

Tulvien aiheuttamat seuraukset ja niihin vaikuttavat tekijät

-Tapausesimerkkeinä Kiinan tulva, Pohjanmeren tulva ja Porin kaupunkitulva

Tiia Niemelä

790351A

LuK-tutkielma

Maantieteen tutkimusyksikkö

Oulun Yliopisto

19.11.2018

Sisällys

1.	Johdanto	3
2.	Erilaiset tulvat ja niiden seuraukset	4
2.1	Tulva	4
2.2	Erilaiset tulvatyytit	4
2.2.1	Vesistötulva	4
2.2.2	Meritulva	5
2.2.3	Hulevesitulva	6
2.3	Tulvien seuraukset	7
2.3.1	Seuraukset ihmiselle, ympäristölle ja yhteiskunnalle	7
2.3.2	Seurauksien luokittelu	10
2.3.3	Seurauksiin vaikuttavat tekijät	11
2.3.4	Tulvien hyödyt	12
2.4	Tulvariskien hallinta	13
3.	Esimerkkitapaukset	14
3.1	Kiinan tulva 1931	14
3.2	Pohjanmeren tulva 1953	17
3.3	Porin kaupunkitulva 2007	19
4.	Pohdinta ja johtopäätökset	21
4.1	Esimerkkitapausten vertailu	21
4.2	Tulvat tulevaisuudessa ja jatkotutkimuskysymyksiä	26
5.	Lähteet	29

1. Johdanto

Ihmiset ovat kautta aikain asuneet jokien, järvien ja merien rannoilla. Vesistöjen läheisyydestä on historiallisesti ollut suunnaton etu selviytymisessä ja myöhemmin teollisuuden kehittämisessä. Vesistöt ovat tarjonneet vettä, ravintoa, kuljetusyhteyksiä, energiaa ja muita resursseja sekä mahdollisuuden jätteiden hävittämiseen. Hedelmälliset tulvasangot ja deltat tarjosivat erinomaista maata viljelyyn. Vesistöjen läheisyydestä aiheutui kuitenkin myös riskejä, joista ilmeisin on toistuva tulvimisen uhka. Kylien kasvaessa tulvariskeistä on tullut entistä akuutimpia ja vahinkojen määrä on kasvanut (Bolt, Horn ym. 1975:236-237, Murck, Skinner ym. 1996:191-193).

Tulvat ovat maailman yleisimmin toistuvia ja useimpiin ihmisiin vaikuttavia luonnononnettomuuksia. Ne aiheuttavat vuosittain kymmeniä tuhansia ihmishenkien menetyksiä ja vaikuttavat negatiivisesti miljoonien ihmisten elämään. Viime vuosikymmeninä tulvavahingot ovat moninkertaistuneet maankäytönmuutoksien, väestönkasvun ja talouden kehittymisen myötä. Ilmastonmuutoksen seurauksena tilanteen uskotaan tulevaisuudessa pahentuvan entisestään (Murck, Skinner ym. 1996:191-193, Yan 2018, Jussila 2015:2).

Tulvat ovat luonnonilmiötä, joita ei voida täysin estää. Niiden aiheuttamia vahinkoja voidaan kuitenkin vähentää rajoittamalla tulvien esiintymistä ja vähentämällä niistä koituvia seurauksia. Jotta vahinkoihin osataan varautua ja riskejä pienentää, on tärkeää kartoittaa mahdollisia tulvien aiheuttamia seurauksia. Tulvilla on hyvin monenlaisia seurauksia sekä ihmiselle että ympäristölle ja eri tilanteissa seuraukset ovat erilaisia. Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, millaisia seurauksia tulvilla on ja mitkä tekijät näiden seurauksien luonteeseen vaikuttavat. Tulvat voidaan jaotella kolmeen kategoriaan: vesistötulviin, meritulviin ja hulevesitulviin. Tässä tutkimuksessa perehdyn kolmeen esimerkkitapaukseen, jotka kaikki kuvastavat eri tulvatyyppisiä. Esimerkkitapausten kautta pyrin hahmottamaan seurauksien eroja eri tulvatyyppien välillä. Vesistötulvaa tutkimuksessa edustaa Kiinassa vuonna 1931 tapahtunut tulva, meritulvaa vuonna 1953 sattunut Pohjanmeren tulva ja hulevesitulvaa vuoden 2007 kaupunkitulva Porissa.

1. Millaisia seurauksia tulvilla on?
2. Mitkä tekijät vaikuttavat seurauksien luonteeseen?
3. Miten eri tulvatyyppien seuraukset poikkeavat toisistaan?

2. Erilaiset tulvat ja niiden seuraukset

2.1 Tulva

Tulva on luonnonilmiö, joka johtuu vallitsevista luonnonoloista, erityisesti sää- ja vesistöolosuhteista. Myös maaston muodot ja maankäyttö vaikuttavat merkittävästi tulvien syntyyn ja esiintymiseen (SYKE 2013). Tulva syntyy veden kertyessä alueille, jotka ovat normaalisti kuivia tai vedenpinnan noustessa, kunnes se vuotaa yli sen luonnollisten tai keinotekkoisten rajojen ja peittää alleen ympäröivän alueen (Murck, Skinner ym. 1996:192). Veden kiertokulku voidaan jakaa neljään vaiheeseen: sadantaan, valuntaan, haihduntaan sekä infiltraatioon eli suotautumiseen maaperään (*Hulevesiopus* 2012:18). Nämä tekijät eivät kuitenkaan ole tasaisesti jakautuneet maapallolla ja tämän seurauksena vedenkiertokulku voi paikoitellen häiriintyä. Runsas sade yhdistettynä esimerkiksi sulavaan lumeen, puutteelliseen viemärointiin tai veden kyllästämään maahan kasvattaa tulvariskiä. Vaikka tulvat usein syntyvätkin runsaan sateen seurauksena, sade ei kuitenkaan ole ainut tulvia aiheuttava tekijä. Myös esimerkiksi patojen murtuminen, tsunami, hurrikaani, voimakas myrsky, epätavallisen korkea vuorovesi tai ihmistoiminta voivat aiheuttaa tulvan syntymisen (Murck, Skinner ym. 1996:192-195).

Tulvat eripuolilla maailmaa ovat luonteeltaan hyvin erilaisia. Ne voidaan muun muassa maantieteellisen sijainnin, ilmasto-olojen, syntyvän ja ihmisvaikutuksen mukaan tyypillä useisiin eri kategorioihin (Messner 2007:1). Tässä tutkimuksessa tulvat luokitellaan kolmeen eri kategoriaan; vesistötulviin, meritulviin sekä hulevesitulviin. Erilaisiin tulviin, niiden syntytapoihin ja erityispiirteisiin perehdytään tarkemmin seuraavissa kappaleissa.

2.2 Erilaiset tulvatyyppit

2.2.1 Vesistötulva

Vesistötulvat syntyvät vesistöjen, eli jokien ja järvien, vedenpinnan noustessa. Vesistötulvia aiheuttaa esimerkiksi lumen sulaminen, rankat sateet, jää- ja hyydepadot, vesirakenteiden toimintahäiriöt tai virtausaukkojen tukkeutuminen esimerkiksi sortumien tai vyörymien

takia. Vesistötulvien syntyyn vaikuttavat muun muassa valuma-alueen muoto ja koko sekä maaperän imukyky (Parjanne, Huokuna 2014:20, Smith 2004). Järvissä vedenpinnan korkeuden vaihtelut ovat yleensä hyvin hallinnassa. Suurin osa vesistötulvista aiheutuu jokien virtaaman muutoksien seurauksena. Joet ovat olennainen osa veden hydrologista kiertoa, sillä ne kuljettavat suurimman osan maalta merelle kulkeutuvasta vedestä. Virtaama kuvaa sitä vesimäärää, joka kulkee tietyssä uoman kohdasta tietyssä aikana. Se vaihtelee sekä uomaston eri kohdissa, että ajan myötä (Hyvärinen, Puupponen 1986: 152-225). Virtaaman dynamiikka kuvaa sitä, kuinka hyvin kanava pystyy käsittelemään vettä. Kaltevuus, kanavan poikkipinta-ala (leveys \times keskimääräinen syvyys), virtaaman keskinopeus sekä kuorma, jota vesi kantaa mukanaan, kontrolloivat joen käyttäytymistä. Uomaston virtaaman kasvaessa tarpeeksi kanava täyttyy kokonaan niin, että vedenpinta nousee reunojen yli, eli saavuttaa tulvatason (Bolt, Horn ym. 1975:237-239). Tulvatilanteessa virtaama ja nopeus kasvavat. Suurella nopeudella virtaava vesi voi myös kuljettaa mukanaan isojakin määriä roskaa ja materiaa, mikä lisää tulvan seurauksien vahingollisuutta (Olesen, Löwe ym. 2017:7, Murck, Skinner ym. 1996:205).

Boltin ym. (1975:237-239) mukaan vesistötulville tyypillistä on niin sanotun tulvatasangon syntyminen. Tulvatasanko on kanavan vieressä oleva laaja, tasainen alue, joka tulvan syntyessä peittyy vedellä. Tulvatasangon koko riippuu joen koosta. Mitä isompi joki, sitä laajemmalle levittyy myös tulvatasanko. Tulviva vesi kasaa sen kuljettamista sedimenteistä joen ja tulvatasangon väliin luonnollisen tulvavallin. Raskaammat sedimentit jäävät lähemmäs jokea ja kevyemmät sedimentit, kuten lieju ja siltti, kulkeutuvat kauemmas tulvatasangolle (Murck, Skinner ym. 1996:199-201). Vesistötulvat ovat yleisin tulvatyyppi maailmassa ja niiden riskit ovat myös suuret, sillä tulvatasangot ovat hyvin haluttuja alueita tasaisuutensa ja hedelmällisyytensä vuoksi (Kozlowski 1984:3).

2.2.2 Meritulva

Meritulva syntyy merenpinnan noustessa normaalin vaihtelun yläpuolelle aaltojen tai vuoroveden seurauksesta (Smith 2004). Kahman ym. (2014:7) mukaan meren rannalla tulvariski poikkeaa monin tavoin sisävesien tulvariskeistä. Toisin kuin sisävesillä, meren rannalla tulvariskiinkin vaikuttaa sekä lyhytaikaiset, että vuosisatojen kuluessa tapahtuvat muutokset. Lyhytaikaisia tekijöitä ovat myrskyjen ja hurrikaanien aiheuttamat

myrskyvuoksit sekä tsunamin nostattamat aallot. Pidempiaikaisia prosesseja puolestaan ovat maankohoaminen ja meriveden suhteellinen nousu lämpölaajenemisen ja jäätiköiden sulamisen seurauksena (Smith 2004, Kahma ym. 2014:7). Olesenin (2017:9) mukaan sekä vesistötulville, että meritulville on tyypillistä korkea vedenpinnan taso ja nopea virtaus. Meritulvan yhteydessä esiintyy tyypillisesti voimakas aallokko, joka voi lisätä tulvan haitallisia vaikutuksia merkittävästi (Messner 2007:1, Jussila 2015:7). Vesistötulviin verraten meritulvat ovat lyhytkestoisempia tapahtumia. Meritulvat ovat myös tyypillisesti laaja-alaisia ja ne voivat esiintyä kaikkina vuodenaikoina (Parjanne, Huokuna 2014:20, Jussila 2015:6).

2.2.3 Hulevesitulva

Hulevesioppaan (2012:18) mukaan hulevedellä tarkoitetaan maanpinnalta pois johdettavaa sade- ja sulamisvettä. Hulevesitulvat ovat lyhytkestoisia, melko paikallisia ja nopeasti kehittyviä tulvia, jotka esiintyvät tyypillisesti rakennetuilla kaupunkialueilla. Niitä kutsutaan usein myös rankkasade- tai taajamatulviksi (Parjanne, Huokuna 2014:17). Hulevesitulvat syntyvät, kun hulevesirakenteiden, kuten viemäriverkostojen ja avo-ojien, kapasiteetti ylittyy runsaan sateen seurauksena (Parjanne, Huokuna 2014:17, Aaltonen, Hohti ym. 2008:8). Hulevesivalunnan syntymiseen vaikuttavat monet tekijät, kuten sateen intensiteetti ja sen kesto, sadetta edeltävän kuivan jakson pituus sekä maaperän ominaisuudet ja maanpinnan kaltevuus. Kaikki hydrologisen kierron vaiheet poikkeavat rakennetuilla alueilla luonnontilaisesta. Sadanta on rakennetuilla alueilla suurempaa johtuen tiivistymisytimien runsaudesta, korkeiden rakennusten vaikutuksesta tuulikenttään sekä paikallisesti voimistuneesta konvektiosta. Haihdunta puolestaan on vähäisempää, sillä päällystetyt pinnat ja kasvillisuuden vähyys pienentävät haihduntaa. Sademäärien on havaittu olevan keskimäärin jopa 10% suurempaa kaupungeissa, kuin ympäröivällä maaseudulla (*Hulevesioppas*. 2012:91). Olennaisin tekijä hulevesitulvissa on kuitenkin läpäisemättömän pinnan osuus (*Hulevesioppas*. 2012:18). Urbanisaation myötä asfaltoitujen ja pinnoitettujen alueiden määrä kasvaa, jonka seurauksena veden suotautuminen maaperään vähenee ja pintavalunta lisääntyy (Xu, Deng ym. 2015). Hulevesioppaan (2012:18) mukaan kaikki läpäisemätön pinta ei kuitenkaan aiheuta pintavaluntaa, vaan vesi voi päätyä ympäröiville läpäiseville alueille ja imeytyä maahan.

Tulvan riskiä kasvattaa myös veden mukana kulkeutuva hiekka, joka tukkii viemäreitä ja haittaa näin niiden normaalia toimintaa. Sekaviemäröintimenetelmässä hule-, jäte- ja kuivatusvedet johdetaan samassa putkessa toisiinsa sekoittuneena. Erityisesti tällaisessa tilanteessa hulevesitulva koostuu tyypillisesti raskaasti saastuneesta vedestä ja aiheuttaa vakavia ongelmia. Erillisviemäröinnissä hulevedet ja jäte- ja kuivatusvedet johdetaan erillisissä putkistoissa, tällöin myöskään tulvan seuraukset eivät ole niin radikaalit (Aaltonen, Hohti ym. 2008:10-12, Messner 2007:1, *Hulevesiopus*. 2012:41).

2.3 Tulvien seuraukset

2.3.1 Seuraukset ihmiselle, ympäristölle ja yhteiskunnalle

Tulvien seuraukset ovat hyvin moninaiset. Tulvat voivat aiheuttaa vahingollisia seurauksia esimerkiksi ihmisten terveydelle ja turvallisuudelle, ympäristölle, infrastruktuurille, taloudelliselle toiminnalle ja kulttuuriperinnölle (Parjanne, Huokuna 2014:22). Ihmiselle tulvat voivat aiheuttaa vammoja, tauteja, mielenterveyden ongelmia tai pahimmassa tapauksessa viedä jopa hengen. Waylenin (2011:6) ja Messnerin (2007:1) mukaan vanhat ihmiset sekä pienet lapset kärsivät todennäköisemmin enemmän tulvista, kuin paljon liikkuvat ja sopeutuvat nuoret. Myös ihmiset, joilla on terveydellisiä rajoitteita, jotka asuvat köyhyydessä tai joilla on muuten heikko sosiaalinen asema, kärsivät todennäköisesti enemmän. Jonkmanin ja Vrijlingin (2008:45) tutkimuksen mukaan noin 2/3 tulviin liittyvistä kuolemantapauksista johtuu hukkumisesta. Kuolemantapaukset voivat hukkumisen lisäksi liittyä vakaviin loukkaantumisiin, hypotermiaan ja sähkötapaturmiin. Hukkumistapaukset liittyvät yleensä meritulviin ja patojen murtumisen myötä syntyviin tulviin, sillä ne syntyvät usein varoittamatta tai hyvin lyhyellä varoitusajalla. Vesistötulvat puolestaan vaikuttavat usein laajimmilla alueilla ja useimpiin ihmisiin, mutta kuolonuhrien määrä on verrattain pieni, sillä vesistötulvat ovat hyvin ennustettavissa ja syntyvät usein hitaammin (Olesen, Löwe ym. 2017:10, Ohl, Tapsell 2000:1167, Jonkman, Vrijling 2008:45).

Tulvat levittävät myös tartuntatauteja, erityisesti korkean väestötiheyden alueilla, sekä alikehittyneillä alueilla, joissa on huonot saniteetti-olot. Viemäriverkoston tulviminen hulevesitulvissa vapauttaa veteen mikrobeja, jotka voivat tulehduttaa haavoja ja aiheuttaa tauteja. Myös vesistötulvat voivat kuljettaa mukanaan roskia, saasteita ja

myrkyjä (Smith 2004, Yan 2018:27-30). Ohlin ja Tapsellin (2000:1167) mukaan alikehittyneillä alueilla ruoansulatuselimistön sairaudet, hengitystieinfektiot, hepatiitti A ja B, lavantauti sekä leptospiroosi ovat yleisiä. Hyönteisten aiheuttamat taudit ovat myös tavallisia, sillä korkeiden tulvavesien poistuminen vie aikaa ja seisovasta vedestä tulee helposti tautejakin kantavien hyttysten kasvualusta (Yan 2018:27-30). Alikehittyneillä alueilla, joissa tulviin varautuminen ja hätäapu on huonommalla tasolla, seuraa tulvista usein tautien lisäksi myös nälkää ja kodittomuutta (Murck, Skinner ym. 1996).

Ohl ja Tapsell (2000:1167) toteavat artikkelissaan, että ihmiset, jotka ovat kärsineet tulvista, hakeutuvat todennäköisemmin terveydenhuollon pariin, kuin ihmiset, jotka eivät ole altistuneet tulville. Syitä terveydenhuollon tarpeeseen voivat olla esimerkiksi ihottuma, pahentunut astma tai pelko pitkän aikavälin seurauksista, jotka johtuvat saasteille, homeelle ja myrkyille altistumisesta. Heidän mukaansa tulvan uhrit kärsivät usein myös psyykkisistä häiriöistä ja pitkän aikavälin seuraukset voivat olla jopa vakavampia kuin äkilliset sairaudet tai loukkaantumiset. Useimmilla ihmisillä traumat kestävät vielä pitkään senkin jälkeen, kun vesi on laskenut. Omaisten kuoleminen, omaisuuden tuhoutuminen, korjaustoimenpiteet, siivoaminen ja vakuutuksien käsittely voi olla stressaavaa. Ottonin ja Boosin ym. (2006:1067-1082) mukaan tulvien uhreilla on havaittu enemmän masennusoireita, ahdistuneisuutta, stressiä ja tunnehäiriöitä kuin ihmisillä, jotka eivät ole kokeneet tulvaa. 15-25% tulvan uhreista kehittää myös traumaperäisen stressihäiriön oireita.

Tulvat voivat aiheuttaa pysyviä seurauksia paikallisissa ekosysteemeissä. Ungerin ym. (2009:1) mukaan tulva vaikuttaa sekä maapinnan ylä- että alapuolella. Vaikka maapinnan alapuoliset seuraukset eivät ole aivan yhtä ilmeisiä, ne ovat silti yhtä tärkeitä. Tulvimisen myötä maaperän ja ilman välillä tapahtuva kaasujen vaihto vähenee huomattavasti, sillä mikro-organismit kuluttavat nopeasti kaiken hapen maaperästä ja vedestä. Anaerobisten olojen myötä maaperän mikrobiyhteisön rakenne ja ravinteiden liukoisuus muuttuu. Meritulvien suolainen vesi aiheuttaa myös maaperän suolaantumista. Maaperän suolaantumisen lisäksi tulvaveden kuljettamat sedimentit, roskat ja saasteet voivat pilata maaperää (Kozlowski 1984:1-5, Unger, Kennedy ym. 2009:1). Hapettomat olot vaikuttavat merkittävästi myös kasvien metaboliaan ja fysiologisiin prosesseihin. Fotosynteesin väheneminen on yksi ensimmäisistä kasvien reaktiosta tulvimiseen, sillä kasvien ilmarakojen sulkeutuessa hiilidioksidin ottaminen heikentyy. Myös juurien

läpäisevyys ja mineraalien otto vähentyy, kasvi voi kärsiä kloroosista eli viherkadosta, kuihtumisesta ja kasvun hidastumisesta tai pysähtymisestä. Eri kasvit sietävät tulvimista ja happikatoa eri tavalla (Kozlowski 1984:1-5). Tulviminen on usein myös maanviljelyn kannalta vahingollista, sillä se voi tuhota jo olemassa olevan sadon tai vettynyt maa voi mädättää vasta kylvetyt siemenet (Silver 2015:27-30). Siebelin ja Blomin (1998) tutkimuksen mukaan puun taimen kestää tulvimista sitä paremmin, mitä isompi se on. Taimet voivat kestää veden alla jopa muutaman viikon, mutta ne usein vaurioituvat siitä ja palautuminen on hidasta. Tulvan aiheuttama eroosio vahingoittaa puiden juuria kuluttamalla suojaavan maan niiden päältä, altistaen ne siten eläimille, hyönteistuhoilille ja sairauksille. Juuriston heikentyessä puut myös kaatuvat helpommin (Silver 2015:27-30, Kozlowski 1984). Tulvat myös huuhtovat ravinteita, kemikaaleja ja muita haitallisia aineita pelloilta ja teollisuusalueilta ympäristöön ja vesistöihin. Ongelmia vesistöissä aiheuttaa myös käsittelemättömien hulevesien johtaminen viemäreistä purkuvesiin (Silver 2015:27-30, Kozlowski 1984, Koskinen 2006:66, *Hulevesiopas*. 2012:21).

Tulvat aiheuttavat myös paljon rakenteellisia tuhoja. Rakenteiden fyysinen rasitus lisääntyy huomattavasti virtaavan veden kantaessa mukanaan kappaleita, kuten kiviä, sedimenttiä tai jäätä (Smith 2004). Myös tulvaveden kuljettamat pienemmät partikkelit aiheuttava ongelmia. Sedimenttien kasaantuessa tulvaveden laskettua omaisuutta joudutaan kaivamaan hiekan ja mudan alta ja viemäreiden tukkeumia joudutaan aukomaan (Murck, Skinner ym. 1996:205, Bolt, Horn ym. 1975:242). Parjanteen ja Huokunan (2014:26) mukaan talvisin rakennukseen tulviva vesi voi jäätyessään aiheuttaa suuria vahinkoja. Meritulvien rakenteelliset tuhot ovat tyypillisesti suuremmat, kuin vesistö- ja hulevesitulvien, sillä suolainen merivesi on syövyttävämpää. Tulvat vahingoittavat myös sähkökomponentteja ja aiheuttavat rakenteiden ruostumista. Tulviva jätevesiviemäriverkosto aiheuttaa kosteus- ja hygieniariskin kiinteistöllä (Parjanne, Huokuna 2014:26, *Hulevesiopas*. 2012:41, Olesen, Löwe ym. 2017:7).

Tulviminen aiheuttaa myös merkittäviä taloudellisia vahinkoja tuotannon vaikeutuessa tai pysähtyessä kokonaan ja kiinteistöjen sekä tuotantolaitteiden ja tuotevarastojen vahingoittuessa. Työkoneiden ja laitteistojen vioittuessa tuotannon katkokset voivat venyä useiksi kuukausiksi (Koskinen 2006:26-53). Merzin ja Hallin (2010:1703) mukaan yhteiskunta saattaa ajautua inflaatioon tulvan seurauksena nousseiden hintojen vuoksi. Tulvat voivat myös aiheuttaa maan ja kiinteistöjen arvon laskua (Smith

2004). Tulvimisesta voi seurata ongelmia tuotantolaitoksille myös pidemmällä aikavälillä, johtuen muuttuneista muuttoliikkeistä, teollisuuden uudelleen sijoittelusta, asuntojen arvon alentumisesta ja muuttuneista valtion tai kunnan menoista (Merz, Kreibich ym. 2010:1712). Kellermannin ym. (2016:2357) mukaan siivous ja korjauskulut koituvat myös usein yhteiskunnalle kalliiksi.

Tulva voi niin ikään aiheuttaa ongelmia sekä liikenneverkoissa, että energian-, jätteenhuolto- ja vedenhuoltoverkostoissa ja tietoliikenteessä (Eleuterio, Hattemer ym. 2013:983). Tulviva vesi voi itsessään tehdä liikkumisen vaikeaksi tai jopa mahdottomaksi. Tulva voi myös aiheuttaa rakenteellisia vahinkoja teille, raiteille ja silloille (Kellermann, Schonberger Christine ym. 2016:2357). Liikenteen katkeaminen vaikeuttaa evakuointia ja avunsaantia paikalle. Perustarvikkeiden, kuten puhtaan veden ja ruoan toimittaminen on liikenteen ja väylien katketessa usein yksi suurimmista haasteista (Murck, Skinner ym. 1996:206). Talousveden saastuessa, viemäriverkoston lakatessa toimimasta tai sähköjaketun keskeytyessä yltävät vaikutukset huomattavasti tulva-aluetta laajemmalle alueelle (Koskinen 2006:65).

2.3.2 Seurauksien luokittelu

Tulvien seuraukset voivat olla suoria tai epäsuoria. Suorat seuraukset syntyvät ihmisen, ympäristön tai omaisuuden välittömästä kosketuksesta tulvaveden kanssa. Epäsuorat seuraukset puolestaan ovat pidemmän aikavälin seurauksia, jotka ovat välillisesti yhteydessä itse tulvaan (Murck, Skinner ym. 1996:204-205, Olesen, Löwe ym. 2017:7). Lisäksi tulvien seuraukset voidaan jakaa aineellisiin tai aineettomiin seurauksiin. Aineellisille seurauksille voidaan laskea rahallinen arvo, kun taas aineettomia seurauksia puolestaan ei voida mitata rahassa (Parjanne, Huokuna 2014:22-23). Alla olevaan taulukkoon (taulukko 1) on sovitettu yleisimpiä tulvien suoria, epäsuoria, aineellisia sekä aineettomia seurauksia. Suorat aineelliset vahingot koostuvat enimmäkseen materiaalisista vahingoista, jotka johtuvat tulvaveden kanssa kosketuksiin joutumisesta. Tämä luokka sisältää valtaosin vakuutuksen alaisia tappiota. Se on kaikista parhaiten ymmärretty vahinkoluokka ja usein sitä pidetään myös kaikista tärkeimpänä luokkana juuri vahinkojen kustannuksien vuoksi. Erotuksena muihin vahinkoluokkiin tämän luokan vahingot voidaan kategorisoida kolmen tyyppiin: asuinrakennuksille aiheutuvat vahingot, teollisuudelle ja infrastruktuurille aiheutuvat vahingot sekä maataloudelle aiheutuvat vahingot. Epäsuorat

aineelliset vahingot ovat enimmäkseen erilaisia häiriöitä joko ihmisten elämässä, teollisuudessa tai liikenteen toiminnassa. Aineettomat vahingot ovat usein yhteydessä asukkaiden terveyteen ja hyvinvointiin. Suorat aineettomat vahingot ovat enimmäkseen peruuttamattomia tappiota, kuten hengen tai kulttuuriperinnön menetyksiä. Epäsuorat aineettomat vahingot lähinnä keskeyttävät asukkaiden arkielämän (Olesen, Löwe ym. 2017).

	Suorat	Epäsuorat
Aineelliset	Rakenteelliset tuhot Infrastruktuuri Karjan ja Sadon menetys Evakuointi- ja pelastustoimet Puhdistuskustannukset	Liikenteen häiriöt Liiketoiminnan keskeytys Evakuoitujen tilapäinen majoitus Teollisuuden tuotannon menetykset
Aineettomat	Ihmishenkien menetys ja loukkaantuminen Taudit Muistoesineiden ja lemmikkien menetys Kulttuuriperintökohteiden vahingoittuminen Ekologiset vauriot Viljelykelpoisen maan pilaantuminen Erosio	Stressi ja ahdistus Yhteisön menetys maan arvon lasku Heikentynyt luottamus viranomaisiin Toipuminen tulvatilanteesta Ruoan, puhtaan juomaveden tai sähkön puute

Taulukko 1. Tulvien suorat, epäsuorat, aineelliset ja aineettomat seuraukset. Taulukko perustuu Murckin, Skinnerin ym. (1996), Olesenin, Löwen ym. (2017) ja Parjanteen, Huokunan (2014) artikkeleihin

2.3.3 Seurauksiin vaikuttavat tekijät

Koska tulvat voivat tapahtua eri muodoissa, eri intensiteetillä ja erilaisilla alueilla, vaihtelevat myös niiden seuraukset valtavasti (Jonkman, Vrijling 2008:44). Vallitsevat luonnonolot määrittävät pitkälti tulvien synnyn, esiintymisen ja myös seurauksien luonteen. Tulvien seurauksiin vaikuttaa esimerkiksi tulvaveden syvyys ja nousunopeus, tulvan kesto, peittävyys ja ajankohta sekä sen kuljettama kuorma, kuten sedimentit, suolat, jätevesi ja kemikaalit (Smith 2004). Jonkmanin ja Vrijlingin (2008:44-47) mukaan tulvien seurauksiin hyvin merkittävästi vaikuttaa myös se, kuinka hyvin mahdollisiin tuhoihin on osattu varautua, miten ajoissa tulvasta varoitetaan ja kuinka hyvin tulvatilanteessa pystytään toimimaan vahinkojen vähentämiseksi. Seuraukset riippuvat myös siitä, kuinka paljon tulva-alueella on ihmisiä ja hajoavia rakenteita. Rakenteiden tyyppi ja materiaali vaikuttavat vahinkojen laajuuteen. Kerrostaloissa vahingot ovat yleensä vähäisempiä kuin

yksikerroksissa kevyissä taloissa, jotka lähtevät myös helpommin liikkeelle veden mukana. Erilaiset rakennusmateriaalit myös kestävät saastunutta vettä eri tavalla (Merz, Kreibich ym. 2010:1707, Eleuterio, Hattemer ym. 2013:985). Tulvaveden syvyys, nopeus ja kesto ovat suoraan verrannollisia mahdollisten tuhojen määrään. Ajoitus vaikuttaa kriittisesti erityisesti satoihin ja kasveihin, sillä kasvit sietävät tulvimista eri kasvukauden vaiheissa eri tavalla. Tulvien seurauksiin vaikuttavat tekijät vaihtelevat ajoittain. Esimerkiksi asuinrakennuksiin kohdistuvat seuraukset ovat kytköksissä veden syvyyteen, kun taas maatalouteen vaikuttaa enemmänkin tulvan ajankohta ja kesto (Merz, Kreibich ym. 2010:1702).

Nämä tulvien seurauksiin vaikuttavat tekijät voidaan Messnerin (2007:153) ja Waylenin ym. (2011:5-6) mukaan luokitella kolmeen kategoriaan. Ensimmäinen luokka koostuu tulvan luonteenomaisista piirteistä, kuten tulvan tyypistä, sen syvyydestä, nopeudesta sekä ajankohdasta. Toiseen luokkaan kuuluu tulvan peittämän alueen ominaispiirteet, kuten rakennusten tyyppi, urbanisaation taso ja tulville herkät alueet. Kolmas luokka rakentuu sosiaalisista ominaisuuksista, kuten väestön ikä rakenteesta, sosioekonomisesta asemasta sekä väestön yleisestä terveydentilasta.

2.3.4 Tulvien hyödyt

Vaikka yleensä keskitytään tulvien aiheuttamiin vahinkoihin, on syytä muistaa, että tulvilla on myös positiivisia seurauksia. Tulvat eivät välttämättä ole epätaloudellisia, jos niiden hyödyt ovat suurempia kuin häviöt. Hyötyjen ja haittojen suhdetta on kuitenkin vaikea arvioida, sillä isot tulvat voivat pyyhkiä pois myös edellisvuosien tuomat hyödyt. Kausittainen tulvapulssi on useimmissa jokiekosysteemeissä tärkeä osa, joka pitää yllä monipuolista kosteikkoympäristöä. Tulvatasangon maaperän hedelmällisyys kasvaa pitkällä aikavälillä tulvan kasaaman siltin ja pois huuhtoutuvien suolojen myötä. Tulva ylläpitää myös marskimaita, joilla on usein runsas eläimistö ja erikoistunut kasvisto. Biologinen tuottavuus usein räjähtää tulvatapahtuman jälkeen (Smith 2004, Murck, Skinner ym. 1996:206-207).

Monissa paikoissa tulvat ovat myös tärkeä vedenlähde. Ne tarjoavat vettä kasteluun ja kyläkalastukseen, joka on merkittävä proteiinin lähde. Sadevesien pois johtamisen lisäksi niitä kerätään myös talteen myöhempää käyttöä varten. Sadevedet ja

tulvat myös ylläpitävät pohjavesivarantoja (Smith 2004, Xu, Deng ym. 2015). Lyhytkestoiset tulvat ovat myös metsille yleensä hyödyksi. Ne poistavat heikompia puita, rikkaruohoja ja loisia, jotka kilpailevat samoista ravintoaineista puiden kanssa (Kozlowski 1984:129-139). Tulva-alueen naapurikunnat ja -maat voivat hyötyä tulvatapahtumasta taloudellisesti, sillä usein tulva tuhoaa teollisuutta ja palveluita, jolloin ne joudutaan ostamaan lähialueilta. Myös viljelijät, jotka onnistuivat saamaan hyvän sadon hyötyvät taloudellisesti myydessään viljaa kalliilla useiden satojen tuhoutuessa tulvan seurauksena (Merz, Kreibich ym. 2010:1699).

2.4 Tulvariskien hallinta

Parjanteen ja Huokunan (2014:22) sanoin tulvariskillä tarkoitetaan tulvan esiintymisen todennäköisyyden ja siitä mahdollisesti koituvien seurauksia yhdistelmää. Tulvia ja niiden seurauksia on mahdotonta estää kokonaan, mutta erilaisilla keinoilla tulvien syntymistä ja vahingollisia seurauksia voidaan vähentää. Tulvariskien hallinnalla tarkoitetaan toimenpiteitä, joilla pyritään arvioimaan ja pienentämään tulvariskejä, sekä estämään tai kontrolloimaan tulvista aiheutuvia vahinkoja (Smith 2004). Tulvariskiä arvioitaessa otetaan huomioon missä tulvia esiintyy, kuinka suuria ne ovat ja millaisia seurauksia niistä aiheutuu (Parjanne, Aaltonen ym. 2015:8). Tulvariskien syntymistä voidaan ennaltaehkäistä erityisesti maankäytön suunnittelulla, johon lukeutuvat muun muassa kaavoitus, rakentamismääräykset ja tilojen suunnittelu sekä suositukset alimmista rakentamiskorkeuksista (Murck, Skinner ym. 1996:207-2012, Parjanne, Aaltonen ym. 2015:8). Ennaltaehkäiseviä toimenpiteitä ovat myös todennäköisyyksien ja vahinkojen arviointi, sääilmiöiden ja vedenpinnan tason seuranta sekä tulvariskikartoitukset. Tulvariskialueista laaditut tulvakartat kertovat tulvan laajuuden ja vesisyvyyden tietyllä todennäköisyydellä. Tulvakarttoja on laadittu lähinnä vesistö- ja meritulville, sillä hulevesitulvat voivat esiintyä missä ja milloin vain ja niiden ennustaminen on siksi vaikeaa. Myös asukkaiden tulvatietoisuuden lisääminen ja toimintaohjeet tulvatilanteessa sekä vesistöissä suoritettavat toimenpiteet, kuten jää- ja hyydepatojen muodistumisten estäminen, ovat ennaltaehkäiseviä toimenpiteitä (Smith 2004, Parjanne, Huokuna 2014:23-31, Parjanne, Aaltonen ym. 2015:8-10, Aaltonen, Hohti ym. 2008:8, Jussila 2015:11). Messnerin (2007:154) mukaan toimiva varoitusjärjestelmä on tärkein menetelmä

tulvariskien hallinnassa, sillä tulvasuojelun rakenteista huolimatta tulvariski on yhä olemassa. Toimiva varoitusjärjestelmä antaa ihmisille sekä aikaa varautua, että pelastaa omaisuus turvaan tulvalta.

Haitallisia vaikutuksia voidaan vähentää ja kontrolloida erilaisten pysyvien ja tilapäisten rakenteiden avulla. Pääasiallisia keinoja vesistötulvien hallintaan ovat kanavien muokkaaminen, kuten esimerkiksi ruoppaus ja oikaisu-uomat, rantojen pengerrykset, padot ja vallit sekä vesistöjen säännöstelytoimenpiteet (Parjanne, Aaltonen ym. 2015:8, Smith 2004). Uomaston muokkaus ja virtaaman hallinta yläjuoksulla kuitenkin muuttaa hydrologisia oloja myös alajuoksulla. Pahimmassa tapauksessa yläjuoksulla tehdyt tulvariskien hallintakeinot pahentavat riskiä toisaalla. Siksi kanavan luonnolliseen toimintaan puuttumisen seuraukset tulee ensin selvittää tarkasti (Murck, Skinner ym. 1996:212). Meritulvia puolestaan hallitaan esimerkiksi rannan muokkaamisen, rantavallien ja aallonmurtajien avulla. Myös dyynit, mangrovemetsät ja rantakasvillisuus puskuroivat aaltoenergiaa vastaan ja hidastavat tulvan leviämistä. Hulevesitulvia voidaan parhaiten hallita varaamalla kaavoituksessa hulevesille riittävästi pidättämisalueita ja virtausreittejä sekä kehittämällä kaupungin viemäriverkostoa ja pumppaamalla vettä pois (SYKE 2015, Smith 2004).

3. Esimerkkitapaukset

3.1 Kiinan tulva 1931

Vuonna 1931 Kiina koki tuhoisan tulvan, joka vaikutti arviolta neljäsosaan koko maan väestöstä ja jonka uskotaan olleen tappavin katastrofi Kiinassa 1900-luvulla. Tulva peitti alleen alueen, joka vastasi kooltaan Englantia ja puolta Skotlantia. Tämä tulva tunnetaan usein Jangtse- ja Huai-jokien tulvana, vaikka se ei rajoittunutkaan vain näihin kahteen jokeen. Myös Keltainen joki ja Keisarinkanava tulvivat vuolaasti. Tulvaa nimitetään myös keski-Kiinan tulvaksi, sillä vaikka tulva vaikutti suurella osalla maata, keskittyi suurimmat vesimassat ja vahingot metropolikompleksiin nimeltä Wu-Han. Wu-Han koostuu Hankoun, Wuchangin and Hanyangin kaupungeista, jotka muodostavat kaupallisen, poliittisen ja teollisen keskuksen keski-Kiinassa (Ye 2016, Courtney 2018:3).

Tulviminen Jangtse-joen varsilla on monivuotinen ongelma. Laajat tasangot ja voimakkaat vesistöt dominoivat alueen topografiaa. Maatalouden harjoittajat ovat

miehittäneet tulvatasangot. Liiallinen maanmuokkaus, kuten metsien hävittäminen, kosteikkojen käyttöönotto ja jokien laajennus yli patojen kantokyvyn on muuttanut tavanomaisia tulvapulsseja tuhoisiksi tulviksi. Uusi poliittinen järjestelmä muutti taloudellista painopistettä maataloudesta kaupankäyntiin, mikä johti kaupunkien kasvuun ja heikensi perinteistä tulvien ehkäisyä. Nopea väestönkasvu johti maan suurempaan käyttöön, mikä vähensi huomattavasti järvien ja kosteikkojen määrää. Maankäytön kestäättömät ratkaisut, puutteellinen tulvariskin hallinta ja poikkeuksellisen voimakas sade aiheuttivat yhdessä katastrofaalisen tulvan vuonna 1931 (Ye 2016:81-83, Courtney 2018). Runsaslumisen talven sulamisvedet ja rankkasateet keväällä nostivat jokien ja järvien vedenpintaa ennennäkemättömän nopeasti (Brown, Fee 2014:1636). Kesällä Kiina koki vielä erittäin voimakkaan monsuunisateen. Yleensä Jangtse-joen alueelle voidaan odottaa kahta syklonista myrskyä vuodessa, mutta vuonna 1931 niitä esiintyi seitsemän pelkän heinäkuun aikana. Kuukauden aikana satoi vettä 1,5 kertaa enemmän kuin normaalisti koko vuonna. Kiinan tulva aiheutui siis sekä luonnollisten tekijöiden, että ihmisvaikutuksen seurauksista (Ye 2016:80, Courtney 2018).

Satoja tuhansia ihmisiä hukkui tulvan seurauksena. Huonolaatuisissa asunnoissa asuvat köyhät ihmiset, vanhukset ja lapset olivat eniten alttiita tulvan tuhoisille seurauksille. Taloudelliset tappiot olivat yhtä suuret kuin puolentoista vuoden nettotulot perhettä kohden. Tulva rikkoi asuin- ja teollisuusrakennuksia, vaurioitti teitä ja murskasi siltoja. Matala maaperä ja puutteellinen viemäriverkosto pidensi tulvan kestoja. Kesti yli kolme kuukautta päästä kokonaan eroon tulvavedestä (Ye 2016:86, Courtney 2018). Brownin ja Feen (2014:1636) mukaan monet kylät ja kaupungit olivat kokonaan veden alla. Tulva pyyhki pois latoja, karjaa ja maatalouden välineitä. Tulva myös tuhosi kesän sadon ja paljon myös varastoituja viljoja. Monilla alueilla tulva jatkui vielä syksyyn, joten uutta satoa ei ehditty kasvattaa. Elintarvikkeiden saatavuuden heikentyminen aiheutti nopean viljojen hinnan nousun samaan aikaan kun työn ja maan arvo romahti. Elintarvikkeita ja hyödykkeitä myytiin kalliilla hinnalla niille, joilla niistä oli pula. Näin ollen tulva ei johtanut ainoastaan äkilliseen nälänhätään vaan myös pitkäaikaiseen köyhtymiseen ja epätasa-arvoon yhteiskunnassa (Ye 2016, Courtney 2018).

Vaikka nälänhätä ja aliravitsemus oli vakava ongelma, nopeasti leviävät taudit olivat kuitenkin vielä vaarallisempi seuraus ja ne aiheuttivatkin valtaosan kaikista tulvaan liittyvistä kuolemista. Suuret pakolaismäärät ja tuhoutuneet saniteettijärjestelmät tarjosivat

täydelliset olosuhteet useille patogeenisille mikrobeille. Jopa puoli miljoonaa ihmistä joutui jättämään kotinsa ja etsimään kuivia alueita, ruokaa ja suojaa muista kaupungeista. Tulvan uhrin kuitenkin usein karkotettiin kaupungeista tautien leviämisen pelossa ja he joutuivat kokoontumaan yhteen pakolaisleireille. Punatauti, lavantauti ja kolera levisivät saastuneen veden tai hyönteisten kautta. Muut taudit, kuten tuhkarokko ja isorokko lisääntyivät ylikansoituksen ja huonojen saniteetti-olojen takia erityisesti pakolaisleireillä. Tulva tarjosi myös täydellisen elinympäristön hyttysille, mikä johti malarian puhkeamiseen. Makean veden etanoiden lisääntyminen aiheutti myös skistosomiaasi-infektioita leviämistä. Ihmisten siirtyminen tulvilta alueilta tai pakolaisleireiltä kaupunkiin työn perässä levitti tautien siemeniä myös sinne (Ye 2016, Brown, Fee 2014, Courtney 2018).

Avun saaminen paikalle oli hankalaa, sillä tulva tuhosi suuren osan tietoliikenteestä ja kuljetusinfrastruktuurista. Avun saantia hankaloitti myös se, että Kiina oli keskellä sekä kansainvälisiä että kotimaisia sotia. Apua saatiin vasta noin kahden kuukauden kuluttua. Käynnissä oleva konflikti Kiinan kansallispuolueen ja kommunistisen puolueen välillä avustustyön estämisen lisäksi viivästytti maatalouden elpymistä. Ihmisillä oli myös erilaisia selviytymisstrategioita. Maaseudulla elävät ihmiset saivat ravintonsa esimerkiksi kalastamalla tai syömällä vesikasveja. Kaupungeissa ihmiset elättivät itsensä enemmän tai vähemmän laillisilla töillä. Esimerkiksi perustamalla vesitakseja, kerjäämällä tai varastelemalla (Ye 2016, Courtney 2018).

Eri toimenpiteet tulvien ennaltaehkäisyyn ja vahinkojen lieventämiseen olivat aikaisemmin olleet varsin tehokkaita, mutta vuoden 1931 tulvan iskiessä ei niistä juuri ollut hyötyä (Ye 2016:81). Wunchangissa ja Hanyangissa keskeisiä rakenteellisia toimenpiteitä olivat kaupunkien ympärille rakennetut muurit ja vallihaudat. Muurit rakennettiin jo varhaisessa vaiheessa vedenpitävällä savella ja tiilellä. Kaupunkien muurien alle rakennettiin patoluukkuja, joiden kautta vesi pääsi ympäröivään vallihautaan. Vallihaudat koostuivat sekä luonnollisista, että rakennetuista vesiväylistä ja kanavista. Hankoun kaupunki on vesistöjen ympäröimä. Etelässä sitä rajoittaa Han-joki, idässä Jangtse-joki ja pohjoisessa Han-joen sivu-uoma ja heti sen takana iso järvi Houhau, joka tulviessaan voisi peittää koko kaupungin veden alle. Tulvasuojelukeinoiksi Han-jokeen oli rakennettu patoja ja sen sivu-uoman ja kaupungin väliin oli rakennettu korkea valli, joka suojasi kaupunkia sekä tulvilta, että vihollisilta. Kaikkien kaupunkien suunnittelussa luonnolliset joet, järvet ja kosteikot olivat tärkeä osa vesien hallintatoimenpiteitä. Modernin teollisen talouden

kehittyessä ja kaupunkien kasvaessa perinteisiä kaupunkien vedenhallintajärjestelmiä ei kuitenkaan kehitetty ja niitä saatettiin jopa purkaa pois kehityksen ja kasvun alta. Yksityinen ja voittoihin perustuva kehitys heikensi alueiden tulvien ehkäisyä (Ye 2016:81-84).

3.2 Pohjanmeren tulva 1953

Pohjanmeren tulva 31.1-1.2.1953 aiheutti luoteis-Euroopan vakavimman meritulvan miesmuistiin. Se aiheutti yli 2000 ihmisen kuoleman Englannissa, Skotlannissa, Alankomaissa ja Belgiassa. Myrskyvuoksit ovat yleinen tulvahazardi Pohjanmeren alueella, johtuen Pohjanmeren matalasta luonteesta ja suppilomaisesta muodosta. Pohjanmeren rannikolla on monia tiheään asutettuja, korkean infrastruktuurin ja maatalouden omaavia alavia maita. Pohjanmeren rannikkovaltiot ovatkin kokeneet toistuvia ihmishenkien ja maatalouden menetyksiä tulvista johtuen (Wadey, Haigh ym. 2015:2, Prichard 2013:1, Lumbroso, Vinet 2011:2).

Vuoden 1953 tulva syntyi korkean nousuveden ja Pohjanmereltä merta kohti rannikkoa puhaltavan myrskytuulen yhteisvaikutuksesta (Lumbroso, Vinet 2011:2, Prichard 2013:32). Wadeynin ym. (2015:21) mukaan myrskyn intensiteetti, reitti, kesto ja hidas etenemisnopeus olivat kaikki ominaisuuksia, joiden takia aallokko ja vedenpinnan nousu aiheutti niin tuhoisia seurauksia. Tulvan vaikutuksen alaisissa maissa tulvariskin hallinta oli monin paikoin heikkoa ja varoitusjärjestelmät alkeellisia. Englannin rannikolla ei tulvasuojelun suunnittelussa ollut varauduttu niin korkeaan nousuvedeen ja yhtäaikaiseen myrskyaallokkoon. Tulvasuojelu pettikin useassa kohtaa ja tulva vaikutti 1600 km Englannin itärannikolla. Tulvan seurauksiin vaikutti merkittävästi myös ajankohta. Monille alueille tulva iski yöllä, kun ihmiset olivat nukkumassa, eivätkä näin ollen saaneet varoitusta tai ehtineet reagoida. (Lumbroso, Vinet 2011:2, Husby, de Groot, H. L. F ym. 2012:6, Hall 2013).

Tulva aiheutti lukuisia kuolemantapauksia. Se vei hengen Englannissa 307 ihmiseltä, Alankomaissa 1836 ihmiseltä, yli 40 ihmiseltä Belgiassa ja vähintään 250 ihmiseltä merellä (Wadey, Haigh ym. 2015:2). Lumbrosen (2011) mukaan kuolleisuus oli kaikista korkeinta alueilla, joissa ihmiset asuivat heikosti rakennetuissa bungaloweissa. Englannissa kaikista kuolemista 70% tapahtui juuri sellaisilla alueilla, joilla valtaosa

asunnoista oli tämänlaisia. Lumbroson (2011:8-9) ja Prichardin (2013:34) mukaan suurin osa kuolleista oli yli 60 vuotiaita ihmisiä, jotka olivat menneet aikaisin nukkumaan tai joilla ei olisi hereillä ollessakaan ollut voimia hengissä selviytymiseen. Suurimman osan kuolemista aiheutti hukkuminen, mutta myös tulvaan liittyviin vaurioihin, onnettomuuksiin ja sydänvaikeuksiin menehtyi ihmisiä (Wadey, Haigh ym. 2015:21, Lumbroso, Vinet 2011:10). Englannissa tulva peitti alleen yli 600 km² kokoisen alueen ja Alankomaissa 1400 km². Myös Skotlannissa ja Belgiassa tulvi laajamittaisesti useilla alueilla. Tulva tuhosi yli 25 000 asuinrakennusta, katkaisi liikenteen monipaikoin ja vaurioitti useampaa sataa teollisuustilaa aiheuttaen tehtaiden ja voimaloiden sulkemista. Satoja tuhansia ihmisiä jouduttiin evakuoimaan pois tulvan alta. Suolainen merivesi ja tulva pilasi satoja neliökilometrejä viljelysmaata useiksi vuosiksi ja tuhosi tuhansittain karjaa ja kotieläimiä (Prichard 2013:33-35, Wadey, Haigh ym. 2015:20-22, Husby, de Groot ym. 2012:6-7).

Husbyn ym (2012:12) mukaan Alankomaiden alavan topografian vuoksi tulvasuojelu on aina ollut siellä keskeisessä roolissa. Yksi neljäsosa maasta sijaitsee merenpinnan alapuolella ja maassa sijaitsee neljän ison joen suistot. Tärkeimpiä tulvasuojelun keinoja Alankomaissa ovat jokien ja lahtien sulkemiset padoilla ja valleilla. Toisen maailmansodan jälkeen Englannin ja Alankomaiden rannikoiden tulvasuojelu oli laiminlyödyssä kunnossa, vaikka osaa rakenteista olikin vahvistettu sodan jälkeen. Varoitusjärjestelmät olivat alkeellisia tai jopa puutteellisia. Alankomaissa varoitusjärjestelmä oli edistyneempi kuin Englannissa, mutta varoituksen tullessa keskellä yötä, jäivät useat ihmiset tietämättömäksi lähestyvistä uhkasta (Lumbroso, Vinet 2011:2, Hall 2013, Prichard 2013:32, Wadey, Haigh ym. 2015:15). Lumbroson ja Vinetin (2012:12) mukaan Englannin itärannikolla ei ollut yhtenäistä varoitusjärjestelmää ja koordinoitua, vaan tulvasuojelusta vastasivat useat lautakunnat. Lautakuntien pelastussuunnitelmia ei kuitenkaan ollut yhdistetty kansallisella tasolla ja kommunikation puutteet ja katkokset haittasivat hätäsuunnitelman kehittämistä. Pohjanmeren aallokko oli kovin tuntematon, sillä vuonna 1953 ei ollut olemassa vuorovesien ja merenpinnan tason tarkkailujärjestelmää, vaan merkinnät tehtiin käsin paperille (Wadey, Haigh ym. 2015:3). Myöskään sopivaa kanavaa tiedotukseen ei ollut. Televisiot olivat vielä harvinaisia ja vain muutamalla olemassa olevalla radiokanavallakin sääraportit ja uutiset olivat vähäisiä, eikä niitä koettu sopiviksi tiedon välityskanaviksi (Lumbroso, Vinet 2011:11-16). Vaikka monin paikoin huonokuntoiset tulvasuojelurakenteet antoivat periksi, oli niistä myös hyötyä. Esimerkiksi

Alankomaissa vallit suojelivat väkirikasta ja taloudellisesti tärkeää Randstadin aluetta (Husby, de Groot, H. L. F ym. 2012:6).

3.3 Porin kaupunkitulva 2007

Porin kaupungin alueella on koettu viime vuosikymmeninä pahoja vesistö- ja meritulvia (Koskinen 2006:7). Elokuussa 2007 Porissa koettiin harvinaisen voimakkaan sateen aiheuttama kaupunkitulva. Vahingoiltaan se oli Suomen suurin kaupunkitulva ja se voidaan luokitella luonnonkatastrofiksi (*Porin kaupunkitulva 12.8.2007* 2009:3). Kaupunkitulva aiheutti suuria rahallisia vahinkoja kaupungin asukkaille, yrityksille ja Porin kaupungille. Parjanteen ja Huokunan (2014:23) mukaan taloudelliset vahingot olivat jopa 20 miljoonaa euroa. Vesivahinkoja koki rakennukset, irtaimisto ja ajoneuvot (*Porin kaupunkitulva 12.8.2007* 2009:15). Tulva tuli yllätyksenä niin kaupunkilaisille kuin viranomaisillekin, sillä sen intensiteettiä ei osattu odottaa.

Voimakas rankkasade aiheutti päällystetyillä alueilla nopeasti pintaveden tulvimista. Vettä valui kaduilta ja kiinteistöiltä sitä varastoiviin hulevesiviemäriin. Sadevesikaivot eivät kuitenkaan pystyneet johtamaan kaikkea vettä viemäröintiin, jolloin kaduille, pihuille ja puistoihin kertyi vesikerros. Sateen jatkuessa viemäröinnin kapasiteetti ylittyi ja ne alkoivat tulvia (*Porin kaupunkitulva 12.8.2007* 2009:4-10). Hulevesioppaan (2012:96) mukaan Porin kaupunkitulva aiheutui ryhmittyneiden ukkospilvien pitkittäisestä liikkeestä ja taaksepäin kasvusta. Ukkospilvet kehittyivät helteisten ilmassojen saapumisen myötä. Porin seudulla satoi muutaman tunnin aikana enemmän vettä, kuin keskimäärin koko elokuussa. Sademäärä oli paikoin jopa 100-125mm. Sadealue oli suhteellisen kapea ja selvärajainen Porin keskusta-alueella. Toistuvuuslaskemien mukaan 100-125mm suuruinen sademäärä vuorokauden aikana toistuu Porin alueella kerran 100-300 vuodessa. Lähes kaikki kyseisenä päivänä sataneesta vedestä kertyi vain muutaman tunnin aikana. Tämä tekee sadetapahtumasta vieläkin harvinaisemman, todennäköisyys on kerran 5000 vuodessa (*Porin kaupunkitulva 12.8.2007* 2009:4-7).

Vaikka suoraa henkilövahinkoja ei tiettävästi ollut, aiheutui tulvasta ihmisille monenlaista haittaa ja mielipahaa. Yksittäiset ihmiset saivat lieviä ihoinfektioita ja kosteusvaurioista seuraavia home- ja muita terveyshaittoja on odotettavissa. Vaikka viemärit tulvivat ja jätekonteista ja muista lähteistä liukeni veteen epäpuhtauksia, pysyi

juomavesi puhtaana. Mikrobeilla saastunut vesi ei ulkoisesti käytettynä aiheuta merkittäviä terveysriskejä. Tässä tapauksessa vesi oli vielä pääosin sekoittunut puhtaaseen sadeveteen (*Porin kaupunkitulva 12.8.2007 2009:4-21*).

Noin tuhat kiinteistöä, niiden irtaimisto ja monet ajoneuvot vahingoituivat tulvan ja rankkasateen seurauksena. Pääosa vahingoista oli eriasteisia omaisuusvahinkoja, jotka aiheutuivat sade- ja jätevesien tulvimisesta kellareihin viemäriverkostojen kautta (Aaltonen, Hohti ym. 2008:8, *Porin kaupunkitulva 12.8.2007 2009:18*). Tulvavesi vahingoitti rakennuksia myös suoraa oviaukkojen, ajoluiskeiden ja kellari-ikkunasyvennyksien kautta. Suurimmat vahingot tapahtuivat kahdessa koulurakennuksessa ja kaupunginsairaalassa. Kiinteistöjä oli pitkään poissa käytöstä, sillä siivous- ja kuivaustyöt jatkuivat viikkoja tai jopa monia kuukausia. Myös useiden liikkeiden ja yritysten toiminta keskeytyi (*Porin kaupunkitulva 12.8.2007 2009:4-15*). Tulva katkaisi myös liikenteen monin paikoin, sillä katuja ja alikulkuja jouduttiin sulkemaan. Syvimmillään vesi oli alavilla paikoilla. Alikuluissa oli pahimmillaan vettä jopa melkein 2 metriä. Rankkasade ja tulva vaurioitti katujen päällysrakenteita, huuhtoi betonikaivojen ympärillä olevaa maa-ainesta ja romahdutti jalkakäytäviä ja pyöräteitä. Useita katuja korjattiin vielä viikkoja rankkasateen jälkeen (*Porin kaupunkitulva 12.8.2007 2009:4-20*).

Koskisen (2006) mukaan Porin kaupungin alueella on varauduttu erityisesti vesistötulviin ja meritulviin. Kaupungin läpi virtaavaa Kokemäen jokea on muokattu voimakkaasti. Joen virtausta esimerkiksi säännöstellään, uomaa on ruopattu ja sen ympärille on rakennettu tulvavalleja. Hulevesitulviin varautuminen on vaikeaa, sillä sateen aikaa, paikkaa ja määrää ei voida ennustaa ja vanhaa kaupunkirakennetta on hankala muuttaa (Kotiniemi 2015). Porin kaupunki on kuitenkin tehnyt joitain toimenpiteitä tulvan varoiksi. Alueella on toteutettu isoja tasausaltaita, ojaverkostoa on pidetty yllä, on rakennettu pumppaamoita ja sekaviemäröinti on pääosin poistettu käytöstä. Myös maankäyttöä ja rakentamista ohjaillaan siten, että hulevesien pois johtaminen ja imeytyminen pyritään ottamaan huomioon (*Porin kaupunkitulva 12.8.2007 2009*, Kotiniemi 2015). Kaupungin hulevesiputkistot on mitoitettu kerran kahdessa vuodessa toistuvalla 10 minuuttia kestäväälle sateelle, joka on rankkuudeltaan 80 l/s/ha. Myös pelastuslaitos ja muut viranomaiset osasivat toimia tulvatilanteessa, vaikka Porista puuttuikin pelastustoimen päällikötason johtamisjärjestelmä. Kellaritilojen omistajilla oli varsin heikko tietoisuus tulvariskeistä ja toimintatavoista, mikä osaltaan lisäsi omaisuusvahinkoja kiinteistöillä. Ilmatieteen laitos

antaa säävaroituksia ja saderintamien kehittymistä ja etenemistä voidaan seurata sadetutkien avulla (Kotiniemi 2015, *Porin kaupunkitulva 12.8.2007* 2009:4-32).

4. Pohdinta ja johtopäätökset

4.1 Esimerkkitapausten vertailu

Tutkimukseni osoittaa, että tulvilla on hyvin monenlaisia seurauksia niin ihmiselle, ympäristölle, infrastruktuurille, kuin taloudelliselle toiminnallekin. Esimerkkitapausten seurauksia on koottu taulukkoon 2. Tapaustutkimuksissa pinnalle nousivat erityisesti suorat aineelliset ja aineettomat seuraukset sekä myös epäsuorat aineelliset seuraukset. Epäsuorista aineettomista seurauksista puolestaan oli huomattavasti vähemmän mainintoja.

Sekä suorat, että epäsuorat aineelliset vahingot olivat kaikissa tulvissa laajat ja kaikilla oli myös mittavat taloudelliset seuraukset. Tulvat tuhosivat omaisuutta ja rakennuksia, keskeyttivät teollisuuden ja liiketoiminnan ja aiheuttivat suuret siivous- ja korjauskulut. Porin kaupunkitulva aiheutti lähinnä omaisuus- ja kosteusvaurioita kiinteistöillä, kun taas Kiinan tulva ja Pohjanmeren tulva tuhosivat kokonaan lukuisia rakennuksia ja aiheuttivat sitä kautta kodittomuutta. Porin kaupunkitulva ei myöskään aiheuttanut evakuointia tai pakolaisuutta, kuten Kiinan tulva ja Pohjanmeren tulva tekivät. Myös infrastruktuuri kärsi kaikissa tapauksissa tulvista. Liikenne jouduttiin paikoin sulkemaan ja useat tiet ja sillat tuhoutuivat. Kiinan tulva tuhosi myös suuren osan tietoliikenteestä. Myös satoja ja karjaa turmeltui Kiinan tulvan ja Pohjanmeren tulvan seurauksena.

Myös suorat aineettomat vahingot olivat merkittäviä. Kiinan tulvalla ja Pohjanmeren tulvalla merkittävimpiä, sillä ne aiheuttivat tuhansien ihmisten kuoleman. Vaikka Jonkmanin ja Vrijlingin (2008:45) mukaan vesistötulvien kuolonuhrien määrä on usein pienempi kuin äkillisesti syntyvien meritulvien, oli näiden esimerkkien kohdalla Kiinan tulvalla kaikista suurimmat henkilövahingot. Kuolleisuutta lisäsi merkittävästi tulvan seurauksena puhjenneiden tautien leviäminen. Porin tulvalla ei tiettävästi ollut henkilövahinkoja, mutta se vaikutti kyllä ihmisten terveydelliseen tilaan esimerkiksi iho-ongelmien kautta. Porin kaupunkitulvan ja Pohjanmeren tulvan aiheuttama eroosio myös

kulutti ja tuhosi ympäristöä ja tulvasuojarakenteita. Pohjanmeren tulvan suolainen vesi pilasi viljelysmaata useiksi vuosiksi. Epäsuorat aineettomat vahingot puolestaan esimerkkitapauksissa jäivät vähäisiksi. Oikeastaan ainoastaan Kiinan tulva -esimerkissä löytyi tähän kategoriaan kuuluvia seurauksia. Esimerkiksi maan arvon laskeminen ja ruoan ja puhtaan veden puute sekä siitä seurannut epätasa-arvo luokiteltaisiin tähän ryhmään. Mielenterveyden ongelmia ja stressiä, joita Ottonin ym. (2006:1067-1082) mukaan tulvista voi aiheutua, ei minkään esimerkkitapausten kohdalla tullut ilmi.

Kiinan tulva	Pohjanmeren tulva	Porin kaupunkitulva
>100 000 kuolemantapausta, tauteja	>2000 kuolemantapausta, loukkaantumisia	Ei henkilövahinkoja, iho-infektioita, terveyshaittoja odotettavissa
Asuin- ja teollisuusrakennuksien tuhoutuminen	Asuin- ja teollisuusrakennuksien tuhoutuminen ja vaurioituminen, tehtaiden ja voimaloiden sulkeminen	Vesivahinkoja asuinrakennuksille, irtaimistolle ja ajoneuvoille, liikkeiden ja yritysten toiminnan keskeytyminen
Kuljetusinfrastruktuurin tuhoutuminen ja liikenteen katkeaminen, tietoliikenne poikki, saniteetti-järjestelmien tuhoutuminen	Kuljetusinfrastruktuurin tuhoutuminen ja liikenteen katkeaminen	Kuljetusinfrastruktuurin tuhoutuminen ja liikenteen katkeaminen
Satojen, karjan, maataloudenvälineiden menetys	Viljelysmaan pilaantuminen, karjan ja kotieläimien menetys	
Köyhyys, epätasa-arvo, nälänhätä, kodittomuus, pakolaisuus	Kodittomuus, evakuointi	

Taulukko 2 Esimerkkitapausten seuraukset

Kuten aikaisemmin todettiin, voidaan Messnerin (2007:153) ja Waylenin (2011:5-6) mukaan tulvien seurauksiin vaikuttavat tekijät luokitella kolmeen eri luokkaan. Ensimmäiseen luokkaan kuuluvat tulvan luonteenomaiset piirteet, joihin lukeutuvat esimerkkitapaussakin vaikuttaneet tulvan ajankohta, kesto ja peittävyys. Erityisesti Pohjanmeren tulvassa yöllinen ajankohta vaikutti merkittävästi seurauksien laajuuteen, sillä ihmiset eivät ehtineet varautua tai varoitus ei saavuttanut heitä. Tulvan seurauksiin vaikutti

myös sen ajoittumien toisen maailmansodan jälkeiseen aikaan, jolloin tulvasuojelu on heikossa kunnossa, ja vuodenaikasta johtuvat talviset olosuhteet, jotka vaikeuttivat pelastustoimia ja aiheuttivat paleltumista (Prichard 2013:35). Merzin ym (2010:1702) mukaan ajoitus ja kesto vaikuttavat olennaisesti maatalouteen. Kiinan tulva ajoittui kesäsadon kasvuvaiheeseen, ja tulva pääsi tuhoamaan sadot. Pitkään kestävä tulva myös esti uuden sadon kasvatuksen. Tulva-alueen peittävyys myös vaikuttaa vahinkojen laajuuteen. Jonkmanin ja Vrijlingin (2008:45) mukaan vesistötulvat usein vaikuttavat laajimmalla alueella. Esimerkkitapaukset tukevat tätä väitettä. Kiinan tulva peitti alleen huomattavasti isomman alueen, kuin Pohjanmeren tulva tai Porin tulva. Porin tulva oli puolestaan hulevesitulville tyypillisesti hyvin pienialainen ja paikallinen, se vaikutti lähinnä vain Porin keskustan alueella.

Toiseen luokkaan kuuluvat alueen ominaispiirteet, kuten rakennusten tyyppi, urbanisaation taso ja tulville herkät alueet. Jokainen tässä tutkimuksessa käsitellyistä tulvista esiintyi tulvaherkällä alueella, jossa tulvia on ennenkin kohdattu. Alueiden alava topografia lisäsi tulvariskiä. Urbanisaatio ja yhteiskunnan kehittyneisyys oli kaikissa tapauksissa hyvin erilainen tulvan sattuessa. Vuonna 1931 Kiinan kehitys ja urbanisaatio oli vasta aluillaan. Pohjanmeren tulvan ja Porin tulvan aikaan tulvalle altistuneet yhteiskunnat olivat huomattavasti kehittyneempiä. Korkea väestötiheys Kiinan tulvan ja Pohjanmeren tulvan vaikutusalueella lisäsi vahingollisia seurauksia. Myös ihmistoiminta vaikutti tulvien seurauksiin. Yen (2016:87) mukaan Kiinan tulva oli enemmän ihmistoiminnan kuin luonnollisten tekijöiden aikaansaama, johtuen luontaisen ympäristön ja perinteisten tulvasuojelujärjestelmien tuhoutumisesta kaupunkien kasvun yhteydessä. Myös Porin tulva on vahvasti sidoksissa ihmistoimintaan, sillä kuten Xu ym. (2015) totesivat vaikuttaa ihmisen rakentaminen ja maan päällystäminen veden valumiseen ja suotautumiseen. Rakennusten tyyppi ja sijoittelu myös vaikutti vahinkoihin. Pohjanmeren rannikkoalueilla ja Kiinassa oli paljon huonokuntoisia heikkoja rakennuksia tulvaherkillä alueilla, jotka tulvan tullen tuhoutuivat. Porin tulva sijoittui rakennetulle kaupunkialueelle, jossa talot ja rakennukset olivat kestävämpiä. Siinä, missä ihmistoiminta voi lisätä tulvan esiintymistä tai seurauksien laajuutta voi ihmistoiminnasta olla myös hyötyä tulvia vastaan. Tulvia pystytään ennaltaehkäisemään ja vahinkoja lieventämään esimerkiksi vesistöjen kontrolloinnin ja erilaisten tulvasuojelurakenteiden kautta.

Kolmanteen luokkaan kuuluvat sosiaaliset ominaisuudet. Kuten aikaisemmin

todettiin, ovat Messnerin (2007:1) mukaan vanhukset, lapset, sairaat ja köyhät ihmiset kaikista alttiimpia tulvien vahingoille. Tämä piti paikkansa sekä Kiinan tulvan, että Pohjanmeren tulvan kohdalla, sillä valta osa tulvan uhreista oli molemmissa tapauksissa köyhiä, vanhuksia tai heikkolaatuisissa rakennuksissa asuvia ihmisiä.

Yksi ehkä merkittävimmistä seurauksiin vaikuttavista tekijöistä on yhteiskunnan valmius ja varautuminen kuten Jonkman ja Vrijling (2008:44-47) myös totesivat. Kaikissa esimerkkitulvissa varautuminen oli enemmän tai vähemmän puutteellista. Vuoden 1931 tulvaa kohtaan Kiinan aikaisemmat tulvasuojelurakenteet olivat hyödyttömiä ja taloudellisen painopisteen muuttuessa ja kaupunkien kehittyessä tulvasuojelua oli laiminlyöty. Myös Englannissa ja Alankomaissa tulvasuojelurakenteet olivat sodan jälkeen huonossa kunnossa. Yksi merkittävimmistä Pohjanmeren tulvan seurauksiin vaikuttavista tekijöistä oli ennakkovaroitusjärjestelmän puute tai toimimattomuus. Samoin kuin Pohjanmeren tulva, tuli myös Porin kaupunkitulva yllätyksenä. Vaikka sadetta osattiin ennustaa, ei sen intensiteettiä osattu odottaa. Porissa omaisuusvahinkoja lisäsi myös asuntojen omistajien heikko tietämys tulvatilanteen toimintamalleista. Kaikissa tapauksissa tulvat osoittivat suojauksien riittämättömyyden ja huonon kunnan. Tulvasuojelua on jokaisen tapahtuman jälkeen kehitetty paljon. Esimerkiksi Kiinassa perustettiin tulvasuojelukomissio, Pohjanmeren tulvan seurauksena tulvasuojarakenteita on vahvistettu, Englantiin perustettiin vuorovesivaroitus- ja ennakkovaroitusjärjestelmä ja Alankomaihin tulvasuojeluohjelma Deltaworks. Myös porin tulvan seurauksena huomattiin kehitettävää hätäkeskus- ja pelastuslaitosjärjestelmissä, poikkeavien tilanteiden johtamisessa ja tiedotuksen järjestämisessä, kaavoituksessa, rakentamisessa ja kaupungin koko infrastruktuurissa (Courtney 2018, Lumbroso, Vinet 2011:11-20, Husby, de Groot, H. L. F ym. 2012:3, *Porin kaupunkitulva 12.8.2016*. 2008:26)

Eri tulvatyypit poikkeavat muun muassa syntyavoiltaan, vaikutusalueiltaan ja myös seurauksiltaan. Eri tulvatyyppien seurauksia on kuitenkin hankala vertailla, koska tulvien seurauksiin vaikuttaa niin moni muukin tekijä kuin tulvan tyyppi. Tämän tutkimuksen perusteella voidaan kuitenkin todeta muutamia eri tulvatyypeille luonteenomaisia seurauksia. Eri tulvatyyppien seurauksien eroja on luokiteltu alla olevaan taulukkoon (taulukko 3).

Vesistötulvat voivat vaikuttaa hyvin laajalla alueella aina rannikolta sisämaahan asti. Sen vuoksi seurauksetkin usein ovat mittavat. Seurauksien vahingollisuutta

kasvattaa veden mukana kulkeutuvat kappaleet, saasteet ja roskat. Vesistötulvien ennustettavuus ja sitä kautta niihin varautuminen on hitaan synnyn ja kausittaisuuden vuoksi helpompaa kuin meritulvien ja hulevesitulvien. Vesistötulvat ovat kuitenkin pidempikestoisia kuin meritulvat ja hulevesitulvat. Vesistötulvat voivat aiheuttaa myös henkien menetyksiä, vaikka Jonkmanin ja Vrijlingin (2008:45) mukaan kuolonuhrien määrä on verrattain pieni hitaan synnyn ja ennustettavuuden vuoksi. Tyypillistä vesistötulville on Smithin (2004) ja Yanin (2018:27-30) mukaan tautien leviäminen. Esimerkiksi Kiinan tulvasta seurasi lukuisia erilaisia tauteja, jotka koituivat useiden ihmisten kuolemaksi.

Meritulvat vaikuttavat laajasti rannikkoalueilla, aiheuttaen rantaeroosiota ja tuhoten rannikon rakennuksia ja infrastruktuuria. Voimakas aallokko usein lisää meritulvien tuhoja. Useiden lähteiden (esim. Olesen, Löwe ym. 2017:10; Ohl, Tapsell 2000:1167; Jonkman, Vrijling 2008:45) mukaan nopeasti syntyvät meritulvat aiheuttavat eniten hukkumistapauksia. Suurin osa Pohjanmeren tulvan tuhansista uhreista kuoli nimenomaan hukkumalla. Meritulvat eivät tyypillisesti Olesenin ym. (2017:7) mukaan aiheuta niin paljoa tauteja, vaan enemmänkin rakenteellisia tuhoja ja hengenmenetyksiä. Tämä piti paikkansa myös Pohjanmeren tulvan esimerkissä. Kozlowskin (1984:1-5) ja Ungerin, ym. (2009:1) mukaan maaperän pilaantuminen on kaikissa tulvatyypeissä mahdollista tulvaveden mukana kulkeutuvien saasteiden ja myrkkujen kautta. Meritulvat aiheuttavat lisäksi usein maaperän suolaantumista.

Yleinen väärinkäsitys tulvariskeissä on se, että riskialueiden täytyy olla sijoittunut vesistöjen lähelle. Hulevesitulvat osoittavat, että tulvat voivat esiintyä missä vain, sillä niiden synty ei ole riippuvainen vesistöjen läheisyydestä toisin kuin vesistö- ja meritulvien. Siinä, missä vesistö- ja meritulvat voivat vaikuttaa hyvin laajalla alueella ja kestää pitkään, ovat hulevesitulvat yleensä lyhytkestoisia ja esiintyvät paikallisesti rakennetuilla kaupunkialueilla. Hulevesitulvien uhrien määrä on yleensä vähäinen tulvan luonteen vuoksi, mutta taloudelliset vahingot voivat olla suuria. Vaikka hulevesitulvat ovat tyypillisesti vain muutamia kymmeniä senttimetrejä syviä, ne voivat aiheuttaa merkittäviä omaisuusvahinkoja. Samoin kuin vesistötulvat, aiheuttavat hulevesitulvat myös usein tauteja. Porin tulvassa kehittyneempi yhteiskunta ja talousveden säilyminen juomakelpoisena todennäköisesti pelasti kaupungin taudeilta.

Vesistötulva	Meritulva	Hulevesitulva
Vesistöjen läheisyydessä	Rannikolla	Rakennetuilla kaupunkialueilla
Levittää tauteja	Rakenteellisia tuhoja	Levittää tauteja, suuret omaisuusvahingot
Kuolemia, loukkaantumisia	Kuolemia, loukkaantumisia	Ei henkilövahinkoja
Maaperän pilaantuminen	Maaperän pilaantuminen ja suolaantuminen	Maaperän pilaantuminen
Syntyy hitaasti ja esiintyy usein kausittaisesti	Syntyy nopeasti	Syntyy nopeasti
Vaikuttaa hyvin laajalla alueella	Vaikuttaa hyvin laajalla alueella	Vaikutusalue tyypillisesti pieni ja paikallinen
Pitkäkestoinen	Lyhytkestoisempi kuin vesistötulva	Vesistötulviin ja meritulviin verraten hyvin lyhytkestoinen
	Voimakas aallokko	

Taulukko 3 Eri tulvatyyppien seurauksien erot

4.2 Tulvat tulevaisuudessa ja jatkotutkimuskysymyksiä

Messnerin (2007:1) ja Husbyn (2012:2) mukaan tulvat ovat kehittymässä vakavimmiksi ajan myötä ja niiden aiheuttamat vahingot lisääntyvät. Vaikka viimevuosikymmeninä tulvien kuolonuhrien määrät ovat kehittyneempien ennakkovaroitusjärjestelmien, tiukempien rakennuskoodien ja parempien evakuoitirutiinien myötä vähentyneet, kasvavat niiden aiheuttamat taloudelliset kustannukset. Useiden tutkimuksien mukaan tulvien vahinkojen laajuuksissa, ajankohdissa ja voimakkuuksissa on jo havaittavissa maailmanlaajuisesti tapahtuneita muutoksia ja muutosvauhdin odotetaan voimistuvan tulevina vuosikymmeninä (Feyen, Dankers ym. 2012:48, Merz, Hall ym. 2010:515). Esimerkiksi Bloschlin ym. (2017:588-590) tekemän tutkimuksen mukaan Euroopan jokitulvien ajoittumisessa on tapahtunut merkittäviä muutoksia ja Adgerin ym. (2005) mukaan 23% maailman väestöstä asuu tällä hetkellä 100 kilometrin säteellä meren rannasta ja vuoteen 2030 mennessä luku kasvaa 50 prosenttiin. Heidän mukaansa noin 10 miljoonaa ihmistä kohtaa meritulvia vuosittain, ja luvun ennustetaan kasvavan 50 miljoonaan ilmastonmuutoksen ja väestönkasvun seurauksena. Smithin ym. (2004) mukaan merenpinta

on maailmanlaajuisesti viimeisen sadan vuoden aikana noussut 0.10-0.20 metriä. Syitä tulvien lisääntyviin vahinkoihin ovat muun muassa väestönkasvu, tulvatasankojen ja rannikoiden asuttamisen ja käytön lisääntyminen, rakennusten teknistyminen ja muuttuminen kosteudelle haavoittuvaisemmiksi sekä maankäytön muutokset esimerkiksi kaupungistumisen ja metsän hakkuiden seurauksena (Jonkman, Vrijling 2008:43, Feyen, Dankers ym. 2012:48, Parjanne, Huokuna 2014:38). Myös ilmastomuutoksella arvioidaan olevan vaikutusta tulevaisuuden tulvien esiintymiseen ja vahinkoihin (Jonkman, Vrijling 2008:44, Feyen, Dankers ym. 2012:48).

Tulevaisuuden ilmastoennusteet ovat kuitenkin epävarmoja, eikä voida varmuudella sanoa miten ilmastonmuutos vaikuttaa (Aaltonen, Hohti ym. 2008:93-97). Ilmastomallit simuloivat sitä, miten kasvihuonepäästöjen lisääntyminen vaikuttaa maapallon ilmastoon. Eri mallien mukaan tulvariski tulee kasvamaan merenpinnan noustessa jäätiköiden sulamisen seurauksena, sään ääri-ilmiöiden, kuten rankkasateiden ja myrskyjen lisääntyessä ja voimistuessa, ja koko hydrologisen syklin muuttuessa (Parjanne, Huokuna 2014:40, 46, Adger, Hughes ym. 2005:1039, Koskinen 2006:29, Aaltonen, Hohti ym. 2008:3, Feyen, Dankers ym. 2012:48). Hulevesioppaan (2012:20) mukaan ilmastonmuutoksen myötä on toisaalta varauduttava lisääntyviin rankkasateisiin ja toisaalta pitkittyviin kuiviin kausiin. Sadanta tulee kuivilla keskileveyksillä ilmastonmuutoksen myötä vähentymään, korkeilla leveysasteilla ja trooppisilla alueilla sadanta puolestaan lisääntyy (Veijalainen 2012:13). Voimakkaiden sateiden lisääntyminen johtuu lämpimämmän ilmakehän kyvystä sitoa enemmän vesihöyryä (Aaltonen, Hohti ym. 2008:97-83)

Tulevaisuuden ongelmat voivat myös johtua vuosisatoja sitten rakennettujen viemäriverkkojen kapasiteettien riittämättömyydestä, taloudellisesta kehityksestä, väestörakenteen muutoksesta ja poliittisista muutoksista. Modernien yhteiskuntien lisääntynyt riippuvuus infrastruktuurista, kuten sähkön ja veden jakelusta, liikenteestä ja kommunikaatiosta, voi lisätä tulvan vahinkoja ja odottamattomia välillisiä seurauksia. Myös ikääntyvä väestö heikentää selviytymis- ja sopeutumiskykyä (Merz, Hall ym. 2010:151-154, Aaltonen, Hohti ym. 2008:93). Toisaalta lisääntynyt liikkuvuus, tietoisuus ja kommunikaatio on etu tulevia kriisejä vastaan. Myös kehittynyt tekniikka mahdollistaa entistä tehokkaammat tulvasuojelurakenteet ja varoitusjärjestelmät (Adger, Hughes ym. 2005:1017).

Tulvien seurauksia on usein hankala erottaa tulvia aiheuttaneista tekijöistä, tai tulvan seurauksena syntyneistä tekijöistä, sillä tulvat usein liittyvät muihin luonnonilmiöihin. Ne esimerkiksi syntyvät myrskyjen tai tsunamien seurauksena tai synnyttävät maanvyöryjä. Tähän tutkimukseen onnistuin mielestäni valitsemaan hyvät esimerkit, joissa seuraukset olivat selkeästi tulvan aiheuttamat. Eri tulvatyyppien seurauksia vertaillen puolestaan paremmin voisi toimia esimerkit samalta tai samankaltaiselta alueelta ja samalta ajalta, jolloin yhteiskunnan varautumistaso ja ihmistoiminta olisi likimain samanlaisia kaikissa tapauksissa. Silloin eri tulvatyyppien erot voisivat tulla paremmin esille ja ne olisivat vertailukelpoisempia.

Muutamassa tämänkin tutkimuksen lähteessä (esim. Smith 2004 ja Husby ym. 2012:2) pohdittiin tulvasuojelun merkitystä turvallisuuden tunteen luomisessa. Voivatko varautuminen ja julkinen investointi tulvasuojeluun luoda valheellisen turvallisuuden tunteen ja johtaa tilanteeseen, jossa ihmiset eivät ota huomioon riskiä asettua tulvaherkille alueille. Tulevaisuudessa voitaisiinkin tutkia miten tulvasuojelu vaikuttaa ihmisten asenteisiin. Myös eri tulvatyyppien tulvariskialueiden kartoittaminen olisi mielekäs tulevaisuuden tutkimuskohde. Kuten Ölesen ja Löwe ym. (2017) totesivat, pidetään aineellisia suorita vahinkoja usein kaikista tärkeimpänä luokkana. Nämä seuraukset ilmenivät myös tapaustutkimuksista. Hudsonin ym. (2017) mukaan aineettomat vahingot voivat kuitenkin olla jopa kalliimpia kuin aineelliset vahingot ja aineettomien epäsuorien vahinkojen seuraukset tulisi ottaa huomioon riskejä kartoittaessa ja tulviin varautuessa. Voisi olla mielenkiintoista perehtyä aikaisemmin tapahtuneeseen tulvaan ja siitä seuranneisiin epäsuoriin aineettomiin seurauksiin, kuten esimerkiksi mielenterveyden ongelmiin tai yhteiskunnan rakenteen muutoksiin.

5. Lähteet

- Aaltonen, J., H. Hohti, K. Jylhä, T. Karvonen, t. Kilpeläinen, J. Koistinen, J. Kotro, T. Kuitunen, M. Ollila, A. Parvio, S. Pulkkinen, J. Silander, T. Tiihonen, H. Tuomenvirta & A. Vadja (2008). *Rankkasateet ja taajamatulvat (RATU)*. Suomen ympäristö: SYKE.
- Adger, W.N., T.P. Hughes, C. Folke, S.R. Carpenter & J. Rockstrom (2005). Social Ecological Resilience to Coastal Disasters. *Science*, 309:5737, 1036-1039
- Bloschl, G., J.Hall, J.Parajka, R.A.P. Perdigao, B. Merz, B. Arheimer & T. Kjeldsen (2017). Changing climate shifts timing of European floods. *Science*, 357:6351, 588-590.
- Bolt, B.A., W.L. Horn, G.A. Macdonald & R.F. Scott (1975). *Geological Hazards*. Berlin u.a: Springer.
- Brown, T.M. & E. Fee (2014). The Floods in China: Report by the Medical Director of the Health Organisation on the Work Undertaken to Co-ordinate the Campaign Against Epidemics. *American Journal of Public Health*, 104:9, 1636-1638.
- Courtney, C. (2018). *The nature of disaster in China: The 1931 Yangzi River Flood*. Cambridge University Press.
- Eleuterio, J., C. Hattmer & A. Rozan (2013). A systemic method for evaluating the potential impacts of floods on network infrastructures. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13:4, 983-998.
- Feyen, L., R. Dankers, K. Bódis, P. Salamon & J. Barredo (2012). Fluvial flood risk in Europe in present and future climates. *Climatic Change*, 112:1, 47-62
- Hall A. (2013). The North Sea Flood of 1953.
< <http://www.environmentandsociety.org/arcadia/north-sea-flood-1953>>
luettu 16.10.2018
- Hudson P., W.J.W, Botzen, J. Poussin & J.C.J.H. Aerts (2017). Impacts of Flooding and Flood Preparedness on Subjective Well-Being: A Monetisation of the Tangible and Intangible Impacts. *Journal of Happiness Studies*, 1-18.
- Hudby T.B., H.L.F De Groot, M.W. Hofkes & M.I. Dröes (2012). The Great North Sea Flood of 1953, The Deltaworks and the spatial distribution of people, 1-27. *Hulevesiopas*. (2012). Suomen kuntaliitto.
- Hyvärinen & Puupponen (1986). valunta. teoksessa: Mustonen S. ed, *Sovelluttu hydrologia*. vesiyhdistys r.y., 152-225.
- Jonkman, S.N. & J.K. Vrijling (2008). Loss of life due to floods. *Journal of Flood Risk Management* 1:1, 43-56.
- Jussila T. (2015). *Tulvariskien hallinta Uudenmaan rannikkoalueella: omatoiminen varautuminen asuinkiinteistöillä*
- Kahma K., H. Pellikka, K. Leinonen, U. Leinonen & M. Johansson (2014). *Pitkän aikavälin tulvariskit ja alimmat suositeltavat rakentamiskorkeudet Suomen rannikolla*. ilmatieteen laitos.
- Kellerman, P., C. Schonberger & A.H. Thielen (2016). Large-scale application of the flood damage model Railway Infrastructure Loss (RAIL). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16:11, 2357-2371.
- Koskinen M., *Porin tulvat — hallittuja riskejä?* Suomen ympäristö 19.
- Kotiniemi J. (2015). Porin kaupunkitulvan jälkipyykki –mitä tulva maksoi ja miten

- kaupunki toipui? *Pääkaupunkiseudun sopeutuminen ilmastonmuutokseen seminaari*, 25.3. 2015.
- Kozlowski, T.T., ed, (1984). *Flooding and plant growth*. Academic Press, inc.
- Lumbroso, D.M. & F. Vinet (2011). A comparison of the causes, effects and aftermaths of the coastal flooding of England in 1953 and France in 2010. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11:8, 2321-2333.
- Merz, B., J. Hall, M. Disse & A. Schumann (2010). Fluvial flood risk management in changing world, 509-527.
- Merz, B., H. Kreibich, R. Schwarze & A. Thielen (2010) Review article "Assessment of economic flood damage". *Natural Hazards and Earth System Science*, 10:8, 1697-1724.
- Messner, F. (2007). *Evaluating flood damages: Guidance and recommendations on principles and methods*. Helmholtz Umweltforschungszentrum (UFZ)
- Murck, B. W., B.J. Skinner & S.C. Porter (1996). . *Environmental geology*. John Wiley & Sons, Inc.
- Ohl, C.A. & S. Tapsell (2000). Flooding and human health. The dangers posed are not always obvious. *British Medical Journal*, 321: 1167, 1167-1168.
- Olesen, L., R. Löwe & K. Arnbjerg-Nielsen (2017). *Flood damage assessment – Literature review and recommended procedure*. Cooperative Research Centre for Water Sensitive Cities.
- Otto, K., A. Boos, C. Dalbert, D. Schöps & J. Hoyer (2006). Posttraumatic symptoms, depression, and anxiety of flood victims: The impact of the belief in a just world. *Personality and Individual Differences*, 40:5, 1075-1084.
- Parjanne A., J. Aaltonen & M. Sane (2015). *Yhteenveto tulvariskien hallinta suunnitelmista vuosille 2016–2021*. Suomen ympäristökeskus SYKE.
- Parjanne A., & M. Huokuna (2014). *Tulviin varautuminen rakentamisessa - opas alimpien rakentamiskorkeuksien määrittämiseksi ranta-alueilla*. Ympäristöopas: SYKE.
- Porin kaupunkitulva 12.8.2007* 2009. Työryhmän loppuraportti.
- Prichard, B. (2013). The North Sea surge and east coast floods of 1953. *Weather*, 68:2, 31-36.
- Siebel, H.N. & C.W. Blom (1998). Effects of irregular flooding on the establishment of tree species. *Acta botanica neerlandica*, 47:2, 231-240
- Silver, H. (2015) *Tulvien ja tulvariskien vaikutukset kiinteistöillä*, Lapin AMK.
- Smith K. (2004). *Environmental hazards: assessing risk and reducing disaster*. 4.p. Lontoo; New York: Routledge.
- SYKE (2015), *Tulviin voidaan varautua tulvariskien hallintatoimilla*.
<<https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/sopeutuminen/artikkeli/8c767266-3af1-4f15-9a448d07ea02f0c1/tulviin-voidaan-varautua-tulvariskien-hallintatoimilla.html>> luettu 12.10.2018
- SYKE, 13.9., 2013, Tulvien esiintyminen.
<http://www.ymparisto.fi/fiFI/Vesi/Tulviin_varautuminen/Olenko_tulvariski_alueella/Tulvien_esiintyminen?f=Lapin_ELYkeskus> luettu 12.10.2018
- Unger, I.M., A.C. Kennedy & R. Muzika (2009). Flooding effects on soil microbial communities. *Applied soil ecology*, 42:1, 1-8.
- Veijalainen, N. (2012). *Estimation of climate change impacts on hydrology and floods in Finland*.
- Wadey, M.P., I.D. Haigh, R.J. Nicholls, J.M. Brown, K. Horsburgh, B. Carroll, S.L.

- Gallop, T. Mason & E. Bradshaw (2015). A comparison of the 31 January–1 February 1953 and 5–6 December 2013 coastal flood events around the UK. *Frontiers in Marine Science*, 2:nov.
- Waylen, K.A., J. Aaltonen, M. Bonaiuto, P. Booth, R. Bradford, G. Carrus, A. Cuthbert, S. Langan, J. O'sullivan, P. Rotko, C. Twigger-Ross & D. Watson (2011). *URFlood – Understanding uncertainty and risk in communicating about floods*.
- Xu, L. J. Deng, C. Chen & S. Han (2015). Urban Rain Flood Disaster Mechanism and Prevention Research. *Applied Mechanics and Materials*, 730, 21-24.
- Yan, W. (2018). Grappling with the Health Consequences of Floods: Hurricanes, Monsoons, ja Heavy Rains Have Researchers Studying How to Prevent the Diseases That Often Follow. *IEEE Pulse*, 9:2, 26-30.
- Ye, Z. (2016). Cities under Siege: Flood in 1931 and Environmental Challenges of Chinese Urban Modernization.