

(SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUKSEN RAPORTTEJA 30/2018, Parjanne, A., Silander, J., Tiitu, m. ja Viinikka, A.)

### Kirjallisuuskatsaus

#### Tavoitteet ja toteutus

Kestävä tulvariskien hallinta -hankkeen yhtenä tehtävänä oli tarkastella, miten ilmastonmuutoksen ja alueidenkäytön muutokset sekä tulevaisuusskenaariot huomioon ottavaa tulvariskien hallintaa on aiemmin käsitelty kirjallisuudessa. Tavoitteena oli löytää referenssitietoa hankkeessa kehitettävän tulevaisuuden tulvariskien arviointimenetelmän pohjaksi. Tätä varten toteutettiin kirjallisuuskatsaus, jossa käytiin läpi Google Scholarissa, Elsevierin ScienceDirectissä, Wiley Online Libraryssä sekä Springer Linkin tietokannoissa olevia artikkeleita.

Kirjallisuuskatsauksen toteutuksessa yhtenä haasteena oli relevanttien artikkelien löytäminen. Tämä johtuu siitä, että tulevaisuuden skenaariotarkasteluita on pääasiassa tehty sektori- tai draiverikohtaisesti, jolloin sekä ilmastonmuutoksen ja alueidenkäytön muutokset huomioon ottavia tulvia tai muita luonnonilmiöitä käsitteleviä artikkeleita jouduttiin hakemaan erikseen. Kirjallisuushaussa käytettiin hakusanojen ”flood risk”, ”land use”, ”spatial planning”, ”climate change”, ”climate”, ”future”, ”scenarios” kaikkia erilaisia kombinaatioita mukaan lukien esim. ”future flood risk in changing climate” ja ”increasing flood risk due to land use changes”.

Kirjallisuuskatsaukseen sisällytetyt suomenkieliset julkaisut olivat jo etukäteen kirjoittajien tiedossa.

Kirjallisuuskatsaukseen valikoitiin mukaan 48 julkaisua, joista koettiin jollain tavalla olevan mahdollisesti hyötyä arviointimenetelmän kehittämisessä ja siihen liittyvien epävarmuuksien kuvaamisessa. Valinnassa painotettiin sisällön lisäksi myös julkaisuajankohtaa – kaikki katsauksen artikkelit on julkaistu 2000-luvulla. Suurin osa kirjallisuudesta keskittyi joko ilmastonmuutoksen tai alueidenkäytön vaikutuksiin tulvariskeihin tai sitten molempia käsiteltiin yleisellä tasolla. Vain muutama julkaisu tarkasteli tulevaisuuden tulvariskiä vaikuttavia tekijöitä laajemmin ja sitäkin harvemmassa käsittelytarkkuus oli tämän hankkeen kannalta relevantti.

Kustakin kirjallisuuskatsaukseen valitusta viitteestä kirjattiin Excel-taulukkoon huomioidut skenaariotyytit, maantieteellinen kattavuus sekä käsitellyt tulvatyytit ja -toistuvuudet. Tämän lisäksi artikkeleista kirjattiin artikkelin spesifinen aihe sekä aihealue, mihin artikkeli liittyy. Lisäksi kirjattiin artikkelissa käytetty tutkimusmenetelmä, suosikset ja parhaat käytännöt, kehitystarpeet, käyttötarkoitus, epävarmuuden arviointi, huomioidut riskitekijät sekä tarkastelun aikahorisontti. Lisäksi tarkasteltiin mahdollisia menetelmällä saatuja tuloksia ja niiden esitystapaa.

#### Tarkastellut artikkelit

Kuten edellä mainittiin, osa kirjallisuudesta keskittyi joko ilmastonmuutokseen tai alueidenkäytön muutokseen ja niiden vaikutuksiin tulvariskeihin. Kunkin kirjallisuusviitteen hyödyllisyys hankkeen kannalta arvioitiin asteikolla 1-5, siten että hyödyllisimmät saivat arvoksi 5 ja vähiten hyödylliset mutta kirjallisuuskatsaukseen kuitenkin sisällytetyt julkaisut arvon 1. Käytännössä hyödyllisyysarvo 4 ja 5 edellyttivät laajempaa kuin yhden tulevaisuuden tulvariskiä vaikuttavan tekijän huomioon ottamista tarkastelussa.

Selvästi suurin osa tarkastellusta kirjallisuudesta oli luonteeltaan tieteellisiä artikkeleita. Kahdeksan oli luonteeltaan virallisia julkaisuja [1], [14], [24], [39], [40], [42], [43], [44] ja kaksi ”harmaita” julkaisuja [9], [41]. Suurimmassa osassa kirjallisuustarkasteluun sisällytetyissä artikkeleissa kuvattiin käytettyä menetelmää ja lähes yhtä monessa oli esitetty alustavat tai case-tarkastelun tulokset. Yhtään laajaa eri maiden tai tutkimuslaitosten kehittämiä menetelmiä vertailevaa artikkelia ei kirjallisuuskatsauksessa löytynyt.

Läpikäydystä kirjallisuudesta 17 käsitteli tulvariskien muuttumista ilmaston ja alueidenkäytön, tai laajemmin sosioekonomisten, muutosten seurauksena. Nämä kirjallisuusviitteet arvioitiin edellä kuvatulla hyödyllisyysasteikolla 4-5 arvoisiksi kahta lukuun ottamatta [22], [28]. Näistä kahden [8], [9] tarkastelunäkökulma oli globaali ja kolme keskittyivät Euroopan ulkopuolelle [27], [28], [34]. Lopuista 12 Eurooppalaisella karkealla tasolla vaikutuksia arviointiin kolmessa artikkelissa [4], [16], [23] ja maakohtaisia tai tapaustarkasteluja oli tehty artikkeleissa [1], [2], [3], [5], [6], [15], [20], [22], [24] painottuen eniten Iso-Britanniaan.

Pelkästään ilmaston tai alueidenkäytön muutoksen vaikutuksiin keskittyneistä artikkeleista yhtäkään ei arvioitu hyödyllisyytensä kannalta yli 3 arvoiseksi. Hyödyllisiksi (arvo 3) arvioitiin 12 viitettä, melko hyödyllisiksi seitsemän ja jollain tapaa hyödyllisiksi 10 viitettä. Ilmastonmuutosta (ja tulvien / tulvariskin muuttumista) viitteistä käsitteli 16 [11], [13], [18], [19], [21], [25], [26], [29], [32], [35], [36], [37], [38], [42], [43], [44]. Alueidenkäyttö (ja tulvien / tulvariskin muuttumista) käsitteli 9 viitettä [7], [10], [12], [14], [17], [30], [39], [40], [41]. Useiden ilmaston tai maankäytön muuttumista käsittelevien viitteiden kattavuus oli Euroopan tai maailmanlaajuinen, sisältäen mahdollisesti tarkemman case-tarkastelun mikäli kyseessä oli menetelmäkuvaus-tyyppinen artikkeli. Kaksi viitettä [31], [33] eivät suoranaisesti käsitelleet minkään edellä kuvatun ilmiön vaikutusta tulvariskiin, mutta ne sisällytettiin tarkasteluun hyvän tulviin liittyvän epävarmuuksien pohdinnan vuoksi. Epävarmuustarkasteluita on edellä mainittujen lisäksi myös lähes kaikissa käsitellyissä artikkeleissa, mutta erityisesti viitteissä [29], [30], [32] ja [37].

## Sekä ilmaston- että alueidenkäytön muutoksen suhteen relevantti kirjallisuus

Katsauksessa löytyi muutama viite, jotka tarjoavat sellaisenaan hyvän kuvauksen käytetyistä tulvariskin muutosta kuvaavista, useat eri tekijät huomioon ottavista, menetelmistä. Kestävä tulvariskien hallinta –hankkeen kannalta hyödyllinen oli artikkeli [2] ja sitä täydentävä menetelmäkuvaus [1], joissa on kuvattu Iso-Britanniassa hiljattain kehitetty Future Flood Explorer –menetelmä sekä sillä saatuja tuloksia tulvariskin muutoksista. Menetelmä ottaa huomioon ilmastonmuutoksen ja alueiden käytön suunnittelun lisäksi tulvapoliittikan, ihmisten käyttäytymisen ja tulvariskien hallinnan mahdolliset muutokset ja epävarmuudet. Tarkasteluun on sisällytetty vesistö-, rannikko-, hulevesi- ja pohjavesitulvien muuttuminen vuosiin 2050 ja 2080 sekä vielä pidemmälle määrittelemättömällä aikahorisontilla. Menetelmä mahdollistaa useiden eri tulvan toistuvuuksien tarkastelut ja ottaa huomioon erilaiset riskitekijät ja epävarmuudet. Tulosten esitystapoja on useita ja niiden on tarkoitus tukea alueellista päätöksentekoa.

Iso-Britanniaa käsittelevä aikaisemmin julkaistu kirjallisuus [5], [6], [20], [22], [24] vaikutti myös hyödylliseltä, mutta tuoreimman arvostettujen tulvariskiasiantuntijoiden tutkimuksen ja menetelmän [1], [2] voidaan olettaa tarjoavan kehittyneimmän lähtökohdan menetelmäkehitykselle. Tarvittaessa em. kirjallisuudesta voidaan löytää tarkentavaa tietoa (esim. esitystavan osalta [5] tai tiettyyn tulvatyyppiin liittyen [20]).

Vertailukohtia Iso-Britannian menetelmälle saadaan artikkeleista [3], [15], [27] ja [34] sekä laajemmin koko Eurooppaa käsittelevästä kirjallisuudesta [4], [16], [23]. Erityisesti artikkelin [3] discussion –luku on tutustumisen arvoinen. Suomen tulvariskien muutosta arvioivan menetelmän kehittämisessä onkin tärkeää ottaa huomioon Euroopan- ja maailmanlaajuiset karkeammat menetelmät, jotta aluekohtaisilla tarkasteluilla voitaisiin täsmentää yleisempiä tarkasteluja ja tulokset tukisivat toinen toisiaan. Haasteita aiheuttaa se, että laajemmissa menetelmissä tarkastelua ei ole välttämättä tehty edes vesistöaluetasolla.

Bouwer et al [3] tarkastelivat ilmastonmuutoksen ja sosioekonomisen muutoksen vaikutuksia tulevaisuuden tulvariskiin tapaustarkastelualueella Alankomaissa. Riskikohteiden (rakennusten) arvon kehitys voi tulosten perusteella vaikuttaa vahinkoarvioiden kaksinkertaistumiseen. Alankomaissa suurin merkitys on kuitenkin käytettävällä ilmastonmuutoskenaariolla. Artikkelissa suositellaan tulevaisuuden vahinkofunktioiden hyödyntämistä jotta harvinaisten ja eniten vahingollisten tilanteiden vahinkoja ei aliarvioitaisi. Vahinkofunktiot perustuvat kuitenkin maankäyttöaineistoon ja ennakoituun sosioekonomiseen kehitykseen yksittäisten rakennustietojen sijaan. Tarkastelualueella riskin kasvu sosioekonomisesta muutoksesta johtuen on saman suruista kuin vuosittainen talouskasvu, joten suhteellinen tulvariski ei vaikuttaisi muuttuvan tulevaisuudessa muuten kuin ilmastonmuutoksen seurauksena. Winsemius ym. [8] ovat tarkastelleet erikseen ilmastonmuutoksen ja sosioekonomisen muutoksen vaikutuksia tulvariskiin eri puolilla maailmaa ja osoittavat että tulvariskin kasvun draiveri riippuu alueesta ja sen taloudellisesta tilanteesta. Tutkimus myös korostaa tarkastelua sekä absoluuttisina vahinkoarvioina että normalisoidun BKT:n avulla erojen tunnistamiseksi.

Ilmaston ja maankäytön muutoksen vaikutuksia tulviin käsittelevässä kirjallisuudessa on suhteellisen usein viitattu artikkeleihin [4] ja [23] joissa on esitelty menetelmä Euroopan tulvariskin muutoksen arvioimiseksi. Vaikka käytetyt skenaariot ja aluejaot eivät suoraan sovellu tarkempiin maakohtaisiin tarkasteluihin, on vuoden 2009 artikkeli [4] ensimmäisiä ilmastonmuutoksen taloudellisia vaikutuksia tulvariskiin käsitelleitä tutkimuksia Euroopassa ja siten sen periaatteita on sovellettu useissa maissa ja tutkimuksissa. Tulokset on laskettu tarkastelualue huomioon ottaen suhteellisen tarkoituksella malleilla, mutta käyttäen vain yhtä [4] tai kahta [23] ilmastonmuutoskenaariota. Tulokset on esitetty arvioituina vuosivahinkoina (EAD), mutta esitetty suurina alueyksiköinä (NUTS 2) jolloin alueittaiset erot hämärtyvät. 2009 [4] tutkimuksen tulosten perusteella tulvariskien

ennakoitiin vähenevän Suomessa melko merkittävästi ilmastonmuutoksen seurauksena vuosisadan loppuun mennessä, mutta kahdella ilmastonmuutoskenaariolla tehdyn tarkastelun [23] perusteella vaikutus ei ollut enää yhtä selvä. Alueittaiset mallit ovat kehittyneet jatkuvasti ja esimerkiksi Rojas ym. [16] saivat vuoden 2013 tutkimuksessa tuloksen jonka mukaan tulvavahingot kasvaisivat Suomessa 100-250% riippuen toistuvuudesta ja tarkasteluajanjaksosta.

Thieken ym. [15] lisäsivät tulevaisuuden tulvariskien arviointiin ei-rakenteellisten toimenpiteiden vaikuttavuustutkimuksen. Myös muussa kirjallisuudessa on tarkasteltu erilaisten sopeutumis- ja riskienhallintatoimien mahdollisuuksia (mm. [2], [6], [16], [34]), mutta yleensä tarkastelut jäävät pintapuolisiksi ja yleisiksi ilmasto- tai tulvapoliittikkaa koskeviksi suosituksiksi. Alueittaiselle ja konkreettiselle toimenpidekohtaiselle tasolle päästään vain harvoin. Thieken ym. [15] pääsevät tarkkojen lähtötietojen avulla kuitenkin tasolle, jossa voidaan arvioida tarvittavien sopeutumistoimien kustannuksia erilaisiin tulevaisuuden tulvariskeihin varautumiseksi.

CORFU-projektissa [46] tarkasteltiin erityisesti tulevaisuuden tulvariskien resilienssiä joka on tärkeässä roolissa sopeutuvia toimia suunniteltaessa sekä runsaasti epävarmuuksia sisältävässä skenaariotarkastelussa. Projektissa kehitettiin malli tulevaisuuden tulvariskien terveystaustasta sekä tulvaresilienssi-indeksi joka ottaa huomioon erilaiset tarkastelutasot.

## Alueiden käytön skenaarioihin painottunut kirjallisuus

Katsauksessa oli mukana 9 alueiden käytön muutosta ja sen vaikutuksia tulviin tai tulvariskiin käsittelevää artikkelia tai julkaisua. Näistä kaksi käsittelevät lähinnä tapahtuneita vahinkoja ja niiden normalisointia [7], [10]. Kansainvälistä kirjallisuutta aiheesta löytyi kirjallisuushaussa yllättävän vähän, mutta toisaalta maankäytön skenaariotarkastelun ei tarvitse liittyä suoraan tulvariskeihin tai niiden muutokseen vaan maankäytön skenaarioita voisi hyödyntää sellaisenaan. Tällaisista maankäytön muutosta yleisesti arvioivasta kirjallisuudesta mukaan valikoitui kolme suomalaista arviointimenetelmäraporttia [39], [40], [41] koska niitä voitaisiin mahdollisesti hyödyntää sellaisenaan. Maankäytön muutoksia käsittelevän kirjan vesi-osiossa [12] korostetaan skenaarioanalyysin soveltuvuutta pitkän aikavälin tarkasteluihin. FLOODsite-raportti [14] käsittelee erilaisten tulvavahinkojen sosioekonomista arvottamista ja antaa suosituksia eri menetelmien hyödyistä ja haitoista. Julkaisussa esitetyistä menetelmistä ja suosituksista on erityisesti hyötyä skenaariotarkastelussa tarvittavassa laajassa vahinkotekijöiden arvottamisessa sekä vaikutusten yhteismitallistamisessa. Julkaisun alkuun on lisäksi koottu keskeiset periaatteet tulvavahinkojen taloudellisesta arvottamisesta. Bubeck ym. [30] ovat tutkineet erilaisten tulvavahinkojen arviointimenetelmien epävarmuuksia ja todenneet, että suurimmat epävarmuudet johtuvat vahinkojen arvottamisesta tai maankäytön skenaarioista.

## Ilmastonmuutoskenaarioihin painottunut kirjallisuus

Katsauksessa oli mukana 16 ilmaston muutosta ja sen vaikutuksia tulviin tai tulvariskiin käsittelevää artikkelia tai julkaisua. Suuri osa kirjallisuudesta käsittelee ilmastonmuutoksen vaikutuksia tulviin (esim. [11], [38], [42]), eli toistuvuuksiin, peittävyYTEEN, vesisyvyYTEEN tai virtaukseen, eikä varsinaisesti tulvariskiin. Riski muodostuu vaarasta ja haavoittuvuudesta, joista myös haavoittuvuus voi muuttua ilmastonmuutoksen myötä esimerkiksi ihmisten tai rakennusten altistuessa nykyistä helpommin vahingoille. Myös ilmastonmuutoksen ja maankäytön matriisivaikutustarkastelujen vuoksi on tärkeää sisällyttää tarkasteluun ilmastonmuutoksen vaikutukset tulvariskiin.

Menetelmäkehityksen kannalta mielenkiintoisimpia lienevät ilmastonmuutoksen ja hydrologisten muutosten epävarmuutta käsittelevä artikkeli [29] sekä ilmastonmuutoksen vaikutuksia hulevesitulvariskiin arvioiva ja priorisoiva artikkeli [35]. Myös vesistötulvariskien muutoskenaarioita käsittelevä review-artikkeli [25] vaikutti aiheen perusteella erittäin hyödylliseltä, mutta pääasiassa artikkeli käsittelee kuitenkin tulvavaaran ja 1/100a toistuvuuden muuttumista eri puolilla Eurooppaa. Epävarmuuksien ja mahdollisten sopeutumistoimien kuvaus on kuitenkin tässä artikkelissa, monien muiden artikkeleiden tapaan, melko perusteellista.

## Hulevesitulvariskien muuttumista käsittelevä kirjallisuus

Hulevesitulvariskien mallintaminen on rannikko- ja vesistötulviin verrattuna hankalaa ja epävarmuudet ovat suurempia. Kirjallisuudesta löytyi kuitenkin joitain hulevesitulvariskien tulevaisuusskenaarioita käsitteleviä

artikkeleita. Brittien jo edellä kehuttu Future Flood Explorer [1], [2] ottaa huomioon vesistö-, rannikko- ja pohjavesitulvien ohella hulevesitulvat, mutta ilmaston ja sosioekonomisten muutosten vaikutuksia hulevesitulvariskiä on tutkittu maassa jo tätä ennen, lähinnä tosin hulevesiverkoston riittävyuden kannalta [20]. Venetsiassa Italiassa tehty ilmastomuutoksen alueellisten hulevesitulvariskivaikutusten tarkastelu [35] on tarkkuustasoltaan ja menetelmältään mahdollisesti sovellettavissa Suomeenkin. Tulosten esitystapa riskikarttana sekä alueiden välinen vertailu on todettu artikkelissa hyväksi käytännöiksi. Hulevesitulvariskin muutoksen vaikutus on arvioitu suurimmaksi liike- ja teollisuuslaitosten osalta. Haasteena erityisesti hulevesitulvariskitarkasteluiden osalta on arvioiden validointi, koska kyseessä on usein alueittaiset tapaustarkastelut, hulevesiverkoston puuttuminen mallinnoista sekä suuren vahingollisen sateen sattuminen juuri tarkastelualueelle alueelle tai skenaariolle on hyvin epätodennäköistä.

## Rannikotulvia käsittelevä kirjallisuus

Rannikotulvien muuttumista ilmastomuutoksen vaikutuksesta on käsitelty kirjallisuudessa runsaasti johtuen niiden mallinnukseen liittyvistä vesistötulvia pienemmistä epävarmuuksista sekä mahdollisuudesta hyödyntää suoraan laaja-alaisia yleisiä ilmastomuutoskenaarioita. Maankäytön muutokset huomioon ottamalla on päästy alueellisiin riskitarkasteluihin. Suomessa maanpinnan kohoaminen on tähän asti riittänyt kumoamaan merenpinnan nousun vaikutuksen. Käännös on tapahtumassa, mutta hyvin hitaasti. Tässä kirjallisuuskatsauksessa rannikotulvia tarkasteltiin vain osana laajempia tulevaisuuden tulvariskikenaarioita eikä pelkästään rannikotulvien tulvariskien muutosta käsiteltyä artikkeleita sisällytetty tarkasteluun, vesistö- ja rannikotulvariskien yhteistä muutosta käsittelevän artikkelin [6] sekä rannikotulvaskenaarioiden epävarmuutta käsittelevän artikkelin [21] ollessa poikkeuksia.

## Epävarmuuksien huomioon ottamista käsittelevä kirjallisuus

Nykytilanteen tulvavahinkojen arviointiin ja arvottamiseen liittyviä epävarmuuksia on käsitelty jäsennellysti FLOODsite-raportin [14] alussa. Tulevaisuuden tulvariskien arvioimisen epävarmuuksiin on läpikäydystä kirjallisuudesta keskittynyt muutama artikkeli [29], [30], [32], [37]. Epävarmuuksia on käsitelty kuitenkin osana useita muita artikkeleja (esim. [1], [2], [3], [15]). Suuressa osassa kirjallisuudesta suurta tulosten epävarmuutta aiheuttaa turhan karkea tarkastelutaso, liian vähäinen käytettyjen skenaarioiden määrä sekä äärimmäisten tulvatilanteiden toistuvuuksien muutosten huomioimatta jättäminen. Näitäkin suurempi epävarmuus aiheutuu kuitenkin ainakin Alankomaissa vahinkofunktioista, erityisesti kohteiden arvon muutoksesta [3]. Myös Tirolin tapaustutkimuksessa [15] suurin epävarmuus aiheutuu tulevaisuuden tulvariskeihin eniten vaikuttavista talouden ja maankäytön muutoksista. Lähes kaikkialla käsitellyssä kirjallisuudessa ollaan sitä mieltä, että epävarmuuksien minimoimista tärkeämpää on tuoda erilaiset epävarmuudet ymmärrettävästi esille ja esittää ne myös tulosten yhteydessä.

Suuressa osassa käsitellystä kirjallisuudesta tarkastelun aikahorisontti rajoittuu vuoteen 2040 asti johtuen lähinnä käytettävissä olevista sosioekonomisista ja maankäyttöllisistä skenaarioista. Ilmastomuutos- ja tulvaskenaarioita on laadittu tätä pidemmälle jaksolle (tyypillisesti 2080-2100), mutta niihinkin sisältyy epävarmuuksia. Kuitenkin ottamalla tarkasteluun useita erilaisia skenaarioita, voidaan tarkasteluihin sisältyvät epävarmuudet tuoda läpinäkyvästi esille.

## Kirjallisuudessa tehdyt arviot vaikutuksista tulvariskiä ja niiden esitystavat

Ne artikkelit, joissa oli esitetty sekä ilmaston että maankäytön muutoksien vaikutuksia tulvariskiä, eivät antaneet yhtenevää tulosta siitä, kumman vaikutus tulvariskiä olisi suurempi. Ilmastomuutoksen vaikutus tulvariskiä oli suurempi artikkeleiden [2] ja [34] perusteella. Yhtä suureksi vaikutus arvioitiin Alankomaisessa artikkelissa [3]. Itävallan Tirolissa [15] ja Espanjan Madridissa [4] maankäytön muutosten todettiin vaikuttavan tulevaisuuden tulvariskiä hyvin paljon, ilmastomuutoksen vaikutusten ollessa vähäisiä. Maailmanlaajuisessa tarkastelussa [8] todettiin tulvariskin muutoksen draiverin riippuvan alueesta ja sen taloudellisesta tilanteesta. Euroopan kattavassa tutkimuksessa [16] ilmastomuutoksen arvioitiin kasvattavan enemmän asukkaiden tulvariskiä, mutta

sosioekonomisen muutoksen taloudellista tulvariskiä. Erot selittyvät suureksi osaksi käytetyillä skenaarioilla, niiden eroilla sekä ainakin joissakin tapauksissa vain yhden skenaarion tarkastelulla useiden sijaan (esim. [4]).

Aqueduct Global Flood Analyzer [9] on hyvä esimerkki kansainvälisestä internet-palvelusta, jossa käyttäjä voi valita tarkastelutason itse. Suomi on tosin kokonaisuudessaan esitetty yhtenä vesistöalueena. Palvelun visuaalisuus ja tulosten esitystapa ovat kuitenkin esimerkillisiä. Riski on tarkastelussa muutettu arvioituksi vuosittaisiksi rahalliseksi vahingoiksi (englanniksi EAD tai AAD), kuten monissa muissakin tarkastelluissa artikkeleissa [3], [4], [5], [15], [16]. Tarkastelu pelkästään euroissa voi rajoittaa tarkastelua vain tiettyihin riskityyppeihin tai sitten menetelmällä saatujen tulosten epävarmuus kasvaa jos esimerkiksi ihmishengelle tai ympäristölle joudutaan antamaan rahallinen arvo. Tyypillisesti vahinkojen laskennassa on hyödynnetty vahinkofunktioita (esim. [4]) ja vastaavia on käytetty Suomessa jo aikaisemmin (Silander & Parjanne, 2012). Tätä varten tarvittaisiin kuitenkin laajempaa tietoa tapahtuneista vahingoista. Kirjallisuuskatsaukseen sisällytettiin pari viitettä [7] ja [10], joissa on kuvattu tapahtuneiden vahinkojen normalisointia ja taloudellista arvottamista.

Hyviä yleisiä esitystapoja haavoittuvuuden havainnollistamiseksi ja alueittaiseen vertailuun tarjoavat myös SWICCA [45] sekä View Exposed (<http://setebos.svt.ntnu.no/viewexposed/>).

## Hyviä käytäntöjä, havaittuja puutteita ja kehitysehdotuksia

Epävarmuuksien esittäminen on kirjallisuuskatsauksen perusteella erittäin tärkeää. Epävarmuuksien pelkkä sanallinen käsittely ei riitä vaan ne tulee esittää myös tulosten yhteydessä joko epävarmuusjakaumin, prosentuaalisesti tai vertailuarvoina. Suuremmasta työmäärästä ja mallin monimutkaistumisesta huolimatta kaikkiin arvioitaviin kokonaisuuksiin tulisi sisällyttää mahdollisimman monta lähtöarvoa tai tulevaisuuden skenaarioita, jotta epävarmuudet saataisiin läpinäkyvästi esille.

Kirjallisuuskatsauksesta lukijan kannalta parhaiten erottuivat ne julkaisut ja artikkelit joissa tulosten esitystapa oli havainnollinen ja viimeistelty sekä ne jossa menetelmäkuvausta oli havainnollistettu joko kaaviolla (esim. [15]) tai jakamalla se selkeästi muuten eri työvaiheisiin (esim. [1]). Jos ajatellaan menetelmän ja tulosten käyttötarkoitusta päätöksenteon tukena, korostuu havainnollisuus ja ymmärrettävyys entistä enemmän. Tieteellinen tausta pitää toki olla kunnossa, mutta sen voi esittää erillisessä dokumentissa tai tiiviisti selkeästi erillään tuloksista.

Muutamissa artikkeleissa on tarkasteltu tulosten lisäksi myös mahdollisia tai eri skenaarioihin parhaiten sopivia sopeutumistoimia (esim. [15] ja [16]). Tämä tarjoaa työkaluja päätöksentekijöille, mutta havainnollistaa samalla käytännössä tarkasteluihin liittyviä epävarmuuksia. Useissa artikkeleissa korostetaan helposti päivitettävien ja muokattavien mallien hyödyllisyyttä. Pelkästään 2000-luvulle keskittynyt kirjallisuuskatsaus osoittaa sen, kuinka nopeasti skenaario- ja mallinnustarkkuus ovat parantuneet. Lähtötietojen helpon päivitettävyyden lisäksi on tärkeää, että arviointimenetelmään voidaan tuoda uusia arvioitavia tekijöitä myöhemmin ja että epävarmuuksia pystytään vähentämään. Tämä edellyttää toisaalta mallin pitämistä riittävän yleisellä tasolla, mutta myös keskittymistä tärkeimpiin tulevaisuuden tulvariskin muodostaviin kokonaisuuksiin. Jos jokin asia osoittautuu kokonaisriskin kannalta hyvin merkitykselliseksi, sen jättämistä mallin ulkopuolelle ei tule arkailla.

Suuri osa kirjallisuudesta käsittelee tulvariskien muuttumista tulvariskien hallinnan suunnittelun kannalta liian yleisellä tasolla. Tutkimustuloksilla voi olla käyttöä valtakunnan tai maakunnan tasoisessa strategisessa suunnittelussa, mutta toimenpidekohtaista suunnittelua esitetyt menetelmät eivät riitä tukemaan. Toisaalta tehtävien arvioiden tärkein tarkoitus on tunnistaa millä alueilla, koska ja mihin muutoksiin tulisi alkaa varautumaan. keinot ovat alueellisten päätöksentekijöiden harkittavissa.

## Yhteenveto

Kokonaisuutena kirjallisuudesta löytyi yllättävän vähän artikkeleita joissa olisi tarkasteltu tulvariskien muuttumista useamman kuin yhden tekijän seurauksena. Myöskään koko maan tai maanosan kattavia tarkempia aluekohtaisia tarkasteluja ei ole juuri tehty, vaan suurimmassa osassa viitteistä on sovellettu yleisiä ilmastonmuutoksen ja alueidenkäytön skenaarioita nykyisen tulvariskin muutoksen mallintamiseen. Erilaiset tulvatyytit on otettu riittävän monipuolisesti huomioon lukuun ottamatta jäistä aiheutuvien tulvariskien muutostarkasteluja. Useissa artikkeleissa menetelmää oli sovellettu pilotti-alueelle, mutta sen laajemmasta alueellisesta soveltamisesta ei ollut mainintaa. Monissa tapauksissa pilotti-alueen tuleva tulvariskin kasvu on ollut jo entuudestaan tiedossa ja esitetyllä menetelmällä saadut arviot vain ovat tarkentaneet sitä. Tällöin ei kuitenkaan voida tunnistaa mahdollisia yllättäviä



tulvariskialueita, joihin muutokset kohdistuisivat. Samoin eri alueiden vertailu sopeutumistoimien tehokkaammaksi kohdentamiseksi jää huomioimatta. Näihin Kestävä tulvariskien hallinta –hanke pyrkii vastaamaan.

Katsauksessa löytyi muutama kirjallisuusviite, joita voidaan hyödyntää lähes sellaisenaan tulevaisuuden tulvariskien arviointimenetelmää kehitettäessä. Katsauksen avulla saatiin myös hyviä ideoita erilaisista tulosten esitystavoista sekä läpileikkaava kuvaus aiheeseen liittyvistä epävarmuuksista. Kirjallisuuskatsaus myös korosti sitä, että menetelmäkehityksessä pitää tehdä skenaarioiden yhteensovittamistyötä ja pohtia eri skenaarioiden yhteistodennäköisyyksiä ja niiden vaikutuksia toisiinsa. Samoin kirjallisuuskatsauksen perusteella on entistä selvempää, että ilmastonmuutoksen ja alueidenkäytön vaikutukset tulvariskiinkin eivät ole samanlaisia eri alueilla ja siksi niitä tulisi tarkastella mahdollisimman tarkkojen ja eri kehityskulut huomioon ottavien alueellisten lähtötietojen ja skenaarioiden perusteella. Nämä tiedot tarkentuvat tulevaisuudessa jatkuvasti, joten mallia ja sen tuloksia tulee arvioida uudelleen säännöllisesti.

#### **Kirjallisuuskatsauksessa tarkastellut artikkelit**

1	Sayers and Partners LLP. 2015. Climate Change Risk Assessment 2017: Projections of future flood risk in the UK. 2015.
2	Sayers P., Horritt, M., Penning-Rowsell, E., McKenzie, A., Thompson D. 2016. The analysis of future flood risk in the UK using the Future Flood Explorer. E3S Web Conf.  Volume 7, 2016, 3rd European Conference on Flood Risk Management (FLOODrisk 2016). 9 s. <a href="https://doi.org/10.1051/e3sconf/20160721005">https://doi.org/10.1051/e3sconf/20160721005</a>
3	Bouwer, L., Bubeck, P., Aerts, J. 2010. Changes in future flood risk due to climate and development in a Dutch polder area. Global Environmental Change, Volume 20, Issue 3, August 2010, Pages 463–471. <a href="http://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2010.04.002">http://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2010.04.002</a>
4	Feyen, L., Barredo Cano, J., Dankers, R. 2009. Implications of global warming and urban land use change on Flooding in Europe. Institute for Environment and Sustainability, DG JRC, European Commission. Articles in periodicals and books. JRC47337. CRC Press – Balkema. <a href="http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC47337">http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC47337</a>
5	Hall, J.W., Sayers, P.B. & Dawson, R.J. 2004. National-scale Assessment of Current and Future Flood Risk in England and Wales. Nat Hazards (2005) 36: 147. doi:10.1007/s11069-004-4546-7
6	Mokrech, M., Nicholls, R.J., Richards, J.A. ym. 2008. Regional impact assessment of flooding under future climate and socio-economic scenarios for East Anglia and NorthWest England. Climatic Change (2008) 90: 31. doi:10.1007/s10584-008-9449-2
7	Pielke, Jr., R. A., Gratz, J., Landsea, C. W., Collins, D., Saunders, M. A., and Musulin, R., 2008. Normalized Hurricane Damage in the United States: 1900–2005. Natural Hazards Review, Volume 9, Issue 1, pp. 29-42.
8	Winsemius, H.C, Aerts, J., van Beek, L., Bierkens, M., Bouwman, A., Jongman, B. Kwadijk, J., Ligtvoet, W., Lucas, P., van Buuren, D., Ward, P. 2016. Global drivers of future river flood risk. Nature Climate Change 6, 381–385 doi:10.1038/nclimate2893
9	Iceland, C. 2015. The Aqueduct Global Flood Analyzer. Geophysical Research Abstracts Vol. 17, EGU2015-1815, 2015, EGU General Assembly 2015
10	Crompton, R. & McAnney, K. 2008. Normalised Australian insured losses from meteorological hazards: 1967–2004. Environmental Science & Policy, Volume 11, Issue 5, August 2008, Pages 371–378. <a href="http://doi.org/10.1016/j.envsci.2008.01.005">http://doi.org/10.1016/j.envsci.2008.01.005</a>
11	Dankers, R. & Feyen, L. 2009. Flood hazard in Europe in an ensemble of regional climate scenarios, J. Geophys. Res., 114, D16108, doi:10.1029/2008JD011523.
12	Dekkers, J. & Koomen, E. 2007. Land-Use Simulation For Water Management. Chapter in Modelling Land-Use Change, Volume 90 of the series The GeoJournal Library pp 355-374. <a href="http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4020-5648-2_20">http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4020-5648-2_20</a>

13	Maaskaant, B., Jonkman, S., Bouwer, L. 2009. Future risk of flooding: an analysis of changes in potential loss of life in South Holland (The Netherlands). <i>Environmental Science &amp; Policy</i> , Volume 12, Issue 2, April 2009, Pages 157-169, ISSN 1462-9011, <a href="http://doi.org/10.1016/j.envsci.2008.11.004">http://doi.org/10.1016/j.envsci.2008.11.004</a> .
14	Messner, F. 2007. Evaluating flood damages: guidance and recommendations on principles and methods. Floodsite report T09-06-01. uuid:5602db10-274c-40da-953f-34475ded1755
15	Thieken, A.H., Cammerer, H., Dobler, C. ym. 2014. Estimating changes in flood risks and benefits of non-structural adaptation strategies - a case study from Tyrol, Austria. <i>Mitig Adapt Strateg Glob Change</i> (2016) 21: 343. doi:10.1007/s11027-014-9602-3
16	Rojas, R., Feyen, L., Watkiss, P. 2013. Climate change and river floods in the European Union: Socio-economic consequences and the costs and benefits of adaptation. <i>Global Environmental Change</i> , Volume 23, Issue 6, December 2013, Pages 1737-1751, ISSN 0959-3780, <a href="http://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.08.006">http://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.08.006</a> .
17	Koks, E.E., Jongman, B., Husby, T.G., Botzen, W.J.W. 2015. Combining hazard, exposure and social vulnerability to provide lessons for flood risk management. <i>nvironmental Science &amp; Policy</i> , Volume 47, March 2015, Pages 42-52, ISSN 1462-9011, <a href="http://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.10.013">http://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.10.013</a> .
18	Hirabayashi, Y., Mahendran, R, Koirala, S., Konoshima, L., Yamazaki, D., Watanabe, S., Kim, H., Kanae, S. 2013. Global flood risk under climate change. <i>Nature Climate Change</i> 3, 816–821, doi:10.1038/nclimate1911
19	Botzen, W.J. & Van Den Bergh, J.C.J.M. 2012. Monetary valuation of insurance against flood risk under climate change. <i>International Economic Review</i> , 53: 1005–1026. doi:10.1111/j.1468-2354.2012.00709.x
20	Ashley, R.M., Balmforth, D.J., Saul, A.J., Blanskby, J.D. 2005. Flooding in the future – predicting climate change, risks and responses in urban areas. <i>Water Science and Technology</i> , 52 (5) 265-273. <a href="http://wst.iwaponline.com/content/52/5/265.abstract">http://wst.iwaponline.com/content/52/5/265.abstract</a>
21	Purvis, M.J., Bates, P.D., Hayes, C.M. 2008. A probabilistic methodology to estimate future coastal flood risk due to sea level rise. <i>Coastal Engineering</i> , Volume 55, Issue 12, December 2008, Pages 1062-1073, ISSN 0378-3839, <a href="http://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2008.04.008">http://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2008.04.008</a> .
22	Rounsevell, M.D.A. & Reay, D.S. 2009. Land use and climate change in the UK. <i>Land Use Policy</i> , Volume 26, Supplement 1, December 2009, Pages S160-S169, ISSN 0264-8377, <a href="http://doi.org/10.1016/j.landusepol.2009.09.007">http://doi.org/10.1016/j.landusepol.2009.09.007</a> .
23	Feyen, L., Dankers, R., Bódis, K. ym. 2012. Fluvial flood risk in Europe in present and future climates. <i>Climatic Change</i> (2012) 112: 47. doi:10.1007/s10584-011-0339-7
24	UK Government Office for Science. 2004. Foresight Future Flooding. Future of flood and coastal defence Foresight projects. <a href="https://www.gov.uk/government/publications/future-flooding">https://www.gov.uk/government/publications/future-flooding</a>
25	Kundzewicz, Z.W., Luger, N., Dankers, R. ym. 2010. Assessing river flood risk and adaptation in Europe—review of projections for the future. <i>Mitig Adapt Strateg Glob Change</i> (2010) 15: 641. doi:10.1007/s11027-010-9213-6
26	Harvey, G.L., Thorne, C.R., Cheng, X., Evans, E.P., J.D. Simm, S. H. and Wang, Y. 2009. Qualitative analysis of future flood risk in the Taihu Basin, China. <i>Journal of Flood Risk Management</i> , 2: 85–100. doi:10.1111/j.1753-318X.2009.01024.x
27	Cheng X.T., Evans, E.P., Wu, H.Y., Thorne, S. Simm, J.D., Hall, J.W. 2013. A framework for long-term scenario analysis in the Taihu Basin, China. <i>J Flood Risk Management</i> 6 (2013) 3–13. DOI: 10.1111/jfr3.12024
28	Emam, A. R, Mishra, B.K, Kumar, P., Masago, Y., Fukushi, K. 2016. Impact Assessment of Climate and Land-Use Changes on Flooding Behavior in the Upper Ciliwung River, Jakarta, Indonesia. <i>Water</i> 2016, 8(12), 559; doi:10.3390/w8120559
29	Steinschneider, S, Wi, S, and Brown, C. 2015. The integrated effects of climate and hydrologic uncertainty on future flood risk assessments. <i>Hydrol. Process.</i> , 29, 2823–2839. doi: 10.1002/hyp.10409.

30	Bubeck, P., de Moel, H., Bouwer, L. M., and Aerts, J. C. J. H. 2011. How reliable are projections of future flood damage? <i>Nat. Hazards Earth Syst. Sci.</i> , 11, 3293-3306, doi:10.5194/nhess-11-3293-2011
31	Apel, H., Aronica, G.T., Kreibich, H. ym. 2008. Flood risk analyses—how detailed do we need to be? <i>Nat Hazards</i> (2009) 49: 79. doi:10.1007/s11069-008-9277-8
32	Woodward, M., Kapelan, Z. and Gouldby, B. 2014. Adaptive Flood Risk Management Under Climate Change Uncertainty Using Real Options and Optimization. <i>Risk Analysis</i> , 34: 75–92. doi:10.1111/risa.12088
33	Ward, P. J., de Moel, H., and Aerts, J. C. J. H. 2011. How are flood risk estimates affected by the choice of return-periods?, <i>Nat. Hazards Earth Syst. Sci.</i> , 11, 3181-3195, doi:10.5194/nhess-11-3181-2011
34	Aich, V., Liersch, S., Vetter, T., ounet, S., Andersson, J.C.M., Calmanti, S., van Weert, F.H.A, Hattermann, F.F., Paton, E.N. 2016. Flood projections within the Niger River Basin under future land use and climate change. <i>Science of The Total Environment</i> , Volume 562, 15 August 2016, Pages 666-677, ISSN 0048-9697, <a href="http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.021">http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.021</a> .
35	Sperotto, A., Torresan, S., Gallina, V., Coppola, E., Critto, A., Marcomini, A. 2016. A multi-disciplinary approach to evaluate pluvial floods risk under changing climate: The case study of the municipality of Venice (Italy). <i>Science of The Total Environment</i> , Volume 562, 15 August 2016, Pages 1031-1043, ISSN 0048-9697, <a href="http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.150">http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.150</a> .
36	Muis, S., Güneralp, B., Jongman, B., Aerts, J.C.J.H., Ward, P.J. 2016. Flood risk and adaptation strategies under climate change and urban expansion: A probabilistic analysis using global data. <i>Science of The Total Environment</i> , Volume 538, 15 December 2015, Pages 445-457, ISSN 0048-9697, <a href="http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.068">http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.068</a> .
37	Lawrence, J., Reisinger, A., Mullan, B., Jackson, B. 2013. Exploring climate change uncertainties to support adaptive management of changing flood-risk. <i>Environmental Science &amp; Policy</i> , Volume 33, November 2013, Pages 133-142, ISSN 1462-9011, <a href="http://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.05.008">http://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.05.008</a> .
38	Paprotny, D., Morales-Nápoles, O., and Jonkman, S. N. 2017 Efficient pan-European river flood hazard modelling through a combination of statistical and physical models, <i>Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss.</i> , doi:10.5194/nhess-2017-4, in review, 2017.
39	Tiitu, M., Helminen, V., Järvenpää, E., Härmä, P., Hatunen, S., Rehunen, A. 2015. Rakennetun alueen pinta-alan ennakointi - Paikkatietoaineistojen ja -menetelmien hyödyntäminen rakennetun alueen muutosten laskennassa. SYKE raportteja 28/2015. ISSN 1796-1726 (pdf), ISBN 978-952-11-4515-5. 45 s.
40	Haakana, M, Ollila, P., Regina, K., Riihimäki, H., Tuomainen T. 2015. Menetelmä maankäytön kehityksen ennustamiseen - Pinta-alojen kehitys ja kasvihuonekaasupäästöt vuoteen 2040. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 51/2015. ISBN: 978-952-326-103-7 (Verkkajulkaisu). 35 s.
41	Helminen, V., Ristimäki, M., Oinonen, K. 2010. Taajamakasvun perusuran laskentamalli Suomen 34 suurimmalle kaupunkiseudulle 2005-2050. Suomen ympäristökeskus. <a href="http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Elinymparisto_ja_kaavoitus/Yhdyskuntarakenne/Tietoa_yhdyskuntarakenteesta/Taajamien_kehitys_20052020/Menetelmakuvaus">http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Elinymparisto_ja_kaavoitus/Yhdyskuntarakenne/Tietoa_yhdyskuntarakenteesta/Taajamien_kehitys_20052020/Menetelmakuvaus</a>
42	Veijalainen, N., Jakkila, J., Nurmi, T., Vehviläinen, B., Marttunen, M., Aaltonen, J. 2012. Suomen vesivarat ja ilmastomuutos – vaikutukset ja muutoksiin sopeutuminen. WaterAdapt-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 16/2012. <a href="http://hdl.handle.net/10138/38789">http://hdl.handle.net/10138/38789</a>
43	Nicholls, R.J., Hanson, S., Herweijer, C., Patmore, N., Hallegatte, S., Corfee-Morlot, J., Chateau, J., Muir-Wood, R. 2007. Ranking of the World's Cities Most Exposed to Coastal Flooding Today and in the Future. OECD Environment Working Paper No. 1 (ENV/WKP(2007)1)
44	OECD. 2016. Financial Management of flood risk. OECD publishing. <a href="http://www.oecd.org/finance/financial-management-of-flood-risk.htm">http://www.oecd.org/finance/financial-management-of-flood-risk.htm</a>



45	SWICCA - Service for Water Indicators in Climate Change Adaptation. 2017. internet-sivu. Copernicus Climate Change Service (C3S)
46	Djordjevic. 2014. Collaborative research on flood resilience in urban areas CORFU PROJECT FINAL REPORT. <a href="http://www.corfu7.eu/results/">http://www.corfu7.eu/results/</a>
47	Morita, M. 2014. Flood Risk Impact Factor for Comparatively Evaluating the Main Causes that Contribute to Flood Risk in Urban Drainage Areas. Water 2014, 6(2), 253-270; doi:10.3390/w6020253