraja. (Venäläinen ym. 2007)

R	Helsinki			Turku			Jokioinen			Utti		
	2,5	Ka	97,5	2,5	Ka	97,5	2,5	Ka	97,5	2,5	Ka	97,5
10	47	55	66	47	55	64	48	57	67	42	48	56
20	52	64	76	53	64	75	54	67	80	46	54	63
50	60	76	92	62	76	91	65	82	98	51	63	74
100	68	86	105	71	87	104	75	95	115	56	70	83
500	89	115	141	94	118	142	104	133	162	70	88	105

R	Jyväskylä			Kauhava			Joensuu			Oulu		
	2,5	Ka	97,5	2,5	Ka	97,5	2,5	Ka	97,5	2,5	Ka	97,5
10	46	54	64	44	51	61	45	52	61	38	45	54
20	52	63	75	49	60	72	50	60	72	42	53	63
50	61	76	92	56	71	88	59	73	88	50	64	77
100	69	88	106	66	84	101	67	84	101	57	73	89
500	94	120	147	88	114	139	90	115	140	78	100	123

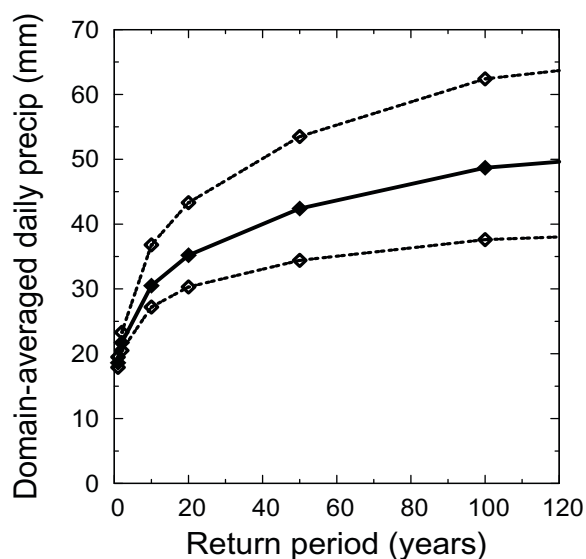
R	Kuusamo			Sodankylä			Muonio			Ivalo		
	2,5	Ka	97,5	2,5	Ka	97,5	2,5	Ka	97,5	2,5	Ka	97,5
10	37	43	51	35	39	45	43	51	61	43	53	64
20	41	50	60	38	43	50	49	60	72	50	64	78
50	48	60	73	42	49	57	57	72	87	63	82	100
100	54	69	84	44	54	63	65	83	100	75	98	121
500	72	93	114	53	65	76	86	111	136	111	147	183

Taulukko F5. Kuuden tunnin sademäärän (mm) 10, 20, 50, 100 ja 500 vuoden toistumistasot. Taulukossa on esitetty paras arvio (ka) sekä rajat, joiden väliin jää 95 % tapauksista. R = toistumisaika (vuosina); Ka = keskiarvo; 2,5 (% , tn) alaraja; 97,5 (% , tn) yläraja. (Venäläinen ym. 2007)

R	Jokioinen			Sodankylä		
	2,5	Ka	97,5	2,5	Ka	97,5
10	31	44	56	21	26	33
20	38	54	69	23	29	37
50	50	71	92	25	33	42
100	60	86	112	26	36	47
500	95	137	179	30	43	57

Taulukko F6. Yhden tunnin ja yhden vuorokauden sademäärän (mm) 100 vuoden toistumistasot piste- ja aluesadannoille kolmelle eri vyöhykkeelle: Etelä-Suomi (n. 60–62 °N), Keski-Suomi (n. 62–64 °N) ja Pohjois-Suomi (n. 64–70 °N).

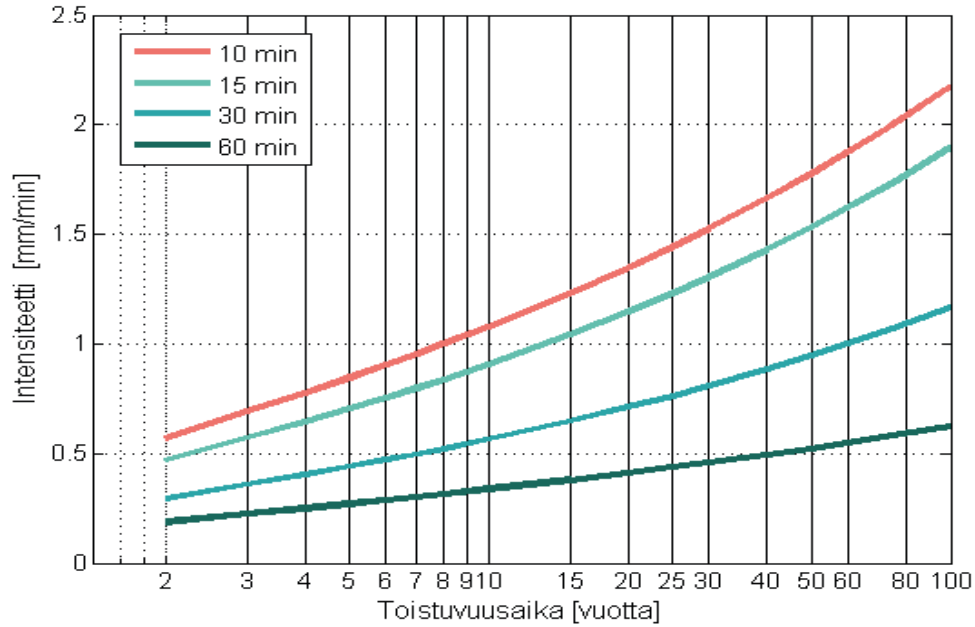
	Etelä-Suomi		Keski-Suomi		Pohjois-Suomi	
	1 h	1 vrk	1 h	1 vrk	1 h	1 vrk
pistearvo	37	90	36	85	34	80
1 km²	35	86	34	84	32	80
10 km²	30	83	29	81	27	77
100 km²	22	78	21	75	19	71
1000 km²	13	64	13	62	13	58



Kuva F2. Vuorokauden sadannan toistumisaikojen arvio alueella 60,75–62,75 °N, 22,75–25,25 °E (Kokemäenjoen valuma-alue). Katkoviiva kuvaa arvon 90 % luottamusvälin (Perrels ym. 2010).

F.3 Kesäsateet Helsingissä (Kaisaniemi)

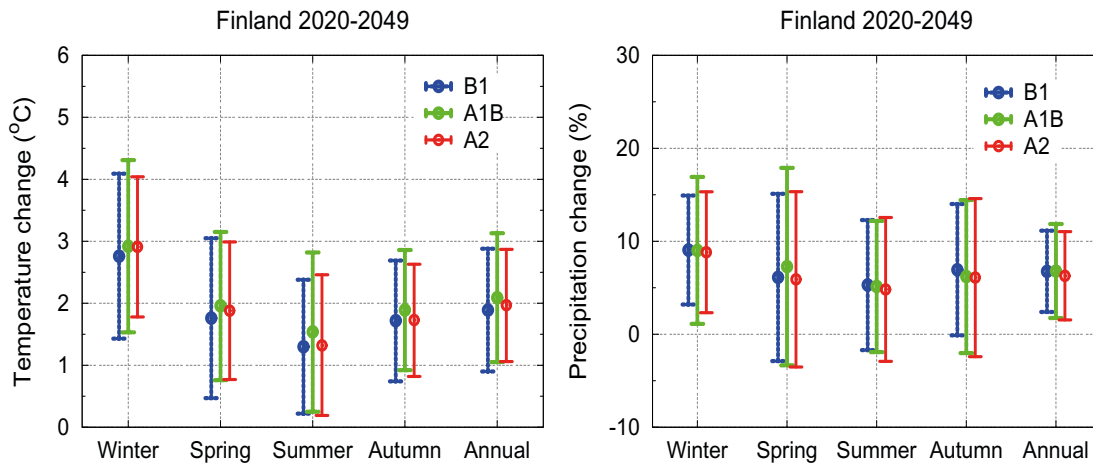
Kilpeläinen ym. (2008) analysoivat kesäsateita Helsingissä piirtävän sademittarin avulla. Havaintoaineisto kattoi touko–syyskuut vuosina 1951–2000. Tulosten mukaan sateen intensiteetit, jotka ylittävät 1 mm/min 10 minuutin ajan, esiintyivät noin kerran kahdeksassa vuodessa, mutta 1 mm/min 30 minuutin ajan harvemmin kuin kerran viidessäkymmenessä vuodessa. Myös tulosten luottamusväli kasvoi toistumisajan myötä, koska 50 vuoden tarkastelujakso on liian lyhyt, jotta pitkiä toistumisaikoja voitaisiin tarkastella luotettavasti. Kuvassa F3 on esitetty toistumisajat sateen keskimääräisille intensiteeteille.



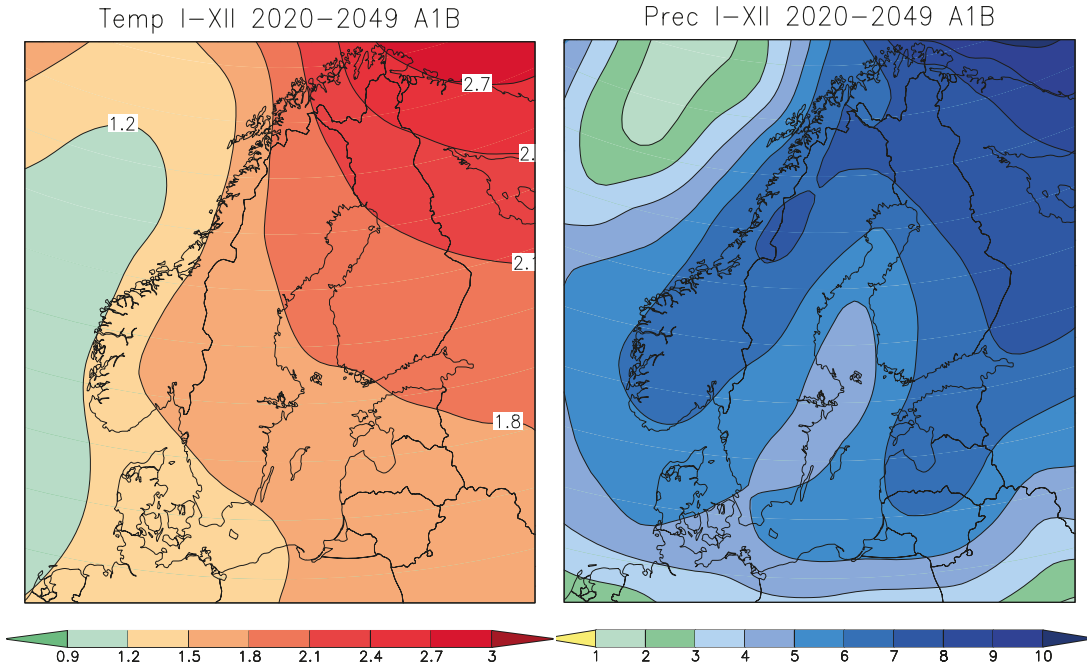
Kuva F3. Toistumisajat 10, 15, 30 ja 60 minuutin keskimääräisille sateen intensiteeteille Kaisaniemessä (Kilpeläinen ym. 2008).

F.4 Rankkasateet tulevassa ilmastossa

Tulevan ilmaston sadantojen tutkimisessa on keskitytty enimmäkseen sadannan keskiarvojen muutoksiin. Eri toistuvuustasojen sadannan muutoksia on tutkittu hyvin vähän. Eri ilmastomalleilla ja päästöskenaarioilla saadut tulokset vaihtelevat paljon, joten epävarmuudet ovat melko suuria.



Kuva F4. Vuotuisen ja kunkin vuodenajan keskilämpötilan (vasen paneeli) sekä sademäärän muutos (oikea paneeli) Suomessa skenaarioiden A1B, B1 ja A2 mukaan (Nakićenović ja Swart 2000). Ympyrä on 19 globaalil ilmastomallin tulosten keskiarvo, ja pystyviivoin on kuvattu tuloksen 90 %:n luottamusväli. Tulos on esitetty jaksolle 2020–2049 suhteessa jaksoon 1971–2000 (Perrels ym. 2010).



Kuva F5. Vuotuisen keskilämpötilan (vasen paneeli, °C) ja sademäärän muutoksen (oikea paneeli, %) alueellinen jakauma skenaarion A1B mukaan jaksosta 1971–2000 jaksoon 2020–2049. 19 globaalin ilmastomallin keskiarvo (Perrels ym. 2010).

Yhden vuorokauden maksimisateet tulevat myös lisääntymään kaikkina vuodenaikoina. Erityisesti kesällä yhden vuorokauden maksimisateet lisääntyvät enemmän kuin keskimääräinen sademäärä.

Sateeseen liittyvien suureiden aluekeskiarvon muutos Suomessa jaksoon 2071–2100 mennessä A2-skenaarion mukaan näkyy taulukossa F7.

Taulukko F7. Sateeseen liittyvien suureiden aluekeskiarvon muutos eri vuodenaikoina Suomessa jaksoon 2071–2100 mennessä A2-skenaarion mukaan. R1d = yhden vuorokauden maksimisademäärän muutos, CDD = peräkkäisten kuivien päivien maksimilukumäärän muutos. Tulos perustuu alueellisten ilmastomallien tuloksiin. P = keskimääräisen sademäärän muutoksen ja T = keskilämpötilan muutoksen 90 %:n luottamusväliet globaalien ilmastomallien mukaan (Perrels ym. 2010).

2071–2100	Talvi	Kevät	Kesä	Syksy
P (%)	16–44	3–35	-1–24	7–30
T (°)	5,1–9,6	2,7–7,0	0,7–6,0	2,6–6,5
R1d (%)	15–40/35	15–30	5–35	10–30
CDD (%)	-30/-20–0	-30–10	-20–20	-5/-10–15

Karkea arvio yhden vuorokauden maksimisateiden muutoksista jaksoon 2020–2049 mennessä voidaan saada interpoloimalla taulukon arvoja lineaarisesti ajassa. Tällöin taulukon arvot suunnilleen puolitetaan.

Toistumisaikojen muutoksista voidaan tässä vaiheessa todeta, että taulukossa F6 esitetyt sadantaluvut tulevat karkeasti arvioiden kasvamaan noin 10–15 prosenttia seuraavien 50 vuoden aikana.

RAPORTTEJA — RAPPORTER — REPORTS

- 1986:
1. Savolainen, Anna Liisa et al., 1986. Radioaktiivisten aineiden kulkeutuminen Tshernobylin ydinvoimalaonnettomuuden aikana. Väliaikainen raportti. 39 s.
 2. Savolainen, Anna Liisa et al., 1986. Dispersion of radioactive release following the Chernobyl nuclear power plant accident. Interim report. 44 p.
 3. Ahti, Kari, 1986. Rakennussääpalvelukokeilu 1985-1986. Väliraportti Helsingin ympäristön talvikokeilusta 18.11.-13.3.1986. 26 s.
 4. Korhonen, Ossi, 1986. Pintatuulen vertailumittauksia lentoasemilla. 38 s.
- 1987:
1. Karppinen, Ari et al., 1987. Description and application of a system for calculating radiation doses due to long range transport of radioactive releases. 50 p.
 2. Venäläinen, Ari, 1987. Ilmastohavaintoihin perustuva arvio jyrshinturpeen tuotantoedellytyksistä Suomessa. 35 s.
 3. Kukkonen, Jaakko ja Savolainen, Anna Liisa, 1987. Myrkyllisten kaasujen päästöt ja leviäminen onnettomuustilanteissa. 172 s.
 4. Nordlund, Göran ja Rantakrans, Erkki, 1987. Matemaattisfysikaalisten ilmanlaadun arviointimallien luotettavuus. 29 s.
 5. Ahti, Kari, 1987. Rakennussäätutkimuksen loppuraportti. 45 s.
 6. Hakola, Hannele et al., 1987. Otsonin vaihteluista Suomessa yhden vuoden havaintoaineiston valossa. 64 s.
 7. Tammelin, Bengt ja Erkiö, Eero, 1987. Energialaskennan säätiedot – suomalainen testivuosi. 108 s.
- 1988:
1. Eerola, Kalle, 1988. Havaintojen merkityksestä numeerisessa sääennustuksessa. 36 s.
 2. Fredrikson, Liisa, 1988. Tunturisääprojekti 1986-1987. Loppuraportti. 31 s.
 3. Salmi, Timo and Joffre, Sylvain, 1988. Airborne pollutant measurements over the Baltic Sea: meteorological interpretation. 55 p.
 4. Hongisto, Marke, Wallin, Markku ja Kaila, Juhani, 1988. Rikkipäästöjen vähentämistoimenpiteiden taloudellisesti tehokas valinta. 80 s.

5. Elomaa, Esko et al., 1988. Ilmatieteen laitoksen automaattisten merisääasemien käyttövarmuuden parantaminen. 55 s.
 6. Venäläinen, Ari ja Nordlund, Anneli, 1988. Kasvukauden ilmastotiedotteen sisältö ja käyttö. 63 s.
 7. Nieminen, Rauno, 1988. Numeeristen paine- ja ja korkeuskenttäennusteiden objektiivinen verifiointisysteemi sekä sen antamia tuloksia vuosilta 1985 ja 1986. 35 s.
- 1989:
1. Ilvessalo, Pekko, 1989. Yksittäisestä piipusta ilmaan pääsevien epäpuhtauksien suurimpien tuntipitoisuuksien arviointimenetelmä. 21 s.
- 1992:
1. Mhita, M.S. and Venäläinen, Ari, 1991. The variability of rainfall in Tanzania. 32 p.
 2. Anttila, Pia (toim.), 1992. Rikki- ja typpilaskeuman kehitys Suomessa 1980-1990. 28 s.
- 1993:
1. Hongisto, Marke ja Valtanen Kalevi, 1993. Rikin ja typen yhdisteiden kaukokulkeutumismallin kehittäminen HIRLAM-sääennustemallin yhteyteen. 49 s.
 2. Karlsson, Vuokko, 1993. Kansalliset rikkidioksidin analyysivertailut 1979 - 1991. 27 s.
- 1994:
1. Komulainen, Marja-Leena, 1995. Myrsky Itämerellä 28.9.1994. Säätilan kehitys Pohjois-Itämerellä M/S Estonian onnettomuusyönä. 42 s.
 2. Komulainen, Marja-Leena, 1995. The Baltic Sea Storm on 28.9.1994. An investigation into the weather situation which developed in the northern Baltic at the time of the accident to m/s Estonia. 42 p.
- 1995:
1. Aurela, Mika, 1995. Mikrometeorologiset vuomittausmenetelmät - sovelluksena otsonin mittaaminen suoralla menetelmällä. 88 s.
 2. Valkonen, Esko, Mäkelä, Kari ja Rantakrans, Erkki, 1995. Liikenteen päästöjen leviäminen katukuilussa - AIG-mallin soveltuvuus maamme oloihin. 25 s.
 3. Virkkula, Aki, Lättilä, Heikki ja Koskinen, Timo, 1995. Otsonin maanpintapitoisuuden mittaaminen UV-säteilyn absorptiolla: DOAS-menetelmän vertailu suljettua näytteenottotilaa käyttävään menetelmään. 29 s.
 4. Bremer, Pia, Ilvessalo, Pekko, Pohjola, Veijo, Saari, Helena ja Valtanen, Kalevi, 1995. Ilmanlaatuennusteiden ja -indeksin kehittäminen Helsingin Käpylässä suoritettujen mittauksen perusteella. 81 s.

- 1996: 1. Saari, Helena, Salmi, Timo ja Kartastenpää, Raimo, 1996. Taajamien ilmanlaatu suhteessa uusiin ohjearvoihin. 98 s.
- 1997: 1. Solantie, Reijo, 1997. Keväthallojen alueellisista piirteistä ja vähän talvipakkastenkin. 28 s.
- 1998: 1. Paatero, Jussi, Hatakka, Juha and Viisanen, Yrjö, 1998. Concurrent measurements of airborne radon-222, lead-210 and beryllium-7 at the Pallas-Sodankylä GAW station, Northern Finland. 26 p.
2. Venäläinen, Ari ja Helminen, Jaakko, 1998. Maanteiden talvikunnossapidon sääindeksi. 47 s.
3. Kallio, Esa, Koskinen, Hannu ja Mälkki, Anssi, 1998. VII Suomen avaruustutkijoiden COSPAR-kokous, Tiivistelmät. 40 s.
4. Koskinen, H. and Pulkkinen, T., 1998. State of the art of space weather modelling and proposed ESA strategy. 66 p.
5. Venäläinen, Ari ja Tuomenvirta Heikki, 1998. Arvio ilmaston lämpenemisen vaikutuksesta teiden talvikunnossapidon kustannuksiin. 19 s.
- 1999: 1. Mälkki, Anssi, 1999. Near earth electron environment modelling tool user/software requirements document. 43 p.
2. Pulkkinen, Antti, 1999. Geomagneettisesti indusoidut virrat Suomen maakaasuverkostossa. 46 s.
3. Venäläinen, Ari, 1999. Talven lämpötilan ja maanteiden suolauksen välinen riippuvuus Suomessa. 16 s.
4. Koskinen, H., Eliasson, L., Holback, B., Andersson, L., Eriksson, A., Mälkki, A., Nordberg, O., Pulkkinen, T., Viljanen, A., Wahlund, J.-E., Wu, J.-G., 1999. Space weather and interactions with spacecraft : spee final report. 191 p.
- 2000: 1. Solantie, Reijo ja Drebs, Achim, 2000. Kauden 1961 - 1990 lämpöoloista kasvukautena alustan vaikutus huomioiden, 38 s.
2. Pulkkinen, Antti, Viljanen, Ari, Pirjola, Risto, and Bear working group, 2000. Large geomagnetically induced currents in the Finnish high-voltage power system. 99 p.
3. Solantie, R. ja Uusitalo, K., 2000. Patoturvallisuuden mitoitussadannat: Suomen suurimpien 1, 5 ja 14 vrk:n piste- ja aluesadantojen analysointi vuodet 1959 - 1998 kattavasta aineistosta. 77 s.

4. Tuomenvirta, Heikki, Uusitalo, Kimmo, Vehviläinen, Bertel, Carter, Timothy, 2000. Ilmastomuutos, mitoitusadanta ja patoturvallisuus: arvio sadannan ja sen ääriarvojen sekä lämpötilan muutoksista Suomessa vuoteen 2100. 65 s.
 5. Viljanen, Ari, Pirjola, Risto and Tuomi, Tapio, 2000. Abstracts of the URSI XXV national convention on radio science. 108 p.
 6. Solantie, Reijo ja Drebs, Achim, 2000. Keskimääräinen vuoden ylin ja alin lämpötila Suomessa 1961 - 90. 31 s.
 7. Korhonen, Kimmo, 2000. Geomagneettiset mallit ja IGRF-appletti. 85 s.
- 2001:
1. Koskinen, H., Tanskanen, E., Pirjola, R., Pulkkinen, A., Dyer, C., Rodgers, D., Cannon, P., Mandeville, J.-C. and Boscher, D., 2001. Space weather effects catalogue. 41 p.
 2. Koskinen, H., Tanskanen, E., Pirjola, R., Pulkkinen, A., Dyer, C., Rodgers, D., Cannon, P., Mandeville, J.-C. and Boscher, D., 2001. Rationale for a european space weather programme. 53 p.
 3. Paatero, J., Valkama, I., Makkonen, U., Laurén, M., Salminen, K., Raittila, J. and Viisanen, Y., 2001. Inorganic components of the ground-level air and meteorological parameters at Hyytiälä, Finland during the BIOFOR project 1998-1999. 48 p.
 4. Solantie, Reijo, Drebs, Achim, 2001. Maps of daily and monthly minimum temperatures in Finland for June, July, and August 1961-1990, considering the effect of the underlying surface. 28 p.
 5. Sahlgren, Vesa, 2001. Tuulikentän alueellisesta vaihtelusta Längelmävesi-Roine -järvialueella. 33 s
 6. Tammelin, Bengt, Heimo, Alain, Leroy, Michel, Rast, Jacques and Säntti, Kristiina, 2001. Meteorological measurements under icing conditions : EUMETNET SWS II project. 52 p.
- 2002:
1. Solantie, Reijo, Drebs, Achim, Kaukoranta, Juho-Pekka, 2002. Lämpötiloja eri vuodenaikoina ja eri maastotyypeissä Alajärven Möksyssä. 57 s.
 2. Tammelin, Bengt, Forsius, John, Jylhä, Kirsti, Järvinen, Pekka, Koskela, Jaakko, Tuomenvirta, Heikki, Turunen, Merja A., Vehviläinen, Bertel, Venäläinen, Ari, 2002. Ilmastomuutoksen vaikutuksia energiantuotantoon ja lämmitysenergian tarpeeseen. 121 s.
- 2003:
1. Vajda, Andrea and Venäläinen, Ari, 2003. Small-scale spatial variation of climate in northern Finland. 34 p.

2. Solantie, Reijo, 2003. On definition of ecoclimatic zones in Finland. 44 p.
 3. Pulkkinen, T.I., 2003. Chapman conference on physics and modelling of the inner magnetosphere Helsinki, Finland, August 25 -29, 2003. Book of abstracts. 110 p.
 4. Pulkkinen, T. I., 2003. Chapman conference on physics and modelling of the inner magnetosphere Helsinki, Finland, August 25 -29, 2003. Conference program. 16 p.
 5. Merikallio, Sini, 2003. Available solar energy on the dusty Martian atmosphere and surface. 84 p.
 6. Solantie, Reijo, 2003. Regular diurnal temperature variation in the Southern and Middle boreal zones in Finland in relation to the production of sensible heat. 63 p.
- 2004:
1. Solantie, Reijo, Drebs, Achim and Kaukoranta, Juho-Pekka, 2004. Regular diurnal temperature variation in various landtypes in the Möksy experimental field in summer 2002, in relation to the production of sensible heat. 69 p.
 2. Toivanen, Petri, Janhunen, Pekka and Koskinen, Hannu, 2004. Magnetospheric propulsion (eMPii). Final report issue 1.3. 78 p.
 3. Tammelin, Bengt et al., 2004. Improvements of severe weather measurements and sensors – EUMETNET SWS II project. 101 p.
 4. Nevanlinna, Heikki, 2004. Auringon aktiivisuus ja maapallon lämpötilan vaihtelut 1856 - 2003. 43 s.
 5. Ganushkina, Natalia and Pulkkinen, Tuija, 2004. Substorms-7: Proceedings of the 7th International Conference on Substorms. 235 p.
 6. Venäläinen, Ari, Sarkkula, Seppo, Wiljander, Mats, Heikkinen, Jyrki, Ervasto, Erkki, Poussu, Teemu ja Storås, Roger, 2004. Espoon kaupungin talvikunnossapidon sääindeksi. 17 s.
 7. Paatero, Jussi and Holmen, Kim (eds.), 2004. The First Ny-Ålesund - Pallas-Sodankylä atmospheric research workshop, Pallas, Finland 1 - 3 March 2004 - Extended abstracts. 61 p.
 8. Holopainen, Jari, 2004. Turun varhainen ilmastollinen havaintosarja. 59 s.
- 2005:
1. Ruuhela, Reija, Ruotsalainen, Johanna, Kangas, Markku, Aschan, Carita, Rajamäki, Erkki, Hirvonen, Mikko ja Mannelin, Tarmo, 2005. Kelimallin kehittäminen talvijalankulun turvallisuuden parantamiseksi. 47 s.

2. Laurila, Tuomas, Lohila, Annalea, Tuovinen, Juha-Pekka, Hatakka, Juha, Aurela, Mika, Thum, Tea, Walden, Jari, Kuronen, Pirjo, Talka, Markus, Pesonen, Risto, Pihlatie, Mari, Rinne, Janne, Vesala, Timo, Ettala, Matti, 2005. Kaatopaikkojen kaasupäästöjen ja haihdunnan mikrometeorologisten mittausmenetelmien kehittäminen (MIKROMETKAA). Tekesin Streams – ohjelman hankkeen loppuraportti. 34 s. (Ei julkaistu – Not published)
 3. Siili, Tero, Huttunen, Emilia, Koskinen, Hannu ja Toivanen, Petri (toim.), 2005. Kymmenes Suomen avaruustutkijoiden kokous (FinCospar) Kokousjulkaisu. 57 s.
 4. Solantie, Reijo and Pirinen, Pentti, 2005. Diurnal temperature variation in inversion situations. 34 s.
 5. Venäläinen, Ari, Tuomenvirta, Heikki, Pirinen, Pentti and Drebs, Achim, 2005. A basic Finnish climate data set 1961 – 2000 – description and illustrations. 24 p.
 6. Tammelin, Bengt, Sääntti, Kristiina, Dobeck, Hartwig, Durstewich, Michel, Ganander, Hans, Kury, Georg, Laakso, Timo, Peltola, Esa, Ronsten, Göran, 2005. Wind turbines in icing environment: improvement of tools for siting, certification and operation – NEW ICETOOLS. 127 p.
- 2006:
1. Mälkki, Anssi, Kauristie, Kirsti and Viljanen Ari, 2006. Auroras Now! Final Report, Volume I. 73 p.
 2. Pajunpää, K. and Nevanlinna, H. (eds), 2006. Nurmijärvi Geophysical Observatory : Magnetic results 2003. 47 p.
 3. Pajunpää, K. and Nevanlinna, H. (eds), 2006. Nurmijärvi Geophysical Observatory : Magnetic results 2004. 47 p.
 4. Pajunpää, K. and Nevanlinna, H. (eds), 2006. Nurmijärvi Geophysical Observatory : Magnetic results 2005. 49 p.
 5. Viljanen, A. (toim.), 2006. Sähkömagnetiikka 2006. Tiivistelmät – Abstracts. 30 s.
 6. Tuomi, Tapio J. & Mäkelä, Antti, 2006. Salamahavainnot 2006 - Lightning observations in Finland, 2006. 39 p.
 7. Merikallio, Sini, 2006. Preliminary report of the analysis and visualisation software for SMART-1 SPEDE and EPDP instruments. 70 p.
 8. Solantie, Reijo, Pirinen, Pentti, 2006. Orografian huomioiminen loka-huhtikuun sademäärien alueellisissa analyyseissä. 34 s.
 9. Ruosteenoja, Kimmo, Jylhä, Kirsti, Räisänen, Petri, 2006. Climate projections for the Nordic CE project – an analysis of an extended set of global regional climate model runs. 28 p.

10. Merikallio, Sini, 2006. Analysis and visualisation software for DEMETER Langmuir Probe instrument. 31 p.
- 2007:
1. Solantie, Reijo, Järvenoja, Simo, Pirinen, Pentti, 2007. Keskimääräisten kuukauden minimilämpötilojen alueellinen jakauma kautena 1992 – 2005 Suomessa sekä muutos kaudesta 1961 – 1990. 59 s.
 2. Pulkkinen, Tuija, Hari, Ari-Matti, Haukka, Harri, Leinonen, Jussi, Toivanen, Petri, Koskinen, Hannu, André, Mats, Balasis, Georgios, Boscher, Daniel, Dandouras, Iannis, Grande, Mauel, De Keyser, John, Glassmeier, Karl-Heinz, Hapgood, Mike, Horne, Richard, Ivchenko, Nikolay, Santolik, Ondrej, Torkar, Klaus; Trotignon, Jean Gabriel, Vennerstrøm, Susanne, 2007. Waves and acceleration of relativistic particles (WARP). 36 p.
 3. Harri, A-M., Leinonen, J., Merikallio, S., Paton, M., Haukka, H., Polkko, J., Linkin, V., Lipatov, V., Pichkadze, K., Polyakov, A., Uspensky, M., Vasquez, L., Guerrero, H., Crisp, D., Haberle, R., Calcutt, S., Wilson, C., Taylor, P., Lange, C., Daly, M., Richter, L., Jaumann, R., Pommereau, J-P., Forget, F., Lognonne, Ph., Zarnecki, J., 2007. MetNet – In situ observational network and orbital platform to investigate the Martian environment. 35 p.
 4. Venäläinen, Ari, Saku, Seppo, Kilpeläinen, Tiina, Jylhä, Kirsti, Tuomenvirta, Heikki, Vajda, Andrea, Räisänen, Jouni, Ruosteenoja, Kimmo, 2007. Sään ääri-ilmioistä Suomessa. 81 s.
 5. Tuomi, Tapio J. & Mäkelä, Antti, 2007. Salamahavainnot 2007 - Lightning observations in Finland, 2007. 47 p.
 6. Pajunpää, K. and Nevanlinna, H. (eds), 2007. Nurmijärvi Geophysical Observatory : Magnetic results 2006. 49 p.
- 2008:
1. Pajunpää, K. and Nevanlinna, H. (eds), 2008. Nurmijärvi Geophysical Observatory : Magnetic results 2007. 49 p.
 2. Verronen, Pekka T. (ed), 2008. 1st international HEPPA workshop 2008, Book of abstracts. 81 p.
 3. Gregow, Hilppa, Venäläinen, Ari, Laine, Mikko, Niinimäki, Niina, Seitola, Teija, Tuomenvirta, Heikki, Jylhä, Kirsti, Tuomi, Tapio ja Mäkelä, Antti, 2008. Vaaraa aiheuttavista sääilmiöistä Suomen muuttuvassa ilmastossa. 99 s.
 4. Tuomi, Tapio J. & Mäkelä, Antti, 2008. Salamahavainnot 2008 – Lightning observations in Finland, 2008. 49 p.
 5. Heino, Raino and Tolonen-Kivimäki, Outi (eds), 2008. Finnish national report on systematic observations for climate – 2008. 27 p.

6. Paatero, Jussi et al., 2008. Effects of Kola air pollution on the environment in the western part of the Kola peninsula and Finnish Lapland : final report. 26 p.
- 2009:
1. Nevanlinna, H., 2009. Geomagnetismin ABC-kirja. 204 s.
 2. Nevanlinna, H. (toim.), 2009. Ilmatieteen laitos 170 vuotta, 1838 - 2008. 69 s.
 3. Nevanlinna, Heikki, 2009. Revontulihavainnot Suomessa 1748 – 2009. 88 s.
 4. Jylhä, K., Ruosteenoja, K., Räisänen, J., Venäläinen, A., Tuomenvirta, H., Ruokolainen, L., Saku, S. ja Seitola, T., 2009. Arvioita Suomen muuttuvasta ilmastosta sopeutumistutkimuksia varten. ACCLIM-hankkeen raportti 2009. 102 p.
 5. Mäkelä, Antti & Tuomi, Tapio, J., 2009. Salamahavainnot 2009 – Lightning observations in Finland, 2009. 51 p.
 6. Verronen, Pekka (ed.), 2009. 5th International Atmospheric Limb Conference and Workshop : Book of abstracts. 92 p.
 7. Pajunpää, K. and Nevanlinna, H. (eds), 2009. Nurmijärvi Geophysical Observatory : Magnetic results 2008. 48 p.
 8. Kersalo, Juha and Pirinen, Pentti (eds), 2009. Suomen maakuntien ilmasto. 185 s.
- 2010:
1. Rauhala, Jenni & Mäntyniemi, Päivi, 2010. Luonnononnettomuuksien vaikutus ja niihin vaikuttaminen. (valmisteilla).
 2. Pilli-Sihvola, K. Löwendahl, E., Ollikainen, M., van Oort, B., Rummukainen, M. & Tuomenvirta, H., 2010. Survey on the use of climate scenarios and climate change research information in decision making in Finland, Sweden and Norway. Report for the project Climate change adaption in Norway, Sweden and Finland – do research, policy and practice meet? (CAREPol). 57 p.
 3. Pajunpää, K. and Nevanlinna, H. (eds), 2010. Nurmijärvi Geophysical Observatory : Magnetic results 2009. 48 p.
 4. Luomaranta, A., Haapala, J., Gregow, H., Ruosteenoja, K., Jylhä, K. and Laaksonen, A. 2010. Itämeren jääpeitteen muutokset vuoteen 2050 mennessä. 23 s.
 5. Mäkelä, Antti, 2010. Salamahavainnot 2010 – Lightning observations in Finland, 2010. 50 p.

- 2011:
1. Saku, Seppo et al., 2011. Ääriämpötilojen alueellinen vaihtelu Suomessa. (valmisteilla)
 2. Pajunpää, K. and Nevanlinna, H. (eds), 2011. Nurmijärvi Geophysical Observatory : Magnetic results 2010. 49 p.
 3. Virta, Hanna et al., 2011. Ilmastonmuutoksen ääri-ilmiöihin liittyvän riskienhallinnan kustannus–hyötyanalyysi osana julkista päätöksentekoa (IRTORISKI). 97 s.

Ilmatieteen laitos
Erik Palménin aukio 1, Helsinki
tel. (09) 19 291
www.fmi.fi

ISBN 978-951-697-743-3 (nid.)
ISSN 0782-6079
Yliopistopaino
Helsinki